



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

DETECCIÓN DE RADIACIÓN NATURAL EN LA PROVINCIA DE

TUNGURAHUA

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: TRABAJO EXPERIMENTAL

Presentado previo a la obtención del título de

BIOFÍSICO

AUTORES: FIALLOS YÉPEZ FRANKLIN GUSTAVO

CARRILLO CAYAMBE MÓNICA LUCIA

TUTOR: DR. CELSO RECALDE

Riobamba-Ecuador

2017

© 2017, Franklin Gustavo Fiallos Yépez y Mónica Lucía Carrillo Cayambe

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

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

El tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: DETERMINACION DE LA RADIACION NATURAL DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, de responsabilidad de los señores Franklin Gustavo Fiallos Yépez y Mónica Lucia Carrillo Cayambe, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

Dr. Celso Recalde

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ms. Rosa Ormaza

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Nosotros Franklin Gustavo Fiallos Yépez y Mónica Lucia Carrillo Cayambe, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Franklin Gustavo Fiallos Yépez
060454956-8

Mónica Lucia Carrillo Cayambe
060473659-5

DEDICATORIA

A mis padres por el amor, comprensión, paciencia, apoyo que siempre me dan y por enseñarme valores para ser una persona de bien, a mis hermanos por ser la inspiración para poder cumplir mis metas. A mi abuelita y tíos por darme consejos y ánimos para conseguir triunfos.

Mónica

Quiero dedicar este logro a toda mi familia y aquellas personas que nunca creyeron en mí a lo largo de todo este tiempo en la carrera, pero de una manera especial a mi madre, ya que desde ella he recibido el apoyo incondicional en todos los aspectos que me han permitido superar muchas metas en mi vida.

Franklin

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, al personal docente de la Escuela de Física y Matemático quienes nos ilustraron con su conocimiento y habernos formado como profesionales.

De manera especial al Dr. Celso Recalde, Biof. Mario Pérez y Biof. Estefanía Chávez por su colaboración, aporte en el desarrollo y en la culminación del presente trabajo de titulación.

Al grupo de Energías Alternativas y Ambiente por abrirnos las puertas y cada uno de las personas que forman parte de este importante grupo de investigación por su apoyo.

Mónica y Franklin

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1 MARCO REFERENCIAL	3
1.1 Identificación del problema.....	3
1.2 Formulación del Problema	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Antecedentes	4
1.5 Objetivos	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO II	
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Radiación Natural.....	7
2.1.1 Radiación Cósmica.....	7
2.1.2 Radiación Terrestre	11
2.2 Series Radiactivas Naturales	12
2.2.1 Radionúclidos no en serie	12
2.2.2 Radionúclidos en serie	13
2.3 Tipos de Radiaciones Ionizantes.....	15
2.3.1 Partículas Alfa.....	15
2.3.2 Partículas Beta.....	15
2.3.3 Radiación Gamma.....	16
2.4 Magnitudes Físicas que Caracterizan el Decaimiento Radiactivo	16
2.4.1 Actividad.....	16

2.4.2	Periodo de semidesintegración.....	17
2.5	Magnitudes Dosimétricas.....	18
2.5.1	Dosis Absorbida.....	18
2.5.2	Dosis Equivalente.....	18
2.5.3	Dosis Efectiva.....	19
2.5.4	Exposición.....	20
2.6	Detectores de Radiación.....	20
2.6.1	Detector Geiger Müller.....	21
2.7	Provincia de Tungurahua.....	22
2.7.1	Cantones de la Provincia de Tungurahua.....	23
2.8	Hipótesis.....	26
2.8.1	Operacionalización de Variables.....	26

CAPITULO III

3	METODOLOGÍA.....	27
3.1	Tipo y diseño de investigación.....	27
3.2	Unidad de análisis.....	27
3.3	Población de estudio.....	27
3.4	Tamaño de la muestra.....	27
3.5	Equipos y materiales usados para la toma de datos en la provincia de Tungurahua.....	28
3.5.1	Digital Counter “Geiger-Müller modelo GCA-07W”.....	28
3.5.3	Equipos y software.....	29
3.5.4	Ficha técnica.....	30
3.5.5	Trípode.....	30
3.6	Técnicas de recolección de datos.....	30
3.6.1	Determinación de puntos muestrales.....	30
3.6.2	Elaboración de mapa de puntos muestrales.....	30
3.6.3	Medición de la radiación natural de la provincia de Tungurahua.....	33
3.7	Análisis e interpretación de datos.....	40
3.7.1	Detección de datos atípicos.....	40

3.7.2	Prueba de Normalidad al 99% de nivel de confianza.....	40
3.7.3	Modelo de Regresión lineal.	41
3.7.4	Correlación de altitud y radiación natural del modelo de regresión lineal.....	42
3.7.5	Cálculo de tasa de exposición.	43
3.7.6	Método de interpolación de Kriging para la creación del mapa de niveles de radiación natural.....	43

CAPITULO IV

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1	Datos de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.....	45
4.2	Datos Atípicos de los cantones de la Provincia de Tungurahua.....	48
4.3	Datos Atípicos de Radiación Natural de la provincia de Tungurahua	53
4.4	Análisis Estadístico Descriptivo de Radiación Natural de los cantones de la Provincia Tungurahua.	54
4.5	Análisis Estadístico Descriptivo Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua. 62	
4.6	Normalidad de los datos de Radiación natural de la Provincia de Tungurahua....	63
4.6.1	Cálculo Estadístico de Prueba de Anderson – Darling.....	63
4.7	Modelo de Regresión lineal	66
4.8	Correlación entre la altitud y Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua. 67	
4.9	Cálculo de la Exposición de Radiación Natural de los puntos muestrales en la Provincia de Tungurahua.....	68
4.10	Mapa de Niveles de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.....	70
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	74

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Radionúclidos Cósmicos, Vida media y Tipo de decaimiento	9
Tabla 2-2: Radionúclidos no en serie.....	13
Tabla 3-2: Radionúclidos en serie.....	14
Tabla 4-2: Factores de ponderación de la radiación recomendada	19
Tabla 5-2: Factores de ponderación de los tejidos recomendados	19
Tabla 6-2: Descripción de las variables dependientes e independientes.....	26
Tabla 1-3: Especificaciones técnicas del contador Geiger Müller modelo GCA-07W.....	28
Tabla 2-3: Descripción de equipos y materiales	29
Tabla 3-3: Puntos Tentativos de la provincia de Tungurahua.....	33
Tabla 4-3: Puntos Muestrales de la provincia de Tungurahua.....	37
Tabla 1-4: Promedio de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.....	45
Tabla 2-4: Datos Atípicos de la Provincia de Tungurahua	53
Tabla 3-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Mocha	55
Tabla 4-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Tisaleo.....	55
Tabla 5-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Cevallos.....	56
Tabla 6-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Quero.....	57
Tabla 7-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Ambato.....	57
Tabla 8-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Pelileo	58
Tabla 9-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Patate.....	59
Tabla 10-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Baños.....	60
Tabla 11-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Pillaro.....	61
Tabla 12-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural de la Provincia de Tungurahua	62
Tabla 13-4: Valores de la prueba de normalidad de los datos de Radiación Natural.....	65
Tabla 14-4: Tasa de Dosis y Exposición de la Provincia de Tungurahua.....	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Representación esquemática de la producción de partículas en la atmósfera	10
Figura 2-2: Dependencia del flujo de rayos cósmicos con la altitud.....	10
Figura 3-2: Variación con la altitud de los componentes principales de los rayos cósmicos	11
Figura 4-2: Detector Geiger Müller	21
Figura 5-2: Mapa territorial de Tungurahua.....	23
Figura 1-3: Digital Counter “Geiger-Müller modelo GCA-07W”	28

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Mapa tentativo de puntos muestrales.....	31
Gráfico 2-3: Mapa formato “Template” de puntos tentativos muestrales.....	32
Gráfico 3-3: Mapa formato “Template” de los puntos muestrales.....	36
Gráfico 4-3: Mapa modelo de los puntos muestrales	37
Gráfico 1-4: Diagrama de Cajas y Bigotes del cantón Mocha.....	48
Gráfico 2-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Tisaleo.....	49
Gráfico 3-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Cevallos.....	49
Gráfico 4-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Quero.....	50
Gráfico 5-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Ambato.....	50
Gráfico 6-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Pelileo	51
Gráfico 7-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Patate.....	51
Gráfico 8-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Baños.....	52
Gráfico 9-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Pillaro.....	53
Gráfico 10-4: Curva de Normalidad de los cantones de la Provincia de Tungurahua.	64
Gráfico 11-4: Curva de Normalidad de la Provincia de Tungurahua.....	66
Gráfico 12-4: Regresión Lineal de Altitud vs Radiación Natural	67
Gráfico 13-4: Mapa de Niveles de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua	71

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica para la recolección de los datos

Anexo B: Informe de calibración de detector Geiger Müller modelo GCA-07W

Anexo C: Detector Geiger Müller modelo GCA-07W.

Anexo D: Trípode utilizados para la toma de mediciones.

Anexo E: Toma de Datosg

LISTA DE ABREVIATURAS

UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
EPA	US Environmental Protection Agency
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ICRP	International Commission on Radiological Protection
OIEA	International Atomic Energy Agency
CEAA	Centro de Energías Alternativas y Ambiente
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
SCAN	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
LPS	Laboratorio de Patrones Secundarios
SSNTD	Detectores de Trazas Nucleares en Estado Sólido
CPE	Equilibrio de Partículas Cargadas
CPM	Cuentas por Minuto
D	Dosis Absorbida
A	Actividad
Bq	Bequerelio
Ci	Curie
J	Julio
mSv	Mili Sievert
uSv	Micro Sievert
mSv/año	Milisievert por año
Bq/kg	Bequerelio por kilogramo
^3He	Helio 3
^4He	Helio 4
m.s.n.m	Metros sobre niveles del mar
Km	Kilometro

MeV	Megaelectronvoltio
A	Alfa
B	Beta
Γ	Gamma
Λ	Constante Radiactiva
U^{235}	Uranio 235
U^{238}	Uranio 238
Rb^{87}	Rubidio 87
Rn^{220}	Radón 220 – Torón
Rn^{222}	Radón 222
Ra^{226}	Radio 226
Ar^{40}	Argón 40
C^{14}	Carbono
K^{40}	Potasio
Th^{232}	Torio 232
H_T	Dosis Equivalente
E	Dosis Efectiva
\dot{D}	Tasa de Dosis
X	Exposición
\dot{X}	Tasa de Exposición
$^{\circ}C$	Grado centígrado

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la detección de radiación natural de la Provincia de Tungurahua, se determinó la tasa de exposición, la tasa de dosis equivalente recibida por población y la correlación existente entre la altitud y la radiación natural estimada. Esta investigación se realizó en toda la superficie de la provincia de Tungurahua (3333 km²), posee altitudes que varían desde los 1200 m.s.n.m en valles hasta los 5400 m.s.n.m en montañas y nevados. Para la toma de mediciones de radiación natural se utilizó el muestreo aleatorio estratificado, tomando en consideración intervalos de altura de cada 100 m, considerando la mínima y máxima altitud. Las mediciones de radiación natural se efectuaron mediante un detector portable Geiger Müller modelo GCA-07W en 80 puntos y en cada punto se tomaron 5 medidas, obteniendo un total de 400 datos. Se consideró una altura constante de 1m desde la superficie del suelo hasta la sonda del detector, con la ayuda de un trípode, finalmente, los datos fueron almacenados en hojas de campo de elaboración personal. El promedio de radiación natural que posee la provincia de Tungurahua es de 2,08 mSv/año, es decir un 13,33% por debajo del promedio mundial recomendado por el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica. En cuanto a la correlación entre la altitud y la radiación natural se obtuvo un valor de 0,91, demostrando que existe una relación directamente proporcional entre estos dos parámetros. Se recomienda continuar con estudios que estimen la radiación natural en las demás provincias del Ecuador, debido a que la contribución de radionúclidos naturales en el planeta no es uniforme desde su creación.

Palabras Claves: <BIOFÍSICA>, <PROTECCIÓN RADIOLÓGICA>, <RADIACIÓN NATURAL> <DETECTOR GEIGER MÜLLER>, <DOSIS EQUIVALENTE>, <EXPOSICIÓN A RADIACIÓN>, < TUNGURAHUA (PROVINCIA)>

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to detect natural radiation from the Province of Tungurahua, it was determined; the exposure rate, the equivalent dose rate received per population and the existing correlation between the altitude and the estimated natural radiation. This investigation was carried out in the whole surface of the province of Tungurahua (3333 km²), it has altitudes that vary from 1200 m.a.s.l in valleys to 5400 m.a.s.l in mountains and snowy. To take measurements of natural radiation, stratified random sampling was used, taking into consideration height intervals of every 100 m, considering the minimum and maximum altitude. The measurements of natural radiation were made using a Geiger Müller portable detector model GCA-07W in 80 points and at each point 5 measurements were taken, obtaining a total of 400 data. A constant height of 1m was considered from the surface of the soil to the probe of the detector, with the help of a tripod, finally, the data were stored in leaves of personal field. The natural radiation average of the province of Tungurahua is 2,08 mSv / year, that is, 13,33% below the world average recommended by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. The correlation between altitude and natural radiation was obtained with a value of 0,91, demonstrating that there is a directly proportional relationship between these two parameters. It is recommended to continue with studies that estimate the natural radiation in the other provinces of Ecuador, because the contribution of natural radionuclides in the planet is not uniform since its creation.

Key words: <BIOPHYSICS>, <RADIOLOGICAL PROTECTION>, <NATURAL RADIATION>, <GEIGER MÜLLER DETECTOR>, <DOSE EQUIVALENT>, <EXPOSURE TO RADIATION>, <TUNGURAHUA (PROVINCE)>

INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante de origen natural, es la principal fuente de contribución a la dosis que afecta a los seres humanos, está compuesta por la radiación cósmica procedente del espacio exterior y por la que proviene de la corteza terrestre. Los rayos cósmicos se componen de protones de alta energía que se conoce como radiación cósmica primaria y cuando interactúa con los núcleos atómicos presentes en la atmósfera dan origen a partículas secundarias y a núcleos cosmogónicos. La radiación de origen terrestre está presente en la corteza de la tierra desde la formación, cuyas concentraciones varían en diferentes regiones del planeta. Los radionúclidos presentes en la corteza terrestre tienen vida media en el orden de millones de años, los radionúclidos (padres) decaen hasta llegar a un nucleído (hijo) estable, para llegar a la estabilidad decaen emitiendo energía en forma de rayos alfa, beta y gama (Fernández, 2010, pp. 40–45).

Los reportes dados por el el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica en el año 1994 dan a conocer que no solamente las dosis altas pueden generar daños representativos en la población, sino que también las dosis bajas de radiación ionizante pueden producir daños graves en la salud (UNSCEAR 1994, pp. 25–30), por tal razón el estudio de la radiación natural es de suma importancia no solamente desde un punto de vista científico sino también de la salud pública. Los estudios que reportan datos sobre la exposición de radiación natural a nivel mundial son pocos, en la India, reportaron datos de radiación al aire libre, en el estudio utilizaron dosímetros termoluminiscentes, donde se obtuvo 2800 mediciones y encontrando que la mínima y máxima tasa de radiación ambiental es menor a la media mundial (Nambi *et al.*, 1986, pp. 1–33), por otra parte en China, se obtuvo que entre el nivel del mar y a 400 m.s.n.m la tasa de dosis absorbida debido a radiación natural se incrementa en un factor igual a 4 (Wang, 2002, pp. 2–5). En Irán, la tasa de exposición de radiación ambiental, se midió en 200 regiones mediante los detectores Geiger Müller y de Centelleo, se encontró el promedio anual de dosis equivalente de radiación natural fue de 0,49 mSv (Shahbazi-Gahrouei, 2003, pp. 2–4). Estudios realizados en Sudamérica, en Brasil, en las playas de Guarapari, estado de Espírito Santo, mediante la espectroscopia de rayos gamma, se encontró una alta dosis de radiación natural y es considerada como los lugares más radiactivos del mundo (Vasconcelos *et al.*, 2013, pp. 63–75). El estudio efectuado en la zona central del Perú, en el intervalo de altitud de 0 a 4800 m.s.n.m, se obtuvo 250 medidas de radiación ambiental, encontrando la dosis equivalente de radiación natural de 3,2 mSv/año, dicho valor es mayor al promedio mundial (Manosalva, 2006, pp. 1–4). En el Ecuador se realizó la toma de datos de radiación natural en la provincia de

Chimborazo, en 130 puntos, obteniendo el promedio de radiación natural de 1,45 mSv/año, este valor se encuentra en un 41% debajo de la media mundial (López & Pérez, 2015, pp. 60–65).

En provincia de Tungurahua dado a la variación de altitudes desde los 1200 a 5400 m.s.n.m. se realizaron mediciones de radiación natural, en diferentes lugares de la provincia. Para la toma de datos se utilizó el muestreo aleatorio estratificado, se consideró dos puntos en intervalos de cada 100 metros de altura y mediante el detector portable Geiger Müller modelo GCA-07W, se realizaron las mediciones de tasa de dosis de radiación natural. Los datos obtenidos se analizaron mediante el diagrama de cajas y bigotes que permitió determinar los datos atípicos y proceder a realizar un análisis estadístico descriptivo como también hallar la correlación entre la altitud y radiación natural que se efectuó mediante el modelo de regresión lineal. Se presentó los resultados en diagramas y tablas, con los promedios de radiación natural en cada punto de muestreo, se pudo construir un mapa donde, se muestra la distribución de los niveles de radiación natural de la provincia de Tungurahua. El promedio de radiación natural de la provincia de Tungurahua es de 2,8 mSv/año este valor se encuentra en un 13,33% por debajo del promedio mundial recomendado por el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica. El valor de correlación encontrada entre la altitud y la radiación natural demuestra que la radiación natural en la provincia de Tungurahua es influenciada directamente por la altitud.

CAPITULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Identificación del problema

Los seres humanos, son los mamíferos más radiosensibles que están expuestos a diferentes niveles de radiación ionizante, siendo la radiación natural ambiental un componente principal. La contaminación radioactiva natural es un problema mundial de grandes consecuencias, por tal razón el Comité Científico de las Naciones Unidas Sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) advierte en estudios realizados, que la exposición a dosis bajas de radiación ionizante podría causar efectos negativos a la población. La existencia de sustancias radioactivas de origen natural como radionúclidos de las series de desintegración del torio y del uranio presentes en el ambiente, son factores que podrían causar daños en la salud del hombre. Se exponen en diversos reportes de organismos internacionales efectos radiológicos perjudiciales para la salud debido a la contaminación radiactiva natural ambiental y según estudios realizados por el UNSCEAR en el 2013 recomienda que la tasa de dosis promedio mundial recibida por la población no debe sobrepasar el límite de 2,4 mSv/años (UNSCEAR, 2013, pp. 60-65), en Sur América hay países que se centran en realizar estudios de radiación natural, especialmente en la playa de Guarapari en Brasil que es uno de los lugares más radiactivos del planeta, por otra parte en el Ecuador existen pocos estudios sobre la exposición a radiación ionizante natural han sido realizados, en especial en la provincia de Tungurahua no se ha realizado estudios de este tipo.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuáles son los niveles de radiación natural a los que está expuesta la población de la provincia de Tungurahua?

1.3 Justificación

La radiación natural es la que más contribuye a la dosis efectiva del ser humano, debido a que ésta se encuentra en todas partes y puede ser incorporada al organismo por inhalación e

ingestión. Analizar los niveles a los que se encuentra expuesta la población es de gran importancia, sobre todo, si tomamos en cuenta los reportes dados por el UNSCEAR en el año de 1994, donde se da a conocer que las dosis bajas procedentes de fuentes naturales de radiación ionizante pueden generar daños notorios en la salud (UNSCEAR 1994, pp. 25–30).

Debido a que el Ecuador es un país que se encuentra en desarrollo tecnológico la mayor fuente de exposición a la población (sin considerar al personal ocupacionalmente expuesto) se debe a fuentes de radiación natural, la cual va a depender de importantes condiciones tales como: la concentración de minerales radiactivos presentes en la región de estudio, posición geográfica y la altitud, es por eso que en el año de 1986 la Unión Europea animó a los países a realizar estudios de radiación natural y así poder valorar los niveles de radiación y detectar así sus posibles incrementos por causas artificiales, en el caso de que existiera alguna fuente artificial (IAEA, 1990, pp. 15–20). Por lo cual es importante detectar la radiación natural en el Ecuador, específicamente en la provincia de Tungurahua donde este tipo de estudios no han sido realizados.

Para alcanzar los objetivos propuestos se cuenta con el apoyo del Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente CEEA-ESPOCH, como parte del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), los cuales aportaron con la instrumentación necesaria y el recurso humano capacitado. Para detectar los niveles de radiación presentes en la provincia de Tungurahua se empleará un detector Geiger Müller GCA-007W, el cual cuenta con una sonda externa, en donde se encuentra el tubo Geiger Müller, es capaz de detectar y medir radiación alfa (Núcleos de helio), Beta (Electrones) y Gamma (Ondas electromagnéticas).

El desarrollo del trabajo de investigación es beneficioso para la población de Tungurahua, ya que contarán con información sobre los niveles de exposición existentes en la provincia. Finalmente, este proyecto tiene relevancia social, debido a que contribuye la cuantificación de la contaminación radioactiva en base a estándares internacionales, satisfaciendo el objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir; “MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN”, artículo 8: “PROPORCIONAR CONDICIONES ADECUADAS PARA EL ACCESO A UN HÁBITAT SEGURO E INCLUYENTE”.

1.4 Antecedentes

Existen grandes esfuerzos dentro de la comunidad científica para realizar un mapa mundial sobre la radiación natural al aire libre, ya que esta es de suma importancia tanto desde el punto de vista científico como de salud. Sin embargo son pocos los estudios alrededor del mundo que

reportan datos precisos sobre la exposición radiación natural. Por ejemplo, Nambi y sus colaboradores en 1986, reportaron datos de la India, donde se obtuvo la tasa de dosis, la máxima para Andhra Pradesh ($1065 \pm 325 \mu\text{Sv} / \text{año}$) y mínimo para Maharashtra ($370 \pm 80 \mu\text{Sv} / \text{año}$) (Nambi *et al.*, 1986, pp. 1–33). Wang Z., en año el 2002 reporta un estudio realizado en China, donde se encontró que la tasa de dosis absorbida al aire libre debida a radiación natural se incrementa en una factor igual a 4, entre el nivel del mar y a 4000 m.s.n.m en el Tíbet (Wang, 2002, pp. 2–5). En el año 2003, en Irán Daryoush Shahbazi- Gahrouei realizaron un estudio de la radiación natural en las provincias de Chaharmal y Bakhtiari. El promedio anual de dosis equivalente encontrado en los lugares de estudio fue de 0,49 mSv. Una buena correlación entre la altitud y la tasa de exposición fue observada en regiones de gran altitud, demostrando que en las regiones de mayor altitud existen mayores niveles de radiación natural y los resultados obtenidos los dio a conocer en un mapa de isolíneas (Shahbazi-Gahrouei, 2003, pp. 2–4). En el mismo año en la playa de Chhatrapur en el estado de Orissa al sureste de la India Mohanty mide la concentración de elementos radioactivos como ^{232}Th y ^{238}U en materiales pesados encontrados en la playa, esto lo hicieron usando un detector HPGe y encontró que para las muestras de arena y granel la concentración era de 2500 ± 1850 y $120 \pm 35 \text{ Bq/kg}$ respectivamente. La tasa de dosis efectiva de la región osciló entre 0,46 y 6,12 mSv/año con un valor promedio de $2,0 \pm 1,5 \text{ mSv/año}$ (Mohanty *et al.*, 2004, pp. 4–7).

En Perú en el 2006, Julio Manosalva estudió la radiación ambiental en la zona central de Perú, esto se realizó en los meses de julio y agosto del 2006 desde 0 a 4800 metros sobre el nivel de mar. Los promedios en nivel de dosis equivalentes encontrados a diferente escala de altitud fueron, en la región Chala de 240 nSv/h, (0-500 m.s.n.m); en la región Yunga de 260,8 nSv/h, (500-2300m.s.n.m); en la región Quechua de 341,4 nSv/h, (2300-3500 m.s.n.m); en la región Jalca de 404,2 nSv/h, (3500-4000 m.s.n.m) y la región Puna de 515 nSv/h, (4000-4800 m.s.n.m). El promedio anual en dosis equivalente de las cinco regiones fue de 3,2 mSv, ligeramente mayor al promedio mundial (Manosalva, 2006, pp. 1–4).

