



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

**“DETERMINACIÓN DE RADIACIÓN NATURAL EN LA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

TESIS DE GRADO

PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

BIOFÍSICO

AUTORES: PÉREZ GALEAS MARIO HUMBERTO

LÓPEZ MARTÍNEZ WILSON ALEJANDRO

TUTOR: Dra. JHENY ORBE

Riobamba – Ecuador

2015

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de nuestras familias, quienes nos brindaron su apoyo, quedamos eternamente agradecidos.

A la directora de tesis la Dra. Jheny Orbe, quien nos ha guiado en esta investigación.

Al Dr. Celso Recalde y al centro de energías alternativas y ambiente gracias por su apoyo y consejos.

Al Ing. Pablo Flores por haber brindado los conocimientos adicionales que se necesitaban en esta investigación.

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Carlos Bonilla coordinador del departamento de gestión ambiental del GADPCH, que nos brindó la logística necesaria para la realización de esta investigación.

Mario H Pérez

Wilson A López

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza y sabiduría para superar los obstáculos que se han presentado a la largo de mi vida.

A una mujer ejemplar mi madre quien es el pilar fundamental de mi vida, a quien le debo todo lo que soy, de quien aprendí valores y principios, y sobre todo a nunca rendirme sea cual sea el obstáculo que se presente.

A mis tíos Marlene e Iván quienes me han apoyado incondicionalmente, estoy infinitamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanas y a toda mi familia por el apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Mario H Pérez

A Dios como único creador del universo.

Wilson López

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“DETERMINACIÓN DE RADIACIÓN NATURAL EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, de responsabilidad de los egresados señores Mario Humberto Pérez Galeas y Wilson Alejandro López Martínez, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Jheny Orbe

DIRECTORA DE TESIS

Dr. Celso Recalde

MIEMBRO DE TRIBUNAL

NOTA DE TESIS ESCRITA

Nosotros, Mario Humberto Pérez Galeas y Wilson Alejandro López Martínez, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Mario Humberto Pérez Galeas

Wilson Alejandro López Martínez

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	xi
INDICE DE GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
JUSTIFICACIÓN	xx
OBJETIVOS	xxii
OBJETIVO GENERAL	xxii
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xxii
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 BASES TEÓRICAS.....	4
1.2.1 Radiación natural	4
1.2.2 Radiación de origen extraterrestre	4
1.2.2.1 Rayos cósmicos.....	4
1.2.2.1.1 Rayos cósmicos primarios	4
1.2.2.1.2 Rayos cósmicos secundarios.....	5
1.2.3 Radiación de origen terrestre	7
1.2.4 Magnitudes físicas que caracterizan el decaimiento radiactivo.	10
1.2.3.1 Actividad	10
1.2.4.1 Periodo de semidesintegración y vida media.....	11
1.2.5 Magnitudes dosimétricas	12
1.2.5.1 Dosis absorbida.....	12
1.2.5.2 Exposición.....	13

1.2.6 Provincia de Chimborazo.....	14
1.2.6.1 División política de la Provincia de Chimborazo	15
1.2.6.1.1 Cantón Alausí.....	15
1.2.6.1.2 Cantón Chambo	15
1.2.6.1.3 Cantón Chunchi	15
1.2.6.1.4 Cantón Cumandá.....	16
1.2.6.1.5 Cantón Colta	16
1.2.6.1.6 Cantón Guamote	17
1.2.6.1.7 Cantón Guano	17
1.2.6.1.8 Cantón Pallatanga	18
1.2.6.1.9 Cantón Penipe	18
1.2.6.1.10 Cantón Riobamba.....	18
CAPÍTULO II	
METODOLOGÍA.....	20
2.1 DETERMINACIÓN DE PUNTOS MUESTRALES Y ELABORACIÓN DE MAPA DE PUNTOS MUESTRALES	20
2.2 MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO	22
2.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE RADIACIÓN NATURAL Y ALTURA	23
2.3.1 Datos atípicos de radiación natural	23
2.3.2 Estadística descriptiva de datos de altura y radiación natural de fondo de la Provincia de Chimborazo.....	24
2.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL PARA LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO	24
2.4.1 Cálculo del error estándar para cada estimador del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo.....	24
2.4.2 Prueba de normalidad de datos obtenidos en la Provincia de Chimborazo.....	25

2.4.3 Construcción de intervalos de confianza para cada estimador del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo.	25
2.4.4 Inferencias y cálculo del valor de probabilidad de los estimadores del modelo de regresión lineal.....	26
2.4.5 Correlación de las variables altura y radiación natural de fondo del modelo de regresión lineal.....	26
2.5 CÁLCULO DE EXPOSICIÓN PARA CADA PUNTO MUESTRAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.	26
2.6 EQUIPOS Y MATERIALES	27
2.6.1.1 Digital counter Geiger-Müller model GCA-07W.....	27
2.6.1.2 GPS Garmin 62s	28
2.6.1.3 Trípode.....	28
2.6.1.4 Libreta de campo.....	28
2.6.1.5 Computador.....	29
2.6.1.6 Programas informáticos	29
2.6.1.6.1 Qgis.....	29
2.6.1.6.2 Software propio del contador.....	29
2.6.1.6.3 Software MAWIL	30
CAPÍTULO III	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1 DATOS DE RADIACIÓN NATURAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.	32
3.2 DATOS ATÍPICOS DE RADIACIÓN NATURAL DE FONDO	37
3.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA ALTURA Y RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LOS CANTONES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	39
3.3.1 Cantón Alausí.....	39
3.3.2 Cantón Chambo	41
3.3.3 Cantón Chunchi	43
3.3.4 Cantón Colta	45

3.3.5 Cantón Cumandá.....	46
3.3.6 Cantón Guamote	48
3.3.7 Cantón Guano	50
3.3.8 Cantón Penipe	52
3.3.9 Cantón Riobamba.....	54
3.3.10 Cantón Pallatanga	56
3.3.11 Nevado Chimborazo	58
3.3.12 Cerro Altar.	60
3.4 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA ALTURA Y RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	62
3.5 MODELO DE REGRESIÓN LINEAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	63
3.5.1 Cálculo de coeficientes del modelo de regresión lineal.....	63
3.5.2 Normalidad de los datos de radiación natural de fondo y altura de la Provincia de Chimborazo.....	64
3.5.2.1 Planteamiento de hipótesis.....	64
3.5.2.2 Cálculo de estadísticos de prueba	70
3.5.2.3 Contraste de hipótesis de los Valores Residuales	71
3.5.3 Construcción del Modelo de Regresión Lineal.....	72
3.5.4 Construcción de intervalos de confianza e inferencia sobre los estimadores del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo	73
3.5.5 Inferencias sobre la intersección y la pendiente del modelo de regresión lineal.....	74
3.5.6 Predicción del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo.....	75
3.5.7 Correlación de las variables altura y radiación natural de fondo del modelo de regresión lineal.....	76
3.6 CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN DE LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LOS PUNTOS MUESTRALES EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO ...	77

3.7 MAPA DE RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	82
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS.....	88

LISTA DE CUADROS

TABLA 2-1:	Descripción de equipos y materiales, utilizados para la recolección de información para la determinación de radiación natural en la provincia de Chimborazo.....	27
TABLA 3-1:	Promedios de radiación natural obtenidos en la provincia de Chimborazo.	32
TABLA 3-2:	Datos atípicos	38
TABLA 3-3:	Datos y estadística descriptiva del cantón Alausí	39
TABLA 3-4:	Datos y estadística descriptiva cantón Chambo	41
TABLA 3-5:	Datos y estadística descriptiva cantón Chunchi	43
TABLA 3-6:	Datos y estadística descriptiva cantón Colta.	45
TABLA 3-7:	Datos y estadística descriptiva cantón Cumandá.	46
TABLA 3-8:	Datos y estadística descriptiva cantón Guamote.	48
TABLA 3-9:	Datos y estadística descriptiva cantón Guano	50
TABLA 3-10:	Datos y estadística descriptiva cantón Penipe.....	52
TABLA 3-11:	Datos y estadística descriptiva cantón Riobamba.	54
TABLA 3-12:	Datos y estadística descriptiva cantón Pallatanga.	56
TABLA 3-13:	Datos y estadística descriptiva Nevado Chimborazo.	58
TABLA 3-14:	Datos y estadística descriptiva del Cerro Altar	60
TABLA 3-15:	Datos Altura y Radiación Natural de Fondo Promedio ordenados de mínimo a máximo.....	63
TABLA 3-16:	Estimadores y error estándar de cada estimador del modelo de regresión lineal.	64
TABLA 3-17:	Valores residuales de Altura y Radiación Natural de Fondo de la Provincia de Chimborazo.....	65
TABLA 3-18:	Resultados de la prueba de normalidad de Anderson-Darling	70
TABLA 3-19:	Contraste de hipótesis planteadas en la prueba de normalidad	71
TABLA 3-20:	Valores obtenidos por el modelo de regresión Lineal Provincia de Chimborazo	74
TABLA 3-21:	Valores de probabilidad para cada estimador del modelo de regresión lineal.....	75
TABLA 3-22:	Hipótesis sobre los coeficientes del modelo de regresión lineal.	75

TABLA 3-23:	Valores de radiación natural de fondo predichos por la ecuación de recta para la población.	76
TABLA 3-24:	Dosis y Exposición de la Radiación Natural de Fondo Provincia de Chimborazo.	77

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1:	Representación esquemática de la producción de partículas en la atmósfera.	6
GRÁFICO 2:	Dependencia del flujo de rayos cósmicos con la altitud.....	7
GRÁFICO 3:	Radionúclidos primordiales no en serie.....	8
GRÁFICO 4:	Radionúclidos primordiales en serie.....	9
GRÁFICO 5:	Mapa territorial Provincia de Chimborazo.	14
GRÁFICO 6:	Mapa tentativo de puntos muestrales.....	21
GRÁFICO 7:	Mapa de puntos muestrales.....	22
GRÁFICO 8:	Software del detector Geiger-Müller.....	30
GRÁFICO 9:	Interfaz gráfica del software MAWIL.	31
GRÁFICO 10:	Diagrama de cajas y bigotes de siete localidades en las cuales se encontró datos atípicos	38
GRÁFICO 11:	Diagrama de dispersión del cantón Alausí	40
GRÁFICO 12:	Diagrama de dispersión cantón Chambo	42
GRÁFICO 13:	Diagrama de dispersión datos cantón Chunchi.....	44
GRÁFICO 14:	Diagrama de Dispersión cantón Colta	46
GRÁFICO 15:	Diagrama de dispersión cantón Cumandá	48
GRÁFICO 16:	Diagrama de dispersión datos cantón Guamote	50
GRÁFICO 17:	Diagrama de dispersión datos cantón Guano	52
GRÁFICO 18:	Diagrama de dispersión cantón Penipe.....	54
GRÁFICO 19:	Diagrama de Dispersión cantón Riobamba	56
GRÁFICO 20:	Diagrama de dispersión cantón Pallatanga.....	58
GRÁFICO 21:	Diagrama de dispersión Nevado Chimborazo.....	60
GRÁFICO 22:	Diagrama de dispersión Cerro Altar.....	62
GRÁFICO 23:	Histograma de los valores residuales vs. Curva de normalidad	71
GRÁFICO 24:	Recta de regresión vs. Datos experimentales	72
GRÁFICO 25:	Mapa de Radiación máxima y mínima provincia de Chimborazo	82

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
A	Actividad
HZE	Alto número atómico y alta energía
^{26}Al	Aluminio 26
^{39}Ar	Argón 39
Bq/g	Bequerel por gramo
^7Be	Berilio atmosférico
^{10}Be	Berilio 10
^{41}Ca	Calcio 41
Cs^{137}	Cesio 137
^{36}Cl	Cloro 36
CSV	Comma-separated values
CPM	Cuentas por minuto
CPS	Cuentas por segundo
D	Dosis absorbida
GeV	Giga Electronvoltios
^3He	Helio 3
^4He	Helio 4
Kg	Kilogramo
km	Kilómetro
^{81}Kr	Kriptón 81
^{175}Lu	Lutecio 175
^{176}Lu	Lutecio 176

MeV	Mega Electronvoltio
m	Metro
m ³	Metro cúbico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
μGy/h	Micro Grey por hora
mR/h	Mili Roentgen por hora
mSv/año	Mili Sievert por año
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
nGy/h	Nano Grey por hora
nSv/h	Nano Sievert por hora
¹⁵⁰ Nd	Neodimio 150
²¹ Ne	Neón 21
N	Número
pCi/g	Pico Curie por gramo
⁴⁰ K	Potasio 40
A#	Punto aleatorio número
P#	Punto número
¹⁴ C	Radiocarbono
⁸⁷ Rd	Rodio 87
⁸⁷ Rb	Rubidio 87
¹⁴⁷ Sm	Samario 147
S	Segundo
³² Si	Silicio 32
SI	Sistema Internacional

GPS	Sistema de posicionamiento global
^{22}Na	Sodio 22
^{24}Na	Sodio 24
UNSCEAR	The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
^{232}Th	Torio 232
^3H	Tritio
^{235}U	Uranio 235
^{238}U	Uranio 238
X	Exposición
SHP	Shapefile

RESUMEN

La presente investigación determinó la radiación natural en la Provincia de Chimborazo, la exposición de la población, la dosis equivalente y la correlación existente entre altura y la radiación natural.

Este trabajo se lo realizó en la totalidad de la extensión territorial de la Provincia de Chimborazo 6,500Km², esta investigación se sustenta bajo el método de investigación transversal. La medida de radiación natural se efectuó mediante un detector portátil Geiger Müller modelo GCA-07W, se realizaron medidas en 130 puntos en la Provincia de Chimborazo, los puntos en los cuales se tomó las medidas se determinaron por medio del método estratificado por conveniencia, por cada punto se tomaron 10 medidas de radiación natural obteniendo un total de 1300 datos, las medidas fueron tomadas a una altura constante de 50 cm desde la superficie de la tierra hasta la sonda del detector.

El promedio de radiación natural para la Provincia de Chimborazo fue 0,00142087 Sv/año, con un valor de correlación entre la altura y radiación natural de fondo de 0,901536. Concluyendo que la radiación natural de la provincia de Chimborazo se encuentra 41% debajo del promedio mundial establecido por el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica, existe evidencia suficiente para enunciar que en la provincia de Chimborazo la cantidad de radiación natural es influenciada directamente por la altura.

Se recomienda a los estudiantes de la escuela de física y matemática que se continúe con el estudio en otras provincias del Ecuador para ampliar el conocimiento de radiación natural.

Palabras clave: <PROVINCIA DE CHIMBORAZO> <RADIACIÓN NATURAL DE FONDO> <EXPOSICIÓN> <DOSIS EQUIVALENTE> <RADIACIÓN IONIZANTE> <DETECTOR GEIGER-MÜLLER>.

ABSTRACT

The present investigation determined the natural radiation in Chimborazo Province, the exposure of the population, the equivalent dose and the correlation between height and natural radiation.

This work carried out in the whole of the land area of Chimborazo Province 6.500 Km², this research is supported under method of cross research.

Natural radiation measurement was performed using Geiger-Müller a portable detector model GCA-07W, the measurements were taken in 130 points in Chimborazo Province, the points which we took the measurements were determined by method stratified by convenience, each point 10 measures of natural radiation with a total of 1300 data, the measurements were taken at a constant height of 50 cm from the surface of the earth until the detector probe.

The average natural radiation for Chimborazo Province was 0,00142087 Sv/year, with a value of a correlation between the height and natural radiation of 0,901536. Concluding that the natural radiation of Chimborazo Province is 41% below the world average established by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, there is enough evidence to state that in Chimborazo Province the amount of natural radiation is directly influenced by the height.

It is recommended to the students of Physics and Mathematics School that continue the study in other provinces of Ecuador to expand the knowledge of natural radiation.

Key words: <NATURAL RADIATION> < EXPOSURE> <EXIBIT> <EQUIVALENT DOSE> <IONIZING RADIATION> < GEIGER-MÜLLER DETECTOR> <CHIMBORAZO PROVINCE>.

INTRODUCCIÓN

La radiación natural de fondo, se encuentra presente desde la formación de la tierra y se clasifica en radiación ionizante de origen extraterrestre cuyo origen se encuentra fuera del planeta tierra (Los de energías más bajas provienen del sol y de otras estrellas cercanas), es decir es aquella radiación originada en el espacio exterior.

La radiación proveniente del espacio exterior se denomina radiación cósmica primaria, cuando la radiación cósmica primaria interactúa con los núcleos atómicos presentes en la atmósfera, las partículas secundarias y la radiación electromagnética generada recibe el nombre de radiación cósmica secundaria, mientras que los nucleídos generados reciben el nombre de nucleídos cosmogénicos.

La radiación ionizante de origen terrestre o también llamada radionúclidos primordiales que son fuentes de radiación que existen en la corteza terrestre desde su formación, cuyas concentraciones varían en diferentes regiones del planeta, estos radionúclidos son de larga vida con vidas media en el orden de millones de años.

Los radionúclidos primordiales están clasificados como, no en serie y en serie dependiendo de la vía de decaimiento, estos 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.

La concentración de radiación natural de fondo se ve afectada por varios factores como altitud, longitud y latitud, siendo el más influyente la altura.

En el Ecuador al no contar con estudios de este tipo, con el presente trabajo se pretende determinar la radiación natural en la provincia de Chimborazo y determinar la exposición de la población debido a radiación natural.

JUSTIFICACIÓN

La radiación natural de fondo existe desde la formación del planeta y se encuentra en todas partes, tanto en el aire que es inhalado, el agua y alimentos que son ingeridos, por lo tanto la población se encuentra expuesta de manera continua a radiación ionizante, según estudios realizados por el UNSCEAR 2013 la dosis promedio mundial recibida por la población corresponde a $2.4 \frac{\text{mSv}}{\text{año}}$ (Assembly, 2000). La investigación y medida de la radiación natural de fondo es de gran importancia no solo desde un punto de vista científico, sino que también desde un punto de vista de salud pública, ya que desde el reporte del UNSCEAR en 1994 se conoce que no solo las dosis altas de radiación ionizante producen daños clínicamente detectables, existen evidencias que las dosis bajas de radiación ionizante podían producir daños severos sobre la salud (Gonzalez, 1944), siendo uno de los efectos más importantes daños en el de ADN (UNSCEAR, 2013).

La cantidad de radiación natural de fondo varía de un lugar a otro dependiendo de ciertos factores como son:

- Concentración de minerales radiactivos presentes en la región estudiada.
- Latitud, longitud y altitud de la misma.

Siendo uno de los factores más influyentes la altitud, por lo que es de gran importancia el estudio de la radiación natural de fondo en diferentes regiones.

En países en desarrollo como el Ecuador al no contar con centrales nucleares la mayor fuente de radiación a la que está expuesta la población corresponde a radiación natural de fondo (Shahvazi-Gahrouei, 2003).

La provincia de Chimborazo se encuentra ubicada en la zona central del callejón interandino, en esta provincia se presentan variaciones en la altura que va desde 156 msnm(metros sobre el nivel del mar) en el cantón Cumandá hasta los 6310 msnm que corresponde a la cumbre del volcán Chimborazo, además de ser una región con gran variación de altura cuenta con volcanes en los cuales sobresalen los volcanes Tungurahua(5023 msnm) que se encuentra en proceso eruptivo, Chimborazo(6310msnm), Altar (5319msnm), El Carihuairazo (5110 msnm) y cerros importantes como El Igualata(4430 msnm) entre otros (Chimborazo, 2011), esto origina una composición diferente del suelo para distintas alturas, por lo cual es de mucha

importancia realizar un estudio en el que se pueda determinar la exposición de la población debido a la radiación natural de fondo en esta provincia (Manosalva, 2006).

Además la investigación satisface el objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir; “MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACION”, artículo 8: “PROPORCIONAR CONDICIONES ADECUADAS PARA EL ACCESO A UN HÁBITAD SEGURO E INCLUYENTE”.

Esta investigación es factible ya que se cuenta con la instrumentación necesaria y los puntos en los cuales se realizaron las medidas fueron lugares accesibles

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la radiación natural de fondo en la provincia de Chimborazo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un mapa de localización de puntos muestrales (localidades donde se medirá la radiación natural) basado en la altitud.
- Determinar la exposición de la población y la dosis equivalente debido a radiación natural de fondo.
- Realizar una correlación entre la altura y la exposición de la radiación natural de fondo.

HIPÓTESIS

La variación de altura que existe en la geografía de la provincia de Chimborazo incide en el nivel de radiación natural.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

La radiación natural o “Background” es la radiación que se encuentra en el ambiente sumada a otras fuentes artificiales que aportan radioactividad en la tierra.

Según el NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements) para los Estados Unidos, en su reporte No. 160; del 2009, la exposición a las fuentes de radiación artificial ionizante procedente de pruebas médicas comprende un 48%, exposición a la radiación natural es de un 50% y el 2% restante viene del consumo de productos, exposición ocupacional y exposición de plantas nucleares (NCRP, 2009).

El UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) desde el 3 de Diciembre de 1955, se encarga de analizar las fuentes de radiación ionizante y sus efectos en la salud humana y problemas ambientales.

El UNSCEAR evalúa la evidencia de que la radiación en bajas dosis tienen efectos en la salud en grupos expuestos y realiza avances en el entendimiento de los mecanismos biológicos por el cual los efectos de la radiación inducida en la salud humana o no humana pueden ocurrir. En su última reunión del 27 al 31 de Mayo del 2013 en la ciudad de Viena, en su reporte final establece que la contribución de dosis efectiva promedio

anual debida a radiación de origen natural está en un valor aproximado de 2.4 mSv a nivel mundial. (UNSCEAR, 2014).

En Irán un estudio que fue titulado *Natural Background Radiation Dosimetry in the Highest Altitude Region of Iran*, realizado por Daryoush Shahbazi-Gahrouei en el año 2003, en las provincias de Chaharmal y Bakhtiari, en el sur oeste de Irán. Donde la radiación ambiental fue monitoreada en 200 lugares de manera aleatoria en estas provincias. Se utilizaron para las mediciones detectores Geiger – Müller y detectores de centelleo. Ocho medidas fueron realizadas en cada región y un valor promedio fue usado para calcular la tasa de exposición de radiación natural.

La tasa promedio de exposición obtuvo un valor de 0.246 $\mu\text{Gy/h}$ y el promedio anual de dosis efectiva equivalente fue de 0.49 mSv. Se calculó la tasa de dosis total promedio de población ponderada al aire libre su valor fue 49nGy/h, que es superior a la tasa de dosis promedio ponderada por la población mundial, según el reporte del UNSCEAR en 1998, y es comparable a la dosis efectiva equivalente anual de 0.38mSv.

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 (SHAHVAZI-GAHROUEI, 2003).

En Perú se realizó el análisis titulado “Radiación ambiental en la zona central del Perú” en el año 2006 y cuyo autor fue Julio Manosalva, se realizó en los meses de julio y agosto, desde los 0 a los 4800 metros sobre el nivel del mar, se consiguió 250 medidas de radiación en veinticinco localidades de Lima y Morococha.

Encontrando promedios de dosis equivalentes en la región de Chala (0- 500msnm), 240nSv/h; en la región Yunga (500-2300msnm), 260.8 nSv/h; en la región Quechua (2300- 3500), 341.4 nSv/h; en la región Jalca (3500- 4000 msnm), 404.2 nSv/h; y la región de Puna (4000- 4800msnm), 515 nSv/h; el promedio de dosis equivalente de las cinco regiones fue de 3.2 mSv (MANOSALVA, 2006).

En la República del Ecuador y en la provincia de Chimborazo, no se han realizado estudios de radiación natural de fondo, a continuación se presenta algunos trabajos similares, que fueron realizados por estudiantes de la ESPOCH.

Radiometría del Radón y Actividad Geofísica: Teoría y Datos Pre-operacionales, por Flores Humanante Bolívar Edmundo, en el año de 1986.

Radiometría del Radón y Actividades Geofísicas: Análisis Estadístico Preliminar de los Datos, por Idrovo Novillo Julio César en el año de 1987.

Los Detectores Sólidos de Trazas Nucleares como Medidores del Radón 222, por Bejar Suárez Jaime Giovanni en el año de 1989.

Cuantificación del Radón en Habitaciones de Diferente Construcción y Evaluación del Riesgo Epidemiológico, por Jara Mancheno Mónica Patricia en el año de 1990.

Cuantificación de Radón en Recintos Habitacionales en las Provincias de Chimborazo, Carchi, Azuay, por Torres Méndez Bertha Dolores en el año de 1992.

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

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

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

1.2 BASES TEÓRICAS

1.2.1 Radiación natural

La radiación natural se encuentra presente en el medio ambiente existe desde que la tierra fue formada, lo cual constituye una exposición continua de la población a la radiación ionizante, la radiación natural está constituida por:

- Radiación de origen extraterrestre, radiación cósmica.
- Radiación de origen terrestre, nucleídos radiactivos presentes en la corteza de la tierra, en materiales de construcción y en el aire.

1.2.2 Radiación de origen extraterrestre

1.2.2.1 Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas provenientes del espacio exterior, en su mayoría protones o núcleos de átomos, generalmente producidas y aceleradas como consecuencia de llamaradas solare, supernovas, pulsar, permaneciendo en nuestra galaxia tiempos medios de 200 millones de años. La mayoría de las partículas de origen cósmico tienen energía de entre 10^2 y 10^5 MeV, aunque algunas veces alcanzan valores mucho más elevados (OBRIEN, 1992).

La radiación cósmica puede ser clasificada como rayos cósmicos primarios y rayos cósmicos secundarios. (OBRIEN, 1992).

1.2.2.1.1 Rayos cósmicos primarios

Los rayos cósmicos primarios son partículas que se originan fuera del sistema solar y se conocen como rayos cósmicos galácticos, aunque una porción que es mucho menor, tienen su origen en erupciones o llamaradas solares, están formados principalmente por protones de alta energía que ingresan en el sistema solar estos protones vienen,

acompañados de iones de ${}^4\text{He}$ y, en una menor proporción, partículas más pesadas, al igual que electrones, fotones y neutrinos. Se estima 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.

La densidad del flujo de rayos cósmicos primarios se ve afectada por la acción del campo magnético de la tierra, que desvía las trayectorias de estas partículas, por efecto de fuerzas de Lorentz, provocando que las partículas de más baja energía no lleguen, en la mayoría de los casos, a atravesar la atmósfera terrestre.

Este apantallamiento creado por el campo magnético de la Tierra es más efectivo en regiones ecuatoriales, donde las partículas inciden perpendicularmente a las líneas de fuerza del campo magnético, que en los polos. Por tanto la densidad del flujo primario de rayos cósmicos es dependiente de la latitud geomagnética, de tal manera que es mayor la cantidad de protones de baja energía en las capas superiores de la atmósfera, en los polos que en el ecuador (PARETZKE, 1993).

1.2.2.1.2 Rayos cósmicos secundarios

Los rayos cósmicos secundarios se forman cuando los rayos cósmicos primarios más energéticos, ingresan en la atmósfera, estos pierden la mayor parte de su energía al interactuar con los núcleos de los átomos presentes en el aire (nitrógeno, oxígeno y argón), de esta interacción se forman protones, neutrones, muones, piones y kaones.

Como consecuencia de la interacción los rayos cósmicos primarios además de la formación de rayos cósmicos secundarios se forman núcleos cosmogénicos, tales como ${}^3\text{H}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{22}\text{Na}$, ${}^{24}\text{Na}$. Además, se forman fotones de altas energías que vuelven a interactuar con núcleos en el aire formando más partículas secundarias (electrones y muones) (ICRU, 1978).

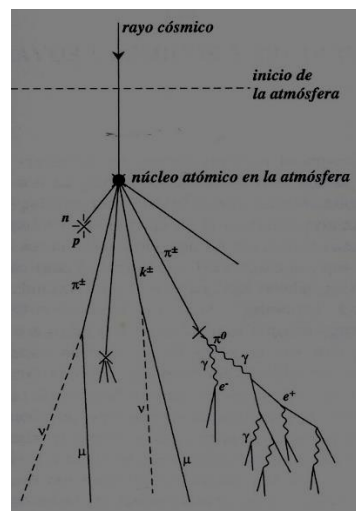
Se estima que, debido a las interacciones con los núcleos de los átomos que se encuentran presentes en el aire de la atmósfera, el flujo de protones primarios es atenuado cerca de la

mitad del flujo incidente, el flujo de las partículas alfa es atenuado en una cuarta parte y el de los iones más pesados es atenuado alrededor del 3%, o menos, del flujo inicial.

Un protón que procede del espacio exterior para poder penetrar la atmosfera hasta el nivel del mar debe contar con una energía de por lo menos de 2.170 MeV (PARETZKE, 1993).

El proceso de reacciones en cadena de los rayos cósmicos primarios con los núcleos atómicos de la atmósfera origina la formación de rayos cósmicos secundarios, este proceso es llamado cascada.

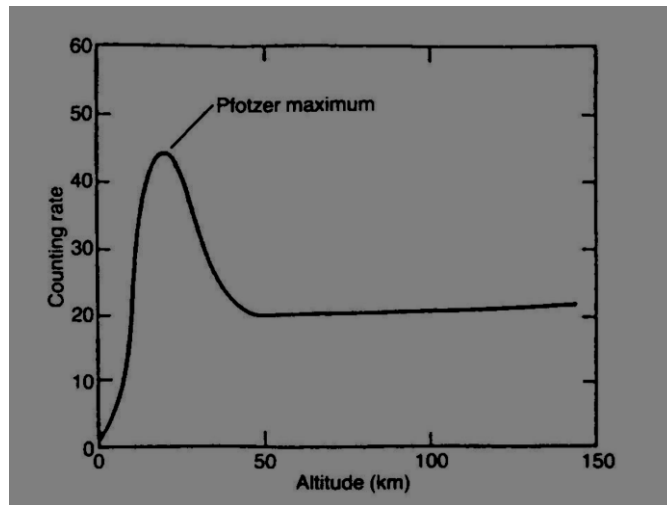
GRÁFICO 1: Representación esquemática de la producción de partículas en la atmósfera.



Fuente: Curtis, S.B, Atwell, W. Beever, R., 1994..

El número de partículas primarias y secundarias que se encuentra en la atmósfera se incrementa muy rápidamente con la altura. Aproximadamente a 20 km de altitud se alcanza el valor máximo de partículas (máximo de Pfozter).

GRÁFICO 2: Dependencia del flujo de rayos cósmicos con la altitud.



Fuente: Curtis, S.B, Atwell, W. Beever, R., 1994.

La contribución principal de dosis de radiación que se encuentra en la superficie terrestre es debida a muones, los cuales son producidos por la desintegración de los piones cargados los cuales tienen energía de 100GeV y por otros procesos de desintegración y de ionización (UNSCEAR, 1972).

1.2.3 Radiación de origen terrestre

Los radionúclidos primordiales, así como sus descendientes están presentes en la corteza terrestre desde el origen de la tierra, son de vidas media en el orden de millones de años. Los radionúclidos primordiales están clasificados como: no en serie y en serie dependiendo de la vía de decaimiento. Los dos primeros radionúclidos primordiales en la no serie son ^{40}K y ^{87}Rb .

El ^{40}K es emisor β y γ y el ^{87}Rb emisor γ , ambos contribuyen a las dosis de exposición interna y externa de especies vivas. La contribución a la dosis externa es variable, dependiendo de su concentración en rocas y suelo, aunque su concentración promedio en rocas de la corteza terrestre es aproximadamente 0,6Bq/g (17pCi/g).

El ^{40}K es encontrado en materiales de construcción tal como ladrillos y bloques de cemento. El ^{87}Rb es encontrado en rocas de la corteza en concentraciones cercanas a 0.07 Bq/g (2pCi/g), ya que es un emisor beta causa poco peligro externo.

GRÁFICO 3: Radionúclidos primordiales no en serie.

Nuclide	Relative abundance (%)	Daughter nuclide	Half-life (years)	Major radiation
^{40}K	0.0118	^{40}Ar , ^{40}Ca	1.28×10^9	β^- (89%), EC (11%)
^{50}V	0.24	^{50}Ti , ^{50}Cr	6.00×10^{15}	β^- (30%), EC (70%)
^{87}Rb	27.85	^{87}Sr	4.70×10^{10}	β^-
^{115}In	96.67	^{115}Sn	5.00×10^{14}	
^{123}Te	0.87	^{123}Sb	1.20×10^{13}	
^{138}La	0.089	^{138}Ba , ^{138}Ce	1.10×10^{11}	
^{142}Ce	11.7	^{138}Ba	5.00×10^{15}	
^{144}Nd	23.8	^{140}Ce	2.40×10^{15}	
^{147}Sm	15.1	^{143}Nd	1.06×10^{11}	
^{148}Sm	11.35	^{144}Nd	1.20×10^{13}	
^{149}Sm	14.0	^{145}Nd	4.00×10^{14}	
^{152}Gd	0.205	^{148}Sm	1.10×10^{14}	
^{156}Dy	0.057	^{152}Gd	2.00×10^{14}	
^{174}Hf	0.163	^{170}Yb	4.30×10^{15}	
^{176}Lu	2.588	^{176}Hf	2.20×10^{10}	
^{187}Re	62.93	^{187}Os	4.00×10^{10}	
^{190}Pt	0.0127	^{186}Os	$7/00 \times 10^{11}$	
^{204}Pb	1.4	^{200}Hg	1.40×10^{17}	

Fuente: Froehlich, K. 2010.

Radionúclidos primordiales en serie, ^{238}U , ^{232}Th y ^{235}U , son los radionúclidos padres para las tres series de decaimiento. Generalmente, la serie del actinio no es muy significativa ya que este elemento es raro.

GRÁFICO 4: Radionúclidos primordiales en serie.

Nuclide	Half-life	Radiation	Nuclide	Half-life	Radiation
Uranium series			Thorium series		
²³⁸ U	4.5 × 10 ⁹ years	α,γ	²³² Th	1.4 × 10 ¹⁰ years	α,γ
²³⁴ Th	24 days	β,γ	²²⁸ Ra	6.7 years	β
^{234m} Pa	1.2 min	β,γ	²²⁸ Ac	6.13 h	β,γ
²³⁴ U	2.5 × 10 ⁵ years	α,γ	²²⁸ Th	1.9 years	α,γ
²³⁰ Th	8.0 × 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	α
²¹⁸ Po	3.05 min	α	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	α	²¹² Po	3.04 × 10 ⁻⁷ s	α
²¹⁴ Bi	19.7 min	β,α	²⁰⁸ Tl	3.1 min	β,γ
²¹⁴ Po	1.64 × 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	β			
²⁰⁶ Pb	Stable				
Actinium series					
²³⁵ U	7.1 × 10 ⁸ years	α,γ			
²³¹ Th	25.64 h	β,γ			
²³¹ Pa	3.25 × 10 ⁴ years	α,γ			
²²⁷ Ac	21.6 years	β,α,γ			
²²⁷ Th	18.2 days	α,γ			
²²³ Fr	22 min	β,α,γ			
²²³ Ra	11.4 days	α,γ			
²¹⁹ Rn	4.0 s	α,γ			
²¹⁵ Po	1.77 × 10 ⁻³ s	α,β			
²¹¹ Pb	36.1 min	β,γ			
²¹⁵ At	~ 10 ⁻⁴ s	α			
²¹¹ Bi	2.16 min	α,β,γ			
²¹¹ Po	0.52 s	α,γ			
²⁰⁷ Tl	4.79 min	β,γ			
²⁰⁷ Pb	Stable	–			

Fuente: Froehlich, K. 2010.

1.2.4 Magnitudes físicas que caracterizan el decaimiento radiactivo.

1.2.3.1. Actividad

La actividad de una sustancia radiactiva es el número de núcleos de los átomos que se descomponen y emiten partículas radiactivas por unidad de tiempo (PARKS, 2001). La actividad de un material radiactivo depende de la cantidad de material. El cambio en el número de núcleos radiactivos que existen en cualquier momento es igual al número que decaen por desprendimiento de partículas radiactivas.

El cambio en el número de núcleos ΔN es proporcional al número de núcleos que no han decaído N y el tiempo Δt . Esto puede expresarse matemáticamente por la ecuación de diferencia:

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t$$

Donde λ es la constante de velocidad de desintegración nuclear que depende del isótopo que se está desintegrando y el tipo de partícula que está emitiendo. La constante de velocidad está relacionada con la probabilidad de que núcleos característicos, emitirán una partícula radiactiva de un tipo particular.

El signo negativo en $-\lambda N \Delta t$, indica la disminución en el número de núcleos en el tiempo.

Para tiempos infinitesimalmente pequeños esta ecuación se puede escribir como:

$$dN/N = -\lambda dt$$

Resolviendo la ecuación diferencial se tiene:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N es el número de núcleos desintegrados en cualquier tiempo t .

Cuando el $t=0$ entonces es el número de núcleos que inicialmente empezaron a desintegrarse N_0 . El símbolo “e” es el número natural exponencial 2.7138.

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

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

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

$$A = \lambda N_o$$

Y

$$A = A_o e^{-\lambda t}$$

Donde A_o es la actividad inicial de la muestra en un tiempo $t=0$, y es igual a λN_o .

La actividad de una muestra puede ser medida como una función del tiempo y la tasa constante puede ser determinada experimentalmente.

La unidad SI de la actividad es el becquerel y está definido como la actividad de un radio nucleído que tuvo una tasa de decaimiento por segundo, y equivale a una desintegración por segundo. Históricamente, la unidad estándar de la actividad es el Curie (Ci) y todavía la mayoría de las veces usada como unidad para expresar la actividad. Un Curie (Ci) es igual a 3.7×10^{10} Bequereles ($1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$). (BEIR, 2006).

1.2.4.1 Periodo de semidesintegración y vida media

Al periodo de semidesintegración, T , de un radionucleído se lo puede definir como el tiempo necesario para que el número de núcleos radiactivos disminuya a la mitad y por consecuencia, es el tiempo en que la actividad de una muestra radiactiva disminuya a la mitad (BONATI, 2006).

Si en $N = N_o e^{-\lambda t}$, se hace $N = N_o/2$, se obtiene:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t} \Rightarrow 1 = 2e^{-\lambda t} \Rightarrow 0 = \ln 2 - \lambda T \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

La vida media ν , es el tiempo que se requiere para que la cantidad de los núcleos radioactivos de una muestra disminuya hasta la mitad del número original de los núcleos radioactivos de la misma muestra (BURBANO, 2004).

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2}$$

1.2.5 Magnitudes dosimétricas

1.2.5.1 Dosis absorbida

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

$$\epsilon = (R_{in})_u - (R_{out})_u + (R_{in})_c - (R_{out})_c + \sum Q$$

Donde $(R_{in})_u$ es la energía radiante de partículas no cargadas entrando a un volumen V .

$(R_{in})_c$ es la energía radiante de las partículas cargadas entrando a V .

$(R_{out})_c$ es la energía radiante de partículas cargadas saliendo de V .

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

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

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

La dosis absorbida D es el valor probable de la energía impartida para la materia por unidad de masa en un punto (ATTIX, 2004). La magnitud de dosis absorbida es el gray

(Gy) y un gray es el equivalente a la unidad de dosis equivalente Sievert (Sv), que toma la dosis física que se multiplica por un factor de evaluación que toma en cuenta la radiosensibilidad individual de los siguientes tipos de tejidos, además 1Sv es equivalente a 1J/Kg (MEASUREMENTS, 1998).

1.2.5.2 Exposición

La exposición se simboliza con X y está definida como el cociente de dQ por dm , donde el valor de dQ es el valor absoluto de la carga total de iones producidos en el aire cuando todos los electrones (electrones y positrones) liberados por fotones en el aire de masa dm son completamente parados en el aire (ATTIX, 2004).

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Un Roentgen “R” es igual a la cantidad de radiación gamma o radiación-x que producirá iones llevando una carga de 2.58×10^{-4} coulomb por kilogramo de aire. Una exposición a un Roentgen de radiación con un total de absorción proporcionara 89,6 ergios de energía depositados por gramo de aire. Si el tejido humano contiene un Roentgen de radiación, 96 ergios de energía estarán depositados por gramos de tejido.

El rad y el rem son dos unidades de radiación principales usadas cuando se evalúa exposición a la radiación. El rad, es la unidad de dosis absorbida, y se refiere a la energía depositada en cualquier material. Un rad es igual a 100 ergios de energía de deposición por gramo de absorción.

El rem es la unidad de exposición humana y es una dosis equivalente (DE). Se toma en cuenta la eficacia biológica de diferentes tipos de radiación. El órgano atacado es importante en la evaluación de dosis de radiación y un factor modificado es usado en protección radiológica para corregir la eficacia biológica relativa (ICRU, 2011).

1.2.6 Provincia de Chimborazo

La Provincia de Chimborazo está ubicada en el centro del callejón interandino de la República del Ecuador posee un área aproximada de 6.500 km² repartida entre diez cantones, y posee una población de 458,581 habitantes (INEC, 2010), limita al norte con la Provincia del Tungurahua, al sur con las Provincias del Cañar y Guayas, al este con la Provincia Morona de Santiago y al oeste con la Provincia de Bolívar, es un territorio rico en contrastes geográficos.

El curso de ascensos y descensos de la cordillera occidental han permitido contar con una variedad de irregularidades geográficas en la superficie de la provincia con alturas que van desde los 300 msnm hasta los 6,310 msnm (CHIMBORAZO, 2011), aquí se encuentran elevaciones como el volcán Chimborazo, la montaña más alta del país (6,310 msnm) y el nevado Altar (5320 msnm).

La Provincia de Chimborazo tiene suelos que se caracterizan por ser de naturaleza volcánica y se forman a partir de materiales piroplásticos producto de erupciones pasadas, también hay suelos pantanosos propios de los páramos, en la parte occidental se pueden encontrar suelos francos que son propicios para la agricultura, y a nivel de los andes suelos rocosos (ARIAS, 2007).

GRÁFICO 5: Mapa territorial Provincia de Chimborazo.



Fuente: Mapas,E. 2013.

1.2.6.1 División política de la Provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo se divide en 10 cantones y 61 parroquias.

1.2.6.1.1 Cantón Alausí

El cantón Alausí se encuentra ubicado a 95 km al Sur de Riobamba. La cabecera cantonal San Pedro de Alausí está ubicado entre las coordenadas -78.8333 de longitud y -2.2 de latitud. Se extiende hasta el Oeste y Sur de la provincia entre los Nudos de Tiocajas y Azuay. Tiene una superficie de 1,644 km² la altura promedio es de 2,428 msnm, además posee una población aproximada es de 47,127 habitantes (AL AUSÍ, 2011).

Alausí está constituido por diez parroquias una urbana, San Pedro de Alausí y nueve rurales, Tixán, Sibambe, Huigra, Pistishi, Guasuntos, Achupallas, Sevilla, Pumallacta, y Multitud.

1.2.6.1.2 Cantón Chambo

Chambo está se encuentra a 8 kilómetros de Riobamba al noroeste de la Provincia de Chimborazo, está ubicado entre las coordenadas: -78.5833 longitud y -1.73333 latitud. El cantón Chambo se extiende hacia el este en las faldas de los montes Quilimas y Cubillín posee una superficie de 163.4 Km², un promedio altura de 2,780 msnm y una población aproximada de 11,885 habitantes (CHAMBO, 2012).

El cantón Chambo no tiene parroquias rurales.

1.2.6.1.3 Cantón Chunchi

El cantón Chunchi se encuentra ubicado en la región interandina ecuatoriana, en la parte sur de la Provincia de Chimborazo entre las coordenadas: -2.28333 latitud y -78.9167 longitud. Limita al norte con el nudo de Tiocajas, al oriente con la cordillera central y al occidente con la encañonada del río Chanchán. Posee una superficie de 274.9 Km², una

altura promedio de 2,272 msnm y una población aproximada de 12,686 habitantes (DESARROLLO, 2013) .

Chunchi contiene cinco parroquias una urbana, Chunchi y cuatro rurales, Gonzol, Capsol, Llagos y Compud.

1.2.6.1.4 Cantón Cumandá

El cantón Cumandá está ubicado al sur occidente de la Provincia de Chimborazo en las estribaciones de la cordillera Occidental, entre las coordenadas -2.23333 latitud y -79.1167 longitud. Limita al norte con las parroquias Multitud y Sibambe del cantón Alausí, al sur la parroquia Ventura del cantón Cañar de la Provincia de Cañar, al este la parroquia Huígra del cantón Alausí, y al oeste la parroquia Chillanes del cantón Chillanes de la provincia de Bolívar; cantón General Antonio Elizalde (Bucay), cantón Marcelino Maridueña y cantón El Triunfo de la provincia del Guayas.

Posee una superficie de 158.7 km², su altitud varia de 300 a 1,900 msnm y su población aproximada es de 9,395 habitantes (ESPOCH, 2011).

El cantón Cumandá no posee parroquias pero cuenta con 29 recintos; la Matriz Cumandá; con 18 barrios, el sector rural está conformado por Sacramento, Suncamal y La Isla.