En 2013, Vasconcelos D., mediante espectrometría de rayos gamma determinó la concentración de radionúclidos naturales y calculó las dosis absorbidas y la dosis efectiva anual en diferentes zonas de Guarapari, estado Espírito Santo en Brasil y comparó los resultados que obtuvo con los valores internacionales aceptados, obteniendo como resultado que en las playas de Guarapari el fondo encontrado es de 260 mSv/año, el cual es mucho mayor que cualquier playa encontrada en el mundo (Vasconcelos *et al.*, 2013, pp. 63–75) .

En el 2015, en la provincia de Chimborazo se determinó la radiación de fondo, se utilizó el detector portátil Geiger- Müller, se tomó 10 medidas en 130 puntos de la provincia de

Chimborazo, con esto se obtuvo el promedio de radiación natural de 0,00145 Sv/año con un valor de correlación entre la altura y radiación natural de fondo de 0,901536. En la cual se concluyó que la radiación natural de la provincia de Chimborazo se encuentra 41% debajo del promedio mundial establecido por el UNSCEAR (López & Pérez, 2015, pp. 60–65).

La investigación sobre la radiación natural al aire libre en el Ecuador, se encuentra en sus primeros pasos, ya que no existen datos suficientes para obtener un valor promedio del país es por eso que se propone realizar la determinación de radiación natural en la provincia de Tungurahua.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Detectar la radiación natural de la provincia de Tungurahua

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la exposición y la dosis equivalente de la población debido a radiación natural en la provincia de Tungurahua.
- Conocer el valor medio máximo y mínimo de radiación natural al que está expuesta la población de la provincia de Tungurahua
- Validar la correlación entre altitud y la radiación natural de la provincia de Tungurahua.
- Elaborar un mapa con los datos de radiación natural en el que pueda reflejarse los niveles de exposición en las diferentes zonas de la provincia de Tungurahua.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Radiación Natural

La radiación ionizante de origen natural está presente en todo el medio ambiente siendo la principal fuente de exposición para la población, la radiación natural está constituida por la radiación cósmica procedente del espacio exterior y la radiación de origen terrestre, nucleídos radiactivos presentes en la corteza de la tierra (Fernández, 2010, pp. 40–45).

2.1.1 Radiación Cósmica

La radiación cósmica es una mezcla de diferentes clases de partículas como protones, partículas alfa, electrones y diversas partículas de alta energía que alcanzan la superficie de la Tierra atravesando la atmósfera. Dependiendo su origen se puede clasificar en: partículas atrapadas, radiación cósmica galáctica y partículas de radiación solar (Curtis *et al.*, 1986, pp. 269-274). Las partículas atrapadas se encuentran en orbitas alrededor de la Tierra por efecto del campo magnético, consisten principalmente en electrones y protones. La radiación cósmica galáctica está constituida por protones acompañadas por Helio (He) e iones más pesados, tienen origen fuera del sistema solar permaneciendo en nuestra galaxia un tiempo medio de 200 millones de años, las energías de la mayoría de las partículas de origen cósmico esta entre 10^2 y 10^5 MeV (Obrien *et al.*, 1997, pp. 9–23).

La radiación solar al igual que la radiación cósmica está formada por protones acompañados con (He) e iones más pesados, proceden como su nombre indica del sol, emite continuamente partículas de baja energía y durante las perturbaciones magnéticas generan la mayor parte de partículas más energéticas. En el periodo activo del ciclo solar que es de 11 años se produce emisión de partículas con energías comprendidas entre 1 y 1000 MeV en algunos casos pueden superar valores de 1GeV (Fry & Natchwey, 1988, pp. 159–164).

Otro tipo de clasificación para la radiación cósmica se compone de rayos cósmicos primarios y secundarios. Los rayos cósmicos primarios son las radiaciones de alta energía que penetran la atmósfera terrestre, que pueden ser de origen galáctico o del sol. Los rayos cósmicos

secundarios se forman por la interacción de los rayos cósmicos primarios y los núcleos atómicos de la atmósfera (Fry & Natchwey, 1988, pp. 159–164).

2.1.1.1 Rayos Cósmicos Primarios

Los rayos cósmicos primarios están formados por protones de alta energía acompañados de iones de ^4He , en proporciones menores partículas más pesadas como los electrones y neutrinos, esta radiación pueden ser de origen galácticos el cual se forman fuera del sistema solar y de origen solar se forma en las eventuales erupciones del sol. Se considera que la radiación cósmica galáctica está formado por un 98% de bariones (87% protones, 12% partículas alfa y 1% otros iones más pesados) y 2% de electrones (Paretzke & Heinrich, 1993, pp. 33–40).

La densidad de flujo de rayos cósmicos primarios es afectada por la acción del campo magnético terrestre, que es capaz de modificar la trayectoria de estas partículas y según el efecto de Lorentz las partículas de bajas energías se muevan en varias direcciones y no pueden atravesar la atmósfera terrestre. En las regiones ecuatoriales las partículas se mueven perpendicularmente a las líneas de fuerza del campo magnético, en los polos se mueven paralelamente a las líneas de campo, por lo tanto la densidad de flujo primario de los rayos cósmicos depende de la latitud geomagnética de tal manera que existe mayor cantidad de protones de baja energía en las capas superiores de la atmósfera de los polos que en las regiones ecuatoriales (Paretzke & Heinrich, 1993, pp. 33–40).

2.1.1.2 Rayos Cósmicos Secundarios

Los rayos cósmicos secundarios se forman cuando ingresan en la atmósfera las partículas que constituyen los rayos cósmicos primarios y pierden la mayor parte de su energía al interactuar con los núcleos de los átomos presentes en el aire (Nitrógeno, Oxígeno y Argón) y da lugar a la formación de neutrones, protones, muones, piones y kaones. También se originan núcleos cosmogónicos como (Hidrogeno) ^3H , (Berilio) ^7Be , (Sodio) ^{22}Na , (Carbono) ^{14}C , ^{10}Be , ^{24}Na , además como consecuencia de la interacción, también se forma fotones de altas energías, estos vuelven a interactuar con núcleos en el aire produciendo más partículas secundarias como electrones y muones (ICRU, 1978, pp. 98–112). Debido a las interacciones, el flujo de partículas se atenúa hasta cerca de la mitad del flujo incidente, en el caso de las partículas alfa a su cuarta parte y el de los iones más pesados hasta alrededor del 3% o menos del flujo inicial (Fernández, 2010, pp. 40–45).

Un protón procedente el espacio exterior para ser capaz de penetrar la atmósfera hasta el nivel del mar debe tener un energía mínima de 2170 MeV, dado que existe numerosas procesos de interacción lo que provocan considerables pérdidas de energía, la probabilidad que el protón llegue hasta el nivel del mar es muy baja (Paretzke & Heinrich, 1993, pp. 33–40).

Tabla 1-2: Radionúclidos Cósmicos, Vida media y Tipo de decaimiento

Nuclide	Half-life		Decay	Nuclide	Half-life		Decay
³ H	12,3	D	β^-	³² P	14,3	d	β^-
⁷ Be	53,3	D	ϵ	³³ P	25,3	d	β^-
¹⁰ Be	1,51	My	β^-	³⁵ S	87,5	d	β^-
¹¹ C	20,4	M	β^+, ϵ	³⁸ S	2,84	h	β^-
¹⁴ C	5730	Y	β^-	^{34m} Cl	32,0	m	β^+
¹⁸ F	109,8	M	β^+	³⁶ Cl	0,3	Ma	β^-, ϵ
²² Na	2,60	Y	β^+	³⁸ Cl	37,2	m	β^-
²⁴ Na	15,0	H	β^-	³⁹ Cl	55,6	m	β^-
²⁸ Mg	209	H	β^-	³⁷ Ar	35,0	d	ϵ
²⁶ Al	0,74	My	β^+	³⁹ Ar	269	y	β^-
³¹ Si	157,3	M	β^-	⁵³ Mn	3,74	My	ϵ
³² Si	172	Y	β^-	⁸¹ Kr	0,23	My	ϵ

Fuente: (Isaksson & Rääf, 2016, pp. 5–8)

Las partículas de alta energía como los protones, neutrones y piones que son componentes de los rayos cósmicos primarios reaccionan con los núcleos de los átomos que se encuentran presentes en el aire produciendo partículas secundarias. Los piones se desintegran en muones o fotones dando lugar a otras interacciones, este proceso de reacciones da origen a los rayos cósmicos secundarios y recibe el nombre de cascada (Isaksson & Rääf, 2016, pp. 5–8).

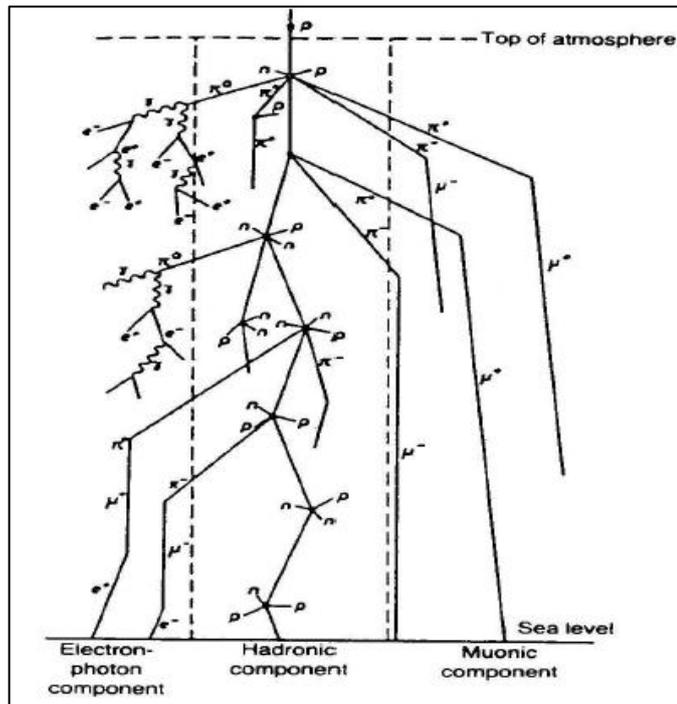


Figura 1-2: Representación esquemática de la producción de partículas en la atmósfera

Fuente: (Allkofer y Grieder, 1984, p. 3)

El número de partículas presentes en la atmósfera tanto primarias y secundarias es proporcional con la altura. A unos 20 km de altitud este número alcanza un valor máximo (máximo de Pfozter) (Allkofer y Grieder, 1984, p. 3).

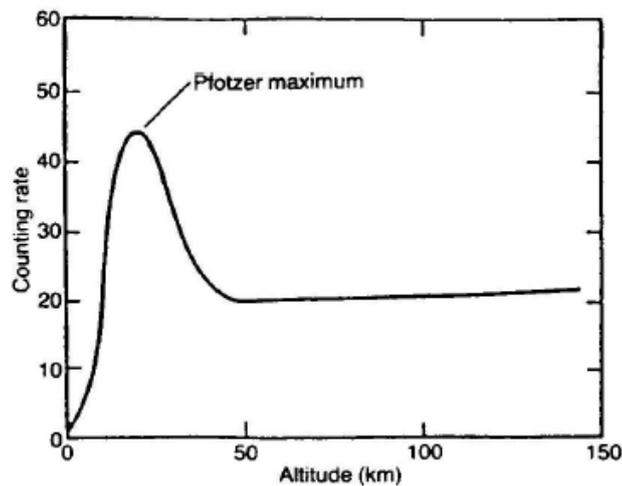


Figura 2-1: Dependencia del flujo de rayos cósmicos con la altitud

Fuente: (Allkofer y Grieder, 1984, p. 37)

Los componentes nucleónicos que se originan en las capas superiores de la atmósfera, los protones y neutrones contribuyen significativamente al incremento de la tasa de dosis absorbida, los protones y los neutrones se forman en las reacciones de espalación, pero además los

neutrones se crean por la llamada evaporación de neutrones por la reacciones de baja energía. Los neutrones pierden energía en choques elásticos siendo capturados cuando alcanzaron niveles energéticos térmicos por el ^{14}N para formar ^{14}C (Allkofer and Grieder, 1984, pp. 35–44).

En la superficie terrestre, la principal contribución a la dosis debida a radiación cósmica corresponde a la de los muones que se originan en las interacciones de los rayos cósmicos primarios con los núcleos presentes en la atmósfera, a los piones cargados de alta energía, por los electrones resultantes de la ionización de la desintegración de los muones y de los procesos de cascada (Fernández, 2010, pp. 40–45).

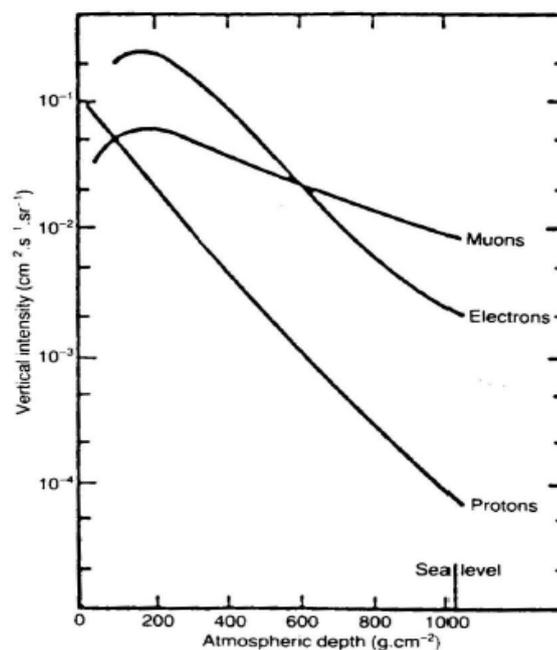


Figura 3-2: Variación con la altitud de los componentes principales de los rayos cósmicos.

Fuente: (Allkofer & Grieder, 1984, p. 40)

La cantidad relativa de protones decrece exponencialmente a medida que aumenta la profundidad atmosférica, mientras que la abundancia de electrones crece. Al nivel del mar los muones constituyen la componente de la radiación cósmica (Allkofer and Grieder, 1984, pp. 35–44).

2.1.2 Radiación Terrestre

La segunda fuente de radiación que contribuye a la radiación natural la constituyen los isótopos radiactivos presentes en la corteza terrestre. Existen alrededor de 70 isótopos radiactivos naturales, los principales materiales radiactivos que se encuentran presentes en la corteza terrestre y contribuyen en mayor medida a la dosis a la población son: el ^{40}K (vida media: 1,28 x

10^9 años), los correspondientes a las series de desintegración del ^{238}U (vida media: $4,47 \times 10^9$ años) y del ^{232}Th (vida media: $1,41 \times 10^{10}$ años). Con una menor importancia relativa en su contribución de dosis a los seres humanos de origen terrestre aparecen, el ^{87}Rb ($4,7 \times 10^{10}$ años) y el ^{235}U ($7,04 \times 10^8$ años). Estos radionúclidos tienen tiempos de vidas medias comparables a la edad de la Tierra, habiendo existido en ella desde su origen (Beer, *et al*, 2012, pp. 19–21). Los niveles de radiación terrestre, varían de un lugar a otro en razón de las respectivas concentraciones de los radionúclidos presentes en los minerales que constituyen los diferentes suelos.

2.2 Series Radiactivas Naturales

Los elementos radiactivos que están presentes desde la formación del planeta, son aquellos con vidas media comparables con la edad de la Tierra, siguen presentes en diferentes proporciones y además generan otros elementos radiactivos (Masarik, 2009, pp. 1–25).

Los elementos primordiales de origen natural, se dividen en dos grupos:

- Elementos primordiales que decaen directamente en un núclido estable (no en serie).
- Elementos primordiales que decaen en cadena siguiente con un patrón de probabilidades (serie), distinguimos la del Uranio, Actinio y Torio.

La exposición a la radiación en exteriores, es causada principalmente por Radio (^{226}Ra), Torio (^{232}Th), Potasio (^{40}K) y Radón ^{222}Rn ; debida a su presencia en la corteza terrestre (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

2.2.1 Radionúclidos no en serie

Existen dos radionúclidos primordiales que contribuyen a la dosis de radiación natural de origen terrestre son ^{40}K y ^{87}Rb , estos radionúclidos decaen directamente en un isótopo estable. El ^{40}K es el único isótopo inestable de los tres isótopos del potasio de origen natural, decae por emisión beta (β) en ^{40}Ca y por captura electrónica hacia un estado excitado del ^{40}Ar . El potasio es el séptimo elemento más abundante en la corteza de la tierra y el sexto más abundante en el océano. La contribución de dosis externa es variable debido a la concentración en rocas y suelo por lo que la actividad específica de 0,6 Bq/g corresponde a un promedio de la concentración en la tierra de $1,8 \text{ mg Kg}^{-1}$ (Froehlich, 2010, pp. 2–10). El ^{87}Rb es un isótopo del rubidio que se encuentran en la naturaleza, es un emisor beta y la concentración en las rocas (1 mg Kg^{-1}) que corresponde a la actividad específica de 0,07 Bq/g (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

Tabla 2-1: Radionúclidos no en serie

Nuclide	Relative abundance (%)	Daughter nuclide	Half-life (years)	Major radiation
⁴⁰ K	0,0118	⁴⁰ Ar, ⁴⁰ Ca	1,28 x 10 ⁹	β ⁻ (89%), EC (11%)
⁵⁰ V	0,24	⁵⁰ Ti, ⁵⁰ Cr	6,00 x 10 ¹⁵	β ⁻ (30%), EC (70%)
⁸⁷ Rb	27,85	⁸⁷ Sr	4,70 x 10 ¹⁴	β ⁻
¹¹⁵ In	96,67	¹¹⁵ Sb	1,20 x 10 ¹³	
¹²³ Te	0,87	¹²³ Sb	1,20 x 10 ¹³	
¹³⁸ La	0,089	¹³⁸ Ba, ¹³⁸ Ce	1,10 x 10 ¹¹	
¹⁴² Ce	11,7	¹³⁸ Ba	5,00 x 10 ¹⁵	
¹⁴⁴ Nd	23,8	¹⁴⁰ Ce	2,40 x 10 ¹⁵	
¹⁴⁷ Sm	15,1	¹⁴³ Nd	1,06 x 10 ¹¹	
¹⁴⁸ Sm	11,35	¹⁴⁴ Nd	1,20 x 10 ¹³	
¹⁴⁹ Sm	14,0	¹⁴⁵ Nd	4,00 x 10 ¹⁴	
¹⁵² Gd	0,205	¹⁴⁸ Sm	1,10 x 10 ¹⁴	
¹⁵⁶ Dy	0,057	¹⁵² Gd	2,00 x 10 ¹⁴	
¹⁷⁴ Hf	0,163	¹⁷⁰ Yb	4,30 x 10 ¹⁵	
¹⁷⁶ Lu	2,588	¹⁷⁶ Hf	2,20 x 10 ¹⁰	
¹⁸⁷ Re	62,93	¹⁸⁷ Os	4,00 x 10 ¹⁰	
¹⁹⁰ Pt	0,0127	¹⁸⁶ Os	7,00 x 10 ¹¹	
²⁰⁴ Pb	1,4	²⁰⁰ Hg	1,40 x 10 ¹⁷	

Fuente: (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

2.2.2 Radionúclidos en serie

Las series del ²³⁸U, ²³²Th y ²³⁵U tienen un periodo de semidesintegración del orden de magnitud que la edad de la tierra. El uranio natural que se encuentra en la tierra se compone por cuatro isotopos los cuales son: ²³⁰U, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁸U, siendo el de mayor abundancia el ²³⁸U, el periodo de semidesintegración corresponde a 4,4638x10⁹ años, se encuentra en todo tipo de rocas y terrenos de igual manera sus descendientes. El ²²²Rn es un descendiente radiactivo que en condiciones normales es un gas, se encuentra mezclado con los gases de la atmósfera (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

El ²³²Th tiene un periodo de semidesintegración de 1,405x10¹⁰ años, uno de sus descendientes radiactivos es el ²²⁰Rn también conocido como Torón que en condiciones normales es un gas de forma análoga al radón. El ²³⁵U presenta un periodo de semidesintegración de 7,037x10⁸ años,

uno de los componentes de la serie es el ^{219}Rn , que en condiciones normales, tal como ocurre en las series del ^{235}U y ^{232}Th es un gas y puede difundirse a la atmósfera (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

Las series del ^{238}U , ^{232}Th y ^{235}U disponen de descendientes emisores de radiación alfa, beta y gamma y contribuyen a campos de radiación externa e interna. El último componente de las tres series radiactivas es el plomo estable, con un periodo de semidesintegración superior a 10^{18} años (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

Tabla 3-2: Radionúclidos en serie

Nuclide	Half-life	Radiation	Nuclide	Half-life	Radiation
Uranium Series			Thorium series		
^{238}U	$4,5 \times 10^9$ years	α, γ	^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ years	α, γ
^{234}Th	24 days	β, γ	^{228}Ra	6,7 years	B
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1,2 min	β, γ	^{228}Ac	6,13 h	β, γ
^{234}U	$2,5 \times 10^5$ years	α, γ	^{228}Th	1,19 years	α, γ
^{230}Th	$8,0 \times 10^4$ years	α, γ	^{224}Ra	3,64 days	α, γ
^{226}Ra	1,622 years	α, γ	^{220}Rn	55 s	α, γ
^{222}Rn	3,8 days	α, γ	^{216}Po	0,16 s	A
^{218}Po	3,05 min	A	^{212}Pb	10,6 h	β, γ
^{214}Pb	26,8 min	β, γ	^{212}Bi	60,5 min	β, α, γ
^{218}At	1,5-2,0 s	A	^{212}Po	$3,04 \times 10^{-7}$ s	A
^{214}Bi	19,7 min	β, α	^{208}Tl	3,1 min	β, γ
^{214}Po	$1,64 \times 10^{-4}$ s	α, γ	^{208}Pb	Stable	
^{210}Tl	1,3 min	β, γ			
^{210}Pb	22 years	β, γ			
^{210}Bi	5,0 days	β, α			
^{210}Po	138 days	α, γ			
^{206}Tl	4,2 min	B			
^{206}Pb	Stable				
Actinium series			Neptunium series		
^{235}U	$7,1 \times 10^8$ years	α, γ	^{241}Pu	14,35 years	β, α, γ
^{231}Th	25,64 h	β, γ	^{237}Np	$2,144 \times 10^6$ years	α, γ
^{231}Pa	$3,25 \times 10^{14}$ years	α, γ	^{233}Pa	26,967 days	β, γ
^{227}Ac	21,6 years	β, α, γ	^{233}U	$1,592 \times 10^5$ years	α, γ
^{227}Th	182 days	α, γ	^{229}Th	7,300 years	α, γ
^{223}Fr	22 min	β, α, γ	^{225}Ra	14,9 days	β, γ
^{223}Ra	11,4 days	α, γ	^{225}Ac	10 days	α, γ
^{210}Rn	4,0 s	α, γ	^{221}Fr	4,9 min	α, γ

²¹⁵ Po	1,77 x 10 ⁻³ s	α, β	²¹⁷ Ac	6,9 x 10 ⁻⁸ s	α, γ
²¹¹ Pb	36,1 min	β, γ	²¹³ Bi	2,5 x 10 ⁻² s	β, α, γ
²¹⁵ At	~10 ⁻⁴ s	A	²¹³ Po	4,2 x 10 ⁻⁶ s	α, γ
²¹¹ Bi	2,16 min	α, β, γ	²⁰⁹ Tl	2,20 min	β, γ
²¹¹ Po	0,52 s	α, γ	²⁰⁹ Pb	3,253 h	B
²⁰⁷ Tl	4,79 min	β, γ	²⁰⁹ Bi	Almost stable	
²⁰⁷ Pb	Stable	-			

Fuente: (Froehlich, 2010, pp. 2–10).

2.3 Tipos de Radiaciones Ionizantes

La radiactividad es un fenómeno presente desde el inicio del Universo se da por radionúclidos inestables denominados “padres” tienden a desintegrarse emitiendo energía y/o partículas dando origen a un radionúclidos “hijos” distinto al original. La radiación emitida puede interactuar con el entorno, cediendo parte de la energía y provocando ionizaciones de átomos. Existe los siguientes tipos de radiación: partículas alfa, partículas beta y radiación gamma (Jiménez, 2010, p. 22) .