1.2.6.1.5 Cantón Colta

El cantón Colta se encuentra ubicado en la parte noroccidental de la Provincia de Chimborazo, a 18 Km de la ciudad de Riobamba, sus coordenadas geográficas son: longitud -78.75 y latitud -1.7. Limita al norte con el cantón Riobamba al sur con el Cantón Pallatanga y parte del cantón Guamote al este el cantón Riobamba y al oeste la Provincia de Bolívar.

El cantón Colta posee una superficie de 840 Km², un promedio de altitud de 3,212 msnm y una población de 44,971 habitantes (DESARROLLO, 2013). El cantón Colta tiene seis

parroquias urbanas, Cajabamba y Cicalpa (Villa La Unión) y cuatro rurales, Cañi, Columbe, Juan de Velasco (Pangor), Santiago de Quito.

1.2.6.1.6 Cantón Guamote

El cantón Guamote se encuentra situado en la parte central del callejón interandino, al sur de la provincia de Chimborazo, a 50 Km de la ciudad de Riobamba, está ubicado entre las coordenadas -78.7167 longitud y -1.93333 latitud. Limita al norte con los cantones Riobamba y Colta, por el oeste y suroeste con el cantón Pallatanga, al sur con Alausí y al este con la provincia de Morona Santiago. El cantón Guamote posee una superficie de 520 Km², su altitud varía de 2600 hasta 4500 msnm y su población aproximada es de 45,153 habitantes (DESARROLLO, 2013).

El cantón Guamote está constituido de tres parroquias una urbana, Guamote y dos rurales, Cebadas y Palmira.

1.2.6.1.7 Cantón Guano

El territorio del cantón Guano se localiza al norte de la Provincia de Chimborazo, entre las coordenadas -1.6 de latitud, -78.6333 de longitud. Limita al norte con la Provincia del Tungurahua, la montaña del Igualata, el río Huahua Yacu y el río Mocha; al este, el río Chambo y el cantón Penipe; al sur, el cantón Riobamba y la quebrada las Abras; al oeste la Provincia de Bolívar y el cantón Riobamba.

El cantón Guano posee una extensión de 473 km², su altitud varía de 2,500 a 6,310 msnm y su población aproximada es de 43,000 habitantes (CAIZALUISA, 2012).

Guano tiene once parroquias, dos urbanas, Guano y El Rosario y nueve rurales, Guanando, Ilapo, La Providencia, San Andrés, San Gerardo, San Isidro, San José de Chazo, Santa Fe de Galán y Valparaíso.

1.2.6.1.8 Cantón Pallatanga

Pallatanga es un cantón de la Provincia de Chimborazo ubicado al Sur-oeste de la misma a 84 km de la ciudad de Riobamba, entre las coordenadas: - 1.5946 latitud y -78.5752 longitud oeste. Limita al norte con el cantón Colta, al sur el cantón Alausí, al este el cantón Guamote y al oeste el cantón Chillanes de la Provincia de Bolívar. Su extensión territorial aproximada es de 377 Km², su altitud varia de 1,200 hasta los 1,462 msnm y su población aproximada des de 12,000 habitantes (PAULA, 2013).

El cantón Pallatanga no cuenta con parroquias rurales, únicamente está conformado por la matriz Pallatanga, 64 comunidades, 10 cooperativas propietarias de páramos y 24 barrios urbanos.

1.2.6.1.9 Cantón Penipe

El cantón Penipe se encuentra en la Provincia de Chimborazo, en la cordillera oriental, entre las coordenadas -1.56667 latitud y -78.5333 longitud. Limita al norte con la Provincia de Tungurahua, al sur con el cantón Riobamba, al este con la Provincia de Morona Santiago y al oeste con el cantón Guano. El cantón Guano tiene una superficie de 372 km², su altitud varia de 2,500 hasta 5,424 msnm y su población aproximada es de 7,314 habitantes (ANDINA, 2009).

El cantón Penipe se subdivide en una parroquia urbana, Penipe y seis rurales, Bilbao, Puela, El Altar, San Antonio de Bayushig, Matus y La Candelaria.

1.2.6.1.10 Cantón Riobamba

El cantón Riobamba es la capital de la Provincia de Chimborazo se encuentra en el centro geográfico de la República del Ecuador en la cordillera de los Andes a 2,750 msnm, se ubica entre las coordenadas: -1.66667 latitud, -78.6333 longitud. Limita al norte con los cantones Guano y Penipe, al sur con los cantones Colta y Guamote, al este el cantón Chambo, y al oeste la Provincia de Bolívar. El cantón Riobamba tiene una superficie de

6,569 Km², su altitud promedio es de 2,750 msnm y su población aproximada es 156,723 habitantes (INEC, 2010).

El cantón Riobamba está dividido en cinco parroquias urbanas, Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco y Yaruquíes; y once parroquias rurales, San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punín, Cubijíes, Licán, San Luis y Pungalá.

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para determinar la radiación natural de fondo en la Provincia de Chimborazo consta de las siguientes etapas.

2.1 DETERMINACIÓN DE PUNTOS MUESTRALES Y ELABORACIÓN DE MAPA DE PUNTOS MUESTRALES

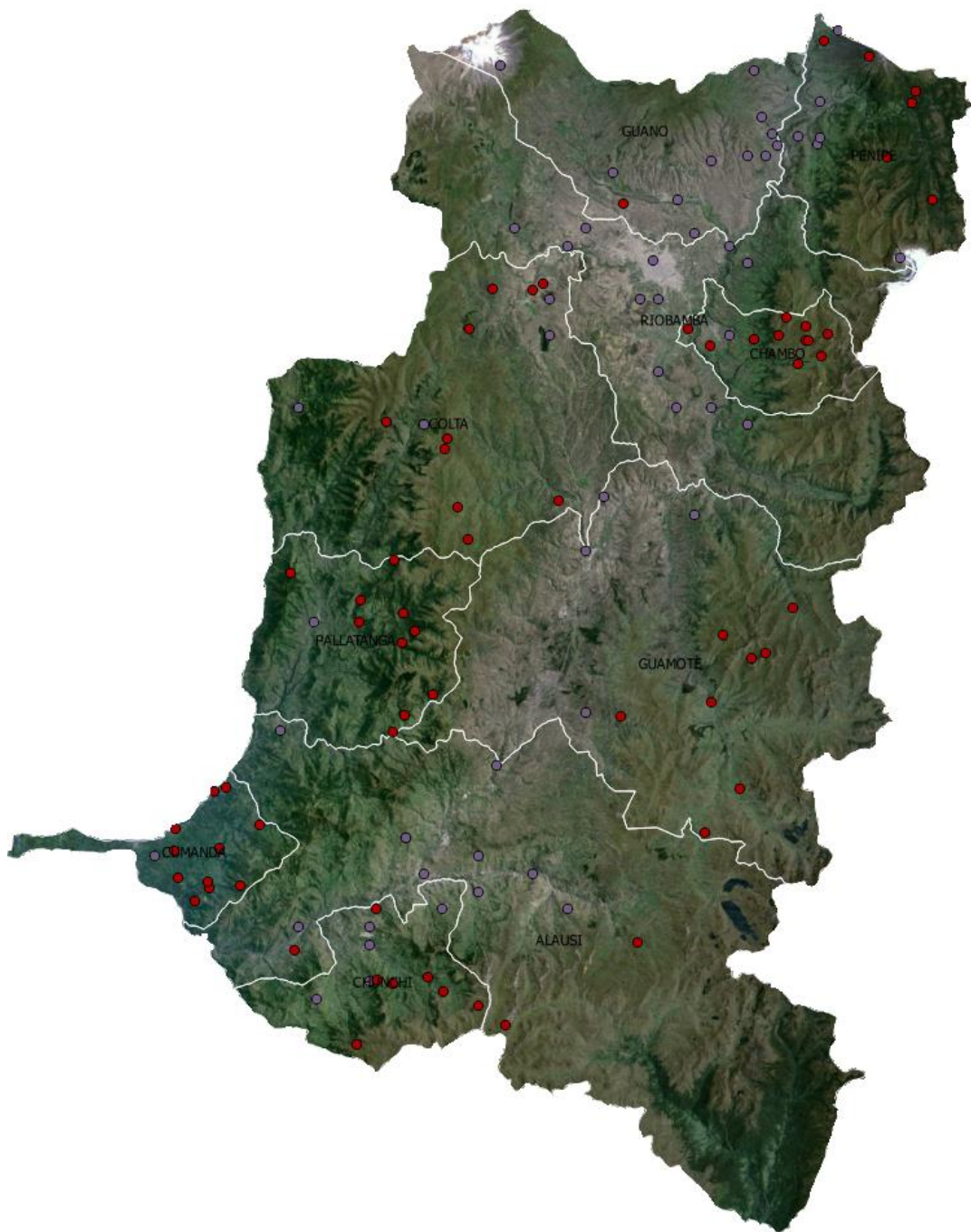
Para la determinación de los puntos muestrales se utilizó el método estratificado por conveniencia, se consideró a la Provincia de Chimborazo en 10 estratos un estrato para cada cantón (Alausí, Colta, Chambo, Chunchi, Cumandá, Guano, Guamote, Penipe, Pallatanga, Riobamba), para cada cantón se establecieron 12 puntos en los cuales se realizó la medida de radiación natural, seleccionando a las parroquias existentes como puntos muestrales.

Posteriormente se elaboró un mapa de puntos muestrales, se utilizó un sistema de información geográfico gratuito llamado Qgis en su versión 2.4, el software Qgis además de ser código abierto es multiplataforma que se encuentra disponible para GNU/Linux, Unix, Mac Os y Microsoft windows, la capa raster con la cual fue elaborado el mapa se descargó de www.inec.gob.ec.

En la capa descargada Chimborazo.shp se procedió a ubicar los puntos escogidos, para

esto se creó un archivo de texto .csv donde se especificó las coordenadas de los puntos, este archivo csv se cargó en el software Qgis como una capa de texto para posteriormente ser transformada a una capa .shp, se tuvo un total de 120 puntos, más los puntos Procedentes de los puntos de interés volcanes y elevaciones como el Altar, Tungurahua, Chimborazo, dando un total de 130 puntos en los cuales se tomó medias de radiación natural.

GRÁFICO 6: Mapa tentativo de puntos muestrales.



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

2.2 MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO

Para la toma de datos se procedió a localizar los puntos con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS), en raras ocasiones en las cuales los puntos situados en el mapa fueron inaccesibles se procedió a tomar la medida lo más cerca posible a la localización seleccionada.

Una vez en la localización se procedió a la georreferenciación y la toma de altura en metros e inmediatamente se realizó la medida de radiación natural utilizando un contador portátil Geiger Müller modelo GCA-07W.

GRÁFICO 7 : Mapa de puntos muestrales.



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

Para la estandarización de altura desde la superficie de la tierra hasta la sonda del detector se construyó un trípode con el cual se estableció como valor estándar 50 cm, el tiempo de toma de datos por punto fue de 600 segundos, obteniendo 10 datos por punto dando un total de 1,300 medidas de radiación natural.

Las medidas de salida del detector fueron escritas en la libreta de campo que se realizó para el fácil manejo de datos copiando tanto el número de cuentas acumuladas en 1 minuto como la cantidad de radiación en Sv/h para cada punto, adicionalmente se tomó nota de las condiciones ambientales, de las características del suelo, de la hora y fecha a la cual se realizó la medida.

2.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE RADIACIÓN NATURAL Y ALTURA

2.3.1 Datos atípicos de radiación natural

Una vez obtenidos los datos de radiación natural en la Provincia de Chimborazo se realizó el análisis de datos atípicos para esto se utilizó el diagrama de cajas y bigotes que describe dispersión y simetría.

La razón de utilizar este método es que los datos al ser repeticiones en el mismo punto deben encontrarse agrupados hacia un punto, en el diagrama de cajas y bigotes se calculan los cuartiles Q1, Q2, Q3 con los cuales forman la caja mientras que los bigotes los forman los límites inferiores y superiores, donde el primer cuartil (Q1) es la mediana de la primera mitad de valores $N/4$, el segundo cuartil (Q2) es la mediana de la serie, el tercer cuartil (Q3) es la mediana de la segunda mitad de valores $3N/4$.

Una vez realizada la limpieza de datos se calculó el promedio para cada punto muestral, obteniendo 130 datos de radiación natural de fondo en la Provincia de Chimborazo.

2.3.2 Estadística descriptiva de datos de altura y radiación natural de fondo de la Provincia de Chimborazo.

Se calculó como valor de tendencia central la media de cada variable, como valor de dispersión la varianza de la radiación natural de fondo, además el valor máximo y mínimo de las variables cada uno de estos parámetros fueron encontrados con ayuda del software MAWIL.

2.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL PARA LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Se procedió a construir el modelo de regresión lineal con las variables altura y radiación natural de fondo, se organizó un conjunto de 130 pares de datos $(x_1, Y_1), (x_2, Y_2), \dots, (x_{130}, Y_{130})$, donde los valores de \hat{Y}_i son los los valores de la variable respuesta radiación natural de fondo y la x_i las alturas a las que fueron tomados los datos. Se ajustó los datos a un modelo de regresión lineal, utilizando el método de mínimos cuadrados, y cada estimador del modelo de mínimos cuadrados fue calculado por medio del software MAWIL.

2.4.1 Cálculo del error estándar para cada estimador del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo.

El cálculo del error estándar para cada uno de los estimadores se lo realiza por medio de las fórmulas que determinan el error estándar en cada uno de los estimadores. Como los estimadores son valores que se calculan por medio de datos medidos y existieron errores en el momento de la medición es necesario medir su incertidumbre.

Utilizando el software MAWIL, se obtuvieron los valores del error estándar para cada uno de los estimadores del modelo de regresión.

2.4.2 Prueba de normalidad de datos obtenidos en la Provincia de Chimborazo

Para poder validar el modelo de regresión lineal se necesitó conocer que los datos de radiación natural de fondo y altura provenían de una población con una distribución con una probabilidad normal. Con el fin de contrastar normalidad en los datos, se procedió a plantear las hipótesis para la validar que los datos provienen de una distribución de probabilidad específica.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling (A^2), se determinó si los datos de las variables altura y radiación natural de fondo provienen de una población con una distribución de probabilidad normal mediante la comparación de los valores obtenidos en la prueba y la inferencia de las hipótesis nulas y alternativa. En esta prueba de normalidad se aplicó a los valores residuales que se los calcula como la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por la recta de regresión.

2.4.3 Construcción de intervalos de confianza para cada estimador del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo.

Es necesario estimar donde se encuentra el verdadero valor desconocido de cada estimador, el cálculo del intervalo de confianza, se ocupó el valor de la distribución t calculada para cada uno de los estimadores.

Además se encontró el valor de distribución t crítico dado en tablas de distribución t para grados de libertad $n-2$, las variaciones sobre cada una de las variables y el error mínimo cuadrado, con estos elementos por medio de las fórmulas de intervalo de confianza al 95% se procedió a construir el intervalo de confianza para cada estimador del modelo de regresión lineal, los valores calculados para la distribución t con grados de libertad $n-2$ fueron calculados por el software MAWIL.

2.4.4 Inferencias y cálculo del valor de probabilidad de los estimadores del modelo de regresión lineal

Para la validación del modelo de regresión lineal se plantearon dos hipótesis (una nula y una alternativa) a cada uno de los estimadores del modelo de regresión lineal con intención de determinar con certeza que existe influencia de la altura sobre la cantidad de radiación natural de fondo.

Calculando el valor de probabilidad p-valor se realizaron las inferencias sobre las hipótesis planteadas a cada uno de los estimadores $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$, cada uno de los valores de probabilidad se los encontró por medio del software MAWIL.

2.4.5 Correlación de las variables altura y radiación natural de fondo del modelo de regresión lineal

Finalmente para el modelo de regresión lineal se calculó el coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación para medir la relación entre las variables altura y radiación natural de fondo.

2.5 CÁLCULO DE EXPOSICIÓN PARA CADA PUNTO MUESTRAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

En cada uno de los puntos muestrales se midió directamente la dosis en Sv/min utilizando el detector Geiger-Müller.

Para transformar la dosis a C/Kg se aplicó el criterio de equilibrio de partículas cargadas en un detector, la dosis absorbida en aire es igual al Kerma Colisional en aire.

2.6 EQUIPOS Y MATERIALES

Los materiales utilizados en la presente investigación, para la toma de datos en campo se especifican en la siguiente tabla.

TABLA 2-1: Descripción de equipos y materiales, utilizados para la recolección de información para la determinación de radiación natural en la provincia de Chimborazo.

Material/Equipo	Marca/Modelo	Características
Digital Geiger-Müller counter	GCA-07W	Portátil, Sonda externa
GPS	Garmin 62s	Portátil
Ordenador Personal	HP	Portátil
	Acer mini	Portátil
Programas informáticos	Qgis	Elaboración de mapas
	Software digital Geiger-Müller counter	Software propio del contador Geiger-Müller
Trípode	Elaboración personal	1 m de alto, de madera
Libreta de campo	Elaboración personal	Tamaño A4

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

2.6.1.1 Digital counter Geiger-Müller model GCA-07W

El contador digital Geiger Müller modelo GCA-07W es un contador portable capaz de detectar y medir radiación alfa (Núcleos de helio), Beta (electrones), Gamma (Ondas electromagnéticas).

Cuenta con una sonda externa, en el cual se encuentra el tubo Geiger Müller, el contador digital tiene la capacidad de expresar la medida de radiación en cuentas por segundos (CPS) que es el número de cuentas detectada en un segundo, también puede expresar su

medida en cuentas por minutos (CPM) que muestra la cantidad de cuentas acumulada en un minuto, el número de cuentas detectada es expresado en mR/h y en mSv/h.

El contador Digital Geiger counter modelo GCA-07W ha sido calibrado con una fuente de Cs^{137} y certificado en la lectura precisa de niveles de radiación dentro del 5% de error.

2.6.1.2 GPS Garmin 62s

Para la localización y georreferenciación de los puntos muestrales se utilizó un GPS marca Garmin en su versión 62s, el dispositivo GPS además de permitir la georreferenciación también permitió determinar la altura a la cual se tomó la medida de radiación natural.

2.6.1.3 Trípode

Para la estandarización de altura suelo-sonda (contador) se utilizó un trípode, el trípode fue de elaboración personal, elaborado de madera y material plástico, el tamaño del trípode fue de un metro, la altura a la cual se estableció el estándar suelo-sonda fue de 50 cm para todas las medidas.

2.6.1.4 Libreta de campo

La libreta de campo se elaboró para el fácil manejo de datos la cual fue de elaboración personal, la idea de la elaboración de una libreta de campo fue debido en primer lugar a la gran cantidad de datos que debían ser tomados, teniendo una forma ordenada en la cual almacenar la información de campo.

En la libreta de campo además de copiar los datos de radiación natural se copió el número de cuentas (CPM), la hora a la cual fue tomada la medida, la fecha de toma de medida, condiciones ambientales, altura, longitud, latitud, tipo de terreno y observaciones para cada punto seleccionado en el mapa.

2.6.1.5 Computador

Para la presente investigación se utilizó dos computadores portátiles marca HP y ACER mini.

El computador HP se utilizó en campo para el uso del software propio del contador Geiger-Müller en cual se guardó tanto datos de radiación como gráficas de radiación en campo.

Tanto el computador HP como el ACER se usaron para el almacenamiento de datos.

2.6.1.6 Programas informáticos

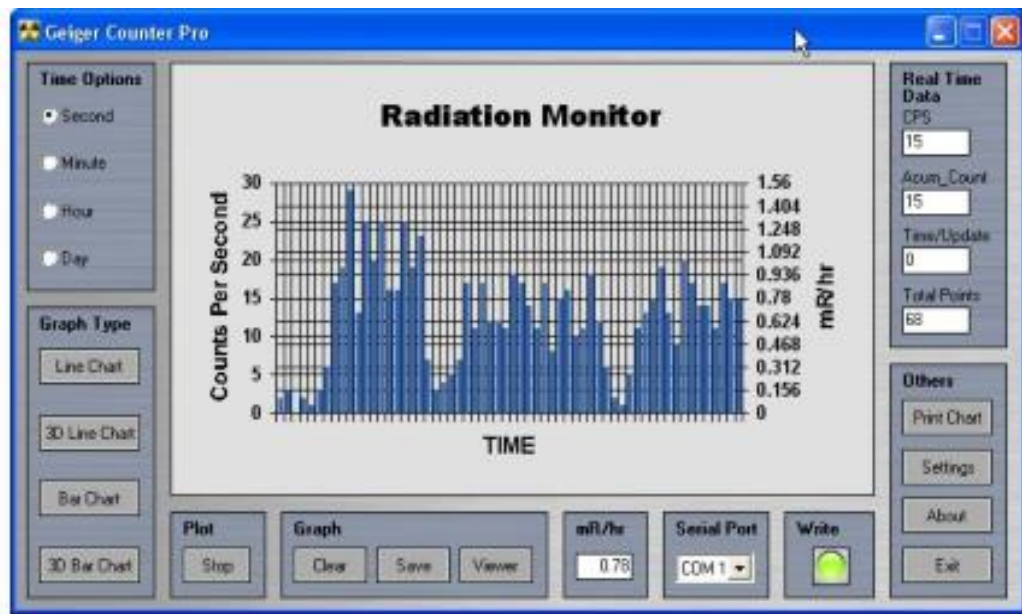
2.6.1.6.1 Qgis

Se utilizó el software Qgis en su versión 2.4 para la elaboración del mapa en el cual se establecieron los puntos muestrales.

2.6.1.6.2 Software propio del contador

El contador Geiger-Müller cuenta con un software el cual permite el almacenamiento y gráfica de datos captados por el contador Geiger-Müller, este software cuenta con interfaz gráfica y la capacidad de realizar gráficas de la radiación y cuentas por minuto(CPM) o por segundo(CPS), la radiación puede ser expresada en Roentgen(R) o en Sievert(Sv).

GRÁFICO 8: Software del detector Geiger-Müller



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

2.6.1.6.3 Software MAWIL

El software MAWIL fue creado para el análisis estadístico de ésta investigación, este software fue elaborado en MATLAB, el cual consta de tres partes que son. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS, donde se calcula, promedios tanto de radiación como altura, máximos y mínimos valores, varianza y desviación estándar, además realiza un gráfica de dispersión de los datos cargados.

PRUEBA DE NORMALIDAD DE ANDERSON DARLING, en esta segunda parte del software se busca comprobar la normalidad de los datos cargados para esto se utilizó el test de ANDERSON DARLING (AD) 95% de nivel de confianza, donde se calcula el coeficiente de AD (AD-Valor), el valor de probabilidad (P-Valor), media, varianza, desviación estándar y mediana de los valores residuales, adicionalmente se realiza el diagrama de dispersión y la curva de normalidad de los datos cargados.