2.3.1 Partículas Alfa

Las partículas alfa (núcleos de He totalmente ionizados) tienen bajo poder de penetración, alto poder de ionización y no puede recorrer más de un par de centímetros en el aire. La energía de las partículas alfa emitidas por los radionúclidos naturales, se extiende entre unos 2 MeV y unos 9 MeV (Jiménez, 2010, p. 22) .

El problema para la salud radica principalmente en la ingestión o inhalación de sustancias que emitan partículas alfa, que puedan generar un gran daño en una región focalizada de los tejidos (Jorba y Ortega, 1996, p. 76).

2.3.2 Partículas Beta

Las partículas beta (electrón y positrones que salen despedidos a gran velocidad de un suceso radiactivo) debido a su menor masa producen menor energía, por lo tanto tienen menor poder de ionización que las partículas alfa pero con mayor poder de penetración. Se detienen en algunos metros de aire o unos centímetros en el agua y puede ser frenado por una lámina de aluminio o un cristal de una ventana. Las partículas beta no son monoenergéticas su emisión varía desde el orden del keV hasta algunos MeV (Jiménez, 2010, pp. 22-25).

Puede dañar la piel, los tejidos superficiales y si por la ingestión o inhalación de sustancias emisoras beta ingresan al cuerpo irradiarían los tejidos internos (Jorba y Ortega, 1996, p. 76).

2.3.3 Radiación Gamma

La radiación gamma (fotones con alta energía de origen nuclear) presenta un poder de ionización relativamente bajo y una capacidad de penetración alta, para detenerla se utiliza barreras de materiales densos como el plomo y el hormigón. La energía de la radiación gamma se extiende de entre 0.1 a 10 MeV (Jiménez, 2010, pp. 22-25), puede ocasionar daños en la piel y en los tejidos más profundos (Jorba y Ortega, 1996, p. 76).

2.4 Magnitudes Físicas que Caracterizan el Decaimiento Radiactivo

2.4.1 Actividad

La actividad de un radionúclido se define como el número de transiciones nucleares espontáneas que suceden desde el nivel energético por unidad de tiempo. El cambio en el número de núcleos ΔN está relacionado con el número de núcleos N y del tiempo Δt , esta expresado matemáticamente por la ecuación (Attix, 1986, pp. 102–105) .

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \quad (1)$$

Donde λ es la constante de desintegración nuclear, depende del tipo de isótopo radiactivo que se está desintegrando y del tipo de partícula que está emitiendo (Attix, 1986, pp. 102–105). El signo negativo en $-\lambda N \Delta t$, indica disminución en el número de núcleos en el tiempo y para tiempos infinitesimales pequeños esta ecuación se puede escribir como:

$$dN/N = -\lambda dt \quad (2)$$

Resolviendo la ecuación diferencial se obtiene:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Donde N es el número de núcleos presentes en un tiempo t .

Dado que la actividad de una muestra es la tasa de cambio de N en el tiempo, la actividad A de una muestra se define por:

$$A = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| = \left| \frac{dN}{dt} \right| = |-\lambda N| = \lambda N \quad (4)$$

La actividad es proporcional al número de núcleos radiactivos presentes y a la constante de desintegración λ y disminuye en el tiempo de forma exponencial:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Donde:

A: es la actividad de la muestra en el tiempo t.

A_0 : es la actividad inicial de la muestra.

λ : es la constante radiactiva

La unidad de actividad en el Sistema Internacional (SI) es el Bequerelio. 1Bq=1dps (desintegración por segundo) (Attix, 1986, pp. 102–105). La unidad antigua es el Curie (Ci) que corresponde muy aproximadamente a la actividad de un gramo de ^{226}Ra , la relación con el Bequerelio es:

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{Bq} \quad (6)$$

$$1\text{Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{Ci} \quad (7)$$

2.4.2 Período de semidesintegración

El período de semidesintegración se define como el intervalo de tiempo necesario para que la actividad de la muestra se reduzca a la mitad. Los valores del periodo de semidesintegración al igual que los de la constante radiactiva son característicos de cada isotopo (Torres, 2002, pp. 8–9).

La expresión que relaciona la constante con el periodo de semidesintegración (T) es:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (8)$$

Donde:

$T_{1/2}$: Periodo de semidesintegración.

λ : Constante de semidesintegración.

2.5 Magnitudes Dosimétricas

2.5.1 Dosis Absorbida

La dosis absorbida está definida como el promedio estadístico de la energía impartida por unidad de masa en un punto. La dosis absorbida está dada por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (9)$$

Donde $d\varepsilon$ es la media energía impartida a la materia en un volumen infinitesimal dV en un punto de interés en un material de densidad δ durante un determinado periodo de tiempo por radiación ionizante y dm es la masa en un volumen Dv (ICRP, 2007, pp. 54–60).

A pesar de que D es una cantidad puntual, se debe reconocer que el proceso físico no permite dm aproximarse a cero en el sentido matemático. La unidad de dosis es el gray (Gy), y un gray es el equivalente para 1 J/Kg. Para ilustrar la naturaleza de la energía de absorción cuando esta relaciona radiación ionizante, puede ser de interés comparar que una energía de absorción de 280 J en una persona de 70 Kg da un promedio de dosis absorbida en todo el cuerpo de 4 Gy (ICRP, 2007, pp. 54–60).

2.5.2 Dosis Equivalente

Para especificar los límites de exposición son empleadas las magnitudes de protección, para garantizar que la incidencia de efectos estocásticos a la salud se mantiene por debajo de niveles inaceptables. La dosis equivalente en un órgano o tejido, H_T está entonces definida por:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (10)$$

Donde w_R es el factor de ponderación de la radiación para la radiación R.

$D_{T,R}$ es la dosis absorbida promedio en el volumen de un órgano o tejido específico T debida a la radiación de tipo R. La suma se realiza para todos los tipos de radiaciones involucrados. La unidad de dosis equivalente es el J kg⁻¹ y tiene como nombre especial el sievert (Sv) (ICRP, 2007, pp. 54–60).

Tabla 4-2: Factores de ponderación de la radiación recomendada

Tipo de radiación	Factor de ponderación de la radiación w_R
Fotones	1
Electrones y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa, Fragmentos de fisión, Iones pesados	20
Neutrones	Una función continua de la energía del neutrón

Fuente: (ICRP, 2007, pp. 54–60).

2.5.3 Dosis Efectiva

La dosis efectiva está definida como la suma ponderada de las dosis equivalentes a los tejidos:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (11)$$

Donde w_T es el factor de ponderación para el tejido T y $\sum w_T = 1$. La suma se realiza sobre todos los órganos y tejidos del cuerpo humano considerados sensibles a la inducción de efectos estocásticos. Estos valores del w_T se escogen para representar las contribuciones de órganos individuales y de tejidos al detrimento total de la radiación para efectos estocásticos. La unidad de dosis efectiva es $J\ kg^{-1}$ con el nombre especial de sievert (Sv). La unidad es la misma para la dosis equivalente y la dosis efectiva, así como para algunas las magnitudes de dosis operacionales (ICRP, 2007, pp. 54–60).

Tabla 5-2: Factores de ponderación de los tejidos recomendados

Tejido	w_T	$\sum w_T$
Medula ósea, colon, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos *	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0,04	0,16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
	Total	1,00
* Resto de los Tejidos: Adrenales, región extra torácica (ET), vesícula, corazón, riñones,		

nódulos linfáticos, músculo, mucosa oral, páncreas, próstata, intestino delgado, bazo, timo, útero/cérvix

Fuente: (ICRP, 2007, pp. 54–60).

2.5.4 Exposición

La exposición está definida como la razón entre el valor de la carga total dQ generada en aire cuando todos los electrones liberados por fotones, en un volumen infinitesimal de masa dm , son frenados completamente en el aire (ICRP, 2007, pp. 54–60). De esta manera, la exposición X está relacionada como:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (12)$$

La unidad de la exposición es el Roentgen, el cual equivale a $1R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$.

La tasa de exposición \dot{X} en un instante t define la variación temporal de la exposición durante periodos extensos de irradiación, definida por:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dm} \quad (13)$$

2.6 Detectores de Radiación

Los detectores de radiación son aparatos para detectar, medir y analizar las radiaciones ionizantes a fin de prevenir sus posibles efectos perjudiciales y poder, en cambio, sacar ventaja de sus múltiples aplicaciones. Los detectores “activos” son aquellos que necesitan un sistema electrónico de lectura en funcionamiento mientras es irradiado para obtener la señal. Consideraremos como detectores “pasivo” a aquel que puede ser utilizado sin necesidad de registro electrónico durante el proceso de irradiación (Gallego, 2003, pp. 8–10).

Se puede clasificar a los detectores dependiendo en el tipo de respuesta: si la señal que ofrecen es el resultado de integrar todos los efectos de múltiples interacciones individuales (“integradores”) o bien detectores que funcionan en base a las interacciones de una sola partícula individual (“contadores”) (Benes & Carrera, 2008, pp. 78–89). Los detectores son instrumentos útiles para la medida de radiactividad ambiental o de contaminación radiactiva. La mayoría de estos medidores de radiación ionizante se basan en alguno de estos fenómenos: ionización de gases, excitación por luminiscencia (Knoll, 2010a, p. 105).

2.6.1 *Detector Geiger Müller*

Es un uno de los primeros detectores de radiación ionizante fabricado en 1928, en un principio únicamente detectaba radiación alfa, pero actualmente puede detectar los demás tipos de radiación. Puede medir la presencia de radiación en personas, objetos y lugares (Knoll, 2010b, pp. 207–208).

El detector Geiger Müller consiste en un cilindro metálico que dispone de una pequeña ventanilla de plástico para dejar pasar las radiaciones. Dicho cilindro contiene argón a presión reducida, y por su eje longitudinal pasa una pequeña varilla metálica que sirve de electrodo positivo. El tubo metálico exterior actúa como electrodo negativo (Arias y Uribe, 2007, pp. 1–3) .

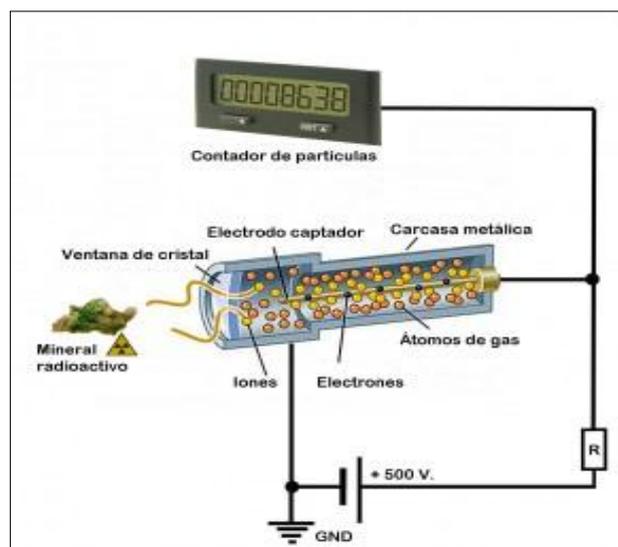


Figura 4-2: Detector Geiger Müller

Fuente: (Arias y Uribe, 2007, pp. 1–3)

En los electrodos se mantiene una diferencia de potencial mediante una fuente de alta voltaje. Cuando una partícula de radiación ionizante entra al tubo a través de la ventanilla, se forman algunos pares iónicos a partir de los átomos de argón. Los electrones resultantes de la ionización son atraídos hacia el electrodo positivo, estos al moverse producen una ionización adicional de los átomos de argón, provocando que más electrones se desprenden y se mueven hacia el electrodo, esto equivale a una pequeña corriente eléctrica que pasa a través del tubo, dicha corriente se lleva a un dispositivo que la amplifica y la identifica por medio de un ruido especial. Permitiendo que cada vez que entra una partícula en el tubo y origina una avalancha de

electrones, el dispositivo contador registra el suceso. Mientras más partículas de radiación penetren, mayor será la corriente producida y más continua el ruido (Arias y Uribe, 2007, pp. 1–3) .

La señal de salida de un contador Geiger consiste en los electrones recogidos de los muchos procesos de avalancha. La señal como se ha dicho, es del orden de 1 V, por lo que no se requiere en general una amplificación adicional. El tiempo de recogida es del orden de 10^{-6} s, tiempo durante el cual los iones positivos no se mueven lejos de la región de la avalancha. Por tanto, alrededor del ánodo queda una nube de iones cargados positivamente que reduce la intensidad del campo eléctrico que finalmente finaliza el proceso de avalancha. El ciclo será completado después de que los iones positivos hayan alcanzado el ánodo y hayan sido neutralizados (lo que lleva 10^{-4} - 10^{-3} s) (Knoll, 2010a, pp. 207–208).

2.7 Provincia de Tungurahua

La provincia de Tungurahua se encuentra ubicada en el centro de la Sierra Ecuatoriana, su capital es Ambato. Posee una superficie de 3334 kilómetros cuadrados y se encuentra a escala de altitud comprendida desde 1200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y 5400 m.s.n.m. En extensión territorial es la provincia más pequeña del Ecuador representando el 1,24% de la superficie nacional y una densidad poblacional de 134,9 Hab./Km², siendo una de las más altas del país. Tungurahua se encuentra ubicado en los hemisferios Sur y Occidental, está comprendida entre los paralelos 00°55'00"S y 01°35'00" y los meridianos 78°06'51" y 78°55'49". Esta limita al norte con las provincias de Cotopaxi y Napo, al sur con Chimborazo y Morona Santiago, al este Pastaza y Napo y al oeste con las provincias de Cotopaxi y Bolívar. La provincia de Tungurahua está conformada por 9 cantones con 63 parroquias, 19 parroquias urbanas y 44 parroquias rurales, los cantones son: Ambato, Baños, Cevallos, Mocha, Patate, Quero, San Pedro de Pelileo, Santiago de Píllaro y Tisaleo (EcuRed, 2011)

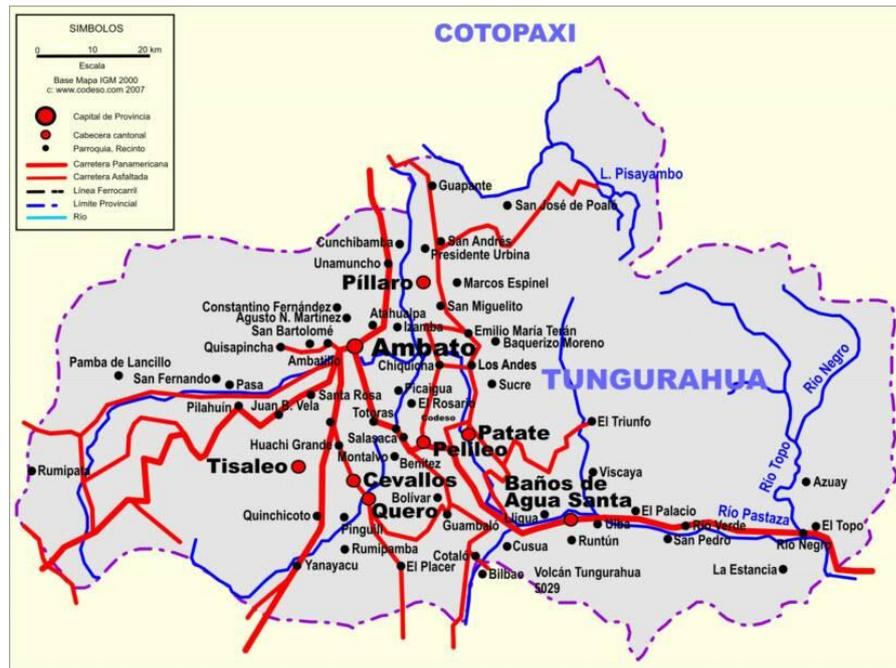


Figura 5-2: Mapa territorial de Tungurahua
 Fuente: (EcuRed, 2011)

2.7.1 Cantones de la Provincia de Tungurahua

2.7.1.1 Cantón Ambato

El cantón Ambato es la capital de la provincia de Tungurahua tiene una superficie de 1016,454 km² que equivale al 29,94% de la extensión de la provincia de Tungurahua con una población de 125000 habitantes, está ubicada a 78°37'11"O de longitud y 1° 13' 28"S de latitud, se encuentra a una altitud comprendido entre la escala de 2240 m.s.n.m y 5400 m.s.n.m. Su clima es templado debido a que se ubica en un estrecho valle andino con una temperatura desde los 14 a los 19 °C. Limitado al norte la provincia de Cotopaxi, al sur provincia de Chimborazo, al este los cantones Pillaro y Pelileo y al oeste provincia de Bolívar. El cantón se divide en 10 parroquias urbanas y 18 parroquias rurales representadas cada una por las Juntas Parroquiales (GADM Ambato, 2015, pp. 3–7)

2.7.1.2 Cantón Pelileo

El cantón Pelileo está ubicado al suroccidente de la Provincia de Tungurahua a 19,7 Km de distancia de Ambato, su extensión territorial es de 202,4 Km². La altitud promedio cantonal es de 2900 m.s.n.m el punto más alto es del cerro Teligote con 4700 m.s.n.m y el punto más bajo es el valle de Chiquilla con 1920 m.s.n.m. El clima del cantón es seminublado- lluvioso, con una temperatura de 18 °C a 22° C con una precipitación entre 500 a 1000 mm/año, el suelo es

areno- arcilloso en zonas altas con gran capacidad de retención de agua. Se encuentra dividida en 8 parroquias rurales García Moreno, Benítez, Cotaló, Huamboló, Salasaca, El Rosario, Bolívar y Chiquicha y 2 urbanas: La Matriz y Pelileo Grande (GADMPelileo, 2014, pp. 20–26).

2.7.1.3 Cantón Baños

El cantón Baños de Agua Santa se encuentra a 35 Km de Ambato, es una ciudad turística que está ubicada en un valle con cascadas y aguas termales a lado del volcán Tungurahua, tiene una superficie de 1065 km², con una población de 20000 habitantes. La altitud de este cantón va desde 1200 a 5000 m.s.n.m, posee una temperatura promedio de 20°C. Limitado al norte con la provincia de Napo, al sur con las provincias de Chimborazo y Morona Santiago, al este con las provincia de Pastaza y al oeste con los cantones de Patate y Pelileo. Su división política es de una parroquia urbana Baños de agua Santa y 4 parroquias rurales que son: Lligua, Rio Negro, Ulba, Rio Verde (GADMBaños, 2014, pp. 19-23) .

2.7.1.4 Cantón Mocha

El cantón Mocha está al sureste del cantón Ambato, con una superficie de 82,3Km², tiene una población de 6371 habitantes, se encuentra a una altitud desde 2920 m.s.n.m a 5000 m.s.n.m, esto es una de las razones para que este cantón tenga características climáticas distintas en la zonas más altas encontramos a los páramos con temperatura por debajo de 10°C. Se encuentra limitada al norte y este por los cantones Tisaleo, Cevallos y Quero, al sur con la provincia de Chimborazo y al oeste por el cantón Ambato. Su división política es en dos parroquias La Matriz y Pinguili Santo Domingo (Mocha, 2010, pp. 19–21).

2.7.1.5 Cantón Tisaleo

El cantón Tisaleo se encuentra ubicado en el sector Sur Occidental de la provincia de Tungurahua a 15 Km al sur de la ciudad de Ambato, su superficie aproximada es de 59,90 km² con una población de 13289 habitantes, la altitud es de 2920 m.s.n.m a 4720 m.s.n.m. Limitado al norte el cantón Ambato, al sur el cantón Mocha, al este el cantón Ambato, Cevallos y Mocha y al oeste con una bifurcación entre los cantones Ambato y Mocha. Está dividido en dos parroquias en una urbana que es la cabecera cantonal Tisaleo y una parroquia rural Quinchicoto que se encuentra en el extremo sureste del territorio del cantón (GADM-Tisaleo 2014, pp. 10–13).

2.7.1.6 Cantón Quero

El cantón Quero se localiza a 18,5 Km al suroeste de Ambato, tiene una superficie de 174 Km², se encuentra a una altitud de entre los 2600 m.s.n.m en la confluencia de la Quebrada Masacho con el río Quero hasta los 4400 m.s.n.m sobre la cumbre del monte Igualata. El clima del cantón corresponde al ecuatorial mesotérmico semihúmedo, el periodo de precipitaciones más importantes está comprendido entre los meses de Febrero y Julio (59 a 69 mm/mes) y temperaturas que fluctúan entre los 13 y 16 °C. Los meses con menor precipitación comprenden entre Agosto y Enero en promedio 35 mm/mes y con temperatura que fluctúan entre 11 y 13°C, la precipitación media anual es de 606 mm. La temperatura disminuye con la altitud así 13°C en Puñachisag, 6°C en la cumbre del Mul Mul, con variaciones importante de temperatura diaria. Su división política corresponde en una parroquia urbana, La Matriz y dos parroquias rurales Rumipamba y Yanayacu (GADM-Quero 2011, pp. 2–5).

2.7.1.7 Cantón Pillaro

El Cantón Santiago de Pillaro se encuentra ubicado al Noreste de la Provincia de Tungurahua a 12 Km de la ciudad de Ambato, tiene una extensión de 443,1 Km², se encuentra a 1°10' de latitud Sur y a 78°32' de longitud Occidental, su altitud se encuentra a escala de 2240 m.s.n.m a 4280 m.s.n.m. Se encuentra dividida con dos parroquias urbanas La Matriz y Ciudad Nueva y siete parroquias rurales que son: Baquerizo Moreno, Emilio María Terán, Marcos Espinel, Presidente Urbina, San Andrés, San José de Poaló, San Miguelito (GADM-Pillaro, 2014, pp. 5–9).

2.7.1.8 Cantón Patate

El cantón Patate está ubicado al sureste de la ciudad de Ambato, su extensión territorial es 300,50 Km², su población es de 11771 habitantes, se encuentra a una altitud de 1880 m.s.n.m a 4320 m.s.n.m. Su clima es templado seco, con una temperatura media anual es de 11 y 23°C. Limitado al norte por el cantón Pillaro y la provincia de Napo; al sur el cantón Pelileo y Baños; al este el cantón Baños y al oeste el cantón Pelileo (Correa y Granda, 2013, pp. 19–21).

2.7.1.9 Cantón Cevallos

El cantón Cevallos está ubicado en el sector centro- sur de la provincia de Tungurahua a 14 Km al Sur- Oriente de la ciudad de Ambato, su extensión territorial es de 18,78 Km², su altitud se encuentra entre la escala de 2640 m.s.n.m a 340 m,s.n.m y su población es de 8163 habitantes. Limita al norte Ambato, al este Tisaleo y Mocha, al sur Mocha Quero, al oeste Pelileo. El clima

es templado con un promedio de 13 a 16 °C en los meses de Mayo y Agosto, disminuye la temperatura en los meses de Octubre y Noviembre. El suelo es arenoso, derivado de materiales piroclásticos poco meteorizados con baja retención de humedad, es pobre en material orgánica, seco y con riesgo de stress hídrico por el difícil de agua de riego. Las laderas de la parte baja son áreas muy secas cuyas pendientes varían entre 5 a 50%, de textura arenosa (GADM-Cevallos, 2011, pp. 5–9).

2.8 Hipótesis

La variación de altitud que existe en la geografía de la provincia de Tungurahua provoca una variación en la concentración de radiación natural.

2.8.1 Operacionalización de Variables

Tabla 6-2: Descripción de las variables dependientes e independientes

Variable independiente	Definición conceptual	Indicador	Índice
Altitud	Es la distancia vertical a un origen determinado, considerado como nivel cero, para el que se suele tomar el nivel medio del mar. Para expresar la altitud frecuentemente se utiliza la cifra en metros seguida del símbolo m y es decir, m s. n. m. (metros sobre el nivel del mar).	Sistema de posicionamiento geográfico	Metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
Variable dependiente	Definición conceptual	Indicador	Índice
Radiación natural	La radiación natural al aire libre es la radiación ionizante proveniente del cosmos y de la corteza terrestre.	Tasa de Dosis Equivalente	Cuentas/s, mSv/año

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F. 2017

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo transversal correlacional-causal ya que se estudió por primera vez la radiación natural que recibe la provincia de Tungurahua. Esta investigación permitió identificar si la población recibe una dosis dentro de los límites recomendados por los organismos internacionales de control. Además es de tipo correlacional ya que se estudió la correlación entre la altitud de la provincia de Tungurahua y la radiación natural del lugar. Es considerada de tipo no experimental ya que la variable independiente (altitud) no es manipulable, es decir, está dada y manifestada en la naturaleza.

3.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis de este trabajo de investigación es el territorio bajo estudio, específicamente las 19 parroquias urbanas y 44 parroquias rurales de la provincia de Tungurahua, las cuales fueron individualizadas según las coordenadas geográficas y la altitud. La variable observable es la cantidad de radiación natural recibida y la descripción es la dosis recibida por la población en la provincia de Tungurahua debida a la radiación natural.

3.3 Población de estudio

La población bajo estudio es el territorio perteneciente a la provincia de Tungurahua. Está ubicada en los hemisferios Sur y Occidental del planeta, comprendida entre los paralelos 00°55'00"S y 01°35'00" y los meridianos 78°06'51" y 78°55'49". Se caracteriza por tener valles a 1200 m.s.n.m y elevaciones de hasta 5400 m.s.n.m.

3.4 Tamaño de la muestra

Debido a la escala de altitud de la provincia de Tungurahua se obtuvieron 80 puntos de muestreo, para lo cual se tomaron 5 medidas de radiación al aire libre, obteniendo un total de 400 medidas de radiación natural en la provincia de Tungurahua.

3.5 Equipos y materiales usados para la toma de datos en la provincia de Tungurahua

3.5.1 Digital Counter “Geiger-Müller modelo GCA-07W”

El contador Geiger Müller modelo GCA-07W es un instrumento portátil que tiene la capacidad de detectar radiación ionizante, con la ayuda de una sonda externa en donde se encuentra ubicado el tubo Geiger Müller, el cual contiene un gas noble (argón). En la tabla 1 se muestra las especificaciones técnicas que rigen al contador modelo GCA-07W.



Figura 1-3: Digital Counter “Geiger-Müller modelo GCA-07W”

Fuente: (Images, 2007)

3.5.2 Especificaciones Técnicas

Tabla 1-3: Especificaciones técnicas del contador Geiger Müller modelo GCA-07W

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CARACTERÍSTICA
Certificación NRC	El certificado NRC certifica que la radiación de la lectura del contador Geiger es exacta.
Sensibilidad del detector	Detecta partículas alfa por encima de 3 MeV de energía. La radiación beta por encima de 50 KeV; X-Ray y radiación Gamma por encima de 7 KeV
Resolución y rango de radiación	En mediciones imperiales: 0.001 mR/hr

	resolución -1000 mR/hr Rango En mediciones métricas: 0.01 uSv/hr resolución - 10 mSv/hr Rango
Resolución y gama de comparación	1 Cuentas por minuto (CPM) - 10000 Cuentas por segundo (CPS)

Fuente: (Images, 2007)

Para la presente investigación se utilizó una variedad de equipos y materiales los cuales serán mencionados en la tabla a continuación:

Tabla 2-3: Descripción de equipos y materiales

EQUIPO	MARCA	CARACTERÍSTICAS
GPS	MEGALLEN	Portátil
Computador 1	Toshiba Core i7	Portátil
Computador 2	Samsung Core i3	Portátil
MATERIALES	CARACTERÍSTICAS	
Ficha técnica	Papel bond, tamaño A4	
Trípode	Madera, 1.30 m de altura	
Papel aluminio	Papel de cocina	
SOTWARES INFORMÁTICOS	CARACTERÍSTICAS	
ArcGis	Elaboración de mapa	
Excel/ R	Graficar los datos/ Análisis de datos	

Realizado por: Fiallos F, Carrillo M, 2017

3.5.3 Equipos y software

El GPS fue utilizado para establecer la georreferencia en sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) de los puntos, en donde se tomó la medida de radiación natural en la provincia de Tungurahua con una precisión de 3 metros multidireccional. Para el uso del software del GPS, se utilizó un computador Samsung que fue aprovechado para guardar la altitud y la georreferencia, mientras que el computador Toshiba sirvió para la construcción del mapa de ubicación de los puntos muestrales, y el para el mapa de los niveles de radiación de la provincia de Tungurahua mediante el software ArcGis que es un software informático en su versión 10.1, el cual se utilizó para elaborar el mapa de ubicación de los puntos de muestreo, y para realizar el mapa que evidencie los puntos más altos y bajos de radiación natural que existen en la provincia de Tungurahua; y el programa Excel en su versión 16.0.65, permitió realizar las gráficas comparativas de los datos, mientras que R en su última versión se usó con la finalidad

de analizar y procesar los datos obtenidos de radiación natural de la provincia de Tungurahua, ya que al ser una aplicación de hojas de cálculo permite realizar el análisis de datos automáticamente. Ambas computadoras fueron utilizadas para el almacenamiento de datos y la ejecución del trabajo de titulación.

3.5.4 *Ficha técnica*

La ficha técnica fue de elaboración personal, la cual sirvió principalmente como un respaldo de los datos que se tomaron, cuenta con el promedio tanto de cuentas por minuto (CPM) y de la dosis equivalente (H_T) con sus respectivos intervalos. Además esta ficha técnica cuenta con parámetros tales como: clima, coordenadas geográficas, altitud, hora y observaciones generales las cuales ayudaron a una mejor interpretación de los resultados. Ver Anexo A

3.5.5 *Trípode*

A través de un trípode de elaboración personal se estableció la altura estándar entre suelo a la sonda del detector de 1 m, para las medidas de radiación natural, en donde la altura del trípode fue de 1,20 m. Ver Anexo B

3.6 Técnicas de recolección de datos

3.6.1 *Determinación de puntos muestrales*

Para la determinación de puntos muestrales en la provincia de Tungurahua se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado, éste clasifica la población en estratos (grupos) asegurándose que todos los estratos de interés queden correctamente almacenados, dividiendo a la provincia de Tungurahua en 40 estratos, en cada grupo se tomó 2 puntos aleatoriamente; cada estrato se tomó intervalos de altitud cada 100 m.s.n.m, no se consideró intervalos de altitud en una sola ubicación (cantón), por ejemplo el cantón Ambato cuenta con varias altitudes, en donde se consideraron las que no se encontraban en los demás cantones, se procedió a hacerlo de esta manera con la intención de cubrir toda la extensión de la provincia.

3.6.2 *Elaboración de mapa de puntos muestrales*

Se elaboró un mapa de puntos muestrales con la ayuda de un sistema informático geográfico conocido como “ArcGis” en su versión 10.1. Es un software abierto con varias multiplataformas

que se encuentra disponible para varios sistemas operativos tales como: Linux, Mac, Windows y Unix.

Para ubicar los puntos en ArcGis se necesitó de una capa ráster, la cual ayudó a conocer de mejor manera las diferentes elevaciones de terreno con la que cuenta la provincia de Tungurahua, la capa se descargó de la página del Instituto Nacional de Estadística y Censos (www.inec.gob.ec).

Una vez descargada la capa ráster (Tungurahua.shp) se cargó en ArcGis para ubicar los puntos escogidos, por otro lado se creó un archivo de texto (.csv) en el cual se definió las coordenadas de los puntos muestrales. Una vez cargado el archivo de texto (.csv) en ArcGis como una capa de texto, ésta fue transformada a una capa .shp en el cual se colaron los 80 puntos de medida de radiación natural de la provincia de Tungurahua.

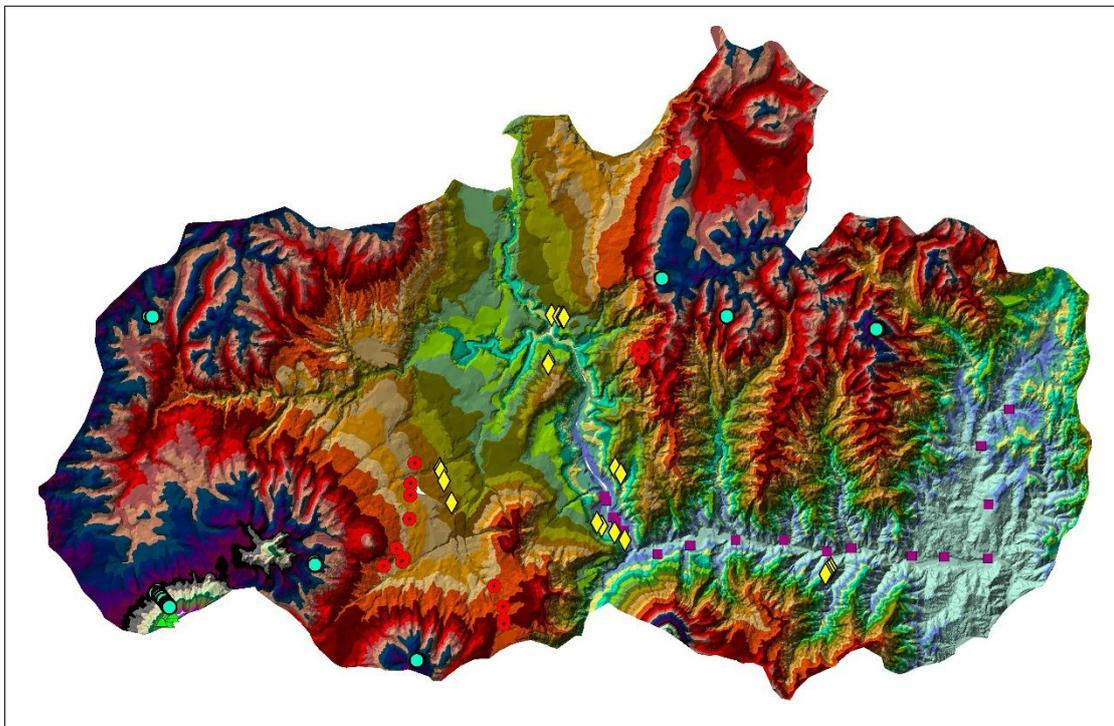


Gráfico 1-3: Mapa tentativo de puntos muestrales
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017

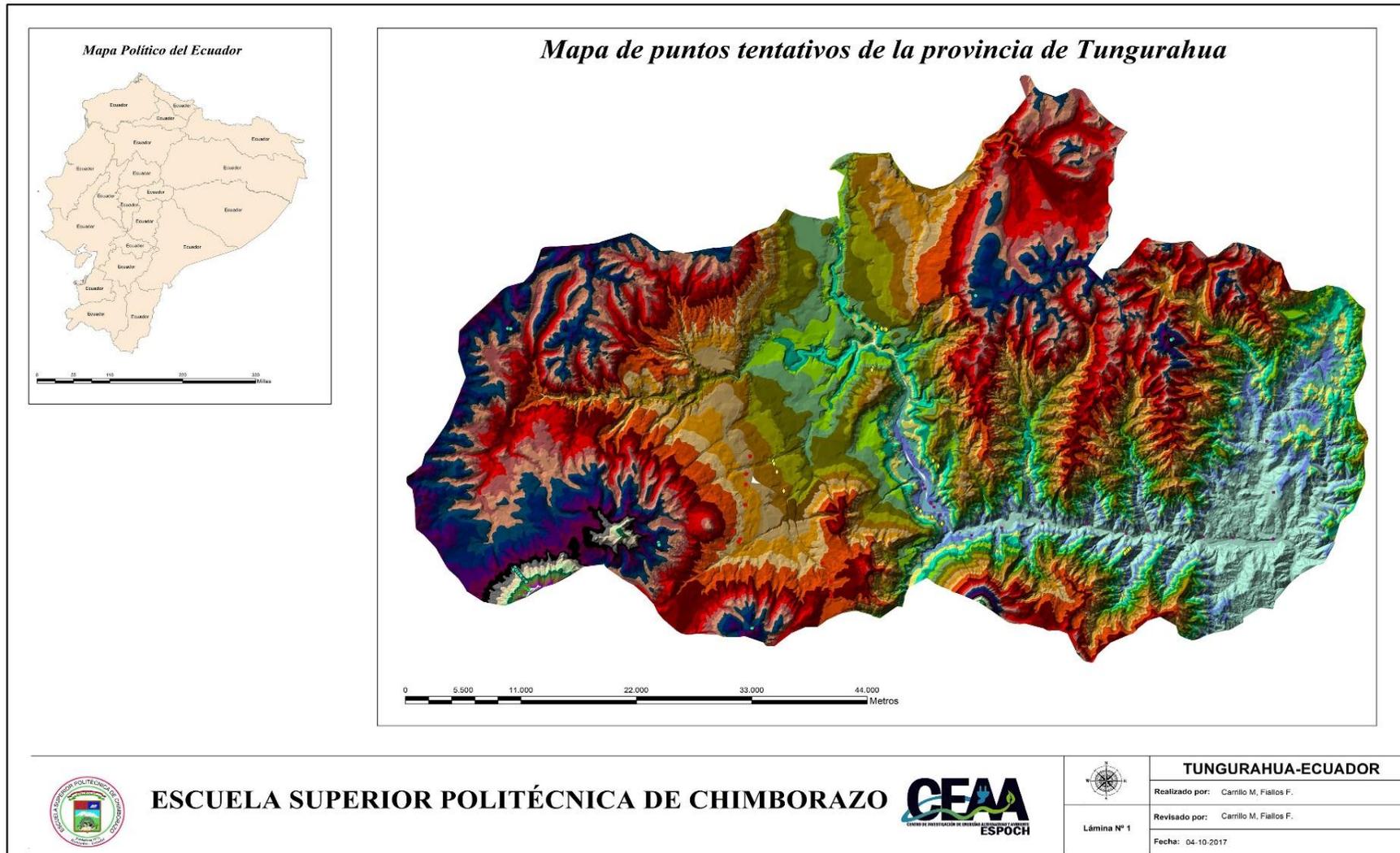


Gráfico 2-3: Mapa formato “Template” de puntos tentativos muestrales
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017

3.6.3 Medición de la radiación natural de la provincia de Tungurahua

3.6.3.1 Rutas de puntos muestrales

Para llegar a los diferentes puntos se realizaron rutas para tener una mayor facilidad al momento de dirigirse al lugar en donde se medirá la radiación natural. A continuación se presentan los puntos tentativos y rutas que fueron tomadas en este trabajo de investigación:

Tabla 3-1: Puntos Tentativos de la provincia de Tungurahua.

Cantón	Altitud m.s.n.m	X(Longitud)	Y(Latitud)	Rutas
Mocha	3200-3300	761074	9843663	En el cantón Mocha la toma de datos se realizó en 6 lugares los cuales 2 se encuentran en la vía de Mocha- Ambato, 2 puntos se deberá ingresar hacia la parroquia de Mocha considerando que no existe dificultad al acceder y 2 puntos muestrales se encuentran a una distancia considerable del volcán Carihuarazo para los cuales se llegará a un cierto lugar en vehículo y luego se deberá caminar hasta llegar al lugar para la toma de datos.
		761244	9843944	
	3300-3400	759485	9843245	
		760588	9844784	
	4100-4200	753490	9843355	
		753439	9843598	
Tisaleo	3000-3100	761803	9850496	Debido a que en el cantón Tisaleo y en el cantón Cevallos se tomaron los datos en 4 lugares cada uno se propuso que para los dos cantones se realizara en 1 día y considerando que dichos puntos muestrales son de fácil accesibilidad, en el cantón Tisaleo se encuentra en la vía Tisaleo-Ambato y para el cantón Cevallos en la Avenida 24 de Mayo.
		762177	9852276	
	3100-3200	761722	9847380	
		761776	9849441	
Cevallos	2800-2900	764365	9851764	
		764444	9851530	
	2900-3000	764726	9850696	
		765375	9848775	
Quero	3400-3500	769069	9841494	En el cantón Quero se tomó en 8 puntos muestrales para los cual 4 son de fácil acceso debido que se encuentra en la Avenida 17 de Abril y para los otros 4 puntos existe dificultad de llegar en el vehículo en la cual se deberá caminar hasta llegar a los lugares. Se considera 2 días debido que se encuentran los puntos en
		769855	9839684	
	3500-3600	769897	9838527	
		769910	9838157	
	4200-4300	732351	9865090	
		739076	9865127	
	4300-4400	762432	9835026	
		762337	9834966	

				distintas direcciones del cantón.
Ambato	4500-4600	739772	9841088	En el cantón Ambato de la provincia de Tungurahua se realizó la toma de 18 puntos muestrales los cuales en su minoría son de fácil acceso (1), los restantes (17) no son accesibles en vehículo por lo que abra que llegar a los puntos de muestreo por otros medios específicamente caminando, por que tomara tiempo llegar al destino final. La duración de estudio de campo será de 2 días debido a la distancia que se debe recorrer para llegar a la ubicación de los puntos y el tiempo que se demorara en la toma de las muestras, cabe recalcar que este tiempo también incluye factores externos.
		739625	9840868	
	4600-4700	739908	9840806	
		740008	9840641	
	4700-4800	74015	9840481	
		740325	9840269	
	4800-4900	740559	9839965	
		740624	9839852	
	4900-5000	740745	9839727	
		740823	9839627	
	5000-5100	740679	9839096	
		740168	9838395	
5100-5200	740826	9838980		
	740592	9838351		
Pelileo	1900-2000	778663	9849374	En el cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua se realizó la toma de 8 puntos muestrales los cuales son de fácil accesibilidad ya que estos se encuentran en las vía Pelileo-Baños. La duración de estudio de campo será de 1 día debido a la distancia que se debe recorrer para llegar a la ubicación de los puntos y el tiempo que se demorara en la toma de las muestras, cabe recalcar que este tiempo también incluye factores externos.
		778826	9848972	
	2000-2100	780452	9845493	
		778422	9846730	
	2100-2200	779541	9846165	
		778027	9847035	
2700-2800	773842	9861172		
	773780	9860949		
Patate	1800-1900	779415	9847512	En el cantón Patate de la provincia de Tungurahua se realizó la toma de 8 puntos muestrales los cuales en su mayoría son de fácil acceso (6), los restantes (2) no son accesibles en vehículo por lo que abra que llegar a los puntos de muestreo por otros medios (caminando). La duración de estudio de campo será de 1 día y medio debido a la distancia que se debe recorrer para llegar a la ubicación de los puntos y el tiempo que se demorara en la toma de las muestras, cabe recalcar que este tiempo también incluye factores externos.
		779695	9847136	
	2600-2700	779614	9851827	
		780089	9851289	
	3600-3700	781622	9862212	
		781843	9862462	
	3700-3800	782002	9861908	
		781942	9861482	
	4000-4100	789306	9865137	

Pillaro	2400-2500	774068	9865250	En el cantón Pillaro de la provincia de Tungurahua se realizó la toma de 5 puntos muestrales los cuales son de fácil accesibilidad ya que estos se encuentran en las vía Pillaro-Patate y vía a Yanayacu. La duración de estudio de campo será de 1 día debido a la distancia que se debe recorrer para llegar a la ubicación de los puntos y el tiempo que se demorara en la toma de las muestras, cabe recalcar que este tiempo también incluye factores externos.
		774705	9865119	
	2500-2600	775005	9865058	
		775147	9865029	
	3800-3900	784218	9877464	
		784487	9877791	
	3900-4000	784698	9878048	
		785607	9879521	
4000-4100	783665	9868438		
Baños	1200-1300	783281	9844300	En el cantón Baños se accedió a tomar de 18 puntos muestrales para tratar de abarcar la extensión de la provincia de Tungurahua, la mayoría de los puntos se encuentran en vías accesibles los cuales facilita el tiempo de recolección.
	1300-1400	786128	9845078	
	1300-1400	790064	9845531	
	1400-1500	794263	9845502	
	1400-1500	798013	9844498	
	1500-1600	800111	9844815	
	1500-1600	805388	9844134	
	1600-1700	808200	9844052	
	1600-1700	812020	9843940	
	1700-1800	812056	9848630	
	1700-1800	811420	9853787	
	1800-1900	813869	813869	
	2200-2300	798372	9843015	
		798209	9842846	
	2300-2400	798018	9842648	
797892		9842518		
4400-4500	802310	9863990		
	802449	9864070		

Realizado por: Fiallos F, Carrillo M, 2017

3.6.3.2 Localización de puntos muestrales

En el lugar se procedió a localizar los puntos con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS), en algunas ocasiones los puntos muestrales que fueron seleccionados en el mapa de puntos tentativos fueron inaccesibles debido a diferentes circunstancias tales como impenetrabilidad al punto de muestreo, condiciones ambientales, etc; por lo que se optó a tomar medidas de radiación natural lo más cerca posible al punto tentativo.

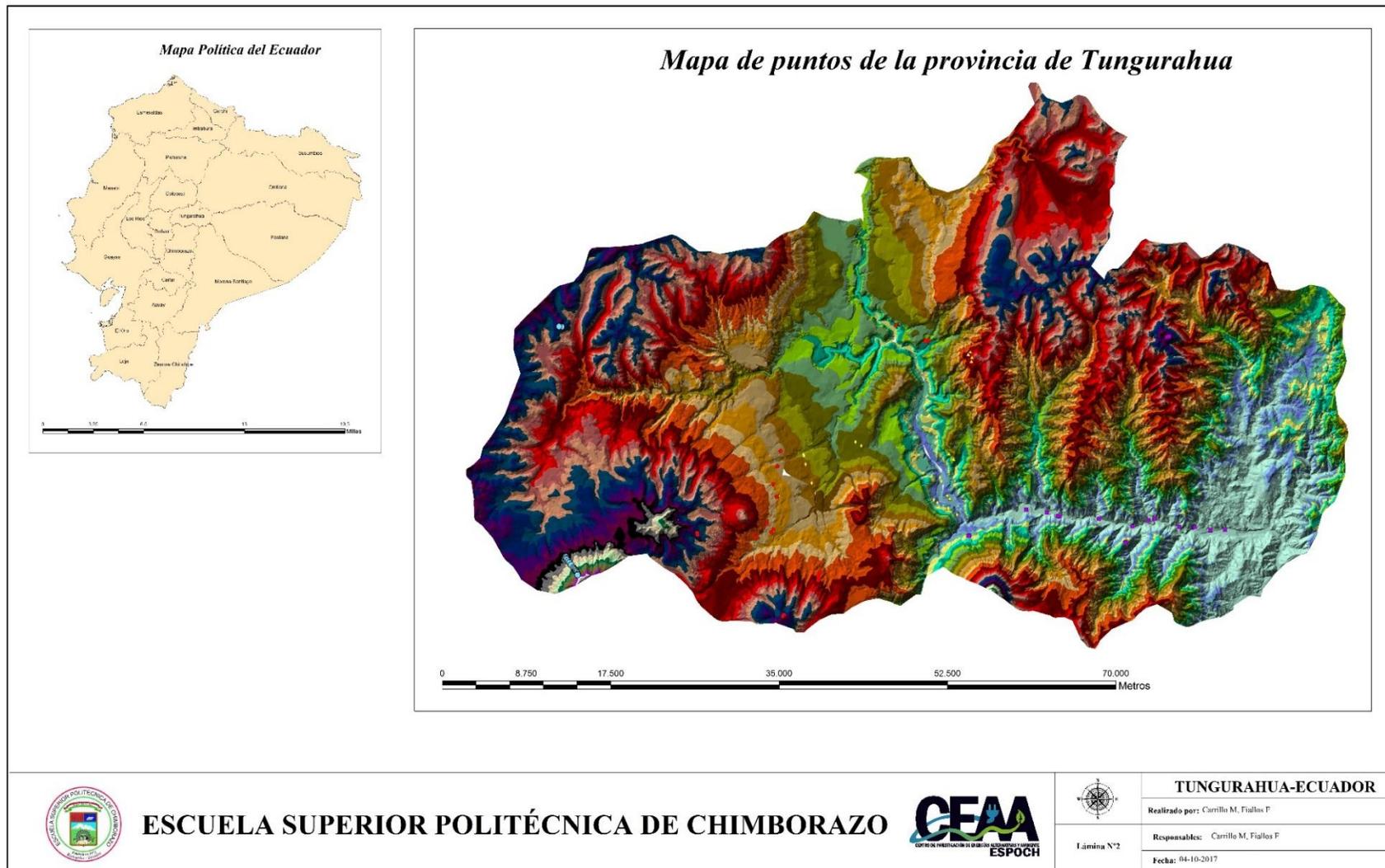


Gráfico 3-3: Mapa formato “Template” de los puntos muestrales
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017

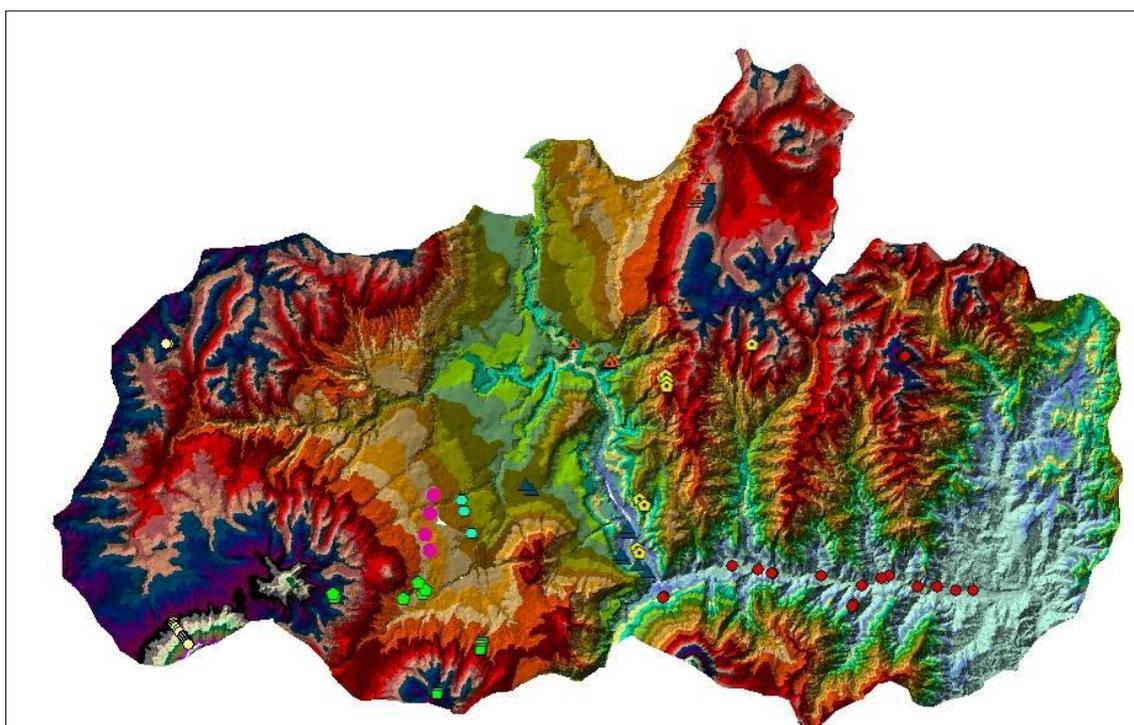


Gráfico 4-3: Mapa modelo de los puntos muestrales
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017

3.6.3.3 Medición de la radiación natural de la provincia de Tungurahua

Una vez ubicados los diferentes puntos se georreferenció seguidamente, se tomó su medida de altitud (m) (ver tabla 4) con el GPS y de radiación natural ($\mu\text{Sv/h}$) utilizando un detector de radiación portátil Geiger Müller modelo GCA-07W, antes de su utilización el detector fue calibrado con una fuente de Cesio 137 bajo las normas y procedimientos establecidos por la OIEA, esta calibración fue realizada en el Laboratorio de Patrones Secundarios (LPS) de la SCAN (Anexo B).