MODELO DE REGRESIÓN LINEAL es la parte final del software donde se calcula los coeficientes de correlación y determinación, coeficientes de la regresión lineal (B0, B1),

el error estándar, el intervalo de confianza, el valor de probabilidad y el estadístico T de los coeficientes, con la respectiva gráfica de dispersión.

GRÁFICO 9: Interfaz gráfica del software MAWIL.



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DATOS DE RADIACIÓN NATURAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Los promedios de los datos de radiación natural de fondo obtenidos en campo se muestran en la tabla 3-1, donde se describe, el cantón, lugares, altura, latitud, longitud, y el promedio Sv/año de radiación obtenida en cada locación.

TABLA 3-1: Promedios de radiación natural obtenidos en la provincia de Chimborazo.

CANTÓN	LUGAR	Altura (msnm)	Latitud	Longitud	Radiación Natural de Fondo Sv/año
	Quimiag	2739	-1.65775	-78.56733	1,410E-03
	Cubijíes	2519	-1.64477	-78.58795	1,450E-03
	Pungalá	2865	-1.81667	-78.59357	1,720E-03
	Licto	2855	-1.80555	-78.6013	1,340E-03
	Flores	3208	-1.81704	-78.64625	1,570E-03
	Punín	2831	-1.7685	-78.65659	1,510E-03

RIOBAMBA	San Luis	2676	-1.70823	-78.64649	1,330E-03
	Cacha	3202	-1.70587	-78.70102	1,560E-03
	Licán	2954	-1.65364	-78.70766	1,500E-03
	Calpi	3108	-1.64656	-78.74365	1,410E-03
	San Juan	3245	-1.63378	-78.78259	1,480E-03
	Riobamba	2750	-1.66355	-78.65464	1,710E-03
CUMANDÁ	Rio Cumandá	297	-2.21225	-79.19198	5,011E-04
	Cumandá	327	-2.21722	-79.11983	9,217E-04
	Cumandá A1	311	-2.23439	-79.1011	7,271E-04
	Rio Chimbo	299	-2.20329	-79.13943	6,535E-04
	Valle alto	291	-2.20393	-79.14449	7,052E-04
	Cumandá A2	361	-2.23293	-79.06331	8,332E-04
	La Reserva	443	-2.21088	-79.16	6,684E-04
	Cumandá A3	365	-2.20986	-79.05678	7,858E-04
	Cumandá A4	333	-2.21116	-79.13603	7,421E-04
	Estación Cumandá	329	-2.21042	-79.14706	8,296E-04
	Cumandá A5	399	-2.1959	-79.10165	7,262E-04
	Cumandá A6	602	-2.13933	-79.04604	5,520E-04
	CHAMBO	Chambo A1	2837	-1.76564	-78.51411
Chambo A2		2768	-1.72228	-78.59724	1,486E-03
Chambo A3		2720	-1.73214	-78.62334	1,443E-03
Titaycun		3004	-1.73766	-78.58142	1,501E-03
Catequilla		2885	-1.72845	-78.58115	1,136E-03
San Pedro de Rucus		3019	-1.70911	-78.58405	1,692E-03
Airon		2791	-1.70401	-78.59641	1,580E-03
Chambo		2789	-1.73091	-78.59682	1,269E-03
Chambo A4		2775	-1.73022	-78.59326	1,580E-03

	San Francisco	3238	-1.791	-78.54787	1,852E-03
	Chambo A5	3012	-1.75999	-78.57659	1,377E-03
	Aguas Termales interior	3250	-1.735	-78.54787	2,033E-03
CHUNCHI	Joyagshi	2815	-2.37488	-78.96764	1,355E-03
	Llagos	2672	-2.36387	-78.98742	1,450E-03
	Chunchi A1	2344	-2.34657	-78.97588	1,084E-03
	Chunchi A2	2844	-2.39192	-78.97032	1,116E-03
	Pacuncasha	2540	-2.32577	-78.92784	1,281E-03
	Chunchi A3	2739	-2.333303	-78.92202	1,415E-03
	Compud	2520	-2.34444	-78.9361	1,165E-03
	Chunchi A4	2729	-2.35544	-78.96117	1,165E-03
	Chunchi	2265	-2.28977	-78.91983	1,149E-03
	Capsol	2345	-2.3082	-78.92172	1,157E-03
	Llarucum	2368	-2.26765	-78.89763	1,268E-03
	Chunchi A5	2525	-2.32901	-78.86277	1,122E-03
GUAMOTE	Guamote A1	3263	-2.0611	-78.74369	1,749E-03
	Palmira	3299	-2.08179	-78.72884	1,778E-03
	Atapo Santa cruz	3483	-2.09062	-78.70924	1,807E-03
	Guamote A2	3160	-1.89971	-78.72334	1,552E-03
	Guamote A3	3464	-2.16297	-78.56128	1,778E-03
	Laguana Atillo	3474	-2.18293	-78.5136	1,355E-03
	Guamote	3057	-1.93193	-78.70847	1,436E-03
	Pulle	3187	-1.99855	-78.72716	1,616E-03
	Cebadas	2956	-1.91285	-78.64191	1,749E-03
	Pancún Ichubamba	3077	-1.96544	-78.63593	1,685E-03

	Shaiwa	3223	-2.01985	-78.62516	1,756E-03	
	Rio Yasipán	3256	-2.0923	-78.5958	1,712E-03	
GUANO	Galán	3621	-1.48927	-78.56207	1,720E-03	
	Ilapo	3062	-1.56657	-78.5667	1,734E-03	
	Valparaíso	3082	-1.57168	-78.54974	1,854E-03	
	San Andrés	3021	-1.59172	-78.70103	1,612E-03	
	Urbina	3627	-1.48958	-78.71398	1,939E-03	
	San José del Chazo	3011	-1.53185	-78.5549	1,597E-03	
	San Gerardo	2663	-1.63906	-78.61465	1,157E-03	
	Guano cancha	2160	-1.61081	-78.64064	1,429E-03	
	Guano Casas	2742	-1.6104	-78.64576	1,662E-03	
	La Providencia	2483	-1.55971	-78.54339	1,406E-03	
	Guanando	2359	-1.54571	-78.5426	1,399E-03	
	Aleatorio A1	3102	-1.57167	-78.657	1,568E-03	
	PENIPE	Penipe	2502	-1.56302	-78.53048	1,412E-03
		Releche	3056	-1.63759	-78.50944	1,311E-03
Palitahua		2442	-1.522124	-78.49241	1,018E-03	
El Altar		2478	-1.59992	-78.50810	1,248E-03	
Matus		2732	-1.56184	-78.50082	1,437E-03	
Bayushig		2743	-1.54946	-78.52248	1,480E-03	
Bilbao		2308	-1.44194	-78.50086	1,311E-03	
Bilbao vaca		2433	-1.44593	-78.49646	1,516E-03	
Penipe A1		2292	-1.46052	-78.50317	1,347E-03	
Puela		2491	-1.51523	-78.50756	1,399E-03	
La candelaria		2982	-1.62652	-78.50289	1,566E-03	
Penipe A2		2746	-1.61041	-78.50957	1,245E-03	
	Alausí A1	2556	-2.30249	-78.82447	1,296E-03	

ALAUŚÍ	Pistishi	2313	-2.25609	-78.88056	1,209E-03
	Multitud	1156	-2.096464	-78.98701	9,899E-04
	Multitud Estación	1602	-2.121525	-78.96421	1,100E-03
	Achupallas	3348	-2.28334	-78.76794	1,323E-03
	Letras	3619	-2.28307	-78.75079	1,969E-03
	Alausí A2	2720	-2.2537	-78.80987	1,452E-03
	Sevilla	2854	-2.27144	-78.82335	1,333E-03
	Tixán	2974	-2.15491	-78.80137	1,414E-03
	Alausí	2436	-2.2068	-78.848	1,225E-03
	Guasuntos	2566	-2.23199	-78.81511	1,472E-03
	La Moya	2413	-2.24009	-78.80935	1,346E-03
COLTA	Cañi	2796	-1.77382	-78.99178	1,456E-03
	Juan de Velasco	3063	-1.82731	-78.8816	1,559E-03
	Colta A1	3220	-1.83731	-78.7346	1,393E-03
	Lirio	3598	-1.7456	-78.7799	1,800E-03
	Colta A2	4299	-1.73297	-78.87886	2,041E-03
	Colta A3	3480	-1.74174	-78.71587	1,654E-03
	Colta A4	3206	-1.68886	-78.7668	1,559E-03
	Cajabamba	3214	-1.70309	-78.77178	1,580E-03
	Colta	3304	-1.74667	-78.7492	1,506E-03
	Columbe	3146	-1.8888	-78.72327	1,508E-03
	Colta A5	3085	-1.66185	-78.7559	1,596E-03
	Colta A6	2688	-1.90904	-78.91568	1,470E-03
	San Vicente	2190	-2.02548	-78.93658	1,237E-03
	Palazul	1896	-2.02925	-78.96002	8,357E-04
	Jalubí	2272	-2.06118	-78.93152	1,185E-03
	Geshin grande	2418	-2.1022	-78.93943	1,100E-03

PALLATANGA	Jesús del Gran poder	2785	-1.98749	-78.92247	1,194E-03
	Guaro grande	2260	-2.02083	-78.92173	1,327E-03
	Olivo	2759	-1.9915	-78.90632	1,261E-03
	Pallatanga	1529	-2.00116	-78.96556	1,062E-03
	Sacotocentro	1997	-2.01401	-78.93306	1,239E-03
	Pallatanga A1	2637	-1.98524	-78.99478	1,330E-03
	Pallatanga A2	2328	-2.01173	-78.99968	1,208E-03
	Pallatanga A3	1537	-2.05411	-79.00335	1,056E-03
NEVADO	Chimborazo P1	4015	-1.52158	-78.8605	2,122E-03
	Chimborazo P2	4312	-1.50591	-78.87054	2,034E-03
	Chimborazo P3	4928	-1.47468	-78.8384	2,399E-03
	Segundo Refugio	5032	-1.46987	-78.83524	2,298E-03
	Chimborazo P4	5073	-1.47388	-78.8335	2,632E-03
	Chimborazo P5	5124	-1.46532	-78.83984	2,421E-03
ALTAR	Campamento	3522	-1.70345	-78.47014	1,721E-03
	Altar P1	4277	-1.71786	-78.45001	1,792E-03
	Altar P2	3668			1,627E-03
	Bocatoma	3205	-1.69217	-78.49426	1,368E-03

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.2 DATOS ATÍPICOS DE RADIACIÓN NATURAL DE FONDO

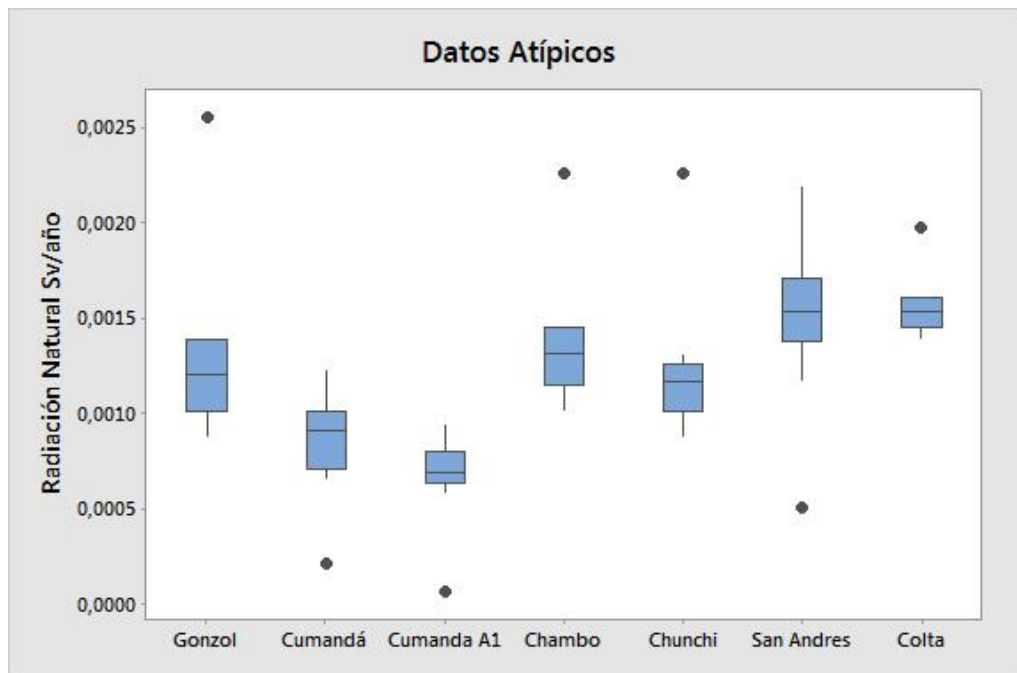
La tabla 3-2 que se muestra a continuación contiene los datos de radiación natural de fondo medidos en las diferentes localidades, siendo el primer dato el atípico.

TABLA 3-2: Datos atípicos

Lugar	Alausí	Cumandá	Cumandá A1	Chambo	Chunchi	San Andrés	Colta
Sv/año	2,55E-03	2,19E-04	7,01E-05	2,26E-03	8,76E-04	5,08E-04	1,97E-03
	1,38E-03	6,57E-04	5,78E-04	1,10E-03	1,02E-03	1,17E-03	1,45E-03
	1,02E-03	7,27E-04	6,57E-04	1,17E-03	1,02E-03	1,45E-03	1,45E-03
	1,24E-03	8,76E-04	6,57E-04	1,24E-03	1,10E-03	1,53E-03	1,45E-03
	1,38E-03	8,76E-04	6,57E-04	1,24E-03	1,17E-03	1,53E-03	1,53E-03
	1,24E-03	9,46E-04	7,27E-04	1,38E-03	1,17E-03	1,53E-03	1,53E-03
	8,76E-04	9,46E-04	7,27E-04	1,38E-03	1,17E-03	1,60E-03	1,53E-03
	1,10E-03	1,02E-03	7,97E-04	1,45E-03	1,24E-03	1,67E-03	1,60E-03
	1,02E-03	1,02E-03	7,97E-04	1,45E-03	1,31E-03	2,19E-03	1,60E-03
	1,17E-03	1,24E-03	9,46E-04	1,02E-03	2,26E-03	1,82E-03	1,38E-03

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

GRÁFICO 10: Diagrama de cajas y bigotes de siete localidades en las cuales se encontró datos atípicos



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA ALTURA Y RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LOS CANTONES DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

A continuación se presenta el promedio de radiación natural de fondo medido a diferentes alturas, para cada cantón de la Provincia de Chimborazo.

3.3.1 Cantón Alausí

TABLA 3-3: Datos y estadística descriptiva del cantón Alausí

N	Lugar:	Altura msnm	Promedio Sv/año
1	Alausí A1	2556	1,296E-03
2	Pistishi	2313	1,209E-03
3	Multitud	1156	9,899E-04
4	Achupallas	3348	1,323E-03
5	Letras	3619	1,969E-03
6	Alausí A2	2720	1,452E-03
7	Multitud Estación	1602	1,100E-03
8	Sevilla	2854	1,333E-03
9	Tixán	2974	1,414E-03
10	Alausí	2436	1,225E-03
11	Guasuntos	2566	1,472E-03
12	La Moya	2413	1,346E-03
Máximo Background Sv/año		0,001969	Lugar: Letras
Mínimo Background Sv/año		0,0009899	Lugar: Multitud
Máximo Altura msnm		3619	Lugar: Letras
Mínimo Altura msnm		1156	Lugar: Multitud
Promedio Background Sv/año		0,00134408	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)² 5,85229E-08

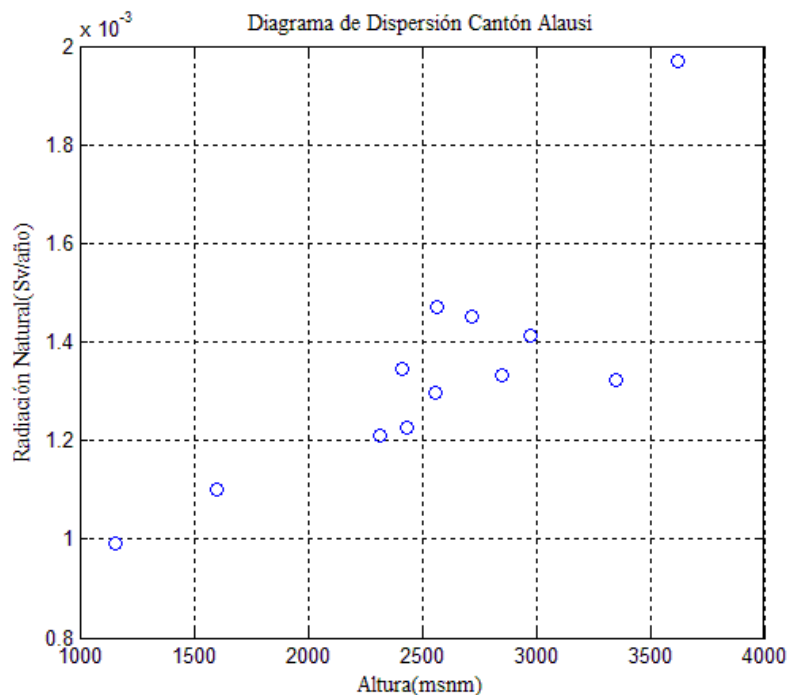
Promedio Altura msnm	2546,416	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000235854
-----------------------------	----------	--	-------------

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-3, del cantón Alausí se obtuvo como dato máximo de radiación natural de fondo de 0,001969 Sv/año a una altura máxima de 3619 msnm en el caserío Letras, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 0,0009899 Sv/año a una altura mínima de 1156 msnm en la parroquia Multitud.

El gráfico 11, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Alausí.

GRÁFICO 11: Diagrama de dispersión del cantón Alausí



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Alausí se observa que los datos siguen una tendencia lineal, se aprecia baja dispersión entre los datos de radiación natural de fondo y esto se corrobora con el valor obtenido de la desviación estándar.

3.3.2 Cantón Chambo

TABLA 3-4: Datos y estadística descriptiva cantón Chambo

N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año	
1	Chambo A1	2837	1,362E-03	
2	Chambo A2	2768	1,485E-03	
3	Chambo A3	2720	1,442E-03	
4	Tytacun	3004	1,501E-03	
5	Catequilla	2885	1,136E-03	
6	San Pedro de Rucus	3019	1,691E-03	
7	Airón	2791	1,580E-03	
8	Chambo	2789	1,269E-03	
9	Chambo A4	2775	1,579E-03	
10	San Francisco	3238	1,851E-03	
11	Chambo A5	3012	1,380E-03	
12	Termas	3250	2,033E-03	
Máximo Background Sv/año		2,033E-03	Lugar:	Termas
Mínimo Background Sv/año		1,136E-03	Lugar:	Catequilla
Máximo Altura msnm		3250	Lugar:	Termas
Mínimo Altura msnm		2720	Lugar:	Chambo A3
Promedio Background Sv/año		0,00152608	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	6,06841E-08
Promedio Altura msnm		2924	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000235854

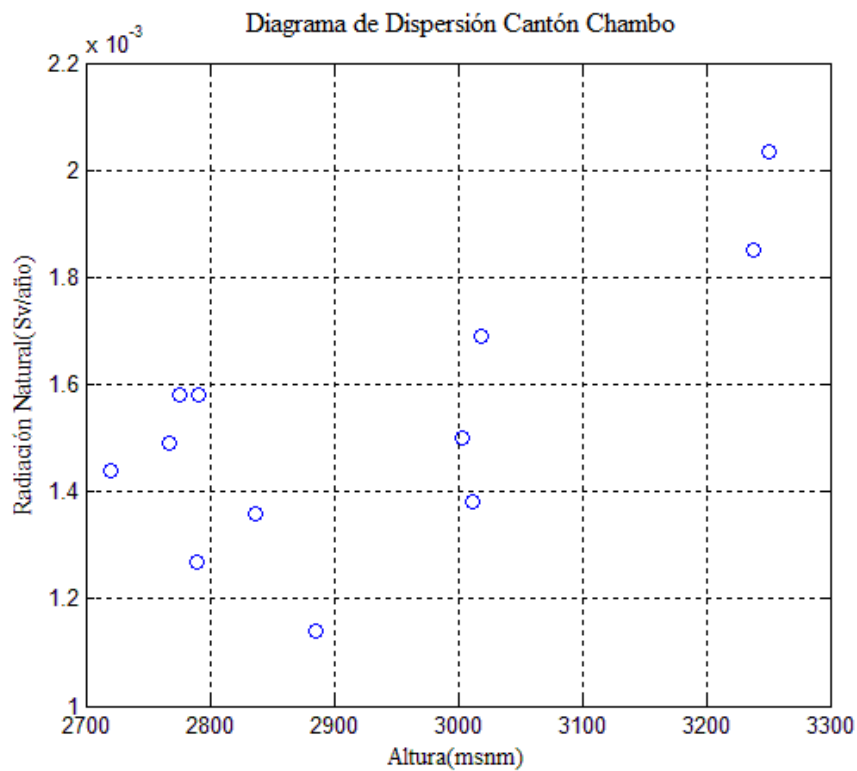
Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de la tabla 3-4, del cantón Chambo se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 2,033E-03Sv/año a una altura máxima

de 3250 msnm en las termas de San Francisco, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,136E-03 Sv/año a 2885 msnm en Catequilla.

El gráfico 12, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Chambo.

GRÁFICO 12: Diagrama de dispersión cantón Chambo



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Chambo se observa que los datos no siguen una tendencia lineal, se observa dispersión considerable entre los datos.