Tabla 4-3: Puntos Muestrales de la provincia de Tungurahua

CANTÓN	ALTITUD (m.s.n.m)	LONGITUD	LATITUD
Mocha	3227	761169	9843658
	3255	761348	9843953
	3357	759478	9843162
	3342	760688	9844537
	4137	753489	9843365
	4156	753449	9843586
Tisaleo	3045	762104	9852109

	3099	761797	9850510
	3176	761336	9848671
	3194	761726	9847367
Cevallos	2877	764486	9851753
	2885	764546	9851629
	2954	764719	9850747
	2999	765346	9848796
Quero	3424	766183	9839449
	3469	766039	9839209
	3531	766081	9838879
	3581	766014	9838612
	4382	762433	9835037
	4398	762328	9834867
Ambato	4217	739351	9865089
	4286	739077	9865128
	4527	739769	9841091
	4591	739802	9840923
	4610	739911	9840817
	4658	740012	9840650
	4715	740157	9840491
	4773	740331	9840271
	4869	740560	9839967
	4881	740631	9839856
	4955	740753	9839731
	4961	740828	9839632
	5038	740881	9839510
	5081	740960	9839412
	5108	741039	9839284
	5126	741009	9839186
Pelileo	1995	778826	9848973
	1953	778664	9849375
	2032	780453	9845494
	2038	778422	9846730
	2170	779541	9846165
	2187	778027	9847035
	2768	770498	9852675
	2756	769904	9853085
Patate	1826	779416	9847513
	1885	779696	9847136

	2610	779614	9851828
	2694	780089	9851289
	3649	781623	9862212
	3691	781843	9862463
	3751	782003	9861909
	3754	781942	9861483
	4049	789306	9865138
Baños	1240	808272	9843877
	1279	806781	9843854
	1313	805137	9844170
	1375	803508	9844185
	1416	801004	9845078
	1480	800363	9844893
	1563	798679	9844237
	1597	795217	9845069
	1661	791094	9845307
	1685	790954	9845362
	1732	789792	9845684
	1797	787614	9845984
	2222	781725	9843342
	2268	781624	9843239
	2344	798019	9842647
	2322	797893	9842518
	4420	802311	9863991
	4493	802449	9864070
Pillaro	2427	774069	9865251
	2492	777505	9863702
	2502	777236	9863544
	2515	777147	9863601
	3820	784219	9877465
	3865	784487	9877792
	3935	784698	9878049
	3985	785607	9879522
	4065	783666	9868438

Realizado por: Fiallos F, Carrillo M, 2017

Las medidas de radiación natural se realizaron de forma manual con un tiempo de 5 minutos obteniendo un total de 5 medidas por punto, dando un total de 400 medidas de radiación natural

en la provincia de Tungurahua, la sonda del detector permaneció fija en la base de un trípode con el fin de evitar movimientos no deseados. Las medidas de radiación natural se realizaron colocando el detector a una distancia de al menos 6 m de cualquier edificio, pared o carretera y a una altura de 1m desde la superficie de la tierra hasta la base del trípode, esto es para reducir sus efectos en el campo de radiación (Shahbazi, 2003, pp. 285-287).

Los datos fueron escritos en hojas de campo, las cuales fueron de elaboración personal y cuenta con parámetros tales como: clima, coordenadas geográficas, altitud, hora y observaciones generales las cuales ayudaron a una mejor interpretación de los resultados y en cuanto a los niveles de radiación se midió el número de cuentas acumuladas en un minuto y la cantidad de radiación en $\mu\text{Sv/h}$ por cada punto Ver Anexo A.

3.7 Análisis e interpretación de datos

3.7.1 *Detección de datos atípicos*

Con los datos obtenidos de radiación natural de la provincia de Tungurahua se realizó la identificación de los valores atípicos. En este caso se utilizó el diagrama de cajas y bigotes que describe la dispersión y simetría.

En el diagrama de cajas y bigotes es un método que trabaja con la mediana y no con la media, el cual se calculan cuartiles Q1, Q2, Q3, los cuales forman la caja en donde se encuentran la mitad de los datos, mientras que los bigotes corresponde a los límites superior e inferior en donde pueden estar ubicados los valores atípicos los cuales van hacer diferentes al resto de los datos que posiblemente son homogéneos. En este trabajo de investigación se tomaron varias repeticiones en un mismo punto, éstos deben estar agrupados hacia un punto en general, por lo que al terminar de aplicar este método se pudo obtener un grupo de datos atípicos los cuales fueron separados de los datos normales, es decir, se realizó la limpieza de datos. Una vez realizada la limpieza de datos se procedió a calcular el promedio de cada punto muestral adquiriendo un total de 80 datos de radiación natural de la provincia de Tungurahua.

3.7.2 *Prueba de Normalidad al 99% de nivel de confianza.*

Se realizó un prueba de normalidad para comprobar si los valores de una variable siguen una distribución normal; mediante el programa R-Studio se aplicó la prueba de Anderson-Darling que da como resultado, si los datos de las variables radiación natural, altitud, provienen de una

distribución normal, la cual se basa de la comparación de la distribución de probabilidades acumuladas empíricas con la distribución acumulada teórica (López Armando, 2012, pp. 4–6).

La prueba de Anderson-Darling sigue las siguientes hipótesis:

H_0 : Las variables aleatorias en un estudio siguen una distribución normal

H_1 : Las variables aleatorias en un estudio no siguen una distribución normal

Si el valor de p es menor que un nivel de significancia (0,01) entonces se rechaza la hipótesis nula ya que los datos provienen de dicha distribución.

3.7.3 *Modelo de Regresión lineal.*

El análisis de regresión lineal permitió estudiar la relación entre las variables altitud y radiación natural, para este caso se utilizara la regresión lineal simple que se representa con la ecuación:

$$Y = ax + b \quad (14)$$

En donde:

Y: variable dependiente

a: pendiente

x: variable independiente

b: ordenada en el origen

El proceso consistió en ajustar la recta al conjunto de datos en donde se creó una expresión matemática que permitió predecir de una forma aproximada el valor de la variable dependiente (radiación natural de fondo) conociendo el valor de la variable predictora (altitud); existen varias formas para estimar los parámetros que posee la ecuación del modelo de regresión pero en este trabajo de investigación se utilizó el método de los mínimos cuadrados por ser el de más amplia aceptación y se representa con las ecuaciones para determinar los parámetros de a y b:

$$a = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (15)$$

$$b = \frac{(\sum y_i) - a(\sum x_i)}{n} \quad (16)$$

Al momento de representar gráficamente el modelo de regresión lineal se analizaron los datos de altitud y de radiación natural, lo que ayudo a tener una idea del modelo pero fue necesario comprobar si el modelo de regresión propuesto cumple con supuestos matemáticos que

aseguren que el modelo confiable. Para comprobar si el modelo es bueno se debe cumplir con los siguientes supuestos:

- En el modelo de regresión: Linealidad
- En los residuos: normalidad, varianza constante, valores atípicos

Por otro lado, para los datos obtenidos existen algunas rectas lo cual hace necesario encontrar la recta que más y ésta es aquella que da lugar a la menor divergencia entre los datos originales y los considerados por la recta, es aquí en donde se aplicó el criterio de mínimos cuadrados, método que permitió calcular la recta que minimiza las distancias verticales entre cada punto y la recta. Para validar el modelo de regresión lineal propuesto se empleó la prueba de normalidad mencionada anteriormente, en los residuos, los cuales se los calculaba de la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por la recta, para conocer que los datos de radiación natural venían de una distribución de probabilidad específica (normal) (Ferre Jaén María Elvira, 2014, pp. 3–6).

3.7.4 Correlación de altitud y radiación natural del modelo de regresión lineal.

Para el modelo de regresión lineal propuesto se calculó el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación. El coeficiente de determinación es aquel que representa la proporción de variación la cual será explicada por la regresión, la cual es una medida relativa del grado de asociación lineal entre x e y. es representada mediante la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{SCR_{eg}}{SCT} = 1 - \frac{SCE}{SCT}; 0 \leq R^2 \leq 1 \quad (17)$$

Donde:

SCR_{eg} es la suma de los cuadrados de la regresión

SCT es la suma de cuadrados totales

SCE es la suma de cuadrados residual

Por lo tanto:

- Si $R^2 = 0 \rightarrow SCR_{eg} = 0$ el modelo no explica nada de y a partir de x
- Si $R^2 = 1 \rightarrow SCR_{eg} = SCT$ se da un ajuste perfecto: y depende funcionalmente de x

Lo que significa que un R^2 cercano a 0 existe una baja capacidad explicativa de la rectas mientras que si un R^2 se acerca a 1 la capacidad explicativa es alta (Lara Porras, 2014, pp. 3-4). Mientras tanto que el coeficiente de correlación es la medida de la asociación lineal de las variables x e y la cual viene dada por la siguiente expresión matemática:

$$r = \frac{\text{Cov}(x,y)}{S_x S_y}, -1 \leq r \leq 1 \quad (18)$$

Por lo tanto:

Si $r : -1 \rightarrow$ relación lineal negativa perfecta entre x e y

Si $r : 1 \rightarrow$ asociación lineal positiva perfecta entre x e y

Si $r : 0 \rightarrow$ no existe ninguna relación lineal entre x e y

3.7.5 Cálculo de tasa de exposición.

Para el cálculo de la tasa de exposición (C/kg*año) se trabajó directamente con las medidas obtenidas del detector Geiger-Müller ($\mu\text{Sv/h}$) utilizando el método de equilibrio de partículas cargadas (CPE), el cual permite que exista una relación entre dosis absorbida y exposición.

Se conoció como primer punto la relación entre la exposición (X) y el kerma de colisión en aire (K_c) representado por la siguiente ecuación:

$$(K_c)_{\text{aire}} = X \left(\frac{W}{e} \right)_{\text{aire}} \quad (19)$$

Donde $\left(\frac{W}{e} \right)$ es la energía media requerida por unidad de carga de ionización producida.

La existencia del CPE permite pasar el kerma de colisión a dosis en aire como se ve en la ecuación 20:

$$D_{\text{aire}} \xrightarrow{\text{CPE}} (K_c)_{\text{aire}} = X \left(\frac{W}{e} \right)_{\text{aire}} \quad (20)$$

3.7.6 Método de interpolación de Kriging para la creación del mapa de niveles de radiación natural

La interpolación de kriging se basa en analizar la auto correlación a partir de la representación de la variabilidad espacial, la cual consiste en estudiar el parecido entre los valores de la variable según aumenta la distancia entre ellos; de donde se obtiene una función que presenta lo más certeramente posible esta relación espacial, en lo cual la función fue utilizada para interpolar las medidas de radiación natural a partir de los datos de altitud. La interpolación espacial realizada con el kriging es un método de interpolación óptimo, esto es debido a cómo utiliza una programación dinámica con el fin de obtener la mejor estimación lineal imparcial del valor de radiación natural en un punto cualquiera (Arnedo, 2014, pp. 169–170).

La fórmula general que usan ambos interpoladores se forma como una suma ponderada de los datos:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (21)$$

En donde:

$Z(s_i)$: El valor medido en la ubicación i

λ_i : Una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s_0 : La ubicación de la predicción

N : la cantidad de valores medidos

Una vez conocida en que se basa el método de interpolación de kriging se lleva a cabo una predicción, la cual sirve para la creación del mapa de los niveles de radiación natural en el programa ArcGis, para esto fue necesario conocer dos cosas:

- Descubrir las reglas de dependencia.
- Realizar las predicciones.

Para completar las dos tareas mencionadas anteriormente, kriging en ArcGis atraviesa un proceso de dos pasos:

- Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial) que dependen del modelo de autocorrelación (ajustar un modelo).
- Prevé los valores desconocidos (hace una predicción).

Se dice que en este método los datos se utilizan dos veces, debido a estas dos tareas bien distintas: la primera vez, para calcular la autocorrelación espacial de los datos, y la segunda, para hacer las predicciones (ArcGis, 2017, pp. 3-5).

CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Datos de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.

En el presente trabajo de investigación, se detectó la radiación natural de la provincia de Tungurahua considerando como parámetro importante la escala de altitud, se realizó el muestro en 80 puntos con un detector Geiger Müller modelo GCA-07W.

Los datos de altitud, longitud, latitud y promedio de tasa de radiación natural con su respectivo error estándar, especificando en los nueve cantones de la Provincia de Tungurahua se presentan en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Promedio de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.

CANTÓN	ALTITUD (m.s.n.m)	LONGITUD	LATITUD	PROMEDIO DE RADIACIÓN NATURAL (mSv/año)	ERROR ESTÁNDAR
Mocha	3227	761169	9843658	1,63	0,20
	3255	761348	9843953	1,88	0,07
	3357	759478	9843162	1,75	0,08
	3342	760688	9844537	2,16	0,07
	4137	753489	9843365	2,01	0,08
	4156	753449	9843586	1,88	0,09
Tisaleo	3045	762104	9852109	2,31	0,18
	3099	761797	9850510	2,21	0,08
	3176	761336	9848671	2,28	0,13
	3194	761726	9847367	1,97	0,10
Cevallos	2877	764486	9851753	1,88	0,23
	2885	764546	9851629	1,74	0,00
	2954	764719	9850747	1,88	0,08
	2999	765346	9848796	1,95	0,03
Quero	3424	766183	9839449	2,43	0,19
	3469	766039	9839209	2,21	0,00

	3531	766081	9838879	2,25	0,05
	3581	766014	9838612	2,41	0,04
	4382	762433	9835037	2,49	0,02
	4398	762328	9834867	2,69	0,17
Ambato	4217	739351	9865089	2,26	0,10
	4286	739077	9865128	2,23	0,04
	4527	739769	9841091	2,69	0,25
	4591	739802	9840923	2,72	0,17
	4610	739911	9840817	2,87	0,04
	4658	740012	9840650	2,77	0,06
	4715	740157	9840491	2,36	0,14
	4773	740331	9840271	3,06	0,03
	4869	740560	9839967	3,24	0,13
	4881	740631	9839856	3,02	0,15
	4955	740753	9839731	2,86	0,30
	4961	740828	9839632	2,89	0,13
	5038	740881	9839510	3,02	0,25
	5081	740960	9839412	2,83	0,04
	5108	741039	9839284	3,04	0,18
	5126	741009	9839186	3,12	0,11
Pelileo	1995	778826	9848973	1,38	0,12
	1953	778664	9849375	1,37	0,09
	2032	780453	9845494	1,76	0,06
	2038	778422	9846730	1,69	0,03
	2170	779541	9846165	1,28	0,09
	2187	778027	9847035	1,48	0,03
	2768	770498	9852675	2,10	0,12
	2756	769904	9853085	1,50	0,03
Patate	1826	779416	9847513	1,38	0,12
	1885	779696	9847136	1,37	0,09
	2610	779614	9851828	2,13	0,13
	2694	780089	9851289	1,87	0,15
	3649	781623	9862212	2,51	0,03
	3691	781843	9862463	2,56	0,09
	3751	782003	9861909	2,71	0,08
	3754	781942	9861483	2,26	0,17
	4049	789306	9865138	1,90	0,07
Baños	1240	808272	9843877	1,18	0,09
	1279	806781	9843854	1,14	0,06

	1313	805137	9844170	1,36	0,11
	1375	803508	9844185	1,36	0,04
	1416	801004	9845078	1,23	0,07
	1480	800363	9844893	1,55	0,05
	1563	798679	9844237	1,19	0,03
	1597	795217	9845069	1,38	0,02
	1661	791094	9845307	1,42	0,03
	1685	790954	9845362	1,53	0,03
	1732	789792	9845684	1,53	0,04
	1797	787614	9845984	1,58	0,17
	2222	781725	9843342	1,48	0,04
	2268	781624	9843239	1,71	0,09
	2344	798019	9842647	1,79	0,05
	2322	797893	9842518	1,80	0,08
	4420	802311	9863991	2,40	0,05
	4493	802449	9864070	2,24	0,06
Pillaro	2427	774069	9865251	1,50	0,03
	2492	777505	9863702	1,77	0,07
	2502	777236	9863544	1,74	0,09
	2515	777147	9863601	1,83	0,12
	3820	784219	9877465	2,36	0,16
	3865	784487	9877792	2,36	0,21
	3935	784698	9878049	2,75	0,07
	3985	785607	9879522	2,94	0,07
	4065	783666	9868438	2,94	0,07
Máximo de Radiación de Natural (mSv/año)	3,24		Cantón	Ambato	
Mínimo de Radiación de Natural (mSv/año)	1,13		Cantón	Baños	
Máxima Altitud (m.s.n.m)	5126		Cantón	Ambato	
Mínimo Altitud (m.s.n.m)	1240		Cantón	Baños	

Realizado por: Fiallos F, Carrillo M, 2017

De los datos de radiación natural presentados en la tabla 1-4, se identifica el máximo valor de radiación natural que es 3,24 mSv/año en la altitud de 4869 m.s.n.m del cantón Ambato, mientras que la cantidad mínima es 1,13 mSv/año en la altitud de 1279 m.s.n.m del cantón Baños.

4.2 Datos Atípicos de los cantones de la Provincia de Tungurahua.

Para obtener los datos atípicos de cada punto muestral en las diferentes altitudes, se utilizó el diagrama de cajas y bigotes. A continuación se presenta los resultados obtenidos en cada punto de muestreo dentro de los nueve cantones de la provincia de Tungurahua.

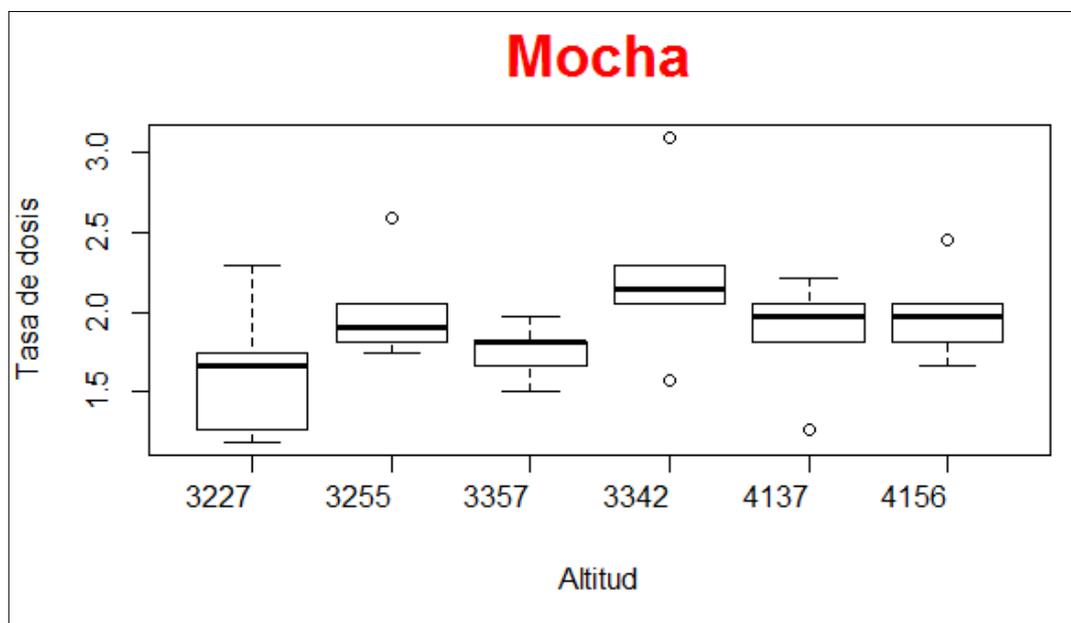


Gráfico 1-4: Diagrama de Cajas y Bigotes del cantón Mocha
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 1-4, se presenta el análisis de los puntos muestrales del cantón Mocha, se pudo identificar valores atípicos en las altitudes de 3342, 3255, 4137, 4156 m.s.n.m, obteniendo un total de cinco datos para este cantón, es importante realizar este estudio en una muestra, dado que un dato atípico distorsiona el análisis y los resultados de los datos.

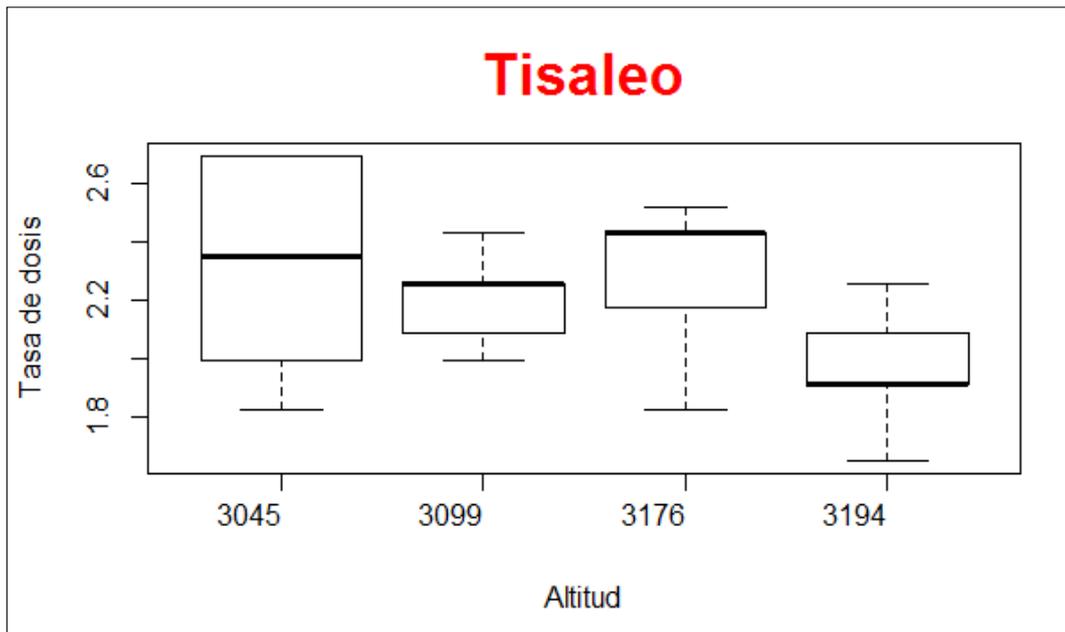


Gráfico 2-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Tisaleo
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 2-4, se presenta resultados del cantón Tisaleo, se estudió en las altitudes de (3045, 3099, 3176, 3194) m.s.n.m. y se muestra que no existen datos atípicos, es decir que todas las medidas de radiación natural tomadas en los dichos puntos se incluyeron para el análisis y resultados.

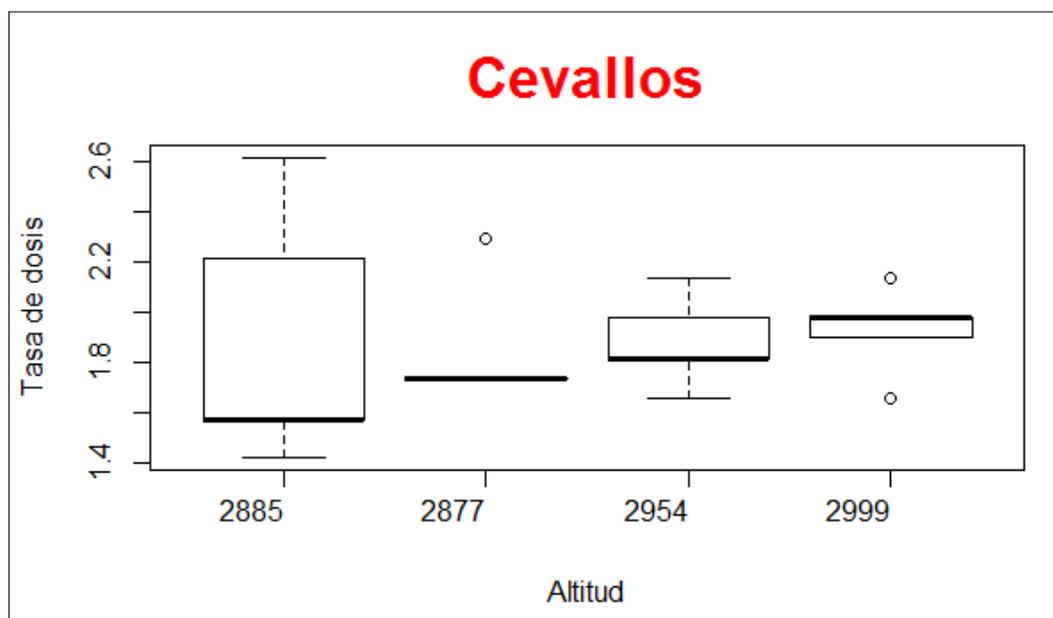


Gráfico 3-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Cevallos
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 3-4, se presenta el análisis de datos atípicos de los puntos muestrales del cantón Cevallos, se identifica que existen un dato en la altitud de 2877 m.s.n.m y dos datos en 2999

m.s.n.m, obteniendo un total de tres valores atípicos para este cantón, el cual en posteriores análisis estadísticos se deben excluir los dichos datos.

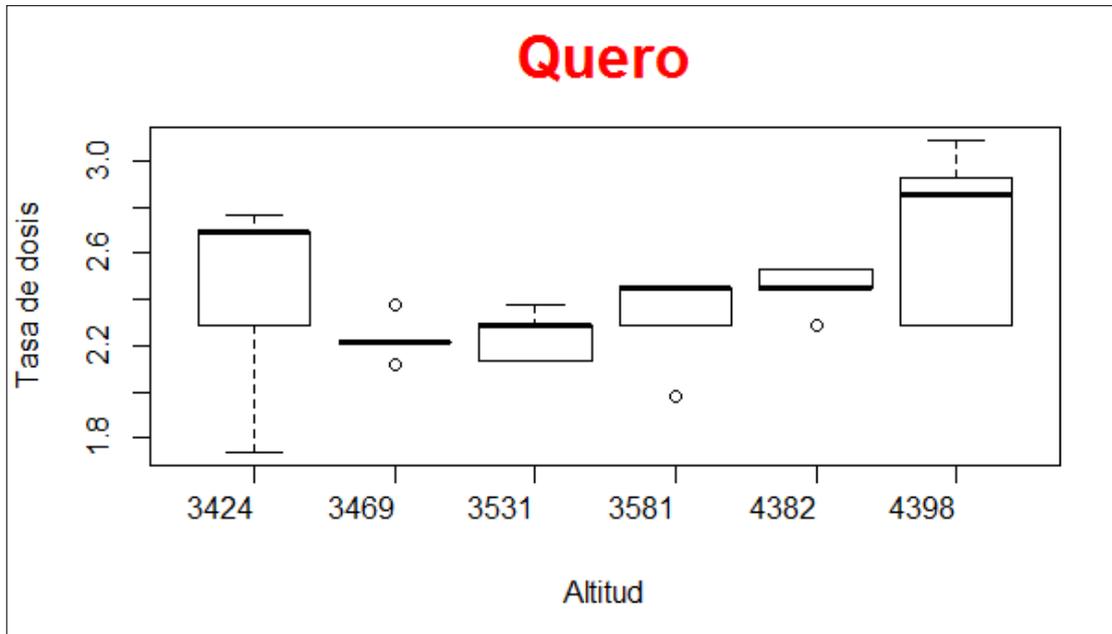


Gráfico 4-1: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Quero
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 4-4, se presenta el análisis de datos atípicos de los puntos muestrales del cantón Quero, se pudo identificar en las altitudes de 3581, 4382 3469 m.s.n.m, obteniendo un total de cuatro valores atípicos para este cantón.

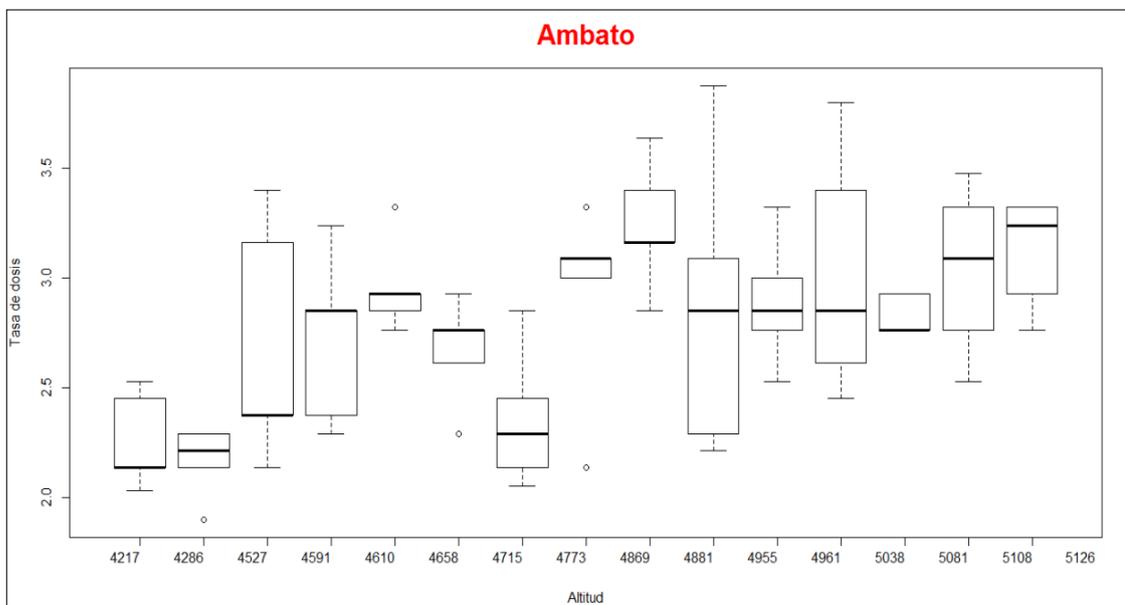


Gráfico 5-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Ambato
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico de 5-4, se presenta los datos atípicos del intervalo de altitudes de 4217 a 5126 m.s.n.m del cantón Ambato, se pudo identificar en las altitudes de 4286, 4610, 4656, 4663 m.s.n.m, obteniendo cinco valores atípicos para este cantón.

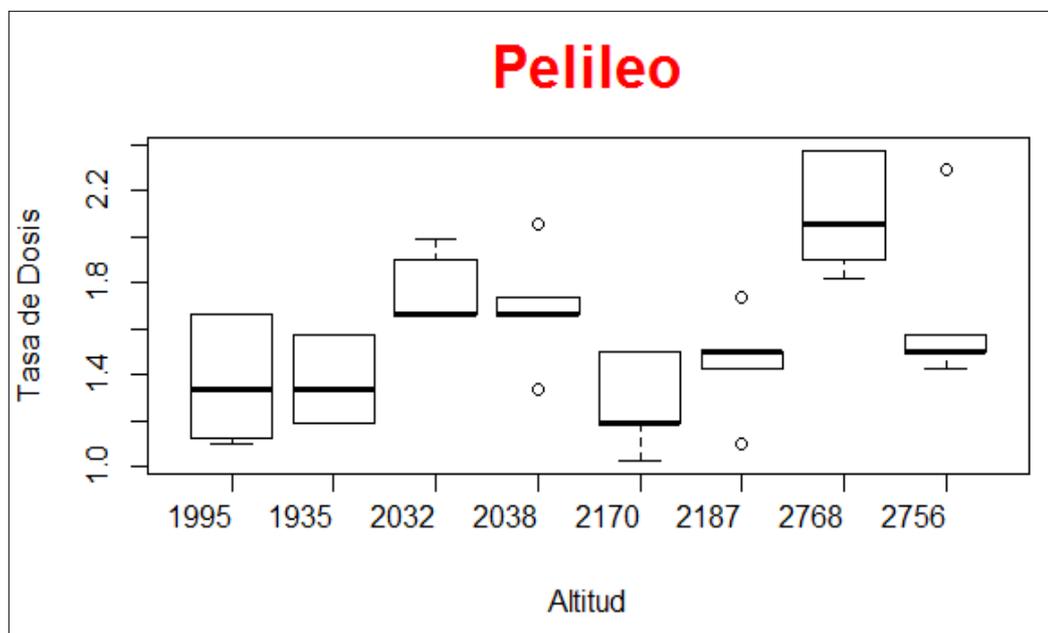


Gráfico 6-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Pelileo
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 6-4, se presenta el análisis de datos atípicos de los puntos muestrales del cantón Pelileo, del intervalo de 1995 a 2756 m.s.n.m, se pudo identificar en la altitud de 2018 y 2187 m.s.n.m existe dos datos, mientras que en la altitud de 2756 m.s.n.m se observa un dato, obteniendo cinco datos atípicos para este cantón.

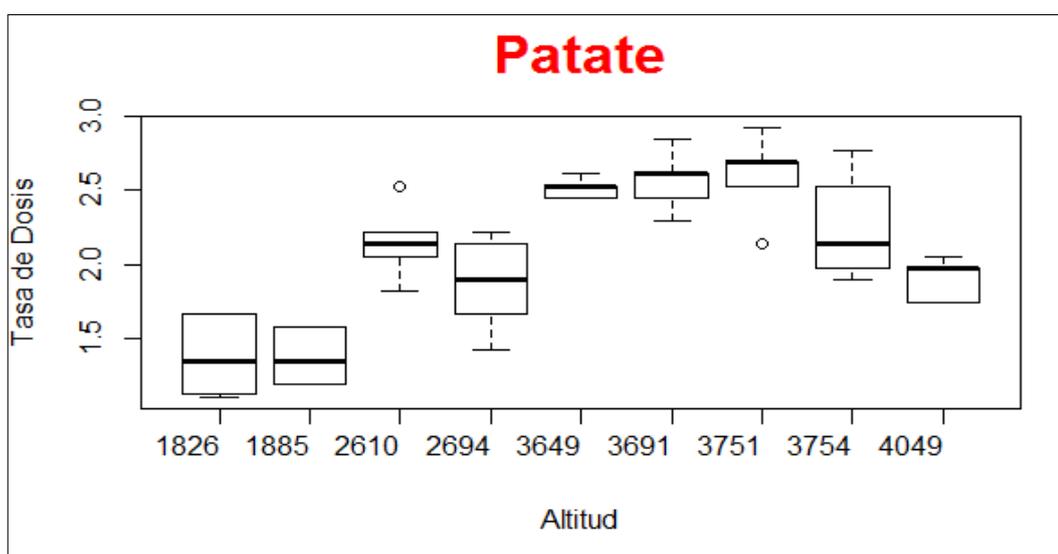


Gráfico 7-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Patate
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

Para el cantón Patate se realizó el análisis de datos atípicos en el intervalo de las altitudes de 1826 a 4049 m.s.n.m, se identificó en las altitudes de 2610 y 3751 m.s.n.m, obteniendo dos datos atípicos para los puntos muestrales del cantón, se presenta en el gráfico 7-4.

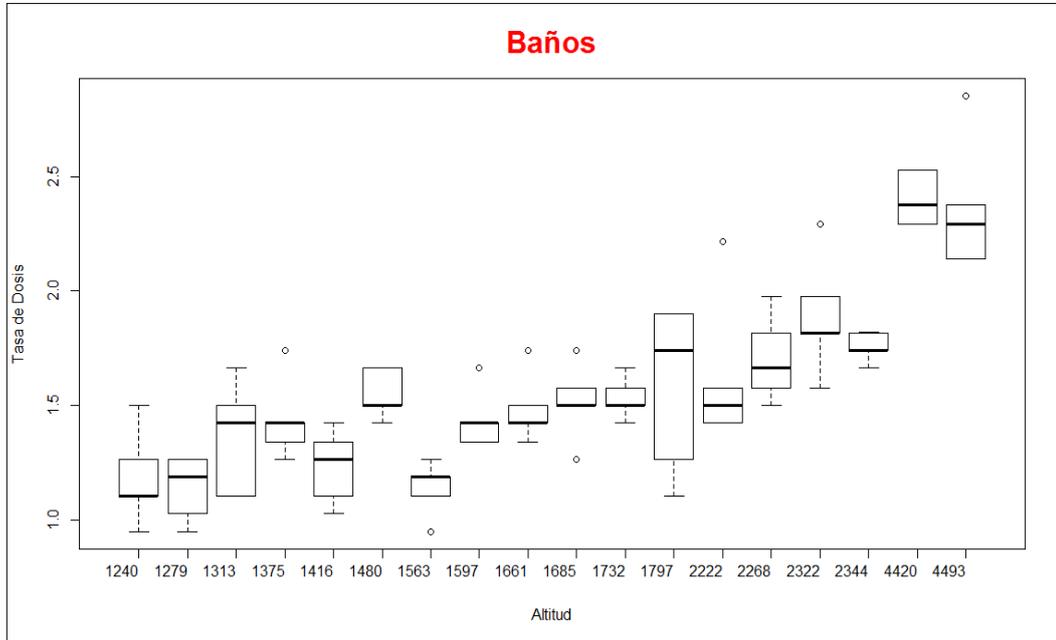


Gráfico 4-2: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Baños
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 8-4, se presenta los datos atípicos de los puntos muestrales del cantón Baños, se observa que existe un dato en las altitudes de 1375, 1563, 1597, 1661, 2222, 2322, 4493 m.s.n.m, mientras que en la altitud de 1685 m.s.n.m existe dos valores y obteniendo nueve valores atípicos para este cantón.

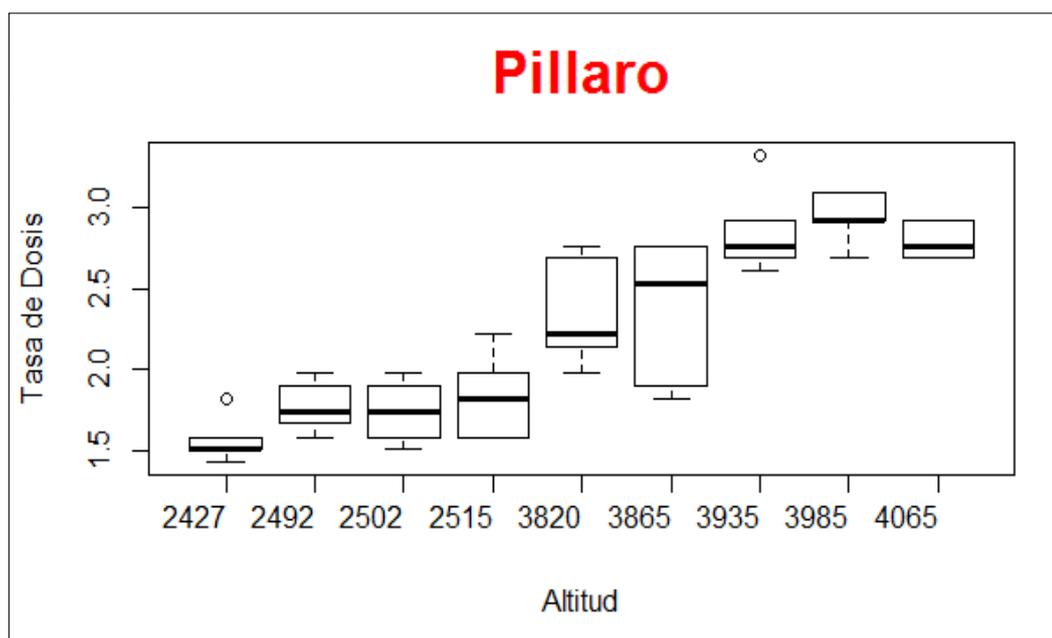


Gráfico 9-4: Diagrama de cajas y bigotes del cantón Pillaro
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfico 9-4, se muestra los resultados atípicos determinados en el intervalo de altitud de 2427 a 4065 m.s.n.m del cantón Pillaro, encontrando un valor en las altitudes de 2427 y 3935 m.s.n.m., obteniendo dos valores atípicos para este cantón.

4.3 Datos Atípicos de Radiación Natural de la provincia de Tungurahua

En la tabla 2-4, se presenta los datos atípicos en cada altitud de los nueve cantones de la provincia Tungurahua.

Tabla 2-4: Datos Atípicos de la Provincia de Tungurahua

CANTON	ALTITUD (m.s.n.m)	DATOS ATIPICOS
Mocha	3255	2,85
	3342	3,09
	4137	1,58
	4156	2,45
Cevallos	2877	2,29
	2999	2,14
		1,66
Quero	3469	2,12
		2,38
	3581	1,98

	4382	2,29
Ambato	4286	1,90
	4610	3,33
	4658	2,29
	4773	3,33
		2,14
Pelileo	2038	1,34
		2,05
	2187	1,10
		1,74
Patate	2756	2,29
	2610	2,53
	3751	2,14
Baños	1375	1,74
	1563	0,95
	1597	1,66
	1661	1,74
	1685	1,26
	2222	2,21
	2322	2,29
	4493	2,85
Pillaro	2427	1,82
	3935	3,33

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

Se presentó 35 datos atípicos de las medidas tomadas en los puntos muestrales de la provincia de Tungurahua el cual se realizó mediante el diagrama de caja y bigotes. Es de importancia el estudio de datos atípicos debido a que distorsionan el análisis estadístico por lo que es necesario excluirlos.

4.4 Análisis Estadístico Descriptivo de Radiación Natural de los cantones de la Provincia Tungurahua.

El análisis estadístico descriptivo de los datos de radiación natural se presenta en la tabla 3-4, la misma que se realizó con los puntos muestrales de cada cantón de la provincia de Tungurahua.

Tabla 3-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Mocha

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	3227	761169	9843658	1,63	0,20
2	3255	761348	9843953	1,88	0,07
3	3357	759478	9843162	1,75	0,08
4	3342	760688	9844537	2,16	0,07
5	4137	753489	9843365	2,01	0,08
6	4156	753449	9843586	1,88	0,09
Promedio de Radiación Natural del cantón Mocha (mSv/año)		1,89	Error estándar	0,08	
Mediana (mSv/año)		1,88	Moda (mSv/año)	1,88	
Varianza		0,04	Desviación Estándar	0,19	
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)		2,16	Altitud (m.s.n.m)	3342	
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)		1,63	Altitud (m.s.n.m)	3227	
Máxima Altitud (m.s.n.m)		4156	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	3227	

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En la tabla 3-4, se presenta los datos de altitud, radiación natural y el análisis estadístico descriptivo de los puntos muestrales del cantón Mocha, se muestra el valor máximo de radiación natural que fue de 2,16 mSv/año en la altitud de 3342 m.s.n.m, mientras que el dato mínimo corresponde al dato de 1,63 mSv/año en una altitud de 3227 m.s.n.m, y el promedio del cantón de 1,89 mSv/año, que se encuentra en un 21,44% por debajo de la mundial recomendando por la UNSCEAR.

Tabla 4-1: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Tisaleo

Nº	Altitud(m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
----	------------------	----------	---------	---	----------------

1	3045	762104	9852109	2,31	0,18
2	3099	761797	9850510	2,21	0,08
3	3176	761336	9848671	2,28	0,13
4	3194	761726	9847367	1,97	0,10
Promedio de Radiación Natural del cantón Tisaleo (mSv/año)		2,19	Error estándar		0,08
Mediana (mSv/año)		2,24	Moda (mSv/año)		No existe
Varianza de la muestra		0,03	Desviación Estándar		0,16
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)		2,31	Altitud (m.s.n.m)		3045
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)		1,97	Altitud (m.s.n.m)		3194
Máxima Altitud (m.s.n.m)		3194	Mínimo Altitud (m.s.n.m)		3045

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En la tabla 4-4, se presenta los datos obtenidos en el cantón Tisaleo, se muestra el valor máximo de radiación natural que fue 2,31 mSv/año en la altitud de 3045 m.s.n.m, mientras que el dato mínimo corresponde a 1,97 mSv/año en la altitud de 3194 m.s.n.m y el promedio de este cantón es de 2,19 mSv/año que se encuentra en un 8,68% por debajo de la media mundial.

Tabla 5-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Cevallos.

N	Altitud(m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	2877	764486	9851753	1,88	0,23
2	2885	764546	9851629	1,74	0,00
3	2954	764719	9850747	1,88	0,08
4	2999	765346	9848796	1,95	0,03
Promedio de Radiación Natural del cantón Cevallos (mSv/año)			1,86	Error estándar	0,04
Mediana			1,88	Moda	1,88
Varianza de la muestra			0,01	Desviación Estándar	0,09
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)			1,95	Altitud (m.s.n.m)	2999
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)			1,74	Altitud (m.s.n.m)	3194
Máxima Altitud (m.s.n.m)			2999	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	2877

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En los datos de radiación natural de la tabla del 5-4 del cantón Cevallos, se presenta el análisis estadístico descriptivo, se identificó el valor máximo de radiación natural que corresponde a 1,95 mSv/año en la altitud de 2999 m.s.n.m, mientras que el dato mínimo fue 1,74 mSv/año en la altitud de 3194 m.s.n.m y el promedio encontrado para este cantón es de 1,86 mSv/año, se encuentra en un 22,35% por debajo de la media mundial recomendado por la UNSCEAR.