3.3.3 Cantón Chunchi

TABLA 3-5: Datos y estadística descriptiva cantón Chunchi

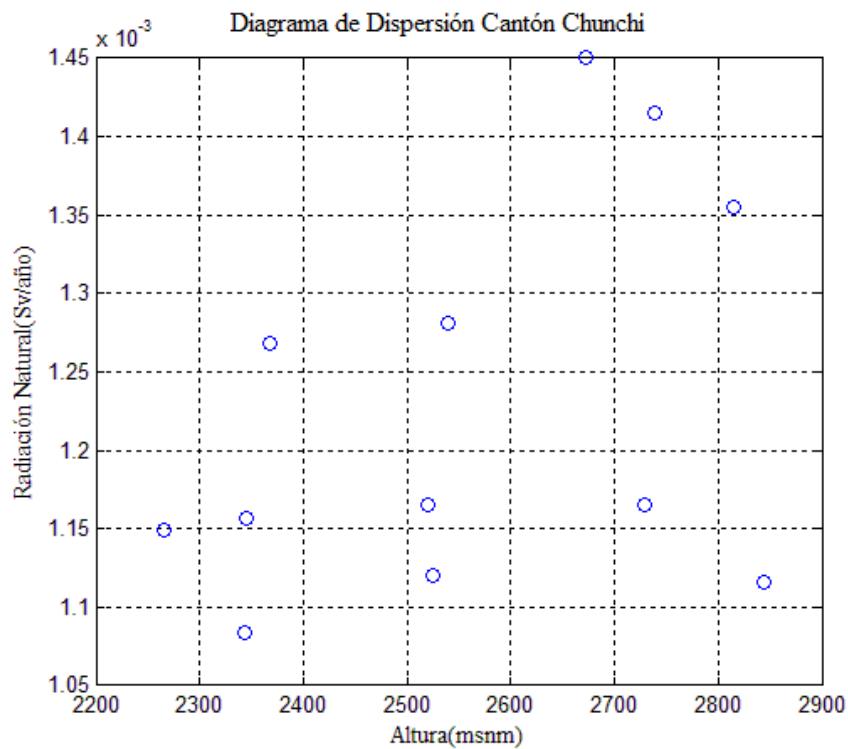
N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año	
1	Joyagshig	2815	1,355E-03	
2	Llagos	2672	1,450E-03	
3	Chunchi A1	2344	1,084E-03	
4	Chunchi A2	2844	1,116E-03	
5	Puncasha	2540	1,281E-03	
6	Chunchi A3	2739	1,415E-03	
7	Compud	2520	1,165E-03	
8	Chunchi A4	2729	1,165E-03	
9	Chunchi	2265	1,149E-03	
10	Capsol	2345	1,157E-03	
11	Llallarucum	2368	1,268E-03	
12	Chunchi A5	2525	1,122E-03	
Máximo Background Sv/año		1,450E-03	Lugar:	Llagos
Mínimo Background Sv/año		1,084E-03	Lugar:	Chunchi A1
Máximo Altura msnm		2844	Lugar:	Chunchi A2
Mínimo Altura msnm		2265	Lugar:	Chunchi
Promedio Background Sv/año		1,227E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	1,53586E-08
Promedio Altura msnm		2558,8333	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000118654

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-5, del cantón Chunchi se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,450E-03 Sv/año a 2672 msnm en la parroquia Llagos, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,084E-03 Sv/año a 2344 msnm en un primer punto aleatorio.

El gráfico 13, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Chunchi.

GRÁFICO 13 : Diagrama de dispersión datos cantón Chunchi



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Chunchi se observa que las variables altura y radiación natural de fondo no se relacionan de manera lineal, se observan datos completamente dispersos debido a que se midieron bajas cantidades de radiación natural de fondo a alturas mayores de 2700 msnm.

3.3.4 Cantón Colta

TABLA 3-6: Datos y estadística descriptiva cantón Colta.

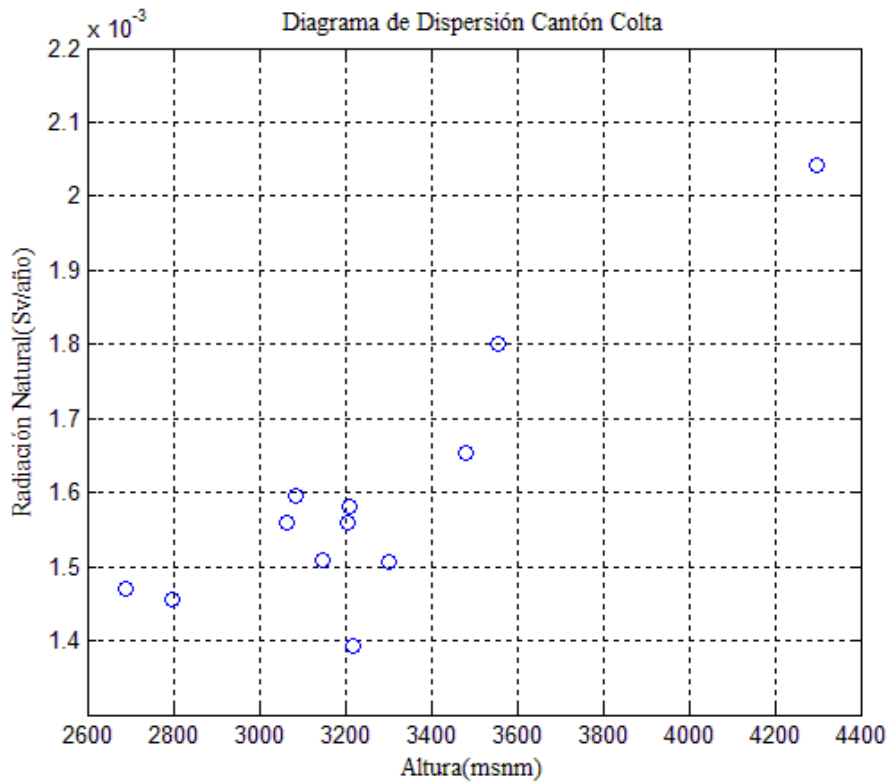
N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año	
1	Cañi	2796	1,456E-03	
2	Juan de Velazco	3063	1,559E-03	
3	Colta A1	3220	1,393E-03	
4	Lirio	3598	1,800E-03	
5	Colta A2	4299	2,041E-03	
6	Colta A3	3480	1,654E-03	
7	Colta A4	3206	1,559E-03	
8	Cajabamba	3214	1,580E-03	
9	Colta	3304	1,506E-03	
10	Colta A5	3146	1,508E-03	
11	Colta A6	3085	1,596E-03	
12	Colta A7	2688	1,470E-03	
Máximo Background Sv/año		2,041E-03	Lugar:	Colta A2
Mínimo Background Sv/año		1,393E-03	Lugar:	Colta A1
Máximo Altura msnm		4299	Lugar:	Colta A2
Mínimo Altura msnm		2688	Lugar:	Colta A7
Promedio Background Sv/año		1,594E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	3,07685E-08
Promedio Altura msnm		3258,75	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000167942

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-6, del cantón Colta se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 2,041E-03 Sv/año a una altura máxima de 4299 msnm en un segundo punto aleatorio, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,393E-03 Sv/año a 3220 msnm en un primer punto aleatorio.

El gráfico 14, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Colta.

GRÁFICO 14: Diagrama de Dispersión cantón Colta



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Colta muestra que los datos siguen una tendencia lineal entre las variables altura y radiación natural de fondo, no se observa mucha dispersión entre los datos.

3.3.5 Cantón Cumandá

TABLA 3-7: Datos y estadística descriptiva cantón Cumandá.

N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	Rio Cumandá	297	5,011E-04
2	Cumandá	327	9,217E-04
3	Cumandá A1	311	7,271E-04
4	Rio Chimbo	299	6,530E-04

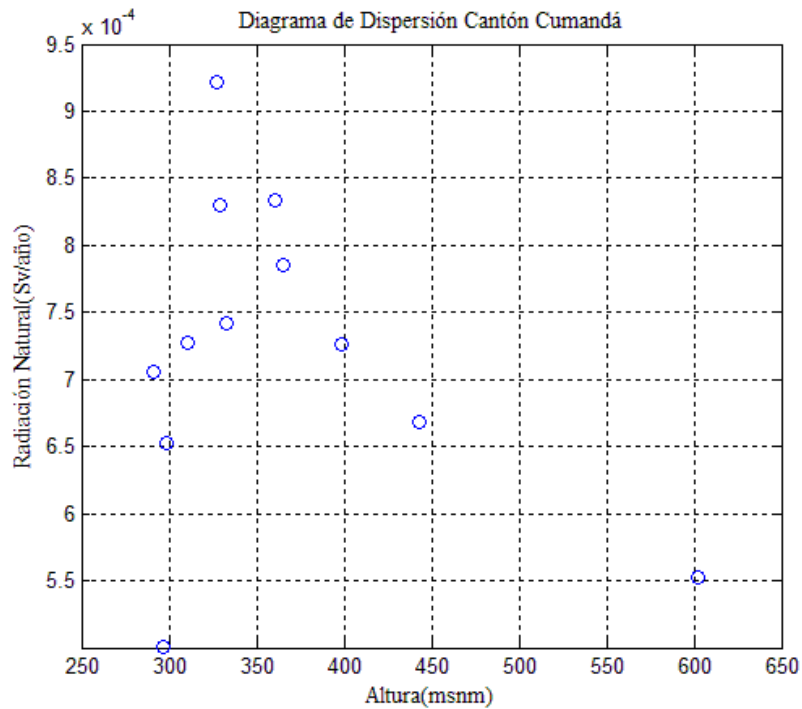
5	Valle Alto	291	7,052E-04
6	Cumandá A2	361	8,332E-04
7	La Reserva	443	6,684E-04
8	Cumandá A3	365	7,858E-04
9	Cumandá A4	333	7,421E-04
10	Estación Cumandá	329	8,296E-04
11	Cumandá A5	399	7,262E-04
12	Cumandá A6	602	5,520E-04
Máximo Background Sv/año		9,217E-04	Lugar: Cumandá
Mínimo Background Sv/año		5,011E-04	Lugar: Rio Cumandá
Máximo Altura msnm		602	Lugar: Cumandá A2
Mínimo Altura msnm		291	Lugar: Valle Alto
Promedio Background Sv/año		7,2045E-04	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)² 1,39932E-08
Promedio Altura msnm		363,083	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año 0,000113257

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-7, del cantón Cumandá se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 9,217E-04 Sv/año a una altura máxima de 602 msnm en la matriz Cumandá, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 5,011E-04 Sv/año a 297 msnm en el Rio Cumandá.

El gráfico 15, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Cumandá.

GRÁFICO 15: Diagrama de dispersión cantón Cumandá



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Cumandá se observa que los datos no siguen una tendencia lineal, por lo tanto las variables altura y radiación natural de fondo no se relacionan. Se observa una dispersión entre los datos debido a que no existen mediciones desde los 400 a 650msnm.

3.3.6 Cantón Guamote

TABLA 3-8: Datos y estadística descriptiva cantón Guamote.

N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	Guamote A1	3263	1,749E-03
2	Palmira	3299	1,778E-03
3	Atapo Santa cruz	3483	1,807E-03
4	Columbe	3160	1,552E-03
5	Guamote A2	3464	1,778E-03

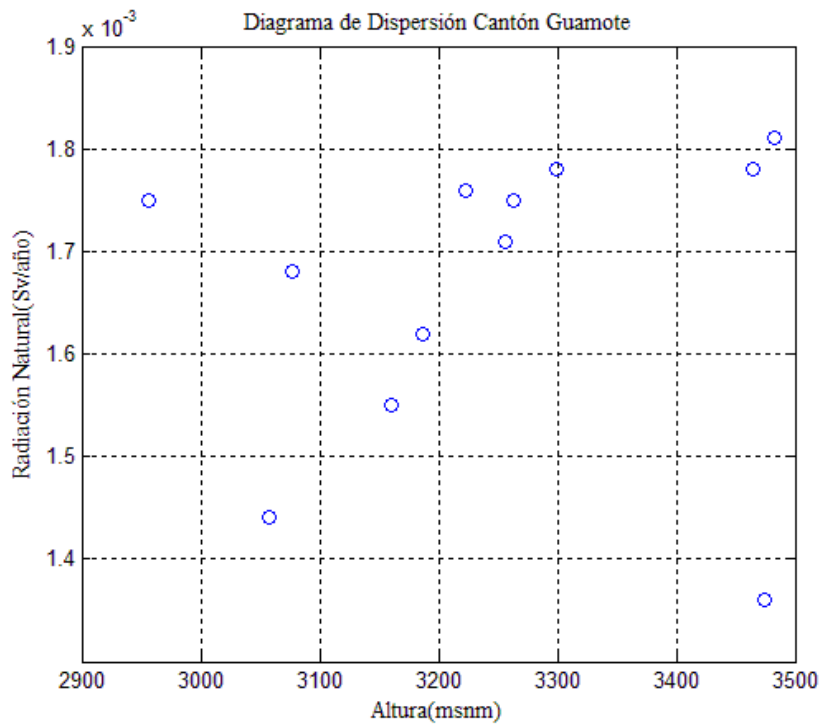
6	Atillo Laguna	3474	1,355E-03	
7	Guamote	3057	1,436E-03	
8	Pulle	3187	1,616E-03	
9	Cebadas	2956	1,749E-03	
10	Pancún	3077	1,685E-03	
11	Shaiwa	3223	1,756E-03	
12	Rio Yasipán	3256	1,712E-03	
Máximo Background Sv/año		1,807E-03	Lugar:	Atapo St. Cruz
Mínimo Background Sv/año		1,355E-03	Lugar:	Laguna de Atillo
Máximo Altura msnm		3483	Lugar:	Guamote A2
Mínimo Altura msnm		2956	Lugar:	Cebadas
Promedio Background Sv/año		1,664E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	2,10992E-08
Promedio Altura msnm		3241,583	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000139072

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-8 del cantón Guamote se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,807E-03 Sv/año a 3483msnm en el caserío Atapo St. Cruz, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,355E-03 Sv/año a 3474 msnm en la laguna de Atillo.

El gráfico 16, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Guamote.

GRÁFICO 16: Diagrama de dispersión datos cantón Guamote



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Guamote se observa que los datos no siguen una tendencia lineal, por lo tanto las variables altura y radiación natural de fondo no se relacionan. Se observa mucha dispersión entre los datos.

3.3.7 Cantón Guano

TABLA 3-9: Datos y estadística descriptiva cantón Guano

N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	Galán	3621	1,720E-03
2	Ilapo	3062	1,734E-03
3	Valparaíso	3082	1,854E-03
4	St. Andrés	3021	1,612E-03
5	Urbina	3627	1,939E-03
6	San José del Chazo	3011	1,597E-03
7	St. Gerardo	2663	1,157E-03
8	Guano's Park	2160	1,429E-03

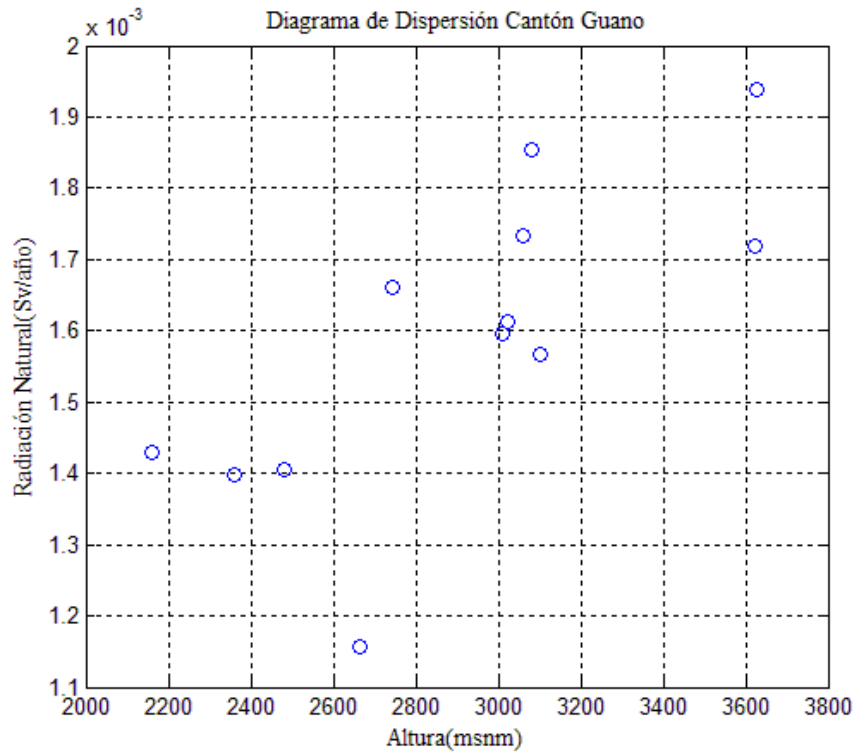
9	Guano Casas	2742	1,662E-03	
10	La Providencia	2483	1,406E-03	
11	Guanando	2359	1,399E-03	
12	Guano A1	3102	1,568E-03	
Máximo Background Sv/año		1,939E-03	Lugar:	Urbina
Mínimo Background Sv/año		1,157E-03	Lugar:	St. Gerardo
Máximo Altura msnm		3627	Lugar:	Urbina
Mínimo Altura msnm		2160	Lugar:	Guano's Park
Promedio Background Sv/año		1,590E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo:	4,71891E-08
Promedio Altura msnm		2911,083333	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo:	0,000207982

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-9, del cantón Guano se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,939E-03 Sv/año a una altura máxima de 3627 msnm en el caserío Urbina, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,157E-03 Sv/año a 2663 msnm en la parroquia San Gerardo.

El gráfico 17, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Guano.

GRÁFICO 17: Diagrama de dispersión datos cantón Guano



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Guano se observa que los datos no siguen una tendencia lineal entre las variables altura y radiación natural de fondo. Se observa mucha dispersión entre los datos y es posible que no haya relación entre las variables.

3.3.8 Cantón Penipe

TABLA 3-10: Datos y estadística descriptiva cantón Penipe

N	Lugar:	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	Penipe	2502	1,412E-03
2	Reeleche	3056	1,311E-03
3	Palitahua	2442	1,018E-03
4	El Altar	2478	1,248E-03
5	Matus	2732	1,437E-03
6	Bayushig	2743	1,480E-03
7	Bilbao	2308	1,311E-03
8	Bilbao Vaca	2433	1,516E-03
9	Penipe A1	2292	1,347E-03

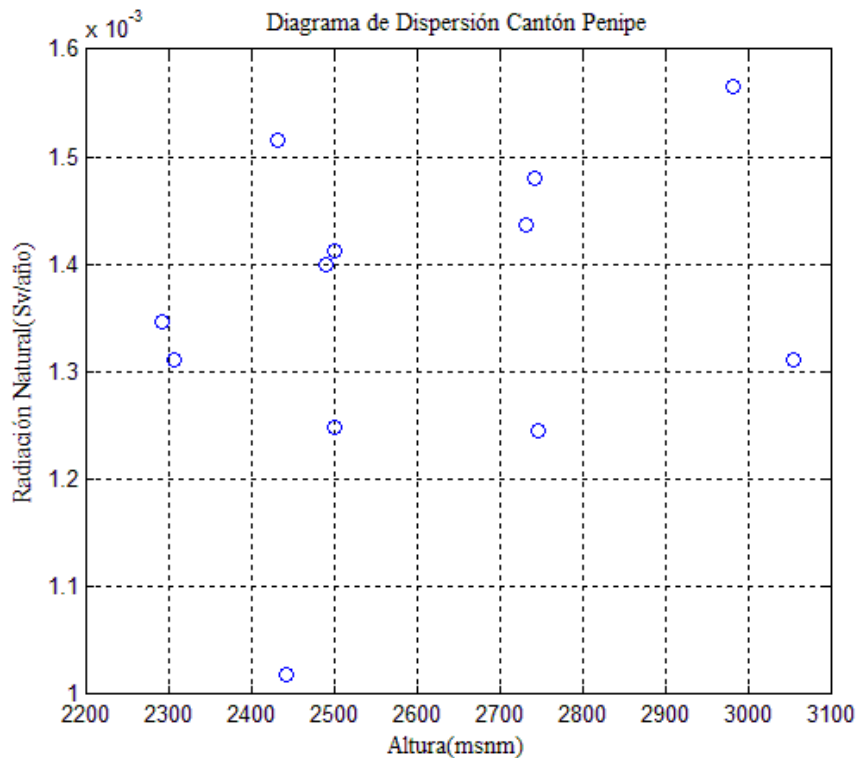
10	Puela	2491	1,399E-03
11	La Candelaria	2982	1,566E-03
12	Penipe A2	2746	1,245E-03
	Máximo Background Sv/año	1,566E-03	Lugar: La Candelaria
	Mínimo Background Sv/año	1,018E-03	Lugar: Palitahua
	Máximo Altura msnm	3056	Lugar: Reeleche
	Mínimo Altura msnm	2292	Lugar: Penipe A1
	Promedio Background Sv/año	1,358E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo(Sv/año)² 2,17232E-08
	Promedio Altura msnm	2600,427	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año 0,000141113

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-10 del cantón Penipe se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,566E-03 Sv/año a 2982 msnm en la parroquia La Candelaria, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,018E-03 Sv/año a 2442 msnm en el caserío Palitahua.

El gráfico 18, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Penipe.

GRÁFICO 18: Diagrama de dispersión cantón Penipe



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Penipe se observa que los datos siguen una tendencia lineal, por lo tanto las variables altura y radiación natural de fondo se relacionan entre sí. Se observan datos muy dispersos, debido a los bajos valores de radiación en alturas sobre los 2600msnm.

3.3.9 Cantón Riobamba

TABLA 3-11: Datos y estadística descriptiva cantón Riobamba.

N	Lugar	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	Quimiag	2739	1,410E-03
2	Cubijés	2519	1,450E-03
3	Pungala	2865	1,720E-03
4	Licto	2855	1,340E-03
5	Flores	3208	1,570E-03
6	Punín	2831	1,510E-03

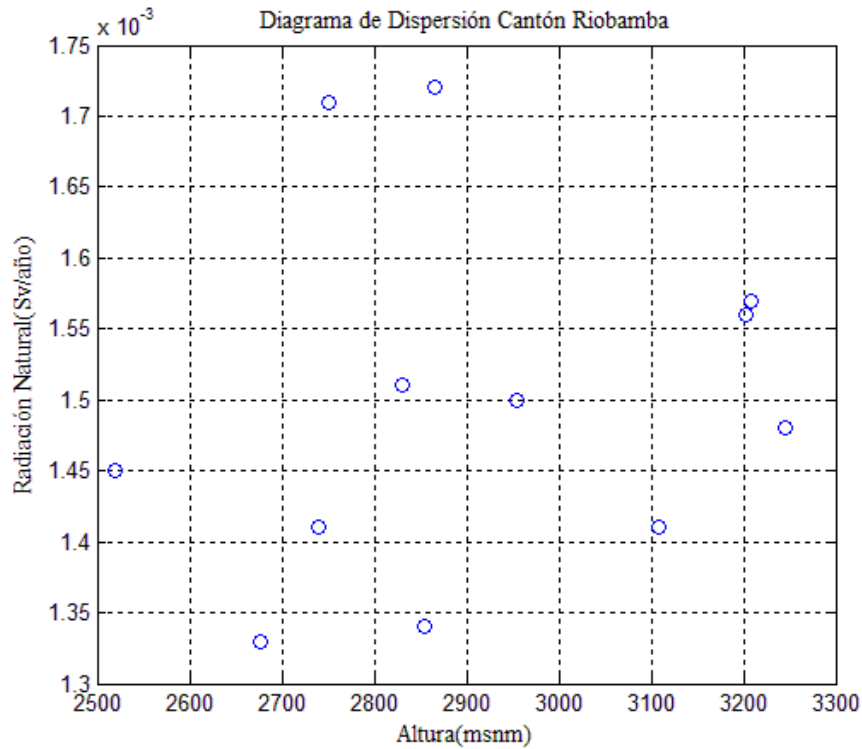
7	San Luis	2676	1,330E-03
8	Cacha	3202	1,560E-03
9	Licán	2954	1,500E-03
10	Calpi	3108	1,410E-03
11	San Juan	3245	1,480E-03
12	Riobamba	2750	1,710E-03
Máximo Background Sv/año		1,720E-03	Lugar: Pungala
Mínimo Background Sv/año		1,330E-03	Lugar: Flores
Máximo Altura msnm		3245	Lugar: San Juan
Mínimo Altura msnm		2519	Lugar: Cubijés
Promedio Background Sv/año		1,499E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)² 1,58811E-08
Promedio Altura msnm		2912,666	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año 0,000120655

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-11, del cantón Riobamba se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,720E-03 Sv/año a 2865 msnm en la parroquia Pungala, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,330E-03 Sv/año a 3208 msnm en la parroquia Flores.