Tabla 6-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Quero

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	3424	766183	9839449	2,43	0,19
2	3469	766039	9839209	2,21	0,00
3	3531	766081	9838879	2,25	0,05
4	3581	766014	9838612	2,41	0,04
5	4382	762433	9835037	2,49	0,02
6	4398	762328	9834867	2,69	0,17
Promedio de Radiación Natural del cantón Quero (mSv/año)			2,41	Error estándar	0,07
Mediana			2,42	Moda	No existe
Varianza de la muestra			0,03	Desviación Estándar	0,17
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)			2,69	Altitud (m.s.n.m)	4398
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)			2,21	Altitud (m.s.n.m)	3424
Máxima Altitud (m.s.n.m)			4398	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	3424

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En la tabla 6-4, se presenta el análisis de los datos obtenidos en los puntos muestrales del cantón Quero, se identificó el valor máximo de radiación natural que fue 2,69 mSv/año que corresponde a una altitud de 4398 m.s.n.m, mientras que el dato mínimo es de 2,21 mSv/año en una altitud de 3424 m.s.n.m y el promedio para este cantón es de 2,41 este valor sobrepasa en un 0,61% del promedio mundial.

Tabla 7-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Ambato

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	4217	739351	9865089	2,26	0,10

2	4286	739077	9865128	2,23	0,04
3	4527	739769	9841091	2,69	0,25
4	4591	739802	9840923	2,72	0,17
5	4610	739911	9840817	2,87	0,04
6	4658	740012	9840650	2,77	0,06
7	4715	740157	9840491	2,36	0,14
8	4773	740331	9840271	3,06	0,03
9	4869	740560	9839967	3,24	0,13
10	4881	740631	9839856	3,02	0,15
11	4955	740753	9839731	2,86	0,30
12	4961	740828	9839632	2,89	0,13
13	5038	740881	9839510	3,02	0,25
14	5081	740960	9839412	2,83	0,04
15	5108	741039	9839284	3,04	0,18
16	5126	741009	9839186	3,12	0,11
Promedio de Radiación Natural del cantón Ambato (mSv/año)			2,81	Error estándar	0,08
Mediana			2,87	Moda	No existe
Varianza de la muestra			0,09	Desviación Estándar	0,30
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)			3,24	Altitud (m.s.n.m)	4869
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)			2,23	Altitud (m.s.n.m)	4286
Máxima Altitud (m.s.n.m)			5126	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	4217

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En la tabla 7-4, se presenta los datos de altitud, radiación natural y el análisis estadístico descriptiva de los puntos muestrales del cantón Ambato, se identificó el valor máximo de radiación natural que fue de 3,24 mSv/año en una altitud de 4869 m.s.n.m, mientras que el dato mínimo de 2,23 mSv/año en una altitud de 4286 m.s.n.m y el promedio para este cantón de 2,81 mSv/año dicho valor sobrepasa en un 17,17% del promedio mundial.

Tabla 8-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Pelileo

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	1995	778826	9848973	1,38	0,12
2	1953	778664	9849375	1,37	0,09
3	2032	780453	9845494	1,76	0,06

4	2038	778422	9846730	1,69	0,03
5	2170	779541	9846165	1,28	0,09
6	2187	778027	9847035	1,48	0,03
7	2768	770498	9852675	2,10	0,12
8	2756	769904	9853085	1,50	0,03
Promedio de Radiación Natural del cantón Pelileo (mSv/año)			1,57	Error estándar	0,10
Mediana			1,49	Moda	No Existe
Varianza de la muestra			0,07	Desviación Estándar	0,27
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)			2,10	Altitud (m.s.n.m)	2768
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)			1,37	Altitud (m.s.n.m)	1953
Máxima Altitud (m.s.n.m)			2768	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	1953

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En la tabla 8-4, se presenta los resultados del cantón Pelileo, obteniendo el valor máxima radiación natural que fue de 2,10 mSv/año que corresponde a una altitud de 2768 m.s.n.m, mientras que el dato mínimo de 1,37 mSv/año en una altitud de 1953 m.s.n.m y el promedio de este cantón de 1,57 mSv/año, se encuentra en un 34,57% por debajo del promedio mundial.

Tabla 9-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Patate

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	1826	779416	9847513	1,38	0,12
2	1885	779696	9847136	1,37	0,09
3	2610	779614	9851828	2,13	0,13
4	2694	780089	9851289	1,87	0,15
5	3649	781623	9862212	2,51	0,03
6	3691	781843	9862463	2,56	0,09
7	3751	782003	9861909	2,71	0,08
8	3754	781942	9861483	2,26	0,17
9	4049	789306	9865138	1,90	0,07
Promedio de Radiación Natural del cantón Patate (mSv/año)			2,08	Error estándar	0,16
Mediana			2,13	Moda	No existe
Varianza de la muestra			0,24	Desviación Estándar	0,49

Máximo de Radiación Natural (mSv/año)	2,71	Altitud (m.s.n.m)	3751
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)	1,37	Altitud (m.s.n.m)	1885
Máxima Altitud (m.s.n.m)	4049	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	1826

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En los datos de radiación natural del cantón Patate de la tabla de 9-4, se realiza el análisis estadístico descriptivo de los puntos muestrales, se identificó la máxima radiación natural que corresponde al valor de 2,71 mSv/año en una altitud de 3751m.s.n.m, mientras que el dato mínimo de 1,37 mSv/año en una altitud de 1885 m.s.n.m y el promedio para este cantón de 2,08 mSv/año que se encuentra en un 13,42% por debajo del promedio mundial.

Tabla 10-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Baños

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar	
1	1240	808272	9843877	1,18	0,09	
2	1279	806781	9843854	1,14	0,06	
3	1313	805137	9844170	1,36	0,11	
4	1375	803508	9844185	1,36	0,04	
5	1416	801004	9845078	1,23	0,07	
6	1480	800363	9844893	1,55	0,05	
7	1563	798679	9844237	1,19	0,03	
8	1597	795217	9845069	1,38	0,02	
9	1661	791094	9845307	1,42	0,03	
10	1685	790954	9845362	1,53	0,03	
11	1732	789792	9845684	1,53	0,04	
12	1797	787614	9845984	1,58	0,17	
13	2222	781725	9843342	1,48	0,04	
14	2268	781624	9843239	1,71	0,09	
15	2344	798019	9842647	1,79	0,05	
16	2322	797893	9842518	1,80	0,08	
17	4420	802311	9863991	2,40	0,05	
18	4493	802449	9864070	2,24	0,06	
Promedio de Radiación Natural del cantón Baños (mSv/año)				1,55	Error estándar	0,08
Mediana				1,50	Moda	No Existe
Varianza de la muestra				0,12	Desviación Estándar	0,34

Máximo de Radiación Natural (mSv/año)	2,40	Altitud (m.s.n.m)	4420
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)	1,14	Altitud (m.s.n.m)	1279
Máxima Altitud m.s.n.m)	4493	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	1240

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

Los resultados obtenidos en el cantón Baños se presenta en la tabla 10-4, se obtuvo el valor máxima de radiación natural que fue de 2,40 mSv/año en una altitud de 4420 m.s.n.m, mientras que el dato mínima de 1,14 mSv/año en una altitud de 1279 m.s.n.m, y el promedio para este cantón de 1,55 mSv/año, este valor se encuentra en un 35,48% por debajo del promedio mundial.

Tabla 11-4: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural del cantón Pillaro

N	Altitud (m.s.n.m)	Longitud	Latitud	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
1	2427	774069	9865251	1,50	0,03
2	2492	777505	9863702	1,77	0,07
3	2502	777236	9863544	1,74	0,09
4	2515	777147	9863601	1,83	0,12
5	3820	784219	9877465	2,36	0,16
6	3865	784487	9877792	2,36	0,21
7	3935	784698	9878049	2,75	0,07
8	3985	785607	9879522	2,94	0,07
9	4065	783666	9868438	2,94	0,07
Promedio de Radiación Natural (mSv/año)		2,24	Error estándar	0,18	
Mediana		2,36	Moda	2,94	
Varianza de la muestra		0,31	Desviación Estándar	0,55	
Máximo de Radiación Natural (mSv/año)		2,94	Altitud (m.s.n.m)	4065	
Mínimo de Radiación Natural (mSv/año)		1,50	Altitud (m.s.n.m)	2427	
Máxima Altitud (m.s.n.m)		1,50	Mínimo Altitud (m.s.n.m)	4065	

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En la tabla 11-4, se identifica los resultados del cantón Pillaro, obteniendo un valor máximo de radiación natural de 2,94 mSv/año en la altitud de 4065 m.s.n.m, dato mínimo de 1,50 mSv/año en la altitud de 2427 m.s.n.m, mientras que el promedio del cantón de 2,24 mSv/año, este valor se encuentra a 6,67% por debajo del promedio mundial.

4.5 Análisis Estadístico Descriptivo Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.

En la tabla 4-12, se presenta el promedio de radiación natural en función de la altitud promedio para los cantones de la provincia de Tungurahua.

Tabla 4-2: Estadística Descriptiva de los datos de radiación natural de la Provincia de Tungurahua.

Cantón	Altitud (m.s.n.m)	Promedio de Radiación Natural (mSv/año)	Error Estándar
Mocha	3579	1,89	0,08
Tisaleo	3129	2,19	0,08
Cevallos	2929	1,86	0,04
Quero	3798	2,41	0,07
Ambato	4775	2,81	0,08
Pelileo	2237	1,57	0,10
Patate	3101	2,08	0,16
Baños	2012	1,55	0,08
Pillaro	3290	2,24	0,18
Promedio de Radiación de Natural de la Provincia de Tungurahua mSv/año	2,08	Error Estándar	0,06
Mediana	1,99	Moda	1,88
Desviación Estándar	0,57	Varianza	0,33
Máximo de Radiación Natural mSv/año	2,81	Cantón	Ambato
Mínimo de Radiación Natural mSv/año	1,55	Cantón	Baños

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

De los promedios de radiación natural de los cantones de la provincia de Tungurahua, se realizó un análisis estadístico descriptivo, obteniendo el máximo promedio de 2,81 mSv/año que corresponde al cantón Ambato dicho valor sobrepasa a la media mundial en un 17,17 %, mientras que el dato mínimo de 1,55 mSv/año encontrándose en un 35,48% menor al promedio mundial, el cual pertenece al cantón Baños, y mostrando el promedio para la provincia de 2,08 mSv/año, el cual es menor en 13,33% a la media mundial recomendada por el UNSCEAR. Al comparar con el estudio realizado en la provincia de Chimborazo en el año 2015, con el de este trabajo de investigación, se encontró una gran discrepancia entre ambos promedios de radiación natural. La provincia de Tungurahua posee un 27,47% mayor que la provincia de Chimborazo, esto se debe a que la radiación natural varía en cada lugar del planeta.

4.6 Normalidad de los datos de Radiación natural de la Provincia de Tungurahua

4.6.1 Cálculo Estadístico de Prueba de Anderson – Darling

La prueba de Anderson- Darling se utilizó para conocer si datos de altitud y radiación natural proceden de una población de distribución normal. Esta prueba se basa en la comparación de la distribución de probabilidades acumulada empírica con la distribución acumulada teórica.

Las hipótesis para la prueba de normalidad son hipótesis nula H_0 , hipótesis alternativa H_1

Hipótesis

H_0 : Los datos de la variable radiación natural siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de la variable radiación natural no siguen una distribución normal

Mediante la siguiente expresión se calcula el valor del Anderson –Darling A^2 .

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_i (2i - 1) [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{n+1-i}))] \quad (22)$$

Donde n es el numero de datos, F(Y) es la distribución de probabilidades acumulada normal con media y varianza especificadas a partir de la muestra y Y_i son los datos obtenidos en la muestra.

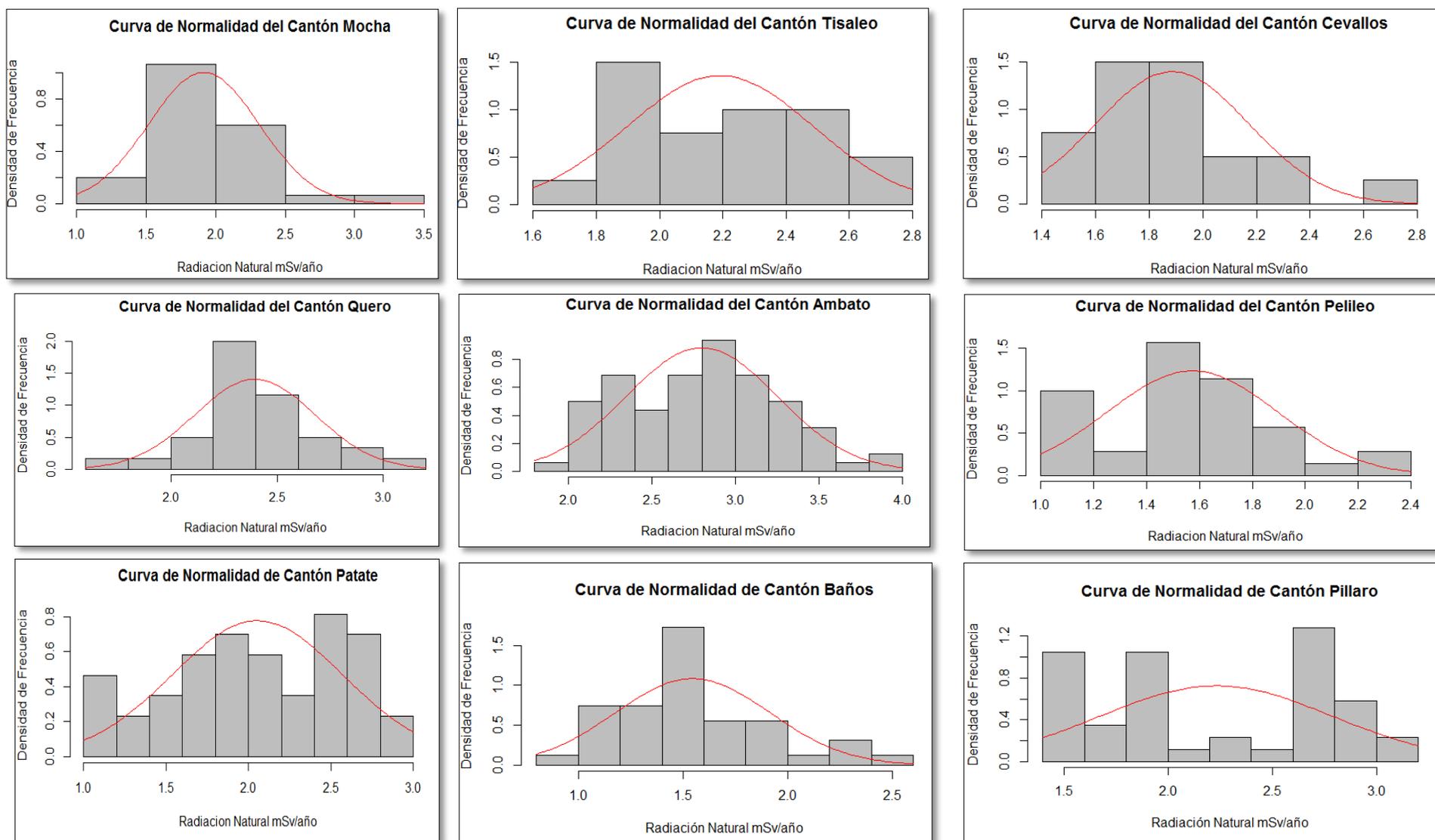


Gráfico 10-4: Curva de Normalidad de los cantones de la Provincia de Tungurahua.

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el gráfica 10-4 se muestra la curva de normalidad de los datos de radiación natural de los cantones de la provincia de Tungurahua.

Para el cálculo de normalidad con la prueba de Anderson Darling se tiene las siguiente condiciones:

Nivel de significancia $\alpha=0,01$

Nivel de confianza $\beta = 0,99$

El valor crítico de la prueba de Anderson Darling $A_7^2 = 1,035$

Tabla 4-3: Valores de la prueba de normalidad de los datos de Radiación Natural.

Prueba de Anderson-Darling		
Canton	Valor de Anderson Darling (A^2)	p-value
Mocha	0,18	0,30
Tisaleo	0,05	0,81
Cevallos	0,17	0,31
Quero	0,42	0,08
Ambato	0,48	0,07
Pelileo	0,36	0,11
Patate	0,24	0,21
Baños	3,20	1,28E-04
Pillaro	3,34	9,35E-05

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

En el estudio de normalidad de los datos de radiación natural de los cantones de la provincia de Tunguarahua se muestra en la tabla 13-4. Se identificó que el valor de Anderson Darling (A^2) en los cantones Mocha, Tisaleo, Cevallos, Quero, Ambato, Pelileo, Patate es menor al valor crítico (A_7^2), esto indica que los datos de radiación natural siguen una distribución normal, mientras que en los cantones Baños y Pillaro el valor de Anderson Darling (A^2) es mayor al valor crítico (A_7^2) entonces se dice que los datos de radiación natural no siguen una distribución normal.

Curva de Normalidad de la Provincia de Tungurahua

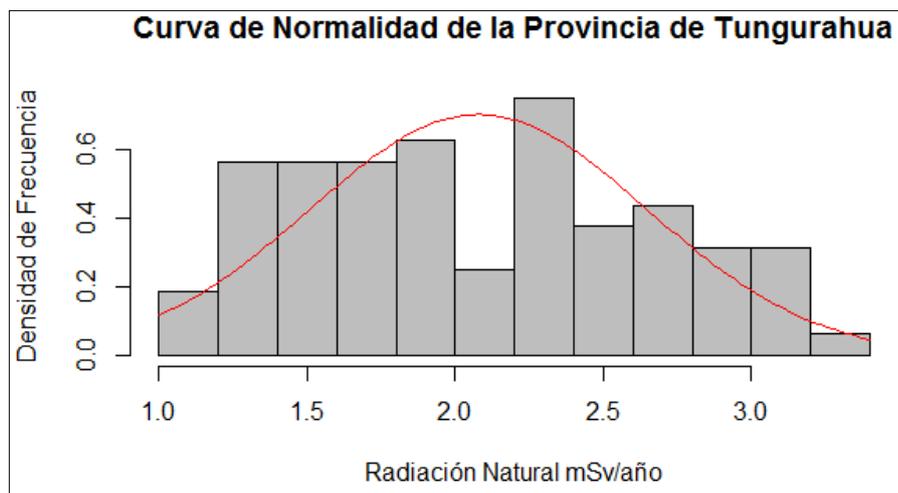


Gráfico 4-3: Curva de Normalidad de la Provincia de Tungurahua.
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

Al utilizar la prueba de normalidad con un nivel de significancia de 0,01 para todos los datos de Radiación Natural de la provincia de Tungurahua, se encontró el valor de Anderson Darling de $A^2 = 0,89$ y el valor $p=0,016$, mostrando que es menor al valor crítico de la prueba y esto nos indica que los datos de Radiación Natural siguen una distribución normal, esto se observa en el gráfico 11-4.

4.7 Modelo de Regresión lineal

El método de Regresión lineal nos permitió cuantificar la estrecha relación que existió entre las variables de altitud y radiación natural. La relación se expresa mediante la ecuación:

$$y = 0,0004x + 0,6441 \quad (23)$$

En esta ecuación Y representa la cantidad Radiación Natural mSv/año y X corresponde a la Altitud m.s.n.m de la provincia de Tungurahua. El valor de la pendiente de la recta es de 0,0004 sabiendo que la pendiente representa la inclinación de la recta, es decir es el incremento que se produce en la variable radiación natural cuando la variable altitud aumenta una unidad. La altura en que la recta corta al eje Y es de 0,6441, conocida como la ordenada en el origen.

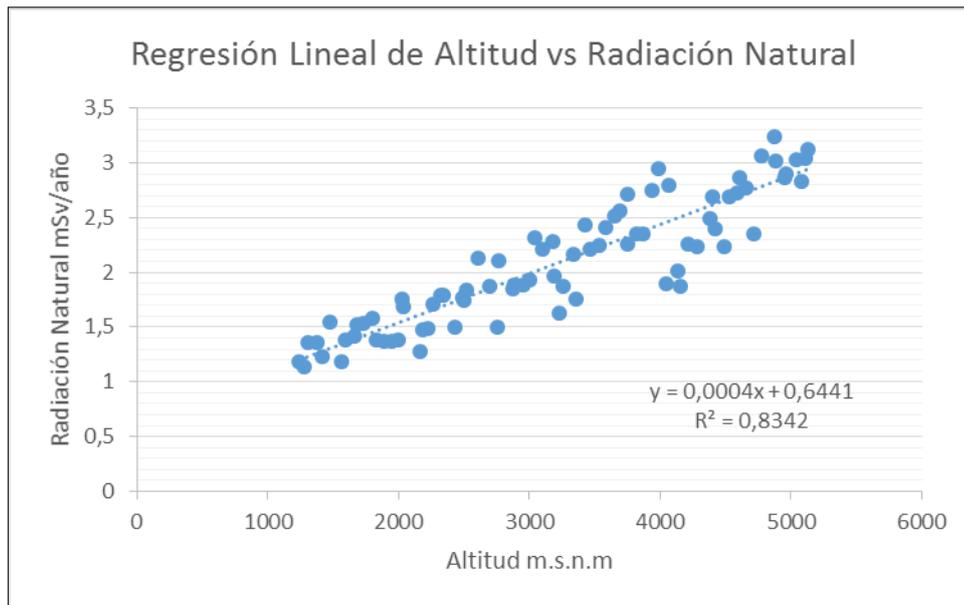


Gráfico 12-4: Regresión Lineal de Altitud vs Radiación Natural
Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

La relación que existe entre los datos de altitud y radiación natural es directa debido a que mientras se incrementa el valor en la altitud también aumenta el valor de la radiación natural, además se observa en el gráfico 12-4 que las variables tienen una relación positiva debido a que los puntos tienden hacia la derecha y hacia arriba, indicando que a mayor cantidad en altitud existe mayor cantidad en radiación natural.

4.8 Correlación entre la altitud y Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.

Mediante el coeficiente de correlación se pudo medir la relación lineal entre las variables altitud y Radiación Natural de la provincia de Tungurahua tal que los cambios en una variable dependiente influyen en los valores de la variable independiente. El valor de coeficiente de correlación puede tomar valores desde menos uno hasta uno, indicando que mientras más cercano a uno sea el valor del coeficiente de correlación, más fuerte será la asociación entre las dos variables.

El coeficiente de correlación encontrado en los datos de altitud y Radiación Natural de la provincia de Tungurahua es de 0,91 dicho valor cercano a uno indica una relación directa entre altitud y radiación natural.

Además se encontró el coeficiente de determinación $r^2=0,83$ esto indica que el 83% de la variación de los valores de radiación natural a su promedio es explicado por el modelo de

regresión lineal, por lo tanto este modelo es adecuado para describir la relación que existe entre las variables altitud y radiación natural.

4.9 Cálculo de la Exposición de Radiación Natural de los puntos muestrales en la Provincia de Tungurahua.

Los datos obtenidos en cada punto maestro se transforman de dosis a exposición C/Kg mediante la relación de la exposición con el kerma de colisión en aire y por el criterio de partículas cargadas (CPE) que permite relacionar el kerma de colisión y la dosis en aire.

Tabla 14-4: Tasa de Dosis y Exposición de la Provincia de Tungurahua.

Cantón	Altitud (m.s.n.m)	Tasa de Dosis de Radiación Natural (Gy/año)	Tasa de Exposición de Radiación Natural (C/Kg*año)
Mocha	3227	1,63E-03	4,80E-05
	3255	1,88E-03	5,53E-05
	3357	1,75E-03	5,16E-05
	3342	2,16E-03	6,36E-05
	4137	2,01E-03	5,93E-05
	4156	1,88E-03	5,53E-05
Tisaleo	3045	2,31E-03	6,81E-05
	3099	2,21E-03	6,50E-05
	3176	2,28E-03	6,71E-05
	3194	1,97E-03	5,79E-05
Cevallos	2877	1,88E-03	5,54E-05
	2885	1,74E-03	5,12E-05
	2954	1,88E-03	5,54E-05
	2999	1,95E-03	5,74E-05
Quero	3424	2,43E-03	7,17E-05
	3469	2,21E-03	6,52E-05
	3531	2,25E-03	6,61E-05
	3581	2,41E-03	7,10E-05
	4382	2,49E-03	7,33E-05
	4398	2,69E-03	7,92E-05
Ambato	4217	2,26E-03	6,65E-05
	4286	2,23E-03	6,57E-05
	4527	2,69E-03	7,92E-05
	4591	2,72E-03	8,01E-05

	4610	2,87E-03	8,44E-05
	4658	2,77E-03	8,15E-05
	4715	2,36E-03	6,94E-05
	4773	3,06E-03	9,01E-05
	4869	3,24E-03	9,55E-05
	4881	3,02E-03	8,90E-05
	4955	2,86E-03	8,43E-05
	4961	2,89E-03	8,52E-05
	5038	3,02E-03	8,90E-05
	5081	2,83E-03	8,33E-05
	5108	3,04E-03	8,94E-05
	5126	3,12E-03	9,18E-05
Pelileo	1995	1,38E-03	4,06E-05
	1953	1,37E-03	4,05E-05
	2032	1,76E-03	5,18E-05
	2038	1,69E-03	4,97E-05
	2170	1,28E-03	3,77E-05
	2187	1,48E-03	4,35E-05
	2768	2,10E-03	6,19E-05
	2756	1,50E-03	4,42E-05
Patate	1826	1,38E-03	4,06E-05
	1885	1,37E-03	4,05E-05
	2610	2,13E-03	6,28E-05
	2694	1,87E-03	5,50E-05
	3649	2,51E-03	7,40E-05
	3691	2,56E-03	7,55E-05
	3751	2,71E-03	7,97E-05
	3754	2,26E-03	6,66E-05
	4049	1,90E-03	5,58E-05
Baños	1240	1,18E-03	3,49E-05
	1279	1,14E-03	3,35E-05
	1313	1,36E-03	4,00E-05
	1375	1,36E-03	4,01E-05
	1416	1,23E-03	3,63E-05
	1480	1,55E-03	4,57E-05
	1563	1,19E-03	3,49E-05
	1597	1,38E-03	4,07E-05
	1661	1,42E-03	4,19E-05
	1685	1,53E-03	4,50E-05

	1732	1,53E-03	4,52E-05
	1797	1,58E-03	4,66E-05
	2222	1,48E-03	4,36E-05
	2268	1,71E-03	5,02E-05
	2344	1,79E-03	5,26E-05
	2322	1,80E-03	5,29E-05
	4420	2,40E-03	7,07E-05
	4493	2,24E-03	6,58E-05
Pillaro	2427	1,50E-03	4,42E-05
	2492	1,77E-03	5,22E-05
	2502	1,74E-03	5,12E-05
	2515	1,83E-03	5,39E-05
	3820	2,36E-03	6,94E-05
	3865	2,36E-03	6,93E-05
	3935	2,75E-03	8,09E-05
	3985	2,94E-03	8,67E-05
	4065	2,94E-03	8,67E-05
Promedio de la tasa de Exposición de Radiación Natural (C/Kg*año)			6,12E-05
Error típico			1,88E-06
Mediana			5,86E-05
Moda			5,52E-05
Desviación estándar			1,68E-05
Mínimo			3,35E-05
Máximo			9,55E-05

Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

Los datos de altitud, tasa de dosis y exposición de radiación natural de la provincia de Tungurahua se muestra en la tabla 14-4. Además se identificó el promedio de tasa de exposición de la provincia que es de $6,12 \times 10^{-5}$ C/Kg*año, el máximo valor de $9,55 \times 10^{-5}$ C/Kg*año y como mínimo de $3,35 \times 10^{-5}$ C/Kg*año. Las medidas de exposición de radiación natural encontrado en los diferentes puntos muestrales son significativamente diferentes por lo que en ciertos puntos sobrepasan los niveles recomendadas.

4.10 Mapa de Niveles de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua.

En el mapa de los niveles de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua se presenta a continuación identificando la radiación baja, intermedia y alta mostrando un color para cada uno.

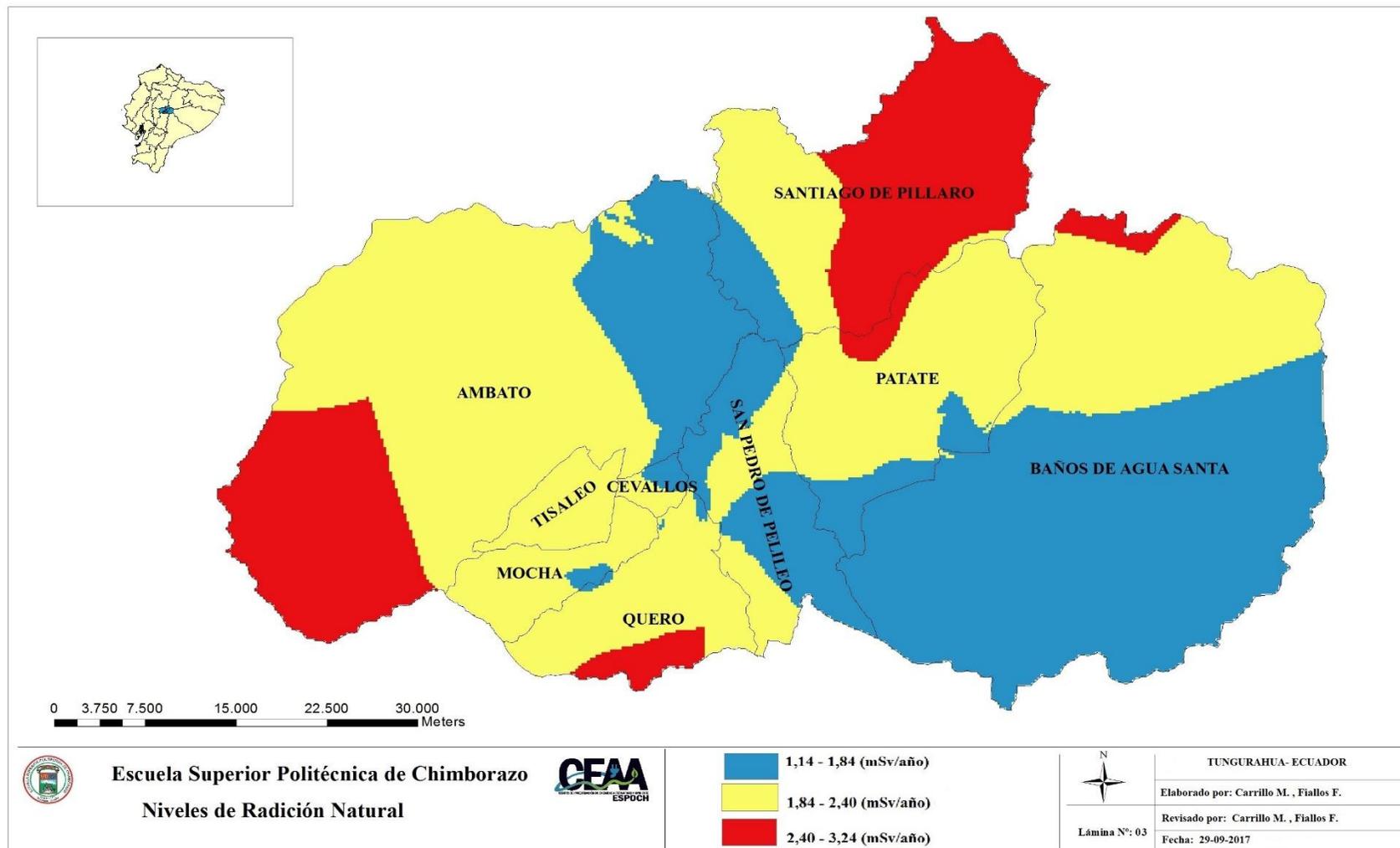


Gráfico 4-4: Mapa de Niveles de Radiación Natural de la Provincia de Tungurahua
 Realizado por: Carrillo M, Fiallos F, 2017.

El método de interpolación de Kriging pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. En la construcción de niveles de radiación de la provincia de Tungurahua error del método es de 0,27. Las zonas de menor radiación natural se indica con el color azul y está comprendido en el intervalo de (1,14 - 1,84) mSv/año estos valores se encuentran por debajo de la media mundial recomendada en los informes UNSCEAR además esta zona corresponde a bajas altitudes, mientras que las zonas de radiación natural intermedia se identifica con el color amarilla se encuentran en el intervalo de (1,84 - 2,4) mSv/año estos valores son cercanos al promedio mundial y las zonas mayor radiación natural se muestra con color rojo está en el intervalo de (2,4 – 3,24) mSv/año dichos valores sobrepasan el promedio mundial, dichas zonas se encuentra en altitudes altas y dando relación directa ente altitud y cantidad de radiación natural.

CONCLUSIONES

- En la provincia de Tungurahua, se obtuvo que el promedio de tasa de dosis y de la tasa de exposición a radiación natural son menores en un 13% a la media mundial recomendada por los Organismos Internacionales como la ICRP y el UNSCEAR.
- El valor medio máximo de radiación natural se encuentra un 35% por encima del promedio mundial y corresponde a un punto de monitoreo ubicado a una altitud de 4869 m.s.n.m en el nevado Chimborazo en una zona perteneciente al cantón Ambato. Mientras que, en el cantón Quero a una altitud de 4398 m.s.n.m el valor promedio de dosis sobrepasa en un 12% a la media mundial; estos niveles de radiación natural podrían causar daños a largo plazo a la población. El valor medio mínimo es de 1,14 mSv/año en la altitud de 1279 m.s.n.m. el cual está 53% por debajo de la media mundial, este punto se ubica en la parroquia San Francisco del cantón Baños de Agua Santa.
- El valor obtenido en la correlación entre altitud y radiación natural fue de 0,9 demostrando que la altitud es el factor más importante e influye de manera directa en la cantidad de radiación natural que posee la Provincia de Tungurahua.
- A partir de los datos obtenidos y mediante el método de interpolación de Kriging se realizó el mapa de niveles de radiación natural, que permitió evidenciar la distribución de tasa de dosis a la cual está expuesta la población de la provincia de Tungurahua.

RECOMENDACIONES

- Para la toma de las medidas de radiación natural se debe realizar un reconocimiento previo de la geografía del lugar de estudio.
- Se debería usar equipos que midan las condiciones ambientales tales como lluvia, viento, temperatura y humedad, las cuales pueden influenciar en la cantidad de radiación natural medida.
- Verificar que los equipos que van a ser usados cuenten con las respectivas calibraciones para garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.
- Los datos obtenidos en este trabajo, pueden ser utilizados para realizar estudios en las zonas que sobrepasan el límite recomendado por el UNSCEAR sobre las posibles consecuencias en la población de Tungurahua.
- Se recomienda continuar con estudios que estimen la radiación natural en las demás provincias del Ecuador, de tal manera que se logre conocer los niveles de radiación a la cual se encuentra expuesta el país, debido a que la contribución de radionúclidos naturales en el planeta no es uniforme desde su creación.

BIBLIOGRAFIA

ALLKOFER, O. C.; & Grieder, P. K. Cosmics Rays on Earth. Physics Data. N° 25-1. Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik. Karlsruhe, Germany, 1984, pp 33-44.

ARCGIS *Cómo funciona Kriging*. [En línea] [Consultado: 4 de Octubre del 2107]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>

ARIAS, Leonardo R. & URIBE, Julian "El Contador Geiger como Herramienta en la Enseñanza del Concepto de Radiación", vol 2 (2007), pp. 1-3.

ARNEDO, M. Á. Evaluación del fondo radiactivo natural de las Islas Canarias Orientales, implicaciones radiológicas sobre la población [En línea], (tesis).(doctoral), Universidad de la Palmas de Gran Canaria, España. 2014 p. 379, [Consultado: 4 de Mayo del 2107]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=89829>

ATTIX, Frank H. Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. 4th edn. Edited by Wiley-VCH Verlag GmbH. Wiley-VCH, 2007, pp 102-105.

BEER, Jurg; et al. "Cosmogenic Radionuclides : Theory and Applications in the Terrestrial and Space Environments", (2012), New York, pp 19-21.

BENES, A. & CARRERA, E. 'Radiacione Ionizantes- Normas de Proteccion' [En línea], (2008), pp. 78-89. Consultado : 18 de Mayo del 2017]. Disponible en: http://insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_304.pdf.

CORREA, Mayra. & GRANDA, Jose. *Aplicación Y Sistematización De La Propuesta Metodológica Para El Análisis De Vulnerabilidades Dela Parroquia Urbana Patate, Cantón Patate, Mediante El Uso De Herramientas Sig.* (tesis).(pregrado) Escuela Politécnica del Ejercito. Sangolquí, Ecuador. 2013. pp. 19-21.

CURTIS, S. B. et al. 'Radiation environments and absorbed dose estimations on manned space missions', *Advances in Space Research*, vol.6 , n° 11 (1986), (United State of America) pp. 269-274.

ECURED. *Provincia de Tungurahua* [en línea]. [Consultado : 18 de Mayo del 2017].

Disponible en: https://www.ecured.cu/Provincia_de_Tungurahua.

ERAZO MONTERO, Leonardo V. Radiometría del Radón y las Actividades Geofísicas Datos Operacionales. [En línea] (tesis).(pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador. 1987. [Consulta: 04-03-2017]. Disponible en: http://bibliotecas.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37173&query_desc=su%3A%22RADON%22

FERNÁNDEZ, J. Radiación Natural en Aire y Suelos de las Islas Canarias Occidentales. [En línea] (tesis). (Doctoral) Universidad de la Laguna,. Departamento de Medicina Física y Farmacología, España, 2010. pp. 44-45. [Consulta: 15-03-2017]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=824>

FERRE JAÉN María Elvira *Modelos de Regresión*. [en línea], 2014 [Consultada: 24 de Julio del 2017]. Disponible en: <http://www.um.es/ae/FEIR/40/>

FLORES HUMANANTE, B. E. Radiometría del Radón y Actividad Geofísica: Teoría y Datos Preoperacionales. [En línea] (tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 1986 [Consultado]. Disponible en: <http://bibliotecas.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37230>

FROEHLICH, Klaus. F. O. Environmental radionuclides : tracers and timers of terrestrial processes. Elsevier. Viena, 2010, pp.2-10

FRY, R.J.M; NATCHWEY, D. "Radiation Protection Guidelines For Space Missions", *Health Phys*, Vol 55, nº 55 (1988), pp. 159–164.

GALLEGO, E. "Radiaciones Ionizantes y Protección Radiológica", *Curso Para Profesionales De La Enseñanza*. (2003), España, pp. 8–10.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA. *Diagnóstico Del Cantón Baños De Agua Santa* Baños. Ecuador, 2014, pp.19-23.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO CANTÓN CEVALLOS. *Plan de Desarrollo y Ordamiento Territorial*. Cevallos. Ecuador, 2011, pp. 5-9.

GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN PILLARO. *Plan De*

Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantòn Santiago De Pillaro. Pillaro. Ecuador, 2014, pp. 5-9.

GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE TISALEO *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Tisaleo, Ecuador, 2014, pp. 10-13.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN QUERO *Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Santiago De Quero Provincia De Tungurahua*. Quero, Ecuador, 2011, pp.2-5.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN SAN PEDRO DE PELILEO. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Pelileo, Ecuador, 2014, pp. 20-26.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPALIDAD DE AMBATO. *Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial*. Ambato. Ecuador, 2015, pp. 3-7.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTON MOCHA. *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial*. Ambato. Ecuador, 2010, pp. 19-21.

IMAGES [en línea] *Digital Geiger Counter GCA-07*. 2014, [Consultada: 24 de Agosto del 2017] Disponible en: <http://www.imagesco.com/geiger/digital-geiger-counter.html>

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The use of gamma ray to define the natural radiation environment*. Viena, 1990, p. 49.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION. *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*. Madrid, 2007, pp. 54-60.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS *Basic aspects of high energy particle interactions and radiation dosimetry.*, *International Commission on Radiation Units and Measurement*.1987, pp.98-112.

ISAKSSON, M. & RÄÄF, C. L. *Environmental radioactivity and emergency preparedness*. CRC Press. New York, 2016, pp. 5-8.

JARA MANCHENO, M. P. Cuantificación del Radón en Habitaciones de Diferente Construcción y Evaluación del Riesgo Epidemiológico. (tesis).(Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 1990, pp. 60-69. [Consultada: 23-02-2017] Disponible en: <http://bibliotecas.espoch.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=37190>.

JIMÉNEZ, Fernando. *Determinación Y Seguimiento De ^{131}I , Diferentes Entornos Laborales.* Universidad de Valladolid. 2010. pp 22-25.

JORBA, Jaume. & ORTEGA, Xavier. (1996) Radiaciones Ionizantes : Utilización y Riesgos. Universitat Politècnica de Catalunya, 2ª ed, 1996, pp. 76-98.

KNOLL, Glenn. F. Radiation detection and measurement. New York: John Wiley and Sons, 4ª ed, 2010 b. pp. 207-208.

LÓPEZ, Armando *Pruebas de normalidad: Prueba de Anderson-Darling, 10-04.* [blog] [Consultada: 25 de Julio del 2017]. Disponible en :<https://es.slideshare.net/leugimxw/pruebas-de-normalidad-prueba-de-andersondarling>

LÓPEZ, Wilson & PÉREZ. Mario *Determinación de Radiación Natural en la Provincia de Chimborazo.* (tesis).(Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2015, p.115.

MANOSALVA, Julio. "Environmental radiation in central zone of Peru", Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, vol.9 nº 18 (2006), (Perú) p. 4.

MOHANTY, A. K. et al. "Natural radioactivity and radiation exposure in the high background area at Chhatrapur beach placer deposit of Orissa, India", *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 75(1) (2004), (India), pp. 15–33.

MASARIK, Josef. "Chapter 1 Origin and Distribution of Radionuclides in the Continental Environment" vol. 16, (2009), pp. 1–25.

NAMBI, K. S. V et al. "Natural Background Radiation and Population Dose Distribution in India", *Atomic Energy Commission Government of India*, (1986), (India) pp. 1–33.

OBRIEN, K. et al. "Atmospheric cosmic rays and solar energetic particles at aircraft altitudes", *Environment International*, vol. 22 n° 1 (1997), (United State of America), pp. 9–23.

PARETZKE, H. G. & HEINRICH, W. "Radiation Exposure and Radiation Risk in Civil Aircraft.", *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 48, (1993), pp. 33–40.

PICHISACA CÓRDOVA, Carmen E. *Cuantificar los Niveles de Radón en Ambientes de Dormitorios en la Parroquia Victoria del Portete (Cuenca - Azuay). En construcciones que Contengan Diferentes Tipos de Materiales.* (tesis). (pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2006, pp. 40-45. [COnsultado: 23 de Febrero del 2017]. Disponible en: http://bibliotecas.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=41702&query_desc=su%3A%22RADON%22.

PORRAS LARA. *Análisis de Regresión*, (2014) p. 11. [Consultada: 22 de Julio del 2017], Disponible en: http://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund5.pdf.

SHAHBAZI-GAHROUEI, D. "Natural Background Radiation Dosimetry in the Highest Altitude Region of Iran.", *Journal of radiation research*, vol. 44 n° 3 (2003), (Iran), pp. 2-4.

TORRES, G. *Unidad de Seguridad Nuclear y Proteccion Radiologica.* Bogotá, 2002, pp. 8-9.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION *Sources and Effects of Ionizing Radiation.* vol. 1 ., New York- Estados Unidos,, 1994, p. 175

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION 'Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation', vol. 1n° 67, New York- Estados Unidos. Naciones Unidas, 2013, p. 321.

VASCONCELOS, D. C. et al. "Modelling Natural Radioactivity in Sand Beaches of Guarapari, Espírito Santo State, Brazil", *World Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 3, (Brasil,) (2013), pp. 65–71.

WANG, Zuoyuan. "Natural radiation environment in China", *International Congress Series*, vol. 1225, (China) (2002) , pp. 39–46.

ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica para la recolección de los datos.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO					
					
<u>Ficha Técnica:</u>					
Fecha:		Hora:		Código:	
Lugar:		Altitud:			
Coordenadas:		Investigadores:			
Condiciones Ambientales:		Tipo de terreno:			
Observaciones Generales:	_____				
Sin Blindaje	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
Cuentas por minuto (Cpm)					
Dosis Equivalente ($\mu\text{Sv/h}$)					

Fuente: Carrillo M, Fiallos F, 2017

Anexo B: Informe de calibración de detector Geiger Müller modelo GCA-07W

 <p>Ministerio de Electricidad y Energía Renovable</p>	<p>SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES</p>	 <p>Gobierno Nacional de la República del Ecuador</p>					
<p>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN</p>							
<p>MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES LABORATORIO DE PATRONES SECUNDARIOS</p>							
<p>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.: CAL 894 - 2017</p>							
<p>INSTITUCIÓN:</p>		<p>FECHA DE CALIBRACIÓN:</p>	<p>FECHA DE PRÓXIMA CALIBRACIÓN:</p>				
<p>CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE</p>		<p>2017-06-02</p>	<p>2018-06-02</p>				
<p>INSTRUMENTO:</p>	<p>EQUIPO DIGITAL</p>	<p>Marca:</p>	<p>IMAGES</p>	<p>Modelo:</p>	<p>GCA-07</p>	<p>Serie:</p>	<p>60565</p>
<p>DETECTOR:</p>	<p>GEIGER MÜLLER</p>						

Condiciones ambientales durante la calibración:

Temperatura (°C): 23,1 Presión (mbar): 709,7 Humedad rel. (%): 46%

Instrumentos de Referencia:

Cámaras de Ionización Marca - Modelo: N.E. - 2570C Serie No: 470
 Electrómetro Marca - Modelo: FARMER - 2570/1B Serie No: 1124
 Multímetro Marca - Modelo: FLUKE - 189 Serie No: 94200084

Revisión de Características del instrumento: **Condiciones de pruebas realizadas al instrumento:**

Chequeo Mecánico: OK Substracción de Background: SI
 Se determinó Linealidad: SI
 Fuentes de Calibración: OBG
 Atenuadores (mm): 0.0

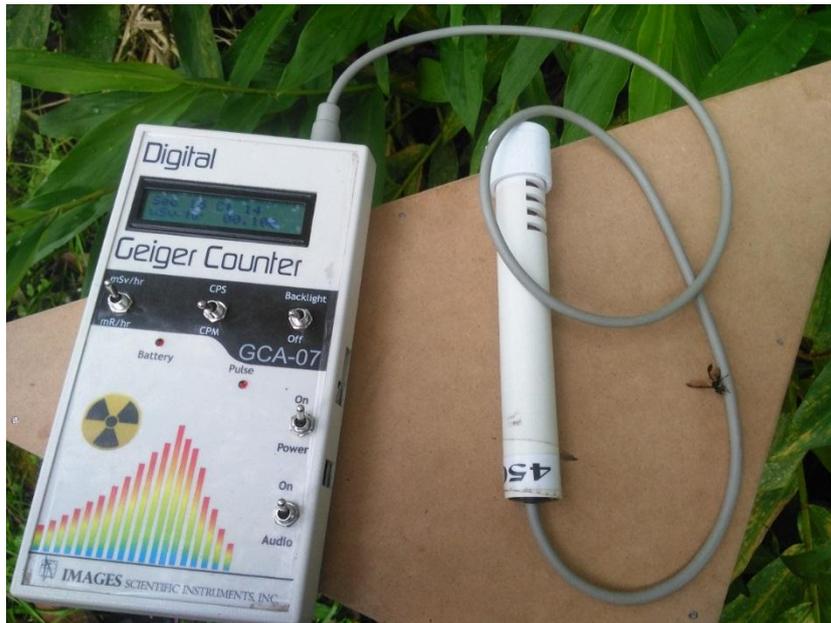
DATOS DE CALIBRACIÓN PARA TASAS DE DOSIS EQUIVALENTE POR RADIACIÓN GAMA CON CESIO 137					
ESCALA	FUENTE DE REFERENCIA	TASA DE DOSIS EQUIVALENTE DE REFERENCIA	LECTURA PROMEDIO DEL INSTRUMENTO		FACTOR DEL INSTRUMENTO
(0 - 10) mSv/h	OBG	5,000 mSv/h	4,582	mSv/h	1,10

NOTA: LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL EQUIPO DEBEN SER OBLIGATORIAMENTE MULTIPLICADAS POR EL FACTOR INDICADO PARA DETERMINAR EL VALOR REAL

El Laboratorio de Patrones Secundarios (LPS) del Ecuador, certifica que el instrumento ha sido calibrado bajo las normas y procedimientos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Calibrado por: E. Arévalo/Y. Pastor Responsable del L.P.S.: 
 Fecha de Emisión: 2017-06-05 Ing. Enrique Arévalo

Anexo C: Detector Geiger Müller modelo GCA-07W.



Fuente: Carrillo M, Fiallos F, 2017

Anexo D: Trípode utilizados para la toma de mediciones.



Fuente: Carrillo M, Fiallos F, 2017

Anexo E: Toma de Datos