El gráfico 19, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Riobamba.

GRÁFICO 19: Diagrama de Dispersión cantón Riobamba



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Riobamba se observa que los datos siguen una tendencia lineal, las variables altura y radiación natural de fondo se relacionan. Se observa mucha dispersión entre los datos.

3.3.10 Cantón Pallatanga

TABLA 3-12: Datos y estadística descriptiva cantón Pallatanga.

N	Lugar	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	San Vicente	2190	1,237E-03
2	Palazul	1896	8,357E-04
3	Jalubí	2272	1,185E-03
4	Geshin Grande	2418	1,100E-03
5	Jesús del gran poder	2785	1,194E-03
6	Guaro Grande	2260	1,327E-03
7	Olivo	2759	1,261E-03
8	Pallatanga	1529	1,062E-03
9	Sacotocentro	1997	1,239E-03

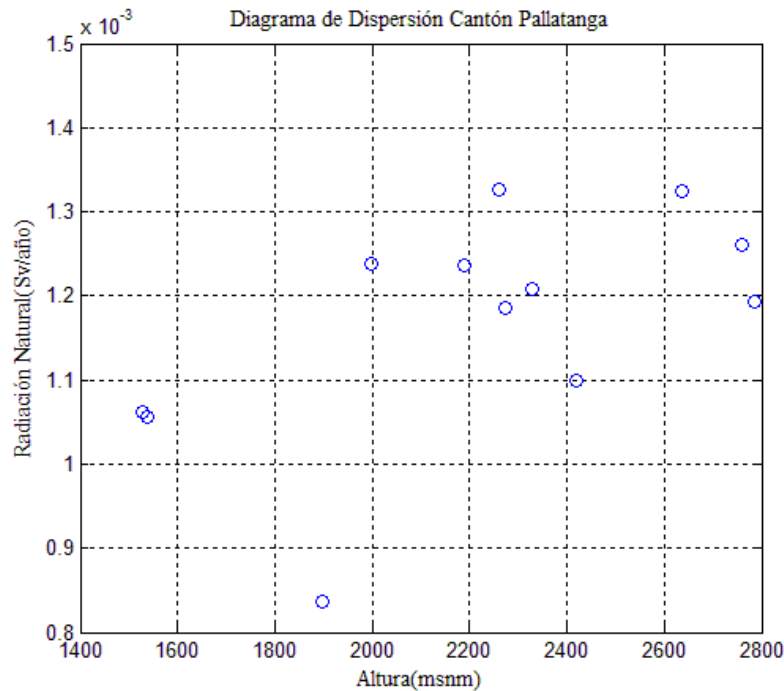
10	Pallatanga A1	2637	1,325E-01
11	Pallatanga A2	2328	1,208E-03
12	Pallatanga A3	1537	1,056E-03
	Máximo Background Sv/año	1,327E-03	Lugar: Guaro Grande
	Mínimo Background Sv/año	8,357E-04	Lugar: Palazul
	Máximo Altura msnm	2785	Lugar: Jesús del Gran Poder
	Mínimo Altura msnm	1529	Lugar: Pallatanga
	Promedio Background Sv/año	1,170E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)² 1,90689E-08
	Promedio Altura msnm	2217,333	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo: 0,000132211

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-12, del cantón Pallatanga se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,327E-03 Sv/año a 2260 msnm en el caserío Guaro Grande, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 8,357E-04 Sv/año a 1896 msnm en el caserío Palazul.

El gráfico 20, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el cantón Pallatanga.

GRÁFICO 20: Diagrama de dispersión cantón Pallatanga



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del cantón Pallatanga se observa que los datos no siguen una tendencia lineal, por lo tanto las variables altura y radiación natural de fondo no se relacionan. Se observa mucha dispersión entre los datos debido a que no existen mediciones desde los 400 a 650msnm.

3.3.11 Nevado Chimborazo

TABLA 3-13: Datos y estadística descriptiva Nevado Chimborazo.

N	Lugar	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año	
1	Chimborazo P1	4015	2,122E-03	
2	Chimborazo P2	4312	2,034E-03	
3	Chimborazo P3	4928	2,399E-03	
4	Segundo Refugio	5032	2,298E-03	
5	Chimborazo P4	5073	2,632E-03	
6	Chimborazo P5	5124	2,421E-03	
Máximo Background Sv/año		2,632E-03	Lugar:	Chimborazo P4
Mínimo Background Sv/año		2,034E-03	Lugar:	Chimborazo P2

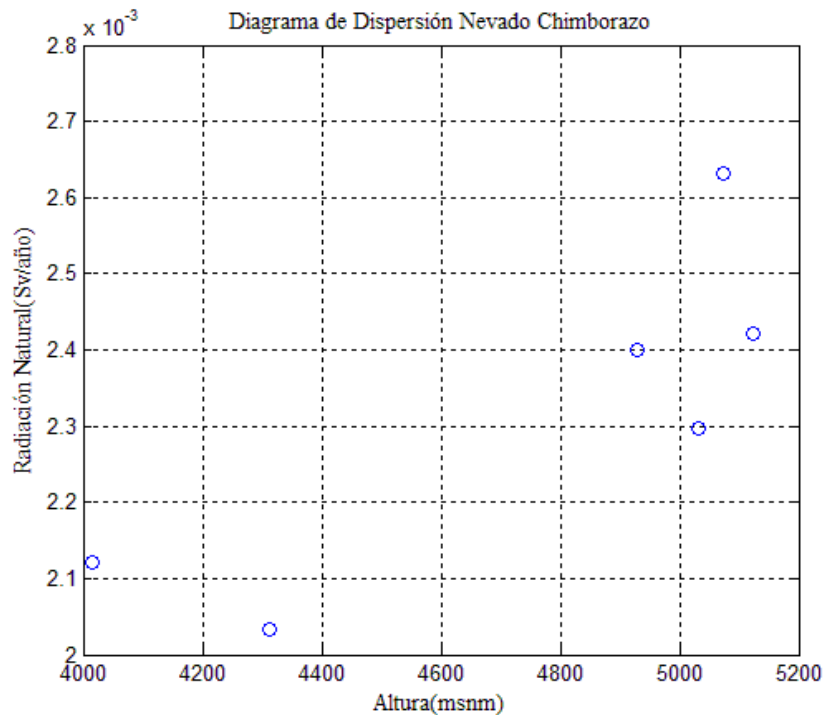
Máximo Altura msnm	5124	Lugar:	Chimborazo P5
Mínimo Altura msnm	4015	Lugar:	Chimborazo P1
Promedio Background Sv/año	2,318E-03	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	4,70475E-08
Promedio Altura msnm	4747,333	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000198006

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-13, del Nevado Chimborazo se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 2,632E-03 Sv/año a 5073 msnm en un cuarto punto de medición, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 2,034E-03 Sv/año a 4312 en un segundo punto de medición.

El gráfico 21, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el Nevado Chimborazo.

GRÁFICO 21: Diagrama de dispersión Nevado Chimborazo



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica de dispersión del Nevado Chimborazo se observa que los datos siguen una tendencia lineal, por lo tanto existe la posibilidad de que las variables altura y radiación natural de fondo se relacionen. Se observa mucha dispersión entre los datos debido a que no existen demasiadas mediciones.

3.3.12 Cerro Altar.

TABLA 3-14: Datos y estadística descriptiva del Cerro Altar

N	Lugar	Altura msnm	Datos Promedio Sv/año
1	Campamento	3522	1,721E-03
2	Altar P1	4277	1,792E-03
3	Altar P2	3668	1,627E-03
4	Bocatoma	3205	1,368E-03

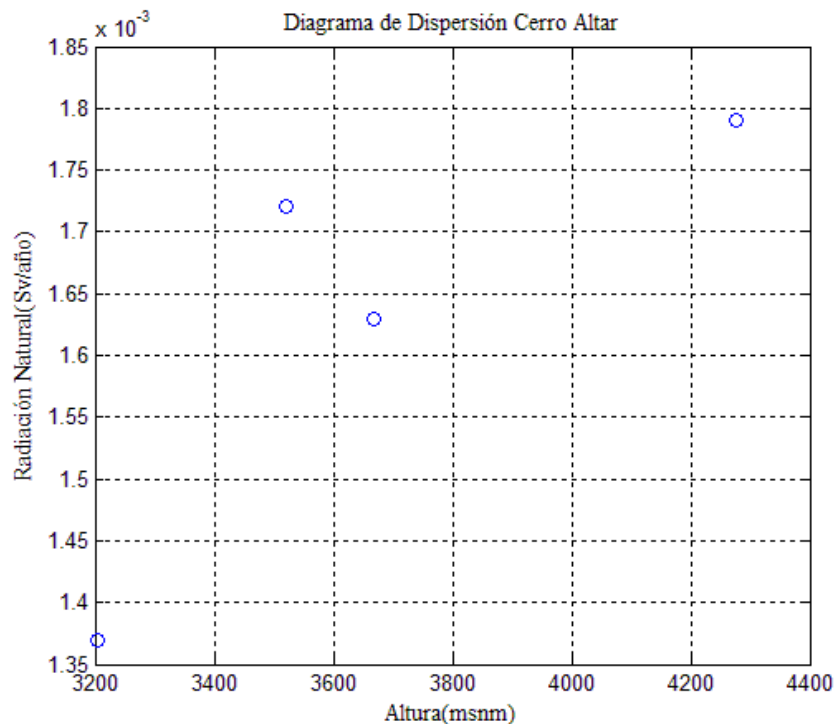
Máximo Background Sv/año	1,792E-03	Lugar:	Altar P1
Mínimo Background Sv/año	1,721E-03	Lugar:	Campamento
Máximo Altura msnm	4277	Lugar:	Altar P1
Mínimo Altura msnm	3205	Lugar:	Bocatoma
Promedio Background Sv/año	0,0016275	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	3,37583E-08
Promedio Altura msnm	3668	Desviación estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000159119

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En los datos de altura y radiación natural de fondo de la tabla 3-14, Cerro Altar se obtuvo el dato máximo de radiación natural de fondo de 1,792E-03 Sv/año a una altura máxima de 4277 msnm en un primer punto de medición, mientras que el mínimo valor de radiación natural de fondo fue 1,721E-03 Sv/año a 3522 msnm en el campamento de ascenso.

El gráfico 21, muestra un diagrama de dispersión de la radiación natural de fondo vs altura para el Cerro Altar.

GRÁFICO 22: Diagrama de dispersión Cerro Altar.



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

Por la falta de datos se aprecia que los datos están demasiado dispersos por lo tanto no se puede hablar de una relación entre las variables entre la altura y la cantidad de radiación natural.

3.4 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA ALTURA Y RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

La tabla 3-15 muestra el promedio de radiación natural de fondo en función de la altura promedio para todos los cantones de la provincia a más de las elevaciones Altar y Chimborazo.

TABLA 3-15: Datos Altura y Radiación Natural de Fondo Promedio ordenados de mínimo a máximo.

Cantón / Lugar	Promedio Altura (msnm)	Promedio Radiación Natural de Fondo (Sv/año)
Cumandá	363	7,205E-04
Pallatanga	2217	1,170E-03
Alausí	2546	1,344E-03
Chunchi	2559	1,227E-03
Penipe	2600	1,358E-03
Guano	2911	1,590E-03
Riobamba	2913	1,499E-03
Chambo	2924	1,526E-03
Guamote	3242	1,664E-03
Colta	3259	1,594E-03
Cerro Altar	3668	1,628E-03
Nevado Chimborazo	4747	2,318E-03

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

Con un promedio de 363 msnm y 7,205E-04 Sv/año, el cantón Cumandá presenta la menor radiación natural de fondo de la provincia.

En cambio con un promedio de 4747 msnm y 2,318E-03 Sv/año, el Nevado Chimborazo exhibe la mayor radiación natural de fondo.

3.5 MODELO DE REGRESIÓN LINEAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

3.5.1 Cálculo de coeficientes del modelo de regresión lineal

Los parámetros muestrales $\hat{\beta}_0$ (intercepto de la recta) y $\hat{\beta}_1$ (pendiente de la recta) del modelo de regresión lineal se calcularon por medio del método de mínimos cuadrados utilizando los datos de las variables radiación natural de fondo y altura de tabla 3-16, utilizando el software MAWIL de autoría de los tesisistas, mismos que se muestran a continuación.

TABLA 3-16: Estimadores y error estándar de cada estimador del modelo de regresión lineal.

	Valor	Error Estándar
$\hat{\beta}_0$	0,000502458	4,37302E-05
$\hat{\beta}_1$	3,41555E-07	1,44899E-08

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.5.2 Normalidad de los datos de radiación natural de fondo y altura de la Provincia de Chimborazo.

El modelo de regresión lineal es un modelo estadístico de naturaleza paramétrica por lo que es necesario conocer si los datos de radiación natural de fondo y altura proceden de una población con una distribución normal.

3.5.2.1 Planteamiento de hipótesis

H_0 : Los datos de las variables altura y radiación natural de fondo siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de las variables altura y radiación natural de fondo no siguen una distribución normal.

Nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Nivel de confianza de $\beta=0,95$.

Cálculo de valores residuales

Se procedió al cálculo de los valores residuales por medio de la siguiente expresión:

$$\epsilon_i = \hat{Y}_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i)$$

Donde ϵ_i son los valores residuales \hat{Y}_i son los valores de radiación observados, $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$ son estimadores de la recta de regresión y x_i la altura observada.

TABLA 3-17: Valores residuales de Altura y Radiación Natural de Fondo de la Provincia de Chimborazo

N	Lugar	Altura msnm	Radiación Natural de Fondo Sv/año	Valor Residual
1	Quimiag	2739	1,410E-03	-2,90318E-05
2	Cubijfes	2519	1,450E-03	8,63402E-05
3	Pungala	2865	1,720E-03	0,000237801
4	Licto	2855	1,340E-03	-0,000138773
5	Flores	3208	1,570E-03	-2,97113E-05
6	Punín	2831	1,510E-03	3,9449E-05
7	San Luis	2676	1,330E-03	-8,7448E-05
8	Cacha	3202	1,560E-03	-3,76557E-05
9	Licán	2954	1,500E-03	-1,26909E-05
10	Calpi	3108	1,410E-03	-0,000155451
11	San Juan	3245	1,480E-03	-0,000132388
12	Riobamba	2750	1,710E-03	0,0002672
13	Rio Cumandá	297	5,011E-04	-0,000101302
14	Cumandá	327	9,217E-04	0,00030902
15	Cumandá A1	311	7,271E-04	0,000119901
16	Rio Chimbo	299	6,535E-04	5,04127E-05
17	Valle alto	291	7,052E-04	0,000104853
18	Cumandá A2	361	8,332E-04	0,000208871
19	La Reserva	443	6,684E-04	1,59783E-05
20	Cumandá A3	365	7,858E-04	0,000160101
21	Cumandá A4	333	7,421E-04	0,000127364
22	Estación Cumandá	329	8,296E-04	0,000216235
23	Cumandá A5	399	7,262E-04	8,88527E-05
24	Cumandá A6	602	5,520E-04	-0,000154895
25	Chambo A1	2837	1,362E-03	-0,000110607

26	Chambo A2	2768	1,486E-03	3,70328E-05
27	Chambo A3	2720	1,443E-03	1,04776E-05
28	Titaycun	3004	1,501E-03	-2,88209E-05
29	Catequilla	2885	1,136E-03	-0,000353051
30	San Pedro de Rucus	3019	1,692E-03	0,00015704
31	Airon	2791	1,580E-03	0,000123153
32	Chambo	2789	1,269E-03	-0,000187162
33	Chambo A4	2775	1,580E-03	0,000128635
34	San Francisco	3238	1,852E-03	0,000242011
35	Chambo A5	3012	1,377E-03	-0,000155562
36	Aguas Termales interior	3250	2,033E-03	0,000418899
37	Joyagshi	2815	1,355E-03	-0,000110069
38	Llagos	2672	1,450E-03	3,39224E-05
39	Chunchi A1	2344	1,084E-03	-0,000219705
40	Chunchi A2	2844	1,116E-03	-0,000359005
41	Pacuncasha	2540	1,281E-03	-8,98544E-05
42	Chunchi A3	2739	1,415E-03	-2,40318E-05
43	Compud	2520	1,165E-03	-0,000199002
44	Chunchi A4	2729	1,165E-03	-0,000270606
45	Chunchi	2265	1,149E-03	-0,000127639
46	Capsol	2345	1,157E-03	-0,000147047
47	Llarucum	2368	1,268E-03	-4,39271E-05
48	Chunchi A5	2525	1,122E-03	-0,000243715
49	Guamote A1	3263	1,749E-03	0,000130446
50	Palmira	3299	1,778E-03	0,000147112
51	Atapo Santa cruz	3483	1,807E-03	0,000113074
52	Guamote A2	3160	1,552E-03	-3,12665E-05
53	Guamote A3	3464	1,778E-03	9,0583E-05

54	Laguana Atillo	3474	1,355E-03	-0,000335843
55	Guamote	3057	1,436E-03	-0,000111979
56	Pulle	3187	1,616E-03	2,34833E-05
57	Cebadas	2956	1,749E-03	0,000235624
58	Pancún Ichubamba	3077	1,685E-03	0,000130169
59	Shaiwa	3223	1,756E-03	0,00015115
60	Rio Yasipán	3256	1,712E-03	9,58439E-05
61	Galán	3621	1,720E-03	-2,12052E-05
62	Ilapo	3062	1,734E-03	0,000184308
63	Valparaíso	3082	1,854E-03	0,000297456
64	San Andrés	3021	1,612E-03	7,63549E-05
65	Urbina	3627	1,939E-03	0,000195739
66	San José del Chazo	3011	1,597E-03	6,47809E-05
67	San Gerardo	2663	1,157E-03	-0,000255994
68	Guano cancha	2160	1,429E-03	0,000188334
69	Guano Casas	2742	1,662E-03	0,00022194
70	La Providencia	2483	1,406E-03	5,46738E-05
71	Guanando	2359	1,399E-03	9,01563E-05
72	Aleatorio A1	3102	1,568E-03	4,60431E-06
73	Penipe	2502	1,412E-03	5,41644E-05
74	Releche	3056	1,311E-03	-0,000236636
75	Palitahua	2442	1,018E-03	-0,00031928
76	El Altar	2478	1,248E-03	-0,000101613
77	Matus	2732	1,437E-03	3,66388E-07
78	Bayushig	2743	1,480E-03	3,95978E-05
79	Bilbao	2308	1,311E-03	1,96289E-05
80	Bilbao vaca	2433	1,516E-03	0,000181804
81	Penipe A1	2292	1,347E-03	6,11105E-05

82	Puela	2491	1,399E-03	4,4933E-05
83	La candelaria	2982	1,566E-03	4,37163E-05
84	Penipe A2	2746	1,245E-03	-0,00019643
85	Alausí A1	2556	1,296E-03	-8,0336E-05
86	Pistishi	2313	1,209E-03	-8,40841E-05
87	Multitud	1156	9,899E-04	9,32043E-05
88	Multitud Estación	1602	1,100E-03	5,05046E-05
89	Achupallas	3348	1,323E-03	-0,000324674
90	Letras	3619	1,969E-03	0,00022848
91	Alausí A2	2720	1,452E-03	1,94776E-05
92	Sevilla	2854	1,333E-03	-0,000145431
93	Tixán	2974	1,414E-03	-0,000105543
94	Alausí	2436	1,225E-03	-0,000110224
95	Guasuntos	2566	1,472E-03	9,2238E-05
96	La Moya	2413	1,346E-03	1,86559E-05
97	Cañi	2796	1,456E-03	-2,56003E-06
98	Juan de Velasco	3063	1,559E-03	8,96572E-06
99	Colta A1	3220	1,393E-03	-0,000210823
100	Lirio	3598	1,800E-03	6,66746E-05
101	Colta A2	4299	2,041E-03	6,75119E-05
102	Colta A3	3480	1,654E-03	-3,88986E-05
103	Colta A4	3206	1,559E-03	-4,00261E-05
104	Cajabamba	3214	1,580E-03	-2,17669E-05
105	Colta	3304	1,506E-03	-0,000126601
106	Columbe	3146	1,508E-03	-7,04701E-05
107	Colta A5	3085	1,596E-03	3,84285E-05
108	Colta A6	2688	1,470E-03	4,84408E-05
109	San Vicente	2190	1,237E-03	-1,39443E-05

110	Palazul	1896	8,357E-04	-0,00031452
111	Jalubí	2272	1,185E-03	-9,40375E-05
112	Geshin grande	2418	1,100E-03	-0,000229057
113	Jesús del Gran poder	2785	1,194E-03	-0,000260791
114	Guaro grande	2260	1,327E-03	5,20737E-05
115	Olivo	2759	1,261E-03	-0,000184884
116	Pallatanga	1529	1,062E-03	3,75144E-05
117	Sacotocentro	1997	1,239E-03	5,41775E-05
118	Pallatanga A1	2637	1,330E-03	-7,40866E-05
119	Pallatanga A2	2328	1,208E-03	-9,02231E-05
120	Pallatanga A3	1537	1,056E-03	2,87736E-05
121	Chimborazo P1	4015	2,122E-03	0,00024581
122	Chimborazo P2	4312	2,034E-03	5,60581E-05
123	Chimborazo P3	4928	2,399E-03	0,000210016
124	Segundo Refugio	5032	2,298E-03	7,33859E-05
125	Chimborazo P4	5073	2,632E-03	0,000393339
126	Chimborazo P5	5124	2,421E-03	0,000164867
127	Campamento	3522	1,721E-03	1,37122E-05
128	Altar P1	4277	1,792E-03	-0,000173951
129	Altar P2	3668	1,627E-03	-0,0001283
130	Bocatoma	3205	1,368E-03	-0,000230684
Máximo Background (Sv/año)		2,632E-03	Lugar:	Chimborazo P4
Mínimo Background (Sv/año)		5,011E-04	Lugar:	Rio Cumandá
Máximo Altura (msnm)		5124	Lugar:	Chimborazo P5
Mínimo Altura (msnm)		291	Lugar:	Valle Alto
Promedio Background (Sv/año)		1,42087E-3	Varianza Radiación Natural de Fondo (Sv/año)²	1,35819E-07

Promedio Altura (msnm)	2688,92	Desviación Estándar Radiación Natural de Fondo Sv/año	0,000367116
-------------------------------	---------	--	-------------

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.5.2.2 Cálculo de estadísticos de prueba

Para el cálculo de valores estadísticos se aplicó la prueba de Anderson–Darling, se calculó el valor Anderson–Darling A^2 y el valor crítico de la prueba A_T^2 con las siguientes expresiones:

$$A^2 = -n - \left(\frac{1}{n}\right) \sum_i [(2i - 1) \text{Ln}(p_{(i)}) + (2n + 1 - 2i) \text{Ln}\{1 - p_{(i)}\}]$$

$$A_T^2 = A^2 \left(1 + \frac{0,75}{n} + \frac{2,25}{n^2}\right)$$

Para el cálculo del p-valor se aplicará la formula dependiendo del valor crítico A_T^2 :

$$\text{Si } A_T^2 \geq 0,6 \Rightarrow p - \text{valor} = e^{(1,2937 - 5,709(A-D) + 0,0186(A-D)^2)}$$

$$\text{Si } 0,34 < A_T^2 < 0,6 \Rightarrow p - \text{valor} = e^{(0,9177 - 4,279(A-D) - 1,38(A-D)^2)}$$

$$\text{Si } 0,2 < A_T^2 < 0,34 \Rightarrow p - \text{valor} = 1 - e^{(-8,318 + 42,796(A-D) - 59,938(A-D)^2)}$$

$$\text{Si } A_T^2 \leq 0,2 \Rightarrow p - \text{valor} = 1 - e^{(-13,436 + 101,14(A-D) - 223,73(A-D)^2)}$$

TABLA 3-18: Resultados de la prueba de normalidad de Anderson-Darling

Prueba de Normalidad Anderson -Darling	
A^2	0,335527
A_T^2	0,3375074
P - Valor	0,507835
Media valores residuales	-7,73954E-19
Varianza valores residuales	2,54298E-08
Desviación Estándar valores residuales	0,000158853
Mediana valores residuales	1,74776E-05

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.5.2.3 Contraste de hipótesis de los Valores Residuales

Con los valores obtenidos en la prueba de Anderson-Darling se realizó el contraste sobre las hipótesis planteadas y los resultados se muestran a continuación.

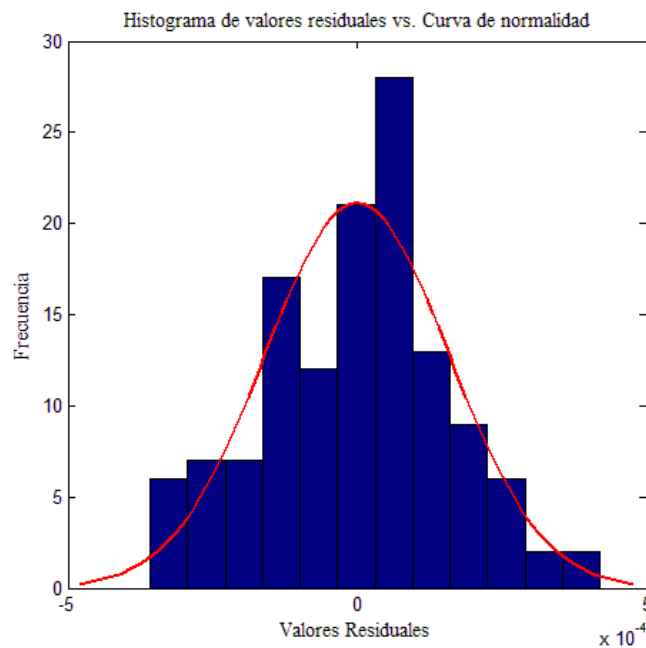
TABLA 3-19: Contraste de hipótesis planteadas en la prueba de normalidad

A_7^2 - valor	Comparación de A^2	Hipótesis Nula	Observación	Hipótesis Alternativa	Observación
0,3375	$0,3375 < 0,751$	$H_0: \epsilon \sim N(\mu_\epsilon, \sigma_\epsilon)$	No Rechazo	$H_1: \epsilon \sim \neg N(\mu_\epsilon, \sigma_\epsilon)$	Rechazo

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

El valor crítico de la prueba de Anderson-Darling es menor que el valor de Anderson Darling, por lo tanto existe la evidencia suficiente para rechazar la hipótesis alternativa H_1 que enuncia que los valores residuales no siguen una distribución normal, a favor de H_0 hipótesis nula que sugiere que los valores residuales siguen una distribución normal y por tanto a un nivel de significancia de 0,05 y una probabilidad del 95%, las variables radiación natural de fondo y altura proceden de una distribución normal.

GRÁFICO 23: Histograma de los valores residuales vs. Curva de normalidad



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.5.3 Construcción del Modelo de Regresión Lineal

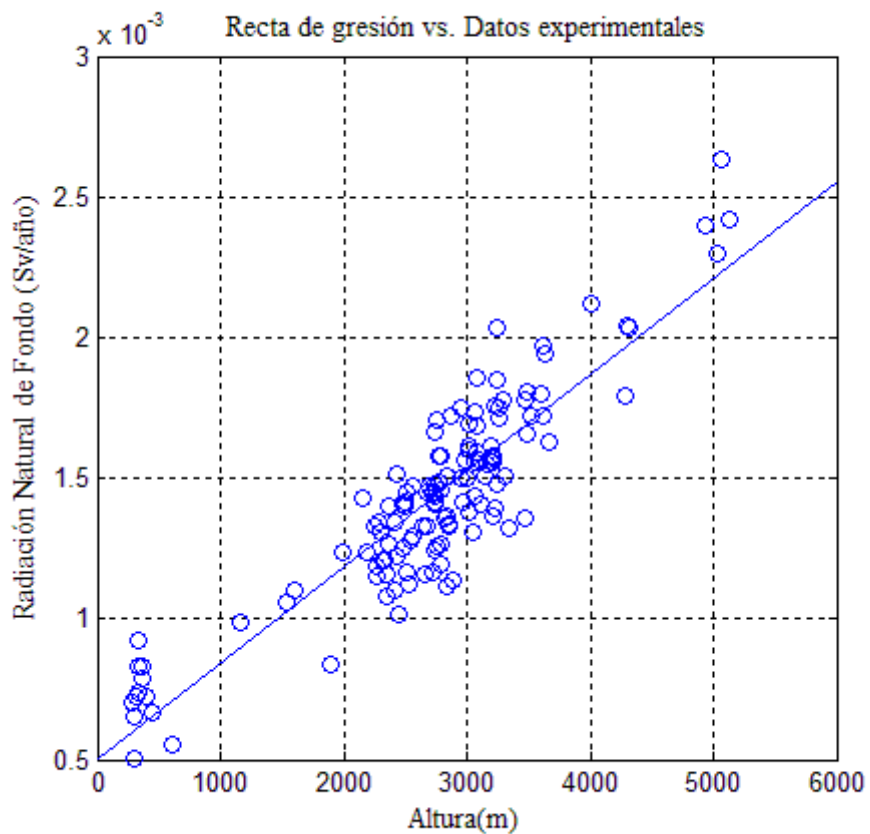
El modelo de Regresión Lineal de las variables altura y radiación natural está dado por la siguiente expresión:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$$

Donde \hat{Y} es la cantidad de radiación natural de fondo en Sv/año de la Provincia de Chimborazo y x es la altitud en msnm.

$$\hat{Y} = 0,000502458 + (3,41555E - 07)x$$

GRÁFICO 24: Recta de regresión vs. Datos experimentales



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

En la gráfica 24 se observa que los puntos tienden hacia arriba y a la derecha lo que indica que a mayor altitud existe mayor cantidad de radiación natural de fondo. Hay una asociación positiva entre la altitud y la radiación natural de fondo.

3.5.4 Construcción de intervalos de confianza e inferencia sobre los estimadores del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo

El calculó el valor de distribución t para cada estimador por medio de las siguientes expresiones para los estimadores del modelo de regresión lineal $\hat{\beta}_0$ y $\hat{\beta}_1$.

Para $\hat{\beta}_0$:

$$t = \frac{\hat{\beta}_0}{S \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 / n S_{xx}}}$$

Donde S es la raíz del error cuadrado medio que se calcula $S^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - 2)$ x_i son los datos de altura, n el número de datos de la variable independiente y $S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$.

Para $\hat{\beta}_1$:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1}{S / \sqrt{S_{xx}}}$$

Los intervalos de confianza al 95% se construyeron para cada uno de los estimadores con las siguientes expresiones:

Para $\hat{\beta}_0$:

$$b_0: -t_{\frac{\alpha}{2}} - \frac{S}{\sqrt{n S_{xx}}} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} < \hat{\beta}_0 < b_0 + t_{\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n S_{xx}}} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

Para $\hat{\beta}_1$:

$$b_1 - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{S_{xx}}} < \hat{\beta}_1 < b_1 + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{S_{xx}}}$$

Donde $t_{\alpha/2}$ es un valor de la distribución t con n-2 grados de libertad y este valor se lo puede encontrar en tablas de valores de t.

La tabla 3-20, presenta los resultados de los valores de la distribución t y de los intervalos de confianza para cada estimador.

TABLA 3-20: Valores obtenidos por el modelo de regresión Lineal Provincia de Chimborazo

Estimadores	Error Standard	Estadístico t	Intervalo de Confianza 95%	
$\hat{\beta}_0$	0,000502458	4,37302E-05	12,1323	(0,000421285; 0,000583631)
$\hat{\beta}_1$	3,41555E-07	1,44899E-08	23,572	(3,13155E-07; 3,69955E-07)

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.5.5 Inferencias sobre la intersección y la pendiente del modelo de regresión lineal

Para realizar inferencias sobre los estimadores de la recta de regresión se plantearon las siguientes hipótesis sobre los coeficientes del modelo de regresión.

Para $\hat{\beta}_0$:

H_0 : Siendo $\hat{\beta}_0 = 0$ la cantidad de radiación natural de fondo varía en $\hat{Y} = \hat{\beta}_1 x$.

H_1 : Siendo $\hat{\beta}_0 \neq 0$ la cantidad de radiación natural de fondo varia en $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$

Para $\hat{\beta}_1$:

H_0 : Siendo $\hat{\beta}_1 = 0$ la cantidad de radiación natural de fondo no varía en $\hat{Y} = \hat{\beta}_0$.

H_1 : Siendo $\hat{\beta}_1 \neq 0$ la cantidad de radiación natural de fondo varia en $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$.

Para lo cual se calculó el valor de probabilidad con la siguiente expresión:

$$P - \text{valor}(t < X < \infty) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$$

Para integrar esta expresión se lo hará por medio de la serie asintótica.

Los valores de probabilidad se calcularon con 129 términos para cada estimador de la serie asintótica, esta serie fue programada en MATLAB para el software MAWIL.

TABLA 3-21: Valores de probabilidad para cada estimador del modelo de regresión lineal

Coeficientes		Error Standard	Estadístico t	P-valor
β_0	0,000502458	4,37302E-05	12,1323	1,286E-22
β_1	3,41555E-07	1,44899E-08	23,572	3,043E-48

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

Con los valores de probabilidad calculados para cada estimador se procedió a realizar las inferencias para los estimadores.

TABLA 3-22: Hipótesis sobre los coeficientes del modelo de regresión lineal.

Coeficientes	Comparación con P-Valor	Hipótesis Nula	Observación	Hipótesis Alternativa	Observación
β_0	1,286E-22 < 0,05	$H_0: \beta_0 = 0$	Se Rechaza	$H_1: \beta_0 \neq 0$	No Se rechaza
β_1	3,043E-48 < 0,05	$H_0: \beta_1 = 0$	Se Rechaza	$H_1: \beta_1 \neq 0$	No Se rechaza

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

Para ambos estimadores, a un nivel de significancia de 0,05, se rechazaron las hipótesis nulas, a favor de las hipótesis alternativas, y se concluyó que existe evidencia suficiente para determinar que los coeficientes del modelo de regresión lineal β_0 y β_1 son diferentes de cero, por lo tanto en el modelo de regresión lineal para la población, la variable altura influye sobre la radiación natural de fondo.

3.5.6 Predicción del modelo de regresión lineal de la Provincia de Chimborazo.

Con la ecuación de recta para la población, se calcularon cinco cantidades de radiación natural de fondo a diferentes alturas y lugares que no se pudieron acceder.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x$$

TABLA 3-23: Valores de radiación natural de fondo predichos por la ecuación de recta para la población.

Lugar	Altitud en msnm	Cantidad de radiación natural de fondo en Sv/año	Intervalo de Confianza al 95%
Cumbre Whymper	6310	2,66E-03	(2,387E-03; 2,941E-03)
Cumbre Veintimilla	6267	2,65E-03	(2,372E-03; 2,926E-03)
Pico Obispo	5319	2,32E-03	(2,053E-03; 2,595E-03)
Laguna Amarilla	4480	2,04E-03	(1,770E-03; 2,304E-03)
Recinto La Isla	323	6,13E-04	(3,435E-04; 8,827E-04)

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

Los valores de radiación natural de fondo han sido calculados con un intervalo de confianza del 95%.

3.5.7 *Correlación de las variables altura y radiación natural de fondo del modelo de regresión lineal*

El coeficiente de correlación se lo calculó con la siguiente expresión:

$$r = \beta_1 \sqrt{\frac{S_{xx}}{S_{yy}}}$$

Donde $S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ y $S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$.

Un coeficiente de correlación de 0,901536 indica una buena relación lineal entre la altura y la radiación natural de fondo.

Como $r^2 = 0.8127$, se puede decir que un 81% de la variación de los valores de radiación natural de fondo es ocasionada por una relación lineal con la Altura.

3.6 CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN DE LA RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LOS PUNTOS MUESTRALES EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Los valores de radiación natural de fondo en unidades de exposición C/Kg se presenta en la siguiente tabla.

TABLA 3-24: Dosis y Exposición de la Radiación Natural de Fondo Provincia de Chimborazo.

N	LUGAR	ALTURA	DOSIS RADIACIÓN NATURAL DE FONDO Sv/año	EXPOSICIÓN RADIACIÓN NATURAL DE FONDO C/Kg. año
1	Quimiag	2739	1,410E-03	3,638E-05
2	Cubijíes	2519	1,450E-03	3,741E-05
3	Pungala	2865	1,720E-03	4,438E-05
4	Licto	2855	1,340E-03	3,457E-05
5	Flores	3208	1,570E-03	4,051E-05
6	Punín	2831	1,510E-03	3,896E-05
7	San Luis	2676	1,330E-03	3,431E-05
8	Cacha	3202	1,560E-03	4,025E-05
9	Licán	2954	1,500E-03	3,870E-05
10	Calpi	3108	1,410E-03	3,638E-05
11	San Juan	3245	1,480E-03	3,818E-05
12	Riobamba	2750	1,710E-03	4,412E-05
13	Rio Cumandá	297	5,011E-04	1,293E-05
14	Cumandá	327	9,217E-04	2,378E-05
15	Cumandá A1	311	7,271E-04	1,876E-05
16	Rio Chimbo	299	6,535E-04	1,686E-05
17	Valle alto	291	7,052E-04	1,819E-05
18	Cumandá A2	361	8,332E-04	2,150E-05
19	La Reserva	443	6,684E-04	1,724E-05

20	Cumandá A3	365	7,858E-04	2,027E-05
21	Cumandá A4	333	7,421E-04	1,915E-05
22	Estación Cumandá	329	8,296E-04	2,140E-05
23	Cumandá A5	399	7,262E-04	1,874E-05
24	Cumandá A6	602	5,520E-04	1,424E-05
25	Chambo A1	2837	1,362E-03	3,514E-05
26	Chambo A2	2768	1,486E-03	3,834E-05
27	Chambo A3	2720	1,443E-03	3,723E-05
28	Titaycun	3004	1,501E-03	3,873E-05
29	Catequilla	2885	1,136E-03	2,931E-05
30	San Pedro de Rucus	3019	1,692E-03	4,365E-05
31	Airon	2791	1,580E-03	4,076E-05
32	Chambo	2789	1,269E-03	3,274E-05
33	Chambo A4	2775	1,580E-03	4,076E-05
34	San Francisco	3238	1,852E-03	4,778E-05
35	Chambo A5	3012	1,377E-03	3,553E-05
36	Aguas Termales interior	3250	2,033E-03	5,245E-05
37	Joyagshi	2815	1,355E-03	3,496E-05
38	Llagos	2672	1,450E-03	3,741E-05
39	Chunchi A1	2344	1,084E-03	2,797E-05
40	Chunchi A2	2844	1,116E-03	2,879E-05
41	Pacuncasha	2540	1,281E-03	3,305E-05
42	Chunchi A3	2739	1,415E-03	3,651E-05
43	Compud	2520	1,165E-03	3,006E-05
44	Chunchi A4	2729	1,165E-03	3,006E-05
45	Chunchi	2265	1,149E-03	2,964E-05
46	Capsol	2345	1,157E-03	2,985E-05
47	Llarucum	2368	1,268E-03	3,271E-05

48	Chunchi A5	2525	1,122E-03	2,895E-05
49	Guamote A1	3263	1,749E-03	4,512E-05
50	Palmira	3299	1,778E-03	4,587E-05
51	Atapo Santa cruz	3483	1,807E-03	4,662E-05
52	Guamote A2	3160	1,552E-03	4,004E-05
53	Guamote A3	3464	1,778E-03	4,587E-05
54	Laguana Atillo	3474	1,355E-03	3,496E-05
55	Guamote	3057	1,436E-03	3,705E-05
56	Pulle	3187	1,616E-03	4,169E-05
57	Cebadas	2956	1,749E-03	4,512E-05
58	Pancún Ichubamba	3077	1,685E-03	4,347E-05
59	Shaiwa	3223	1,756E-03	4,530E-05
60	Rio Yasipan	3256	1,712E-03	4,417E-05
61	Galán	3621	1,720E-03	4,438E-05
62	Ilapo	3062	1,734E-03	4,474E-05
63	Valparaíso	3082	1,854E-03	4,783E-05
64	San Andrés	3021	1,612E-03	4,159E-05
65	Urbina	3627	1,939E-03	5,003E-05
66	San José del Chazo	3011	1,597E-03	4,120E-05
67	San Gerardo	2663	1,157E-03	2,985E-05
68	Guano cancha	2160	1,429E-03	3,687E-05
69	Guano Casas	2742	1,662E-03	4,288E-05
70	La Providencia	2483	1,406E-03	3,627E-05
71	Guanando	2359	1,399E-03	3,609E-05
72	Aleatorio A1	3102	1,568E-03	4,045E-05
73	Penipe	2502	1,412E-03	3,643E-05
74	Releche	3056	1,311E-03	3,382E-05
75	Palitahua	2442	1,018E-03	2,626E-05

76	El Altar	2478	1,248E-03	3,220E-05
77	Matus	2732	1,437E-03	3,707E-05
78	Bayushig	2743	1,480E-03	3,818E-05
79	Bilbao	2308	1,311E-03	3,382E-05
80	Bilbao vaca	2433	1,516E-03	3,911E-05
81	Penipe A1	2292	1,347E-03	3,475E-05
82	Puela	2491	1,399E-03	3,609E-05
83	La candelaria	2982	1,566E-03	4,040E-05
84	Penipe A2	2746	1,245E-03	3,212E-05
85	Alausí A1	2556	1,296E-03	3,344E-05
86	Pistishi	2313	1,209E-03	3,119E-05
87	Multitud	1156	9,899E-04	2,554E-05
88	Multitud Estación	1602	1,100E-03	2,838E-05
89	Achupallas	3348	1,070E-03	3,413E-05
90	Letras	3619	1,969E-03	5,080E-05
91	Alausí A2	2720	1,452E-03	3,746E-05
92	Sevilla	2854	1,333E-03	3,439E-05
93	Tixán	2974	1,414E-03	3,648E-05
94	Alausí	2436	1,225E-03	3,161E-05
95	Guasuntos	2566	1,472E-03	3,798E-05
96	La Moya	2413	1,346E-03	3,473E-05
97	Cañi	2796	1,456E-03	3,756E-05
98	Juan de Velasco	3063	1,559E-03	4,022E-05
99	Colta A1	3220	1,393E-03	3,594E-05
100	Lirio	3598	1,800E-03	4,644E-05
101	Colta A2	4299	2,041E-03	5,266E-05
102	Colta A3	3480	1,654E-03	4,267E-05
103	Colta A4	3206	1,559E-03	4,022E-05

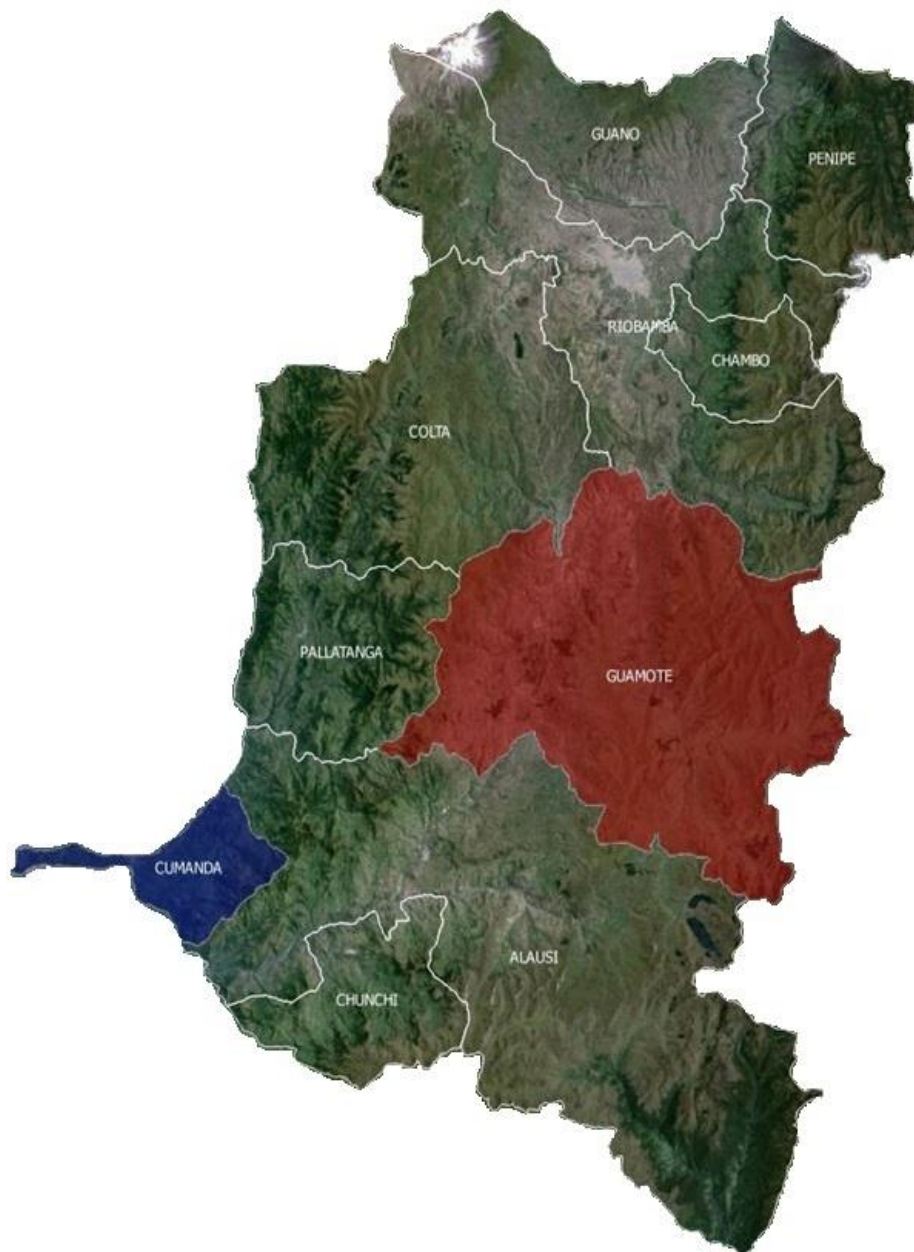
104	Cajabamba	3214	1,580E-03	4,076E-05
105	Colta	3304	1,506E-03	3,885E-05
106	Columbe	3146	1,508E-03	3,891E-05
107	Colta A5	3085	1,596E-03	4,118E-05
108	Colta A6	2688	1,470E-03	3,793E-05
109	San Vicente	2190	1,237E-03	3,191E-05
110	Palazul	1896	8,357E-04	2,156E-05
111	Jalubí	2272	1,185E-03	3,057E-05
112	Geshin grande	2418	1,100E-03	2,838E-05
113	Jesús del Gran poder	2785	1,194E-03	3,081E-05
114	Guaro grande	2260	1,327E-03	3,424E-05
115	Olivo	2759	1,261E-03	3,253E-05
116	Pallatanga	1529	1,062E-03	2,740E-05
117	Sacotocentro	1997	1,239E-03	3,197E-05
118	Pallatanga A1	2637	1,330E-03	3,431E-05
119	Pallatanga A2	2328	1,208E-03	3,117E-05
120	Pallatanga A3	1537	1,056E-03	2,724E-05
121	Chimborazo P1	4015	2,122E-03	5,475E-05
122	Chimborazo P2	4312	2,034E-03	5,248E-05
123	Chimborazo P3	4928	2,399E-03	6,189E-05
124	Segundo Refugio	5032	2,298E-03	5,929E-05
125	Chimborazo P4	5073	2,632E-03	6,791E-05
126	Chimborazo P5	5124	2,421E-03	6,246E-05
127	Campamento	3522	1,721E-03	4,440E-05
128	Altar P1	4277	1,792E-03	4,623E-05
129	Altar P2	3668	1,627E-03	4,198E-05
130	Bocatoma	3205	1,368E-03	3,529E-05
PROMEDIOS		2688,92308	1,421E-03	3,667E-05

Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

3.7 MAPA DE RADIACIÓN NATURAL DE FONDO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

En el mapa de la Provincia de Chimborazo que se muestra a continuación se observa el valor promedio máximo y mínimo de radiación natural de fondo, mostrando al cantón con mayor promedio de radiación con color rojo y al cantón con menor promedio de radiación con color azul.

GRÁFICO 25: Mapa de Radiación máxima y mínima provincia de Chimborazo



Fuente: López, W., Pérez, M. 2015.

CONCLUSIONES

La investigación cumple con su objetivo general al determinar la cantidad de radiación natural de fondo en la Provincia de Chimborazo. Del análisis se desprenden las siguientes conclusiones:

- a) El promedio de radiación natural obtenido para la provincia de Chimborazo es $1.42087E-3$ Sv/año, el cual se encuentra en un 40.7971% debajo del promedio mundial establecido por el UNSCEAR ($2.4E-3$ Sv/año).
- b) El valor máximo de radiación natural de fondo medido en la provincia de Chimborazo es $2,63E-3$ Sv/año en el cantón Guano (Nevado Chimborazo) a 5073 msnm, mientras que la medida mínima de radiación natural de fondo es $5,011E-4$ Sv/año en el cantón Cumandá (Valle Alto) a 297 msnm.
- c) Comparando las cantidades promedio de radiación natural de fondo por cantón, se determinó que el mayor valor promedio de radiación natural de fondo es $1,66E-3$ Sv/año correspondiente al cantón Guamate y el mínimo valor promedio de radiación natural de fondo es $7,205E-4$ SV/año correspondiente al cantón Cumandá.
- d) Existe una influencia directa entre la altura y la cantidad de radiación natural de fondo medida en toda la Provincia de Chimborazo.
- e) El modelo de regresión lineal permite predecir la cantidad de radiación natural de fondo con una confianza de 95% a cualquier altura de algún lugar inaccesible.

RECOMENDACIONES

Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fue este, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo, por lo tanto se recomienda para poder medir la cantidad de radiación natural de fondo que se tengan en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Se sugiere tener conocimiento previo de la geografía del lugar.
- b) Es necesario que exista accesibilidad a los puntos de medición tratando de cubrir la mayor cantidad de área del lugar.
- c) El equipo debe estar calibrado.
- d) Para la estandarización de medida debe ser establecida una distancia constante suelo-detector para la toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ATTIX, F.**, Introduction to radiological physics and radiation dosimetry., 2a.ed., Heppenheim- Alemania., Wiley., 2004., Pp.29-30.
2. **BONATI, E.**, Química general., 2a.ed., Santa Fe de la Vera Cruz-Argentina., UNL., 2006., Pp.546.
3. **BURBANO, S.**, Física general., 1a.ed., Madrid-España., Tebar., 2004., Pp.736.
4. **PARKS, J.**, Radioactive Half-life of Barium-137m., 1a.ed., Knoxville-Estados Unidos, Department of Physics and Astronomy., 2001., Pp.1-3.
5. **PAULA, P.**, Perfil Territorial Cantón Pallatanga., 1a.ed., Riobamba-Ecuador., CENSIG-ESPOCH., 2013., Pp.8.
6. **COMUNIDAD ANDINA.**, Desarrollo territorial del cantón Penipe: Previniendo las consecuencias de la activación del volcán Tungurahua., Lima-Perú., Pull Creativo S.R.L., 2009., Pp.11-12.
7. **COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION.**, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Units used to express radiation dose., N°6., Vol2., Washington-Estados Unidos., The National Academies Press., 2006., Pp.6.
8. **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.**, Perfil del territorio del cantón Cumandá., Riobamba-Ecuador., Facultad de Recursos Naturales., 2011., Pp.1-2.
9. **GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN ALAUSÍ.**, Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Alausí., Alausí-Ecuador., Gobierno municipal del cantón Alausí., 2015., Pp.5.
10. **GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CHAMBO.**, Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chambo., Chambo-Ecuador., Gobierno autonomo descentralizado municipal del cantón Chambo., 2015., Pp.13.
11. **GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**, Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Provincia

- de Chimborazo: Atlas Cartográfico., Riobamba-Ecuador., PDOT-GADPCH., 2015., Pp.42.
12. **INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS.,** Basic aspects of high energy particle interactions and radiation dosimetry., N°28., Vol1., Bethesda-Estados Unidos., ICRU., 1978., Pp.3.
 13. **INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS.,** Fundamental quantities and units for ionizing radiation., N°85., Vol1., Oxford-Inglaterra., ICRU., 2012., Pp.2.
 14. **INSTITUTO ECUATORIANO DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS.,** Resultados Censo 2010: Fascículo Provincia de Chimborazo., Ambato-Ecuador., Instituto ecuatoriano de estadísticas y censos., 2010., Pp.1.
 15. **OXFORD JOURNALS.,** The Exposure of Aircraft Crews to Radiations of Extraterrestrial Origin., N°34., Vol15., New York-Estados Unidos., Oxford Journals., 1992., Pp.145-162.
 16. **OXFORD JOURNALS.,** Radiation Exposure and Radiation Risk in Civil Aircraft N°36., Vol16., New York-Estados Unidos., Oxford Journals., 1993., Pp.33-40.
 17. **SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO.,** Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000: Memoria tecnica cantón Colta., Cuenca- Ecuador., Infraestructura y Servicios., 2013., Pp.8.
 18. **SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO.,** Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000: Memoria tecnica cantón Chunchi., Cuenca- Ecuador., Infraestructura y Servicios., 2013., Pp.8.
 19. **SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO.,** Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000: Memoria tecnica cantón Guamote., Cuenca- Ecuador., Infraestructura y Servicios., 2013., Pp.8.
 20. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.,** Ionizing Radiation: Levels and Effects., N°28., Vol1., New York-Estados Unidos., Naciones Unidas., 1972., Pp.6-7.

21. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.**, Sources and effects of ionizing radiation., N°33., Vol1., New York-Estados Unidos., Naciones Unidas., 2000., Pp.84-89.
22. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.**, Biological Mechanisms of Radiation at Low Doses., N°59., Vol1., New York-Estados Unidos., Naciones Unidas., 2012., Pp.1-2.
23. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.**, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation., N°59., Vol2., New York-Estados Unidos., Naciones Unidas., 2012., Pp.7.
24. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.**, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation., N°67., Vol1., New York-Estados Unidos., Naciones Unidas., 2013., Pp.1-12.
25. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.**, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation., N°60., Vol1., New York-Estados Unidos., Naciones Unidas., 2014., Pp.5.
26. **REVISTA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FIGMMG.**, Enviroment radiation in central zone of Peru., N°18., Vol1., Lima-Perú., Universidad Nacional Mayor de San Marcos., 2006., Pp.78-81.
27. **D. RADIAT-RES.**, Natural background radiation dosimetry in the highest altitude region of Iran., N°44., Vol1., Shahrekord-Iran., Departament of Medical Physics., 2003., Pp.285-286.
28. **ARIAS, A.**, Definición de prioridades de manejo del recurso hídrico por microcuencas en la Provincia de Chimborazo., (TESIS)., Ingeniería geográfica y del medio ambiente., Escuela Superior Politécnica del Ejército., Ciencias de la tierra., Ingeniería geográfica y del medio ambiente., Rumiñahui-Ecuador., 2007., Pp.27.
29. **CAIZALUISA, A.** Formulación de propuesta del plan de ordenamiento territorial del cantón Guano., (TESIS)., Ingeniería geográfica y del medio ambiente., Escuela Superior Politécnica del Ejército., Ciencias de la tierra., Ingeniería geográfica y del medio ambiente., Rumiñahui-Ecuador., 2012., Pp.4.

ANEXOS

ANEXO A: Detector Geiger-Müller.



GCA-07W

Gráfico 26: Detector Geiger-Müller con el que se realizó la toma de medidas.

Fuente: Images Inc.

ANEXO B: Certificado de calibración del Detector Geiger-Müller.

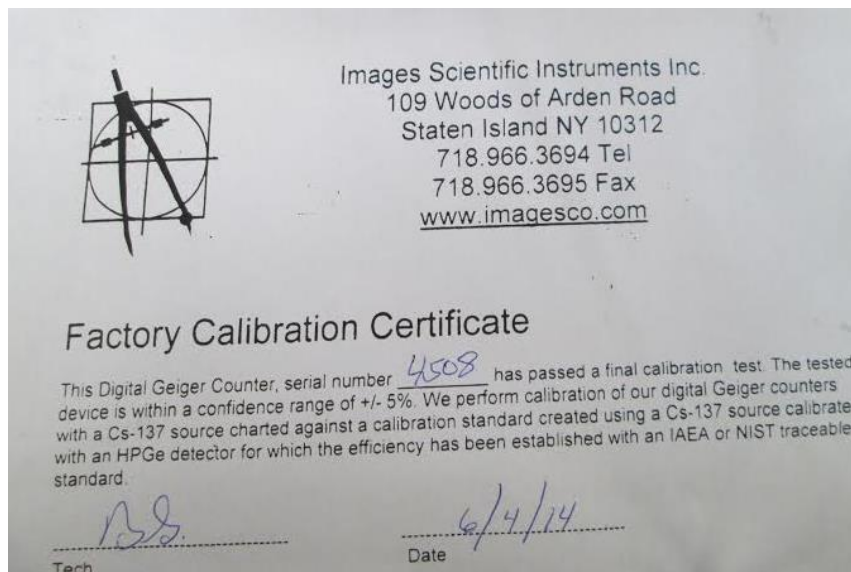


Gráfico 27: Certificación de fábrica del detector que demuestra que el detector ha sido adecuadamente calibrado.

Fuente: Images Inc.

ANEXO C: Detector Geiger-Müller montado en el trípode.



Gráfico 28: Trípode que se utilizó en la toma de mediciones.

Fuente: López, Pérez.

ANEXO D: Fotografías toma de datos.



Gráfico 29: Toma de datos Cantón Penipe y Cantón Alausí.

Fuente: López, Pérez.



Gráfico 30: Toma de datos Cantón Colta y Cantón Cumandá.

Fuente: López, Pérez.



Gráfico 31: Toma de datos Cantón Riobamba y Cantón Guamote.

Fuente: López, Pérez.



Gráfico 32: Toma de datos Nevado Chimborazo.

Fuente: López, Pérez.

ANEXO F: Software MAWIL.



Gráfico 33: Ventana principal de la interfaz gráfica del software MAWIL, se muestran tres opciones Parámetros Estadísticos en el primer botón, Prueba de normalidad de Anderson Darling en el segundo botón, y en el tercero el modelo de regresión lineal.

Fuente: López, Pérez.

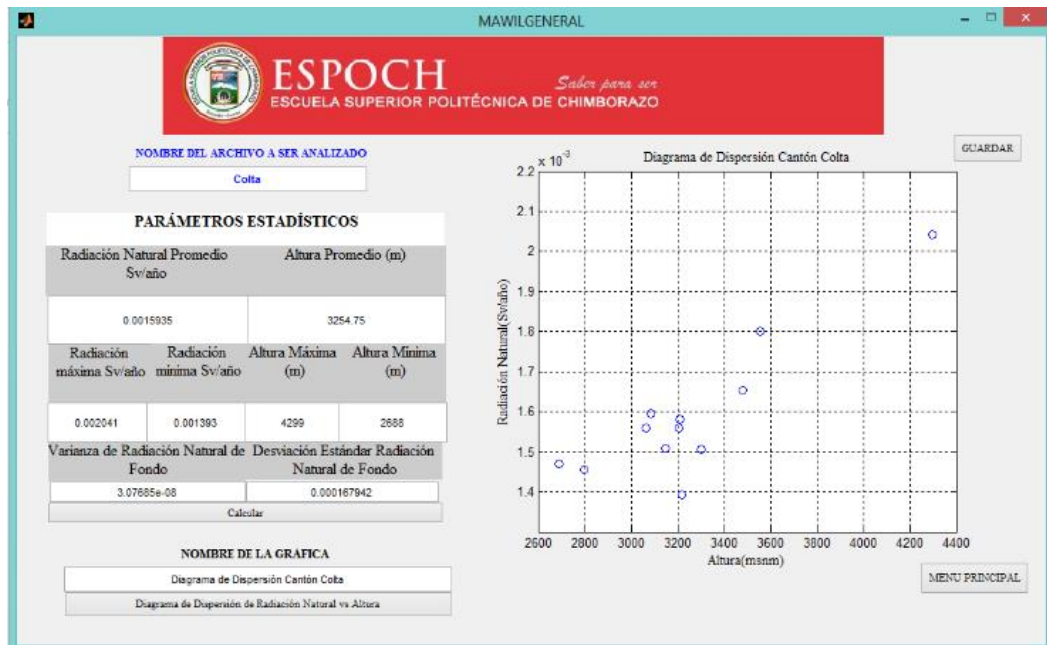


Gráfico 34: En el botón de Parámetros Estadísticos se puede obtener el Promedio de las Variables Radiación Natural de Fondo y Altura, así como valores máximo y mínimo, varianza y desviación estándar. Se puede graficar un diagrama de dispersión de los datos

Fuente: López, Pérez.

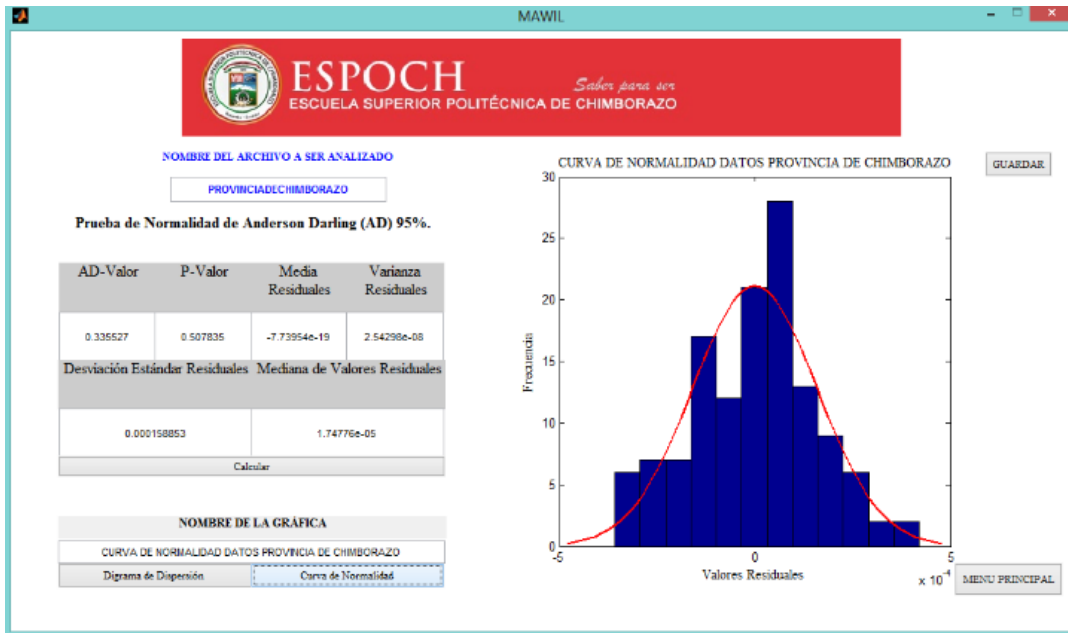


Gráfico 35: Este es el Botón de Prueba de Normalidad de Anderson Darling, aquí se calculan valores como el coeficiente de Anderson Darling, valor de probabilidad, valor medio, mediana, varianza y desviación estándar. También se puede graficar la curva de normalidad y dispersión de los datos.

Fuente: López, Pérez.

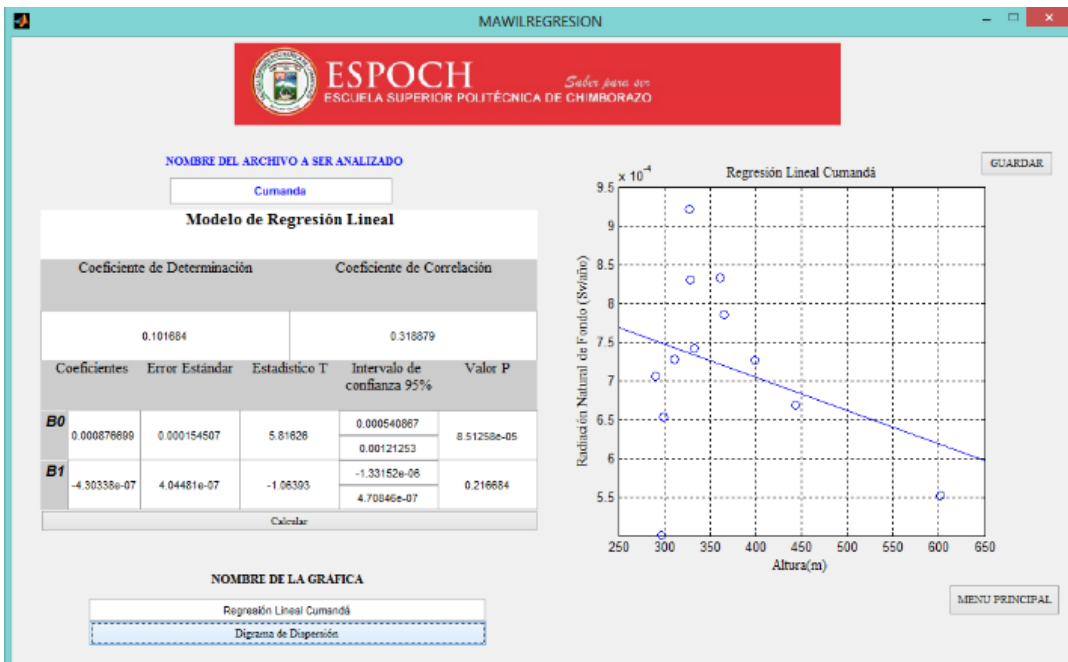


Gráfico 36: El tercer botón es el modelo de regresión lineal aquí se calcula parámetros como los coeficientes de regresión, coeficiente de determinación, coeficientes de correlación, el error de cada coeficiente, estadístico de prueba, intervalos de confianza y valor de probabilidad.

Fuente: López, Pérez.

ANEXO G: Libreta de campo

**RADIACIÓN NATURAL EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.
LIBRETA DE CAMPO.**

INVESTIGADOR:

FECHA:

HORA:

LUGAR:

COORDENADAS:

ALTITUD:

DATOS:

UNIDADES DE MEDIDA:

CONDICIONES AMBIENTALES.

Soleado:

Nublado:

Neblina:

lluvia:

TIPO DE TERRENO:

Tierra:

Rocoso:

Arenoso:

Restos volcánicos

OBSERVACIONES:
