



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA

TESIS

**ESTUDIO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE Y SUS
EFECTOS EN LOS HABITANTES DE LA PROVINCIA DEL
CUSCO - 2024**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA**

AUTOR:

Br: HECTOR JUAN SUAREZ PAUCAR

ASESOR:

Dr. SANTIAGO SONCCO TUMPI

CÓDIGO ORCID:0000-0002-4380-7555

CUSCO-PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada:

ESTUDIO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE Y SUS EFECTOS EN LOS HABITANTES DE LA PROVINCIA DEL CUSCO - 2024

Presentado por: **Hector Juan Suarez paucar** DNI N° **23856536**

presentado por: DNI N°:

Para optar el título profesional/grado académico de **MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA**

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **02** veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **4** %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, **20** de **mayo** de 2025.....

.....
Firma

Post firma..... **SANTIAGO SONCCO TUMPI**

Nro. de DNI..... **23810177**

ORCID del Asesor..... **0000-0002-4380-7555**

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:..... **27259:459203026**

HECTOR PAUCAR SUAREZ

ESTUDIO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE Y SUS EFECTOS EN LOS HABITANTES DE LA PROVINCIA DEL (2).p

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:459203026

Fecha de entrega

14 may 2025, 11:30 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 may 2025, 12:17 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

ESTUDIO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE Y SUS EFECTOS EN LOS HABITANTES DE LA PRO....pdf

Tamaño de archivo

4.8 MB

110 Páginas

22.210 Palabras

110.129 Caracteres




4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report


- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 25 words)
- ▶ Internet sources

Top Sources

- 0%  Internet sources
- 0%  Publications
- 4%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
15 suspect characters on 7 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.




UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

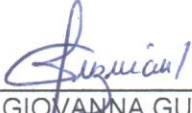
INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

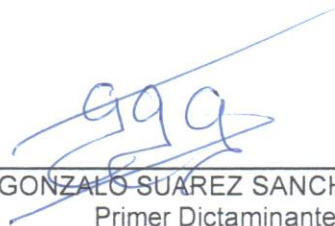
Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada ESTUDIO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE Y SUS EFECTOS EN LOS HABITANTES DE LA PROVINCIA DEL CUSCO - 2024 de la Br. Br. HECTOR JUAN SUAREZ PAUCAR. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día PRIMERO DE ABRIL DE 2025.


Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN FÍSICA.

Cusco, 12 Mayo 2025


DR. MILTON ROJAS GAMARRA
Primer Replicante


MGT. GIOVANNA GUZMAN CACERES
Segundo Replicante


MGT. GONZALO SUAREZ SANCHEZ
Primer Dictaminante


MGT. YURI ANTONIO GONZALEZ GONZALEZ
Segundo Dictaminante

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a todas las personas que siguen teniendo la curiosidad de un niño a aquellos que crean sus propios conceptos libres de pensamiento.

En memoria de mi padre que, junto a mi madre supo conducir a todos sus hijos en el emocionante camino de la vida.

A mis familiares y amigos por el constante apoyo moral brindado a lo largo de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi alma matter LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, a los catedráticos de la facultad de Ciencias, quienes nos formaron en esta etapa de estudios de pre y posgrado.

A mi asesor, Dr. Santiago Soncco Tumpi, por su apoyo incondicional para la culminación del trabajo de tesis.

A mis profesores y colegas, de quienes cada día recibo su afecto y colaboración; por lo que les estoy muy agradecido.

Agradecer a mi esposa por su comprensión y apoyo moral; quien con su amor infinito alienta cada paso que doy en mi

A mis hijos, quienes con su ternura y alegría alentaron con entusiasmo el desarrollo del trabajo de investigación.

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación está orientada a la recolección de datos sobre la radiación ionizante de diversos puntos dentro la provincia del Cusco y su respectiva evaluación, luego comparar con valores permitidos en dosis de radiación ionizante.

Dentro del espectro electromagnético los rayos X y los rayos gamma tienen frecuencias mayores a 10^{18} Hz estos son portadores de alta energía con un gran poder de penetración.

Los rayos cósmicos son partículas subatómicas de gran energía, principalmente protones y núcleos atómicos, que se mueven en el espacio a velocidades próximas a la luz, terminan impactando la superficie de la Tierra.

El objetivo fue tomar datos en aproximadamente 86 puntos distribuidos en 24 espacios muestrales con un contador Geiger Müller, seguidamente evaluar aplicando métodos estadísticos

El método empleado en el procesamiento de datos, fue aplicando la estadística descriptiva referida al estudio de datos agrupados y regresión lineal.

Los resultados se dieron con el Análisis de datos como radiación promedio $0.194 \mu Sv/h$ equivalente $1.70 mSv/año$

Se concluye para los efectos deterministas el promedio de radiación ionizante recibida No muestra evidencia suficiente en el riesgo en la salud.

Los efectos estocásticos dan una mayor probabilidad entre 0.5% a 18% de recibir una dosis superior a $0.27 \mu Sv/h$ equivalente a 2,37mili sievert/año

Palabras clave. *radiación ionizante, efectos estocásticos, radiación cósmica*

ABSTRAC.

The following research work is aimed at collecting cosmic radiation data from various points within the province of Cusco and their respective evaluation, to then compare with permitted values in ionizing radiation doses.

Within the electromagnetic spectrum, X-rays and gamma rays have frequencies greater than 10^{18} Hz; these are high-energy carriers with great penetrating power.

Cosmic rays are high-energy subatomic particles, mainly protons and atomic nuclei, which move in space at speeds close to the speed of light, and end up impacting the Earth's surface.

The objective was to collect data at approximately 86 points distributed in 24 sample spaces with a Geiger Müller counter and then evaluate by applying statistical methods.

The method used in data processing is applying descriptive statistics related to the study of grouped data and linear regression.

The results were given with the analysis of data as average radiation 0.194 uSv/h equivalent to 1.70 mSv/year.

It is concluded that, for the deterministic effects, the average of ionizing radiation received does not show sufficient evidence of a health risk.

Stochastic effects give an increased probability of between 0.5% to 18% of receiving a dose greater than 0.27 μ Sv/h equivalent to millisievert/year

Keywords: *ionizing radiation, stochastic effects, cosmic radiation*

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	1
2	CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.1	Situación problemática	4
2.2	Formulación Del Problema	6
2.3	Justificación de la investigación.....	6
2.4	Limitaciones de la Investigación.....	7
2.5	Objetivos de la investigación	7
3	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	8
3.1	Bases teóricas	8
3.1.1	Ondas Electromagnéticas	8
3.1.2	Clasificación del espectro electromagnético	8
3.1.3	Radiación cósmica.....	9
3.1.4	rayos cósmicos secundarios	11
3.1.5	Composición de los rayos cósmicos.....	17
3.2	Fuentes de origen terrestre	18
3.2.1	Métodos de detección.....	21
3.2.2	Detectores de partículas en tierra	22
3.2.3	Características del Contador Geiger Müller	23
3.3	Efectos de la radiación ionizante en el organismo	25
3.3.1	Lesiones moleculares producidas por las radiaciones ionizantes.....	25
3.4	Lesiones en la molécula del ADN.....	28
3.5	Unidades de la radiación	32
3.5.1	La radiación ionizante.....	32
3.5.2	Distribución de la radiación según sus componentes.....	38
3.6	Marco conceptual	39
3.6.1	Radiación.....	39
3.6.2	Espectro electromagnético.	40
3.6.3	Radiación cósmica.....	40
3.7	Antecedentes empíricos de la investigación.....	40
	Estado del arte	40
3.7.1	Antecedentes internacionales	40
3.7.2	Antecedentes a nivel nacional	42
3.7.3	A nivel local	43
3.8	Hipótesis y variables	43
3.9	Operacionalización de variables.....	46
4	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	47

4.1	Ámbito de estudio	47
4.2	Tipo y nivel de investigación	48
4.3	Población de estudio.....	48
4.4	Tamaño de muestra	49
4.5	Técnicas de selección de muestra.....	49
4.6	Técnicas de recolección de información	50
4.7	Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	52
5	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
5.1	Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados	55
5.1.1	Resultados de datos Experimentales	72
5.2	Pruebas de hipótesis	75
5.3	presentación de resultados.....	76
6	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
6.1	Conclusiones	77
6.2	Recomendaciones.....	77
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
8	ANEXOS.....	82
8.1	Datos Con Sus Respectivas Frecuencias	85
8.2	Gráficos De Función de probabilidad Normalizada	92
1.1.	Instrumentos de medida:	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distribución muestral 86 puntos	49
Tabla 2 Propiedades técnicas del contador Geiger Müller	50
Tabla3 Análisis de datos agrupados parque del reencuentro	56
Tabla 4 Resumen Parque del Reencuentro	57
Tabla 5 Resumen área 21	59
Tabla 6 Resumen apukunaq tianan.....	61
Tabla 7 Resumen Picchu Alto.....	61
Tabla 8 Resumen Cristo Blanco.....	62
Tabla 9 Resumen Balconcillo.....	62
Tabla 10 Resumen Plaza De Armas Cusco.....	63
Tabla 11 Resumen Viva el Perú.....	63
Tabla 12 Resumen Ovalo Pachacútec	64
Tabla 13 Resumen Puquín.....	64
Tabla 14 Resumen Perayoc	65
Tabla 15 Resumen Kallanca.....	66
Tabla 16 Resumen Abra de Ccorao.....	66
Tabla 17 Resumen Muyuc Orqo	67
Tabla 18 Resumen Apv Villa San Antonio	67
Tabla 19 Resumen Parque 30 de Setiembre.....	68
Tabla 20 Resumen Nodo De San Sebastián	68
Tabla 21 Resumen M. Tancarniyoc	69
Tabla 22 Resumen Parque Larapa.....	69

Tabla 23 Resumen Larapa.....	70
Tabla 24 Resumen Tica Pata.....	70
Tabla 25 Resumen Pata Pata.....	71
Tabla 26 Resumen C. Señor de Ccoylloriti.....	71
Tabla 27 Resumen de Puntos Evaluados en ($\mu\text{Sv/h}$).....	72
Tabla 28 Probabilidad de Radiación Ionizante $\geq 0.27\mu\text{Sv/h}$	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espectro Electromagnético	9
Figura 2 Densidad de energía.....	11
Figura 3 Dispersión de rayos cósmicos secundarios	13
Figura 4 Espiral recorrida por la partícula cósmica	15
Figura 5 bandas de Van Allen	16
figura 6 Decaimiento del Torio 232	19
figura 7 Distribucion de residuos liquidos,excluido el tritio.	20
figura 8 metodos de deteccion.....	21
Figura 9 Esquema del contador Geiger Müller	23
<i>Figura 10</i> Comportamiento del detector en función de su voltaje de alimentación.	24
figura 11 Radiolisi del agua debida ala influencia de las radiaciones ionizantes.....	29
Figura 12 mapa político de la provincia Cusco	47
Figura 13 Puntos de recolección de datos	50
Figura 14 Circuito del contador Geiger Müller.....	51
Figura 15 Acondicionamiento del contador Geiger Müller	51
Figura 16 Función de probabilidad normal	54

INTRODUCCIÓN

En el mundo que vivimos, estamos inmersos dentro de fenómenos naturales que afectan directamente en nuestros órganos en mayor o menor grado, como la presión atmosférica, temperatura del medio, ondas electromagnéticas y las radiaciones ionizantes entre otras.

Dentro del espectro electromagnético, radiaciones de mayor energía como los rayos X y rayos gamma tienen alta frecuencia y la energía que transportan les da un gran poder de penetración. En consecuencia, estamos afectados por radiación ionizante provenientes de fuentes naturales y artificiales.

En 1912, Víctor Hess físico austriaco, descubrió los rayos cósmicos después de llevar a cabo una serie de ascensos en un globo aerostático con el objetivo de examinar la descarga que sufrían unas finas placas de metal dentro de un electroscopio. Se pensaba que los elementos radiactivos presentes en las rocas liberaban radiación ionizante que provocaba tal descarga; por lo tanto, al distanciarse de la superficie terrestre, dicha radiación debería reducirse. Sin embargo, con cada elevación el físico Hess notó que los electroscopios suelen descargarse más a medida que el globo aumentaba su altura. Esto lo llevó a deducir que la razón de la descarga de los electroscopios era una radiación proveniente del espacio profundo. El hallazgo de la radiación cósmica le valió el premio Nobel en 1936.

Los rayos cósmicos son un componente esencial del universo, su procedencia está vinculada a procesos relevantes como la formación de estrellas, la evolución estelar, la explosión de supernovas y las tormentas solares se clasifican en función de su energía en ultra alta energía, alta energía y baja energía.

Un componente significativo del conteo de fondo de los detectores viene de la radiación cósmica secundaria al interactuar con la atmósfera de la tierra. (HESS, 2001) .

La radiación cósmica secundaria, compuesta por partículas y fotones, así como su poder de penetración sobre la materia acompañado por la exposición a largo plazo son factores que determinan el riesgo de afectar la salud.

El Sievert (Sv) es la unidad de medida de la dosis, que se define como la cantidad de energía absorbida por unidad de masa.

Dentro de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes el ADN molécula portadora de la información genética; en la cual cualquier mínima alteración de esta puede originar un daño grave. El ácido desoxirribonucleico es una molécula caracterizada por su elevada volatilidad. Por la naturaleza oxidante del metabolismo fisiológico, los procesos de inflamación y el proceso de envejecimiento, el ácido desoxirribonucleico sufre constantemente daños espontáneos. Las lesiones espontáneas, prácticamente son neutralizadas por varios mecanismos de reparación que posee la célula normal.

El ADN sufre alteraciones espontáneamente o por causa de la radiación, como ruptura de la cadena, ruptura de puentes o alteración de un azúcar o de una base (guanina, citosina, adenina y timina). (M.Picquart, 2016)

Los efectos deterministas ocurren cuando la intensidad de la respuesta es proporcional a la dosis, lo que resulta en una muerte celular no compensada por la reparación. La gravedad del daño aumenta con la dosis que se aplica; se producen por medio de dosis altas. La radioterapia y los accidentes nucleares son ejemplos; por lo que, el daño puede ser causado por una dosis mínima de radiación.

Los efectos estocásticos provocan la transformación celular y no tienen dosis umbral. El ácido desoxirribonucleico (ADN) de una sola célula que sigue reproduciéndose sufre cambios aleatorios. Los efectos genéticos o hereditarios pueden surgir cuando se causa daño en las células germinales. (Nejaim 2015)

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, nos encontramos expuestos a la radiación natural proveniente de los rayos cósmicos, particularmente en grandes altitudes. En términos generales, el 80% de la dosis anual de radiación de fondo que un individuo recibe proviene de fuentes de radiación naturales, terrestres y cósmicas, a niveles que fluctúan geográficamente a causa de variaciones geológicas. En ciertos sitios, la exposición puede superar las 200 veces la media global. (OMS, 2023)

La radiación proveniente de fuentes artificiales incluye plantas nucleares y dispositivos médicos, empleados en el diagnóstico de enfermedades o empleados en terapia.

CAPITULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Situación problemática

La radiación ionizante, dependiendo a la dosis puede impactar negativamente en la salud de las personas. En zonas elevadas, como la provincia de Cusco, donde la altitud puede sobrepasar los 3,000 metros sobre el nivel del mar, los niveles de radiación ionizante de fuentes naturales se incrementan debido a la radiación cósmica secundaria son notablemente superiores en relación con zonas bajo el nivel del mar. Esto genera inquietud acerca de los posibles impactos a largo plazo en la salud de los residentes de la región, incluyendo un incremento en la probabilidad de padecer enfermedades como, alteraciones genéticas y otros problemas de salud. Pese a la relevancia de este asunto, se han llevado a cabo escasas investigaciones concretas sobre la exposición a la radiación ionizante de fuentes naturales en la provincia de Cusco y sus impactos en la salud de sus habitantes. Por ende, resulta esencial realizar un análisis que facilite una mejor comprensión de la magnitud de la exposición a la radiación ionizante en esta zona y sus potenciales impactos en la salud.

La radiación ionizante afecta a los tejidos y órganos, el daño depende de la sensibilidad del órgano y la dosis absorbida.

Se toma en consideración la dosis efectiva, el tipo de radiación y la vulnerabilidad de los órganos y tejidos, la tasa de dosis, factores que se toman en cuenta. Para medir el potencial daño de la radiación ionizante. Otro parámetro importante es la velocidad y el tiempo con que se irradia.

Si se excede los límites permitidos, la radiación puede alterar el funcionamiento de órganos y tejidos, como enrojecimiento de la piel, caída del cabello, quemaduras por radiación o síndrome de irradiación aguda.

La dosis límite para el síndrome de irradiación aguda es de aproximadamente 1 Sv.

Si la dosis de radiación es baja o la exposición a ella tiene lugar durante un periodo prolongado, el riesgo es considerablemente inferior porque hay más probabilidades de que se reparen los daños.

No obstante, sigue existiendo un riesgo de sufrir efectos a largo plazo, como la catarata o el cáncer, que pueden tardar años, o incluso decenios, en aparecer. Si bien no siempre aparecen efectos de este tipo, la probabilidad de que se produzcan es proporcional a la dosis de radiación.

El riesgo es mayor para los niños y adolescentes, pues son mucho más vulnerables a la radiación que los adultos.

El riesgo de sufrir un daño celular puede aumentar incluso con dosis más bajas (entre 50 y 100 mSv).

En la etapa prenatal la exposición aguda al feto a dosis superiores a 100 mSv durante las 8 y 15 semanas de gestación y a 200 mSv durante las semanas 16 y 25 puede causar daños cerebrales en el feto. Por otro lado, no se ha demostrado que la exposición a la radiación antes de la octava semana o después de la semana 25, tenga un impacto en el desarrollo cerebral del feto. Según estudios epidemiológicos, la exposición a la radiación durante la primera infancia aumenta el riesgo de cáncer. (OMS, 2024)

Según Boletín del 13 de mayo de 2022 publicada por el INEI con el título “Enfermedades No Transmisibles y Transmisibles, 2021” En Perú y en todo el mundo, el cáncer es un problema de salud pública debido a su alta tasa de mortalidad, así como las discapacidades que la misma genera. Las tasas de incidencia y mortalidad de las neoplasias están aumentando, lo que incrementa los costos de los sistemas de salud por utilización de servicios.

En Perú, los tipos de cáncer más comunes son el de cérvix, estómago, mama, piel y próstata. En la mayoría de estos casos, es posible realizar pruebas de despistaje. Existen grupos de investigación que han creado guías de práctica clínica para conocer los principales tipos que pueden detectarse precozmente, las diferentes pruebas de descarte y la periodicidad con la que

deben realizarse. Para lo cual se crean planes de detección precoz, solo el 18.9% acuden a dichos exámenes. (INEI, 2021, pág. 92)

La escasa difusión sobre las probables causas que originan la aparición del cáncer en sus diferentes formas, genera la falta de interés en acudir a los centros de detección temprana.

Dentro de los factores que causan tumores malignos están las radiaciones ionizantes.

Por esta razón nos proponemos hacer mediciones en diversos puntos de la provincia de Cusco, con los instrumentos asequibles en el mercado.

2.2 Formulación Del Problema

a. Problema General

¿La radiación ionizante promedio influye en la salud del poblador de la provincia del Cusco-2024?

b. problemas específicos

1-¿Cuál es la dosis de radiación ionizante en la provincia del Cusco?

2.3 Justificación de la investigación

El medio ambiente está afectado por radiación ionizante provenientes de fuentes naturales, dentro de ello está la radiación cósmica secundaria proveniente del espacio exterior, el cual, al interactuar con las moléculas que se encuentran en la atmosfera generan una cascada de partículas y fotones ionizantes al cual llamamos radiación cósmica. La cuantificación y evaluación de la radiación ionizante permite conocer el impacto en la salud, así como, evaluar la magnitud de radiación ionizante.

Hay una probabilidad de que en ciertas ocasiones la estructura del ADN quede afectado en su estructura por la interacción de partículas ionizantes provenientes de los rayos cósmicos secundarios y de fuentes naturales.

Respecto a los rayos cósmicos, un artículo publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares del 18 de agosto de 2023, indica: “La radiación cósmica secundaria es un tema importante para la investigación espacial y la exploración del

universo porque puede tener un impacto en la salud de los astronautas, la operación de equipos electrónicos y la formación de nubes de partículas en el espacio”. (ININ Mexico, 1923).

Justificación practica

Debido a la necesidad de evaluar la radiación ionizante natural, planteamos medir la radiación ionizante promedio en los diversos puntos de la provincia del Cusco, para lograr los siguientes aspectos:

- Brindar datos reales sobre radiación ionizante.
- Probar la eficacia del detector de radiación nuclear disponible en el mercado.
- Captar y estudiar más eventos y efectuar por tanto estadísticas significativas.
- Este enfoque permitirá caracterizar los niveles de radiación ionizante en la provincia del Cusco.

2.4 Limitaciones de la Investigación.

1. No encontramos datos de radiación ionizante disponible.

2.5 Objetivos de la investigación

a. Objetivo general

Determinar la radiación ionizante promedio en la provincia del Cusco y sus efectos en la salud-2024.

b. Objetivos específicos

1.-Medir los niveles de radiación ionizante en diferentes localidades de la provincia de Cusco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

4.1 Bases teóricas

Debido a que la radiación comprende a ondas electromagnéticas y partículas que se desplazan a velocidades próximas a la luz.

4.1.1 Ondas Electromagnéticas

Una onda electromagnética es producto de la interacción de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento.

Las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío o en cualquier otro medio.

En el intervalo de frecuencias teóricamente tenemos que el límite teórico inferior del espectro electromagnético es 0, no existe frecuencias negativas y en el límite teórico superior es infinita.

Actualmente, se han detectado frecuencias electromagnéticas inferiores a 30Hz y superiores a $2,9 \times 10^{27}$ Hz.

Considerando el espectro electromagnético infinito y continuo, se supone que la longitud de onda electromagnética más pequeña es la longitud de Planck,

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.616199(97) \times 10^{-35} m \quad (1)$$

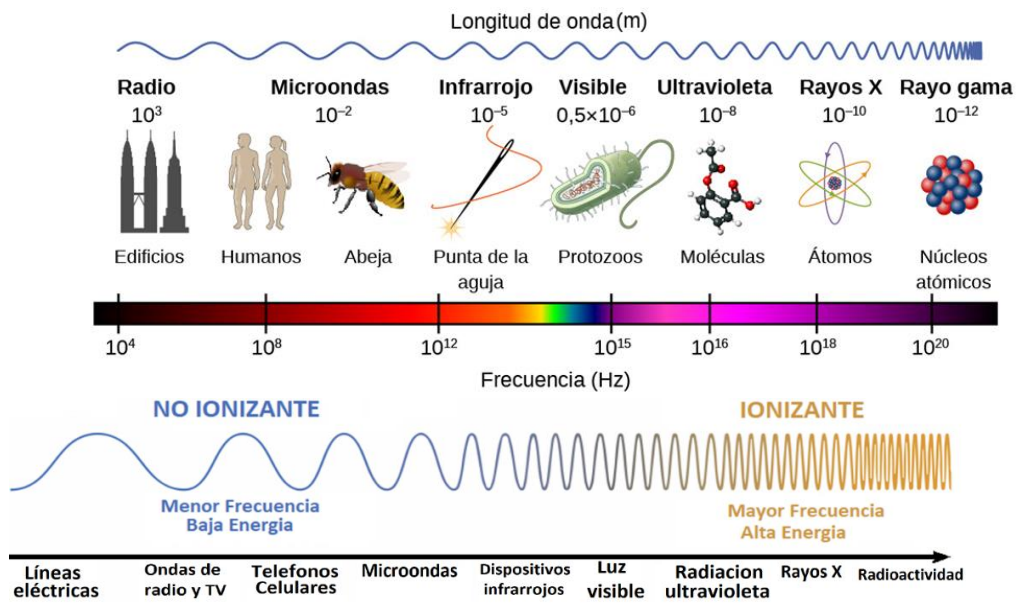
debajo de esta medida no pueden ser tratadas en los modelos de física actuales debido a la aparición de efectos de gravedad cuántica.

Así mismo, el límite máximo para la longitud de una onda electromagnética sería el tamaño del universo.

4.1.2 Clasificación del espectro electromagnético

Convencionalmente el espectro electromagnético se clasifica en bandas de frecuencia. Una de las clasificaciones del espectro electromagnético muestra las siguientes categorías de Radiación electromagnética:

Figura 1
Espectro Electromagnético



Fuente: Openstax

Ondas subradio, Ondas radioeléctricas, Microondas, Rayos T (Los rayos T son la evolución de los Rayos X cuya frecuencia está en Terahertzios), Rayos infrarrojos, Luz visible, Rayos ultravioletas, Rayos gamma, Rayos cósmicos. De este grupo consideramos la radiación ionizante

4.1.3 Radiación cósmica

Existen partículas que provienen del espacio exterior cargadas con alta energía cinética; las cuales, golpean constantemente a la Tierra en todas direcciones. Un buen porcentaje de estas partículas son protones (Núcleos los átomos de H, He, Fe). Algunos de ellos son más energéticos que otros elementos de la naturaleza, estas son llamadas radiación cósmica. Los rayos cósmicos masivos viajan a la velocidad de la luz y tienen cientos de millones de veces más energía que las partículas producidas en los aceleradores del CERN, como 6,8 TeV. Hasta ahora se ha observado radiación cósmica con una energía de más de 10^{20} eV, cubren un área de 100 kilómetros cuadrados, por lo que se han observado muy pocos objetos.

Cuando una partícula en la atmósfera choca con una molécula, se forma una cadena de miles de millones de partículas que chocan contra la Tierra.

La combinación de los espectros de todos los núcleos atómicos, constituye el espectro total de radiación cósmica que interactúa en el límite superior atmosférico con energías en el orden de GeV a TeV.

Si E la energía y Z su número atómico luego la rigidez magnética R que es la cantidad física que describe cómo un campo magnético afecta el movimiento de una partícula, cargada su unidad está dada en tesla metro (Tm).

$$R = \frac{B \cdot \rho}{p/q} \quad (2)$$

El espectro de radiación cósmica queda expresado en función a su energía como

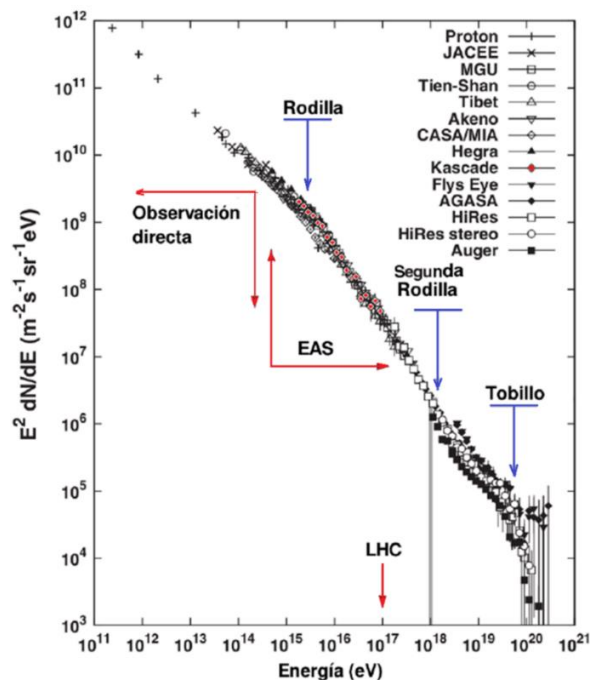
$$F(E) = \frac{dN(E)}{dE} \propto E^{-\alpha} \quad (3)$$

Donde $F(E)$ es la densidad de flujo de rayos cósmicos en función de la energía α es el índice espectral que esta entre 2.5 a 3 depende del tipo de rayo cósmico.

La figura 2, describe la densidad de partículas en función de la energía donde $\alpha=2$, el orden de energía. Muestra estas regiones, en orden de energía creciente, por la forma del espectro se las denomina respectivamente rodilla, segunda rodilla y tobillo. Como referencia, se incluye la energía de protones acelerados en el LHC a 7 TeV, El cambio de la pendiente del espectro de

$\alpha \sim 2.7$ a $\alpha \sim 3.1$ para $E = 10^{15} eV$ en el cuadro corresponde a zona rodilla. (T.Vázquez, 2010).

Figura 2 Densidad de energía



Fuente: Ultrahigh energy cosmic rays

Espectro diferencial de los rayos cósmicos en el que se indican con las echas grises las tres regiones en las que se produce un cambio significativo en el valor del índice espectral.

4.1.4 rayos cósmicos secundarios

Los rayos cósmicos primarios al interactuar con las partículas de la atmosfera superior, como protones y núcleos de helio generan los rayos cósmicos secundarios. Estas interacciones generan una cascada de partículas que incluyen rayos gamma, electrones, muones, neutrinos y hadrones, los rayos cósmicos secundarios se pueden clasificar en tres componentes principales:

Componentes duros Constituida por partículas de alta energía mayores a 0.2 GeV, incluyen protones, neutrones y otras partículas con una energía significativa. Su producción se debe a interacciones más energéticas de los rayos cósmicos primarios en la atmósfera. Estas son más penetrantes y pueden llegar hasta la superficie de la Tierra, atraviesan el interior de materiales, como el suelo o las rocas.

La desintegración de los piones genera la aparición de los muones, su distribución se puede modelar por la ley de decaimiento. El número de muones en cierta área en función al tiempo o la posición en la atmosfera

$$N_{\mu}(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

N_0 : valor inicial de muones λ tasa de decaimiento

Componente blanda:

constituida por las partículas como los piones (π^0 y π^+), que son menos penetrantes que los muones.

Componente neutrónica:

Los neutrones son partículas secundarias generadas en las interacciones de los rayos cósmico primarios, partículas con masa sin carga eléctrica, y pueden poseer una extensa variedad de energías.

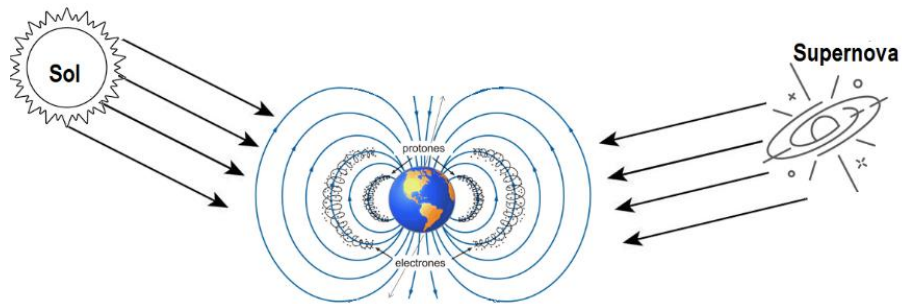
Son esenciales ya que tienen la capacidad de penetrar materiales y tener un impacto en los aparatos electrónicos o en los organismos vivos.

Los neutrinos, que son partículas de masa reducida y sin carga eléctrica, poseen una interacción limitada con la materia. Durante su interacción con la materia, tienen la capacidad de producir partículas secundarias como muones. Una partícula primaria cargada de alta energía cinética como el protón, interacciona con átomos de la atmosfera generándose una cascada de electrones, fotones, muones, piones, etc.

Fuentes de radiación cósmica

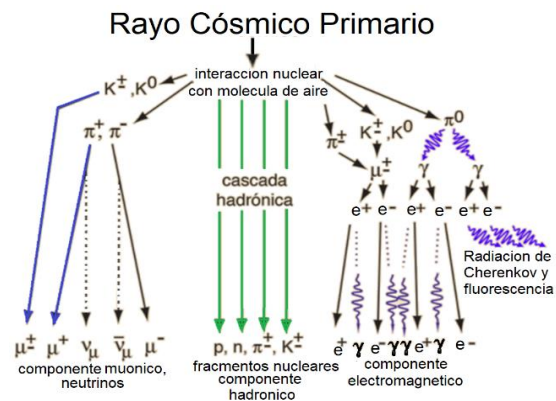
Las fuentes de radiación cósmica son el sol y fuentes galácticas de radiación como las supernovas como muestra la figura 3

Radiación ionizante solar



Fuente: L. Han/OIEA
Figura 3

Dispersión de rayos cósmicos secundarios



Fuente Imagen: Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas (ITeDA)

Al llegar a la tierra, los rayos cósmicos van penetrando en una atmósfera cada vez más densa. Aproximadamente en 20 kilómetros de altura, ocurren las colisiones nucleares. Las partículas como protones y núcleos viajan a gran velocidad, fragmentan los núcleos de los átomos que se encuentran en la atmósfera y cediendo una porción importante de su energía original. Las partículas producto de la dispersión son capaces de producir nuevas colisiones nucleares, el proceso continúa por varias generaciones. En la desintegración de los núcleos aparecen partículas subatómicas inestables como piones y muones, estas se desintegran en fotones, electrones, positrones y neutrinos. A este conjunto de partículas que se multiplica mientras

desciende rápidamente se le denomina chubasco atmosférico (Figura 4). La densidad de los electrones primarios es producida por las colisiones de protones con hidrógeno interestelar.

Entre estas reacciones, se tiene, por ejemplo:

Dos protones colisionan de acuerdo a la siguiente relación por la energía que lleva una de ellas, se observa:



El choque de protones da origen a dos protones residuales y a tres tipos de mesones pi. El mesón pi (positivo y negativo) decae en un mesón mu (positivo y negativo) y neutrinos.



y, finalmente, los mesones mu decaen en un electrón (positivo y negativo) y dos neutrinos



Una cascada de rayos cósmicos a partir de un protón p de origen cósmico genera:

Los muones (μ) que llegan a la superficie y la penetran.

Los neutrinos (ν) pueden atravesar la tierra.

Los electrones (e)

Los rayos gamma (γ) quedan en la superficie (Auger, 2024).

Partículas secundarias de un chubasco atmosférico al llegar al nivel de tierra depende de la energía de la partícula primaria que lo produjo.

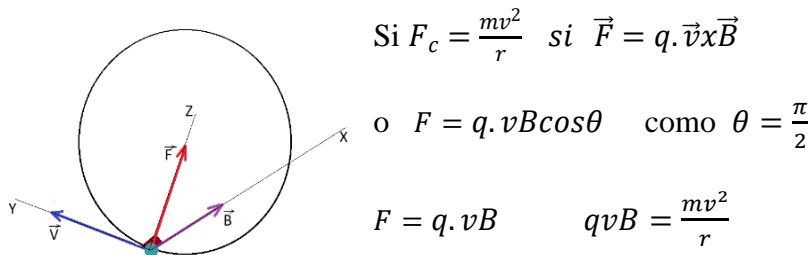
Así, partículas primarias con energías entre 500 y 20 mil mega electrón volts (millones de electrón volts); producen decenas de miles de partículas secundarias que cubren un área de unos cuantos metros cuadrados al llegar a tierra. Los chubascos producidos por partículas en

el intervalo energético mencionado, pueden ser contenidos totalmente dentro de un solo detector.

Interacción con el Campo magnético Terrestre

Los rayos cósmicos primarios son afectados por la presencia del campo magnético terrestre.

Toda partícula cargada que se desplaza a una velocidad \vec{v} a través de un campo magnético sigue una trayectoria espiral de acuerdo a la siguiente relación.

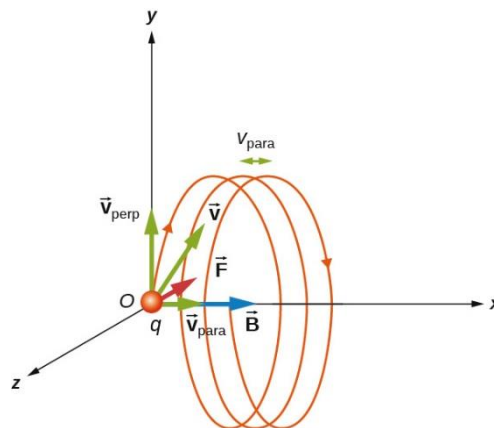


Su radio $r = \frac{mv}{qB}$ $T = \frac{2\pi r}{v}$ por consiguiente su periodo $T = \frac{2\pi m}{qB}$

La espiral está condicionada por la energía que lleva la partícula y la intensidad del campo magnético. A medida que un campo magnético sea más intenso y su dominio se extienda en un espacio extenso, su habilidad para desviar abarcará partículas con energías superiores.

Figura 4

Espiral recorrida por la partícula cósmica



Fuente: Física universitaria volumen2 openstax

En la figura 4 la partícula que se desplaza en paralelo al campo magnético genera un movimiento circular, en cambio, la partícula que se desplaza en paralelo al campo se traslada

a través de una línea recta. La distancia horizontal entre dos círculos sucesivos se conoce como paso, el movimiento que surge es de forma helicoidal.

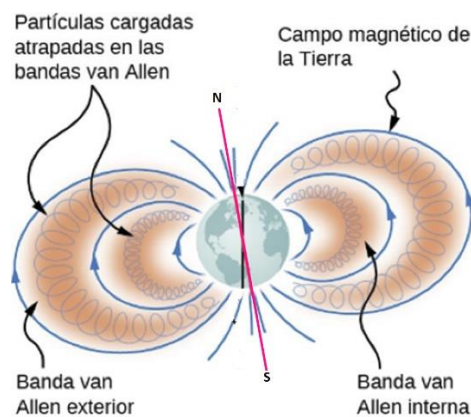
El campo geomagnético tiene la capacidad de desviar significativamente partículas con energías de hasta 100 mil MeV. Si la energía de la partícula primaria es de solo unos cuantos GeV, el camino espiral que el campo geomagnético le impone, es tan limitado que la hace caer, atrapado por las líneas de campo que se encuentran en las regiones polares. Para llegar a la región ecuatorial, es imprescindible que la trayectoria espiral sea lo suficientemente abierta; únicamente partículas de aproximadamente 15 GeV pueden llegar a zonas ecuatoriales.

La radiación cósmica llega a las zonas polares de casi todas las energías, sin embargo, a medida que se desciende hacia el ecuador, las partículas de energías inferiores serán inexistentes.

Por lo tanto, para cada lugar en la superficie de la Tierra, existe una energía mínima que la partícula primaria debe tener para poder alcanzar como muestra la figura 4.

Figura 5

bandas de Van Allen



Fuente: Física universitaria volumen2 openstax

Por lo tanto, para cada lugar en la superficie de la Tierra, existe una energía mínima que la partícula primaria debe tener para poder alcanzar. Esta energía se conoce como energía límite o límite geomagnético. Dado que existe un límite geomagnético, la fuerza de los rayos cósmicos es superior en las áreas polares y disminuye hacia el ecuador geomagnético.

4.1.5 Composición de los rayos cósmicos

Los rayos cósmicos se componen en promedio 89% de protones llamadas radiación α 10% de núcleos de helio y β , la energía y las condiciones físicas da una indicación del medio en donde se originaron, a continuación, detallamos las partículas y la radiación de fotones

Partículas alfa α . Son núcleos de helio (formados por dos protones y dos neutrones). Las partículas alfa son las radiaciones ionizantes con mayor masa, por lo que su capacidad de penetración en la materia es limitada, no pudiendo atravesar una hoja de papel o la piel de nuestro cuerpo. Las partículas alfa son muy energéticas

Partículas beta β . Son electrones o positrones y poseen una masa mucho menor que las partículas alfa, por lo que tienen mayor capacidad para penetrar en la materia. Una partícula beta puede atravesar una hoja de papel, pero será detenida por una fina lámina de metal o metacrilato y por la ropa. Son menos energéticas que las partículas alfa, están al 1% de núcleos de otros elementos de la tabla periódica más pesados, electrones, neutrones y antimateria.

Rayos gamma γ . Como son radiaciones electromagnéticas, tienen un gran poder de penetración en la materia, porque no tienen masa ni carga. Es necesaria una capa gruesa de plomo o una pared de hormigón para detenerlas. Los rayos gamma y los rayos X comparten las mismas características, excepto en la fuente de origen. Los rayos gamma provienen del núcleo del átomo, mientras que los rayos X provienen de las capas externas del átomo, donde se encuentran los electrones.

Los rayos cósmicos de ultra alta energía, son partículas con energías superiores a 10^{18} eV, son mensajeros de fuentes astrofísicas que transportan información fundamental sobre el Universo.

A pesar de que estas partículas de alta energía se han encontrado desde la década de 1960. La radiación ionizante es una forma de energía que libera átomos en forma de ondas electromagnéticas, como rayos gamma o rayos X, o partículas, como neutrones o partículas

alfa y beta. La radiactividad es la desintegración espontánea de los átomos, y la radiactividad es una forma de radiación ionizante. Los elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos.

4.2 Fuentes de origen terrestre

Hace 4500 años, los núcleos de magma por su inestabilidad eran radiactivos, de ellos subsisten los radionúclidos primordiales cuyo periodo de tiempo de vida media son del orden de miles de millones de años, así tenemos.

Elementos homogéneos ligeros que se transforman por degradación β^- como el potasio-40 tiempo de vida media 1.3×10^9 años en el medio terrestre, rubidio-87 tiempo de vida media 4.8×10^{10} años en el medio marino.

Elementos heterogéneo pesados que se transforman por degradación en el medio terrestre que producen constantemente, sobre todo por desintegración α , otros radionúclidos denominados secundarios.

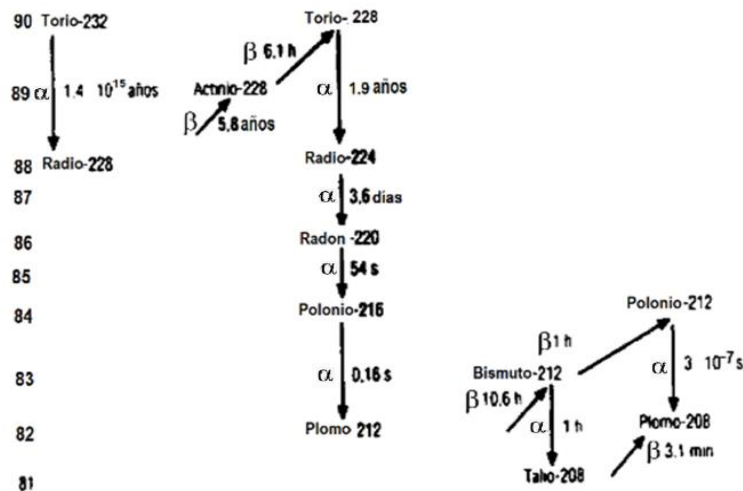
Torio 232 tiempo de vida media 1.4×10^{10} años

Uranio-235 tiempo de vida media 0.7×10^9 años

Uranio-238 tiempo de vida media 4.5×10^9 años

Como ejemplo mostramos el decaimiento del Torio-232, los numeros atomicos principales de la familia hasta llegar a un elemento estable ^{208}Pb .

figura 6 Decaimiento del Torio 232



Fuente: Radiobiología, Radio patología, P. Galle.

Radioactividad natural de las rocas, los suelos y el aire

En corteza terrestre no modificada después de las eras geológicas, el elemento precursor de cada serie está en equilibrio con sus descendientes hasta el elemento de numero atómico 88. Cada isotopo del radio emite un isotopo de radón y a las radioactividades transfiere al nivel atmosférico.

Solo para el radio Ra-226, la inyección anual de radón-222 es de 1.7×10^9 Ci (Curie), de estos el plomo y el polonio, se depositan en el suelo y la vegetación.

El potasio natural una mezcla de 3 isotopos

^{39}K abundancia 93.08% ; ^{40}K abundancia 0.0119% ; ^{41}K abundancia 609% de estos el potasio-40 es radiactivo.

La radioactividad media de la corteza terrestre, el aire, el agua y a la dieta alimenticia algunos valores de actividad radiactiva

^{40}K actividad radiactiva 370Bq/kg

^{238}U +familia actividad radiactiva 560Bq/kg

^{232}Th +familia actividad radiactiva 400Bq/kg

Aire (aerosoles y derivados del radón) 4Bq/kg

Agua potable actividad radiactiva 0.1Bq/l

Dieta alimenticia (^{14}C , ^{40}K) 1654Bq/día.

Fuentes de origen militar.

Precipitación radioactiva de los ensayos nucleares

Entre el centenar de radionúclidos diferentes originados a raíz de los ensayos nucleares atmosféricos, habría 6 susceptibles de causar impacto en la especie humana (el

Yodo-131 tiempo de vida media 8días),

Estroncio 90 tiempo de vida media 29 años

Cesio-137 tiempo de vida media 10 años

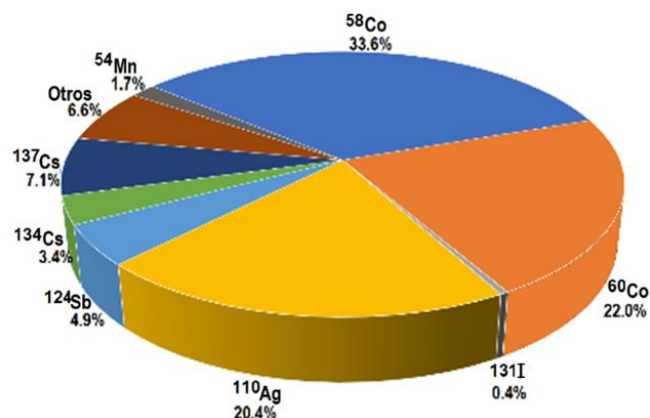
El tritio ^3_1H y el carbono-14 que se añade al fondo natural y el plutonio-239.

Residuos vinculados a la industria nuclear

Residuos líquidos

Los límites anuales autorizados, en Francia, para todos los residuos menos el Tritio, son de 370 GBq para de 900MW y 550 GBq el nivel de 1300 MW. Desde 1995, estos límites han sido reducidos en un factor 5 para las nuevas centrales puestas en funcionamiento. En la práctica, las centrales emiten, de media, menos del 1% de la actividad autorizada.

figura 7 Distribucion de residuos liquidos,excluido el tritio.



Fuente Radiobiología, Radio patología, P. Galle.

Para el Tritio, el límite anual de residuos es de 27,5TBq para un rango de 900mw y de 40TBq para un rango de 1300MW. Los residuos efectivos representan aproximadamente un tercio de las actividades autorizadas. Sin embargo, a nivel mundial, los residuos de tritio están por muy debajo de la producción natural del mismo.

Residuos gaseosos

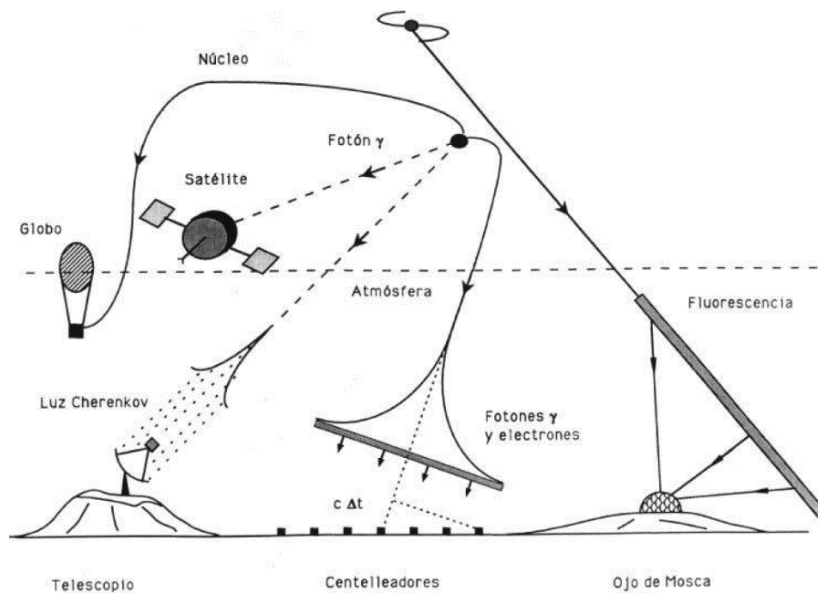
Alrededor de los reactores nucleares europeos

Gases nobles (xenon-133 y 135) actividad 0.5TBq, T actividad 1.5GBq, ^{14}C actividad 0.2GBq ^{131}I actividad 4MBq, Aerosoles diversos Actividad 3.0MBq. (PAULIN, 2003)

4.2.1 Métodos de detección

Debido a la variación de la energía, en muchos ordenes de magnitud se emplean diversos métodos experimentales dependiendo del intervalo los detectores se ubican en la atmosfera y detectores en tierra.

figura 8 metodos de deteccion.



Fuente: Metodo de Thinning y dethinning Estupiñán López

4.2.2 Detectores de partículas en tierra

Estos detectores están concebidos para examinar de manera directa las partículas que arriban a la Tierra, ya sean provenientes del espacio exterior o producidas en la atmósfera a causa de su interacción con los rayos cósmicos primarios, entre ellos tenemos.

Contadores de centelleo

Son aparatos que detectan la luz que se emite cuando una partícula cargada atraviesa un material concreto (como el plástico o el cristal). Este procedimiento se denomina centelleo. Los fotomultiplicadores tienen como objetivo identificar la luz producida por el centelleo y establecer la energía de la partícula.

Estos detectores tienen una energía umbral de detección comprendida entre los 5 TeV y 1 PeV, la cual depende de la altura del nivel de observación y de la granularidad de la matriz.

Detectores de ionización

Estos detectores registran la ionización que sucede cuando las partículas con carga atraviesan un gas o material. Son de los más antiguos y se utilizan extensamente. Un caso típico es la cámara de niebla o de ionización, en la que se puede observar el trazo dejado por una partícula en movimiento a causa de la ionización del gas que se encuentra en la cámara.

Detectores de rayos cósmicos en la atmósfera. (observatorios atmosféricos)

Los rayos primarios de la atmósfera terrestre que interactúan con las moléculas, generando una cascada de partículas secundarias.

Para su detección se utiliza diversos instrumentos como, Películas fotográficas, Ionización de gases, Centelladores. Semiconductores, Calorímetros, reacciones químicas, etc.

Ciertas sustancias llamadas luminiscentes, tienen la propiedad de que cuando una partícula cargada o un fotón interactúan con ella, emiten luz con longitud de onda en el visible o ultravioleta, siendo la intensidad proporcional a la energía depositada por la radiación.

Las sustancias luminiscentes comúnmente empleadas en detectores de centelleo, suelen ser cristales inorgánicos, compuestos orgánicos en forma cristalina o en disolución.

4.2.3 Características del Contador Geiger Müller

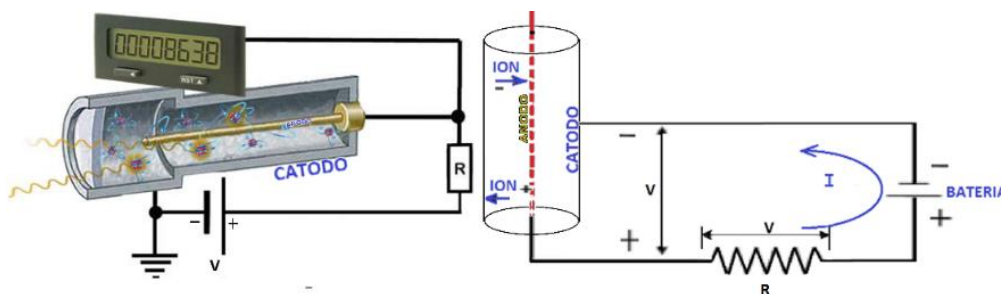
Los contadores están constituidos por un tubo G-M que es el elemento de detección de radiación ionizante. dicho dispositivo fue inventado por Hans Geiger, que descubrió el principio en 1908 con la colaboración de Walter Müller, para su desarrollo técnico en 1928

El tubo tiene un par de electrodos inmersos en un gas. la diferencia de potencial aplicada entre los electrodos se genera un campo eléctrico.

Si el dispositivo expone a un campo de radiación, la interacción de las partículas ionizantes genera pares de iones positivos y negativos. Estos iones, se aceleran en presencia del campo eléctrico, en dirección a los electrodos polarizados eléctricamente con signo después de haber recorrido la distancia que los separa de los respectivos electrodos, las cargas eléctricas circulan por el circuito exterior de polarización, generando una señal eléctrica que alimenta el circuito de conteo.

Figura 9

Esquema del contador Geiger Müller



Fuente: Planetario Galileo Galilei Buenos Aires

La $\Delta E(V)$ variación de la energía depende de la tensión. Por tanto, el campo eléctrico se aumenta o disminuye cuando el voltaje entre los electrodos varia.

Al aumentar el voltaje a los electrodos, se consigue un crecimiento del campo eléctrico que es capaz de acelerar los electrones lo suficiente como para que éstos puedan generar ionizaciones secundarias. Los electrones secundarios acelerados ionizan, lo cual genera una avalancha o cascada de ionizaciones, a este conjunto se denomina suceso proporcional.

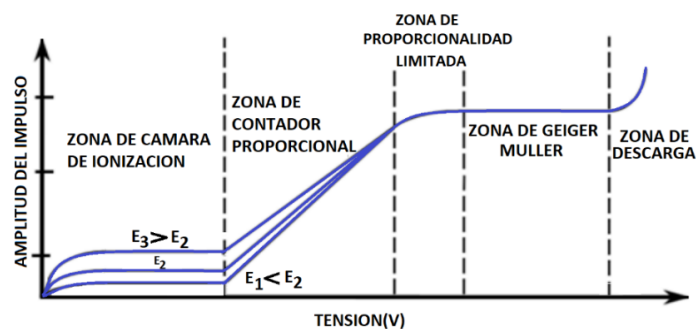
Al incrementar la diferencia de potencial entre electrodos, más allá de los valores que corresponden al rango de funcionamiento, el factor de multiplicación de iones deja de ser lineal con la tensión aplicada.

La velocidad de desplazamiento de los iones positivos, es menor que la de los negativos debido a la diferencia en sus masas.

En este estado, la ionización deja de aumentar la multiplicación y la amplitud del impulso resulta máxima. Esta región de operación del detector gaseoso recibe el nombre.

Figura 10

Comportamiento del detector en función de su voltaje de alimentación.



Fuente. *Laboratorios en fase de prueba y validación.*

Un tubo GM consiste en un cilindro metálico hermético cerrado en ambos extremos que se llena de un gas que se ioniza fácilmente (generalmente neón, argón), y un gas extintor que usualmente es un halógeno.

El alambre, que se extiende longitudinalmente por el centro del tubo, se carga positivamente con un voltaje relativamente alto y actúa como un ánodo. El tubo actúa como el cátodo. El

ánodo y el cátodo están conectados a un circuito eléctrico que mantiene la alta tensión entre ellos.

La operación del contador GM es simple, esto lo hace útil porque proveen señales muy fuertes; por lo que, no es necesario el uso de pre amplificadores en el circuito de conteo. Pueden ser usados con todos los tipos de radiación ionizante (con diferentes niveles de eficiencia).

La desventaja de estos contadores, es que su señal es independiente del tipo y energía de las partículas, por lo que solo provee cuentas sin discriminar el tipo o energía de la fuente radioactiva.

4.3 Efectos de la radiación ionizante en el organismo

Básicamente la radiación ionizante interactúa con el Ácido Desoxirribonucleico, la radiación ionizante y la salud.

Desde el descubrimiento de la radioactividad, Marie Curie sentó las bases de la aplicación de la radiación ionizante en la medicina que evoluciono en la radioterapia, mediante el uso de radionúclidos en fuentes encapsuladas (Cs-137 y el Co-60) antes del desarrollo de los actuales aceleradores de partículas ionizantes.

La aplicación del tecnecio-99 metaestable y de las primeras cámaras, y la medicina nuclear que utiliza exclusivamente las fuentes radioactivas en el tratamiento de tumores cancerígenos. Las imágenes funcionales de las gammagrafías mediante tomografías mono o bi fotónica, permiten comprender las patologías más diversas.

4.3.1 Lesiones moleculares producidas por las radiaciones ionizantes

Transferencia de la energía radiativa a las moléculas, la energía en una molécula es empleada en oscilar rotar trasladar la molécula mantener el enlace así:

$$E = E_e + E_o + E_r + E_t \quad (8)$$

E_e : energía electrónica

E_o : energía cinética oscilación,

E_r : energía de rotación

E_t : energía traslación molecular.

Cuantificando los tres primeros, solo pueden modificarse si la energía de la radiación incidente es igual o superior a los valores de las transiciones energéticas permitida.

El de más alto valor es la energía electrónica, por lo que, la partícula ionizante tiene una energía individual de 12.6eV suficiente para expulsar un electrón de una molécula de agua; dicha molécula, puede ser ionizada. Para una energía de 6.6eV puede llevar el electrón a un nivel energético superior, donde la molécula queda excitada.

La energía media necesaria para provocar una ionización en un medio acuoso, la energía media de ionizaciones de 32eV. De esta, la mitad de esta energía se emplea en la ionización y el resto se reparte entre las excitaciones y transferencias térmicas.

De cada 100 ionizaciones, produce 300 excitaciones y una cantidad aún más elevada de transferencias térmicas

En relación a la materia viva, 1Gy provoca en cada núcleo celular irradiado varios millares de lesiones en el ADN

La molécula ionizada o excitada tiene exceso de energía lo cuales suficiente para romper un enlace químico, en una molécula de agua las energías de ionización y excitación son 12.6eV y 6.6eV respectivamente, mientras que la energía de enlace H. OH es de 5.15eV (P. GALLE, 2003, pág. 55)

Transferencia de la energía radiativa a los componentes de la energía molecular

La transferencia de energía en forma térmica no es suficiente para producir las lesiones moleculares.

Una dosis de 1Gy equivalente a 0.24 calorías, asumiendo que toda la energía es calorífica, el incremento de temperatura es insignificante, alrededor de 0.24 milésimas de grado centígrado, que es insuficiente que provoque lesiones.

Las lesiones moleculares son producidas por la transferencia de energía por ionización y excitación.

En una ionización, la energía perdida por la partícula ionizante arranca un electrón a la molécula y esta se convierte en un ion positivo y el electrón es liberada con una cantidad de energía cinética.



En una excitación, el electrón sigue unida a la molécula, y su energía se desplaza a un nivel más elevado, entonces la molécula está excitada $M \rightarrow M^*$. Las moléculas con exceso de energía, por ionización M^* son muy inestables, esta energía se transfiere rápidamente emitiendo un fotón como consecuencia de una transición energética, la corteza electrónica vuelve a su estado inicial (fenómeno de fluorescencia), la molécula no se modifica.

La transferencia de energía ionizante a un enlace químico cercano puede provocar la rotura de dicho enlace.

Las roturas de enlaces covalentes, afectan aquella molécula cuyo electrón ha sido liberado durante la interacción a otro enlace más o menos alejado, por transmisión de la energía en el seno de la molécula ionizada, o una molécula vecina, de este modo se produce una lesión molecular.

Estimaciones de moléculas ionizadas

La cantidad de moléculas ionizadas es elevada, puesto que una dosis de 1Gy produce 2×10^{17} ionizaciones en 1Lt de agua en porcentaje comparada con el número de moléculas contenida en este volumen que es de 3×10^{25} moléculas, es muy pequeño, solo una ionización por cada 100 millones de moléculas.

Considerando un núcleo celular de 10^{10} g de masa esta misma dosis de 1Gy produce 20.000 ionizaciones. Estas ionizaciones se distribuyen entre micro moléculas y macromoléculas; entre ellas, las moléculas de ADN del núcleo (masa = 10^{-11} g) que experimentan por ellas mismas alrededor de 2.000 ionizaciones.

Las lesiones del ADN traen consecuencias de una modificación incluso mínima de la estructura de esta molécula.

Se estima la exposición media a la irradiación natural en el organismo, causa mil millones de ionizaciones por segundo.

4.4 Lesiones en la molécula del ADN

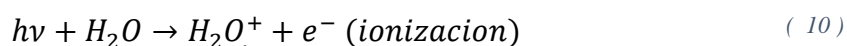
Las lesiones primarias y frágiles de efecto directo, estas lesiones en el ADN son posibles a ser inducidas por la transferencia directa de la energía radiactiva a la molécula, trae como consecuencia la ionización o la excitación del ADN.

Estas lesiones también suelen ser secundarias a la inducción de reacciones fisicoquímicas complejas en el espacio inmediato a la molécula del ADN, resultado de la ionización o la excitación de las moléculas de agua más próximas; este efecto es indirecto.

disociación del agua en radicales libres

La transferencia directa de la energía radiactiva induce a la molécula de agua a la ionización y la excitación molecular.

Al someter a moléculas de agua a un flujo de fotones de energía $h\nu$, se obtiene un radical iónico H_2O^+ y el desprendimiento de un electrón con cierta energía cinética E_k

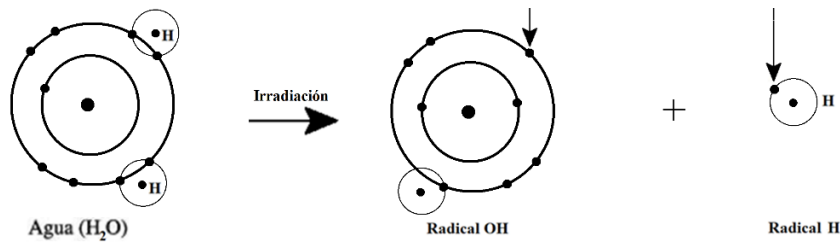


La molécula ha sido ionizada, Un radical libre es cualquier átomo o molécula que tenga un electrón desapareado.

En el elemento (O^+) La presencia de un punto, situado abajo, hacia la derecha del símbolo del átomo la molécula representa un electrón desapareado.



figura 11 Radiolisi del agua debida ala influencia de las radiaciones ionizantes



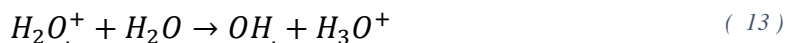
Fuente: Radiobiología, Radiopatología,R.Galle

En la Radiolisis del agua la molécula es descompuesta en dos radicales, cada una de los cuales es portador de un electrón no apareado “O*”

Dichos radicales son muy reactivos.

En la Radiolisis, los productos resultantes de la disociación electrolítica del agua son muy diferentes a los dos iones formados, H⁺ y OH⁻ no tienen un electrón desapareado; en consecuencia, un radical puede estar ionizado o no, por ejemplo, la molécula de agua ionizada H₂O⁺-En un tiempo de 10⁻¹²s

Las moléculas inestables, las cuales son las ionizadas o excitadas se disocian formando radicales libres:



Los radicales libres generados, tienen una mayor radioactividad química, su vida media de 10⁻⁹s. un tiempo muy breve que incluso en agua pura en estado líquido, en estas condiciones la agitación molecular solo permite desplazar distancias muy cortas alrededor de 2nm.Si el proceso continúa, estas se desintegran o forman nuevas moléculas.



En el momento de la ionización, el electrón liberado e^- con energía cinética E_c se estabiliza y se convierte en un electrón térmico e^-_{te} , en un medio rodeado de moléculas de agua forma un electrón hidratado denominado electrón acuoso e^-_{aq} .



En el proceso aparecen radicales $H\cdot$ y $OH\cdot$ producto de la disociación de las moléculas de agua que rodea al electrón acuoso.

Seguida a esta etapa en un tiempo menor de 10^{-6} s los radicales son poco difundidas, los productos de la Radiolisis del agua pura ubicada en el medio, son en su mayoría los siguientes $OH\cdot$, $H\cdot$, e^-_{aq} , H_2O_2

Estos son tóxicos, no solamente porque son muy reactivos (radicales libres); sino también, porque son agentes oxidantes, como el peróxido de hidrogeno H_2O_2 o el radical hidroxilo $OH\cdot$.

Formación de lesiones moleculares

Producida la Radiolisis del agua estas lesionan las moléculas que se encuentran en la solución.

Ejemplo el radical $OH\cdot$. Puede modificar el enlace químico R-H de una molécula orgánica próxima.

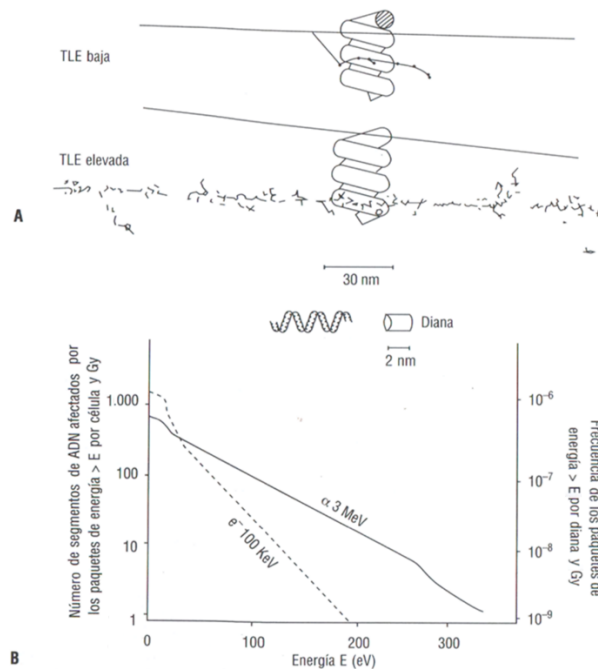


Las alteraciones producidas En la molécula del ADN son variadas así tenemos:

Modificaciones de las bases rotura de una de las hebras o de las dos hebras de la doble hélice, formación de enlaces inter o intracatenarios, o enlaces ADN-proteínas

Efecto directo sobre el ADN

Un paquete de energía produce la lesión molecular como consecuencia de la acción radiativa localizado en un lugar sensible de la cadena del ADN, los volúmenes sensibles de dimensiones pequeñas como cilindros de 2nm de diámetro y 2nm de alto; lo cual, corresponde a un segmento muy corto de la cadena de ADN, donde se observan las lesiones; así mismo, se puede considerar una esfera de 7 a 10 nm de diámetro correspondiente a un nucleosoma



En la figura, muestra la forma como se distribuyen los paquetes de energía en una estructura de 2.2nm del núcleo celular. La frecuencia de un fenómeno en una diana molecular es, alrededor de 10⁻⁶ por Gy, los fragmentos de ADN afectados en el núcleo celular son del orden de 10³ por GY.

Estos fenómenos en su mayoría corresponden a paquetes de baja energía, este número es del mismo orden de magnitud que el de roturas de cadena simple.

Los paquetes de energías mayor a 100eV en el orden de 20 a 100 por Gy y núcleo celular.

Los paquetes de energía de densidad muy elevada solo son producidos por radiaciones de TLE elevada. (PAULIN, 2003)

4.5 Unidades de la radiación

La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU) elabora normas oficiales de cantidades y unidades de radiación y radiactividad que gozan de reconocimiento a nivel mundial. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) también dicta reglas para el establecimiento y uso de diferentes volúmenes y unidades utilizadas en el ámbito de la seguridad radiológica. A continuación, se detallan algunas cantidades, unidades y definiciones utilizadas frecuentemente en el ámbito de la seguridad radiológica.

Se distinguen tres parámetros:

- a) La cantidad o actividad (medida en becquerelio o Curies), la intensidad (energía, medida en electrón voltio), El curio (abreviación Ci) es una antigua unidad de radiactividad, igual a $3,7 \times 10^{10}$ becquerels (desintegraciones nucleares por segundo), que es más o menos la actividad de 1 g de ^{226}Ra .
- b) Un becquerelio se define como la actividad de una cantidad de material radiactivo con decaimiento de un núcleo por segundo.
- c) Efectos sobre un ser vivo (medidos en dosis absorbida: grays o rads)
- d) Efectos sobre una población (medidos en Sievert o rem por persona).

4.5.1 La radiación ionizante.

Radiación ionizante, es un tipo de radiación de alta intensidad que tiene la energía necesaria para eliminar un electrón de un átomo o molécula y provocar su ionización al transferir energía.

La Transferencia Lineal de Energía

La transferencia lineal de energía (TLE) es la cantidad de energía que se deposita en la materia cuando interacciona con las radiaciones ionizantes.

Los diversos tipos de radiación tienen diferente TLE; por lo tanto, diferente ionización, así las radiaciones con baja TLE provocan ligera ionización a lo largo de su recorrido, como los rayos X, mientras que las radiaciones con alta TLE provocan ionización densa en su recorrido, como los protones. Las radiaciones electromagnéticas tienen baja TLE y las radiaciones de partículas tienen alta TLE.

En radiobiología, mientras mayor sea la TLE, mayor será la ionización y por lo tanto mayor será el efecto o daño biológico que se puede producir.

La radiación ionizante daña el ADN y altera los químicos de las células. Esto aumenta la probabilidad de desarrollar enfermedades como el cáncer. La radiación ionizante puede provenir de aparatos de imagenología médica como máquinas de radiografía, tomografía computarizada (TC) o tomografía por emisión de positrones (TEP), así como de fuentes naturales como el radón y los rayos cósmicos (rayos que ingresan a la atmósfera terrestre desde el espacio exterior), que involucran armas atómicas y plantas nucleares; las mismas, que liberan niveles elevados de radiación ionizante. Además, los accidentes nucleares y las armas atómicas liberan niveles elevados de radiación ionizante.

Según la Center for Cancer Training (Centro de Formación sobre el Cáncer) La exposición a dosis extremadamente altas, La radiación ionizante causa daños inmediatos al cuerpo, como lesiones graves en la piel o los tejidos, enfermedades agudas por radiación y muerte. (CCT, 2024)

Radiación electromagnética: rayos-X y radiación γ (gama)

Partículas subatómicas: protones, neutrones, partículas α (alfa) y partículas β (beta).

La radiación ionizante procedente de los rayos-X y de la radiación γ se dice que tiene

bajas dosis de radiación ionizante: son aquellas dosis que van desde casi cero hasta 100 mSv o, lo que es lo mismo, 0,1 Sv.

Actividad de una fuente radioactiva

La actividad, A, está vinculada con la constante de desintegración λ , la cual representa la posibilidad de desintegración por núcleo de cada unidad temporal. Por supuesto, en el transcurso del tiempo Δt , N se modifica por ΔN , donde ΔN es menor a 0, así que la actividad, A, representa la tasa de decaimiento, o sea:

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

siempre que Δt sea pequeño en comparación con la vida media del nucleido. Es la actividad de un radionucleido. Se mide en las siguientes unidades:

Becquerel (Bq): es la unidad para medir la actividad de un radionucleido (la radioactividad).

$$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ desintegración}}{\text{segundo}} \quad (20)$$

Curie (Ci): la radiactividad equivalente a la que emite 1gr de Radio

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

La exposición a la radioactividad natural se da por el gas radón (gas radioactivo) cuyo período de semidesintegración es de 3,83 días emanada de los suelos graníticos. La roca granítica puede contener hasta 5ppm de uranio y 12 ppm de torio.

Periodo de semidesintegración, al tiempo necesario para que la actividad de un radionucleido se reduzca a la mitad.

Constante de desintegración (λ). Esta cantidad representa la probabilidad por unidad de tiempo de que ocurra una transformación nuclear para un radionucleido dado. La constante de desintegración se mide por segundo. Está relacionada con el período de semidesintegración $t_{1/2}$ de un radionucleido por:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \approx \frac{0.693}{t_{1/2}} \quad (21)$$

La constante de desintegración λ está relacionada con la vida media, τ de un radionucleido por: $\lambda = \frac{1}{\tau}$ La dependencia del tiempo de la actividad $A(t)$ y del número de núcleos radiactivos $N(t)$ se puede expresar por $A(0)e^{-\lambda t}$ y $N(0)e^{-\lambda t}$ respectivamente.

Exposición

La exposición es, la cantidad de radiación cósmica que recibe el cuerpo, o el sensor en este sentido, la exposición es una combinación del tiempo y el nivel de radiación recibido por el material.

Unidades

Describe la cantidad de radiación que viaja por el aire, ionizante mismo. Sus unidades se miden en Roentgen que es la cantidad de radiación γ o rayos- X necesaria para ionizar el aire y de la que resulte una carga eléctrica de $25,8 \times 10^{-4}$ culombios / kilogramo de aire en condiciones normales de presión y temperatura.

$$1 \text{ Roetgen} = \frac{0,000258 \text{ culombios}}{1 \text{ kg de aire}} = \frac{2.54 \mu\text{c}}{\text{kg de aire}} \quad (22)$$

Dosis absorbida

Cualquier tipo de radiación al interactuar con un material, le cede una determinada cantidad de energía. La energía cedida por la radiación ionizante al interactuar con un material llamado dosis absorbida. Se mide en la unidad:

Gray (Gy): es la unidad para medir la dosis de radiación absorbida por un tejido biológico atravesado por una radiación (1 kilogramo de material que ha absorbido una energía de 1 Joule).

$$1 \text{ Gray} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{kg}} \quad (23)$$

Antiguamente se utilizaba la llamada *rad* (radiation absorbed dose): unidad de dosis absorbida (1 gramo de material que ha absorbido una energía de 100 ergs).

$$1 \text{ rad} = \frac{100 \text{ ergs}}{\text{gr}} \quad (24)$$

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gray} \quad 1 \text{ Gray} = 100 \text{ rad}$$

Dosis equivalente

Es la magnitud que se emplea en radio protección para poder valorar los efectos biológicos de una determinada dosis absorbida de radiación ionizante, ya que ésta, al interactuar con la materia viva (tejidos biológicos), le cede una determinada cantidad de energía y le produce determinados efectos. Se mide en la unidad

Sievert (Sv): unidad de dosis equivalente de radiación absorbida por la materia viva, teniendo en cuenta la eficiencia en la transferencia de la energía de la radiación en el tejido vivo.

$$1 \text{ Sv} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{kg}} \quad (25)$$

Antiguamente se empleaba el llamado *Rem (Roetgen-equivalente man)*: unidad de dosis equivalente de radiación absorbida por la materia viva, teniendo en cuenta la eficiencia en la transferencia de la energía de la radiación en el tejido vivo.

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv} \quad 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Relación entre dosis absorbida y dosis equivalente

Sievert = *Gray* * *Q*, siendo *Q* un factor de calidad

rem = *rad* * *Q*, siendo *Q* un factor de calidad

$Q = 1$ para radiación electromagnética (rayos-*X*, radiación γ y β)

$Q = 20$ para partículas α

$Q = 1$ a 20 para neutrones (dependiendo de su energía)

$\text{Sv} = \text{Gy} * 1$, para radiación electromagnética (rayos-*X*, radiación γ y β)

$\text{Sv} = \text{Gy} * 20$, para partículas α

$\text{Sv} = \text{Gy} * 1$ a 20 , para neutrones (dependiendo de su energía)

Tasa de dosis por unidad de tiempo.

La tasa de dosis expresadas en función al tiempo milirem/hora o millisieverts/hora

Radiación de fondo natural en el mundo: 2,4 mSv / año (BEIR VII citando UNSCEAR 2000)

Distribución de la radiación de fondo natural según sus componentes (BEIR VII)

Se agrupa en las dos fracciones: high-LET (*) y low-LET dependiendo de la cantidad de energía transferida por unidad de distancia recorrida. Se mide en keV / micras

(*) *LET - Linear Energy Transfer (TLE - Transferencia Lineal de Energía)*

-High-LET:(alta dosis)

- Exposición a la inhalación de Radón: 52%

- Ingestión: 5%

- Componente neutrónico de la radiación cósmica. 4%

- Low-LET (baja dosis)

- Exposición a la radiación procedente del subsuelo: 20%

- Componente fotónico y directamente ionizante de la radiación cósmica: 12%

- Ingestión: 7%

Una parte de la exposición anual a la radiación procede de la radiación de fondo natural:

- Radiación cósmica: 0,27 mSv, el valor aumenta con la altitud.

- Rocas y suelo: 0,28 mSv, varía según la geología de la región.

- Propio cuerpo: 0,4 mSv, la mayor parte procede del Potasio-40 (40K).

En torno al 0,02% del potasio que hay en la naturaleza es 40K. Los tejidos vivos no discriminan entre potasio radiactivo y no radiactivo, por lo que el 0,02% de todo el potasio del cuerpo humano (del orden de 1,7 gr por una persona de 70 kg) es radiactivo.

4.5.2 Distribución de la radiación según sus componentes

Un estudio (NCRP, 1987) estimó que un 82% de la exposición a las radiaciones ionizantes de la población de EEUU, es consecuencia de la radiación de fondo natural y que las fuentes de radiación son debido a las actividades humanas contribuían en un 18% y ésta se distribuía de la siguiente forma:

- Rayos X de uso médico: 58%

- Medicina nuclear: 21%

- Productos de consumo: 16%
- Profesional: 2%
- Lluvia radiactiva: 2%
- Ciclo del combustible nuclear: 1%

Moderna unidad de medicina nuclear para tratamientos oncológicos con radioactividad.

En EEUU, se estima que una persona está expuesta a una radiación de $\frac{5,86 \text{ mSv}}{\text{año}}$: (UNSCEAR 2000-ONU, 2000)

Radiación cósmica: 0,27 mSv - 4,6%

Rocas y suelo: 0,28 mSv - 4,8%

Propio cuerpo: 0,40 mSv - 6,8%

Pruebas médicas: 2,8 mSv - 47,8%

Productos de consumo: 0,1 mSv - 1,7%

Otros: <0,01 mSv - 0,2%

Radón: 2 mSv - 34,1%

4.6 Marco conceptual

4.6.1 Radiación

El flujo de energía en el espacio o un medio material transportada en forma de ondas o partículas sub atómicas. La energía que se transmite desde una fuente hacia su entorno es transportada por ondas o partículas sub atómicas aceleradas.

Onda

Fenómeno físico originado por una perturbación en el ambiente y esta se propaga al medio. Un caso particular de onda, son las ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío.

Radiación electromagnética al flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas, esta radiación puede ser de origen natural o artificial.

4.6.2 *Espectro electromagnético.*

Al conjunto de todas las frecuencias denominamos espectro electromagnético posibles a las que se produce radiación electromagnética

4.6.3 *Radiación cósmica*

La radiación cósmica, radiación procedente de espacio exterior compuesta por partículas altamente aceleradas

Contador Geiger-Müller

Dispositivo de detección de radiaciones ionizantes. Los iones procedentes de alrededores al ingresar al detector son acelerados por un campo eléctrico, al pasar por dicho campo produce un pulso de corriente que indica el paso de radiación.

4.7 Antecedentes empíricos de la investigación

Estado del arte

4.7.1 *Antecedentes internacionales*

Camacho S. Dosis Estimada de Radiación Cósmica Ionizante en rutas aéreas de operadores colombianos.

Objetivos. Estimar y comparar la dosis efectiva de radiación ionizante a la que se encuentra expuesto el personal de vuelo mediante los diferentes programas EPCARD, PCAIRE y CARI-6 en distintas rutas nacionales e internacionales de aviación comercial en Colombia, con el fin de conocer el nivel de riesgo ocupacional en el que se encuentran. Realizar una comparación entre los resultados encontrados y las mediciones realizadas.

Metodología. Estudio descriptivo de corte transversal con población y muestra de las rutas de vuelos nacionales e internacionales de aerolíneas colombianas. Para el cálculo de los datos se tomó el 01 de julio de 2017, fecha en condiciones cercanas a mínimo solar, tiempo total de

vuelo en minutos obtenido del promedio encontrado en flightradar para cada uno de los vuelos, la altitud de crucero que para el presente estudio está determinada por el techo operacional de la aeronave, la altitud del aeropuerto de despegue, así como el de aterrizaje, mediante lo cual junto con el régimen de ascenso y descenso se determinan los tiempos en ascenso y descenso. El tiempo en crucero será el resultado del tiempo total menos la suma de los tiempos de ascenso y descenso.

Resultados. La dosis anual calculada en el presente estudio fue muy similar para un porcentaje considerable de las rutas a la encontrada para trabajadores en radiodiagnóstico con 1,4 mSv/año, radioterapia con 1,38 mSv/año, medicina nuclear 1,68 mSv año y práctica médica en general con 1,3 mSv/año (39). Así mismo, respecto a la exposición industrial que actualmente ronda alrededor de 0,51 mSv/año (40), e incluso la encontrada en trabajadores de centrales nucleares que se encuentra en el orden de 1 – 1,5 mSv/año (41), esto teniendo en cuenta las medidas que se han tomado en los distintos lugares de trabajo para reducir dicha dosis, ya que en años anteriores las dosis eran mucho mayores, principalmente en operaciones de reactor donde se alcanzaban dosis de hasta 11 mSv/año (41). Es importante tener en cuenta las recomendaciones dadas por la ICRP. (Suarez, 2017)

Palacios P. Evaluación De La Radiación Ionizante Natural En La Cabina De Pilotos En Vuelos De Duración Corta Y Media

Objetivos evaluar la radiación ionizante natural en la cabina de pilotos en vuelos de duración corta y media.

Metodología para propósitos de este estudio, los vuelos se dividieron en tres categorías en base a la duración: corta (menor a 1.5 horas), media (1.5 a 3 horas) y larga (mayor a 3); ya sea nacional o internacional.

Conclusiones debido a que las rutas con mayor representatividad de dosis efectiva fueron UIO-

GPS y GPS-UIO, se realizó una comparación adicional de las mismas por mes, donde se observa que, independientemente de la ruta y la estación, se registra una dosis efectiva de 4 a 5 μSv , a lo largo del año. Esto se debe a que, en el Ecuador, al encontrarse en latitud 0° , la dosis de radiación recibida se mantiene constante con el pasar del tiempo, porque sólo atraviesan la atmósfera las partículas más resistentes.

(González Romero, 2020)

Variaciones En Intensidad De La Radiación Cósmica Y Los Estados Electromagnéticos del Espacio Interplanetario

Pruebas obtenidas mediante el estudio de las variaciones diarias en la radiación cósmica durante días solares quietos, indican que la velocidad del viento solar es generalmente superior a los 100 Km/seg y que este viento solar experimenta una variación cíclica de 22 años. El modelo requiere que el campo magnético interplanetario se extienda hasta una distancia del Sol que alcanza a varias, decenas de unidades astronómicas. (H. S. Ahluwalia, 1963)

4.7.2 Antecedentes a nivel nacional

A Vizcarra V. en la investigación “Estudio de anisotropía y composición química de los rayos cósmicos de ultra alta energía a través de la comparación entre sus direcciones de llegada y el patrón de flujo de galaxias Starburst (SBG)”.

Objetivo estudio de anisotropía, utilizando rayos cósmicos de ultra alta energía ($E > 39 \text{ EeV}$) detectados por el Observatorio Pierre Auger.

Metodología mediante simulaciones de Monte Carlo, estudiaremos la hipótesis de Waxman & Lemoine ante la presencia de pérdidas de energía a lo largo de la propagación de los rayos cósmicos por el universo.

Conclusiones:

Al comparar las direcciones de llegada de estos eventos con el patrón de flujo de las galaxias Starburst, mostramos que la hipótesis de isotropía en datos con energía $E > 39 \text{ EeV}$, se rechaza con una significancia estadística de 3.9σ . Los parámetros que maximizan la significación estadística son la fracción de anisotropía $\alpha = 0,11$ y la ventana angular de 13 grados centrada en las posiciones de las galaxias Starburst.

4.7.3 A nivel local

Manosalva B. en el estudio de Radiación ambiental en la ruta Cusco-Machu Picchu

Objetivos medición de la Radiación ambiental en la ruta Cusco-Machu Picchu

Metodología. Mediciones en lugares aleatorios alejados por lo menos 6 metros de edificaciones, a un metro del suelo con un detector portátil Geiger-Müller marca Gamma Scout, calibrado (Fachhochschuler Mannheim) en dosis equivalentes (nSv/h).

Conclusiones. Existen localidades de mayor radiación natural, la zona de Calca constituye la medición más alta con 478 nano Sv/h (4.2 mSv/año), sigue Ollantaytambo 470 (4.12 mSv/año), Pisac alto 440 (3.9 mSv/año), Cachimayo 399 (3.5 mSv/año), Poroy 396 (3.5 mSv/año), Urco 388 (3.4 mSv/año), Machu Picchu 343 (3 mSv/año), Pisac 342, Aguas Calientes 298 (2.6 mSv/año), y otras.

El promedio en la zona estudiada, es de 331.84 nSv/hora, es decir 2.9 mSv/año, que es ligeramente mayor que el promedio mundial, lo esperado por la altura de la zona de estudio. (Manosalva Bacigalupo, 2013)

4.8 Hipótesis y variables

Hipótesis general

La Radiación ionizante promedio, si influye en la salud del poblador de la provincia Cusco-2024.

Hipótesis específicas

- 1.-La Radiación ionizante afecta la salud del poblador de la provincia Cusco

Identificación de variables e indicadores

Variables independientes

La radiación ionizante es un proceso espontáneo y estocástico (aleatorio y probabilístico)

Variables dependientes

La salud de los habitantes de la provincia del Cusco.

Indicadores

Según el Grupo Asesor sobre Radiación Ionizante (AGIR) asesora a Public Health England sobre los peligros de la radiación. En el Reino Unido la Health Protection Agency - HPA considera que, en promedio, la población está expuesta a una radiación de 2,7 mSv / año.

En EEUU: el Título 10, de la Parte 20, del Code of Federal Regulations (10 CFR Parte 20), "*Standards for Protection Against Radiation*" establece los límites de dosis para los trabajadores expuestos a radiaciones. Aunque los límites varían, dependiendo de la parte del cuerpo afectada, la dosis equivalente efectiva anual total (*TEDE - Total Effective Dosis Equivalente*) por el cuerpo completo es de 5.000 mrem o 50 mSv (5 rem o 0,05 Sv).

Desde el año 1945 hasta el año 1962, unas 210.000 personas (entre personal militar y civil) fueron expuestos directamente a la radiación procedente de las pruebas nucleares en la atmósfera. En una serie de 5 pruebas durante la operación UPSHOT-Knothole, equipos de combate fueron expuestos a absorber dosis comprendidas entre 0,4 mSv y 31 mSv.

En EEUU el límite de dosis anual procedente de instalaciones del ciclo del combustible nuclear (incluyendo los reactores) es de ((CFR))

$$25 \text{ mrem/año} \quad \text{o} \quad 0,25 \text{ mSv / año} \approx 0.029 \mu\text{Sv/h} .$$

En España: según el Artículo 9 del R.D. 783/20012 el límite de dosis para los trabajadores expuestos es de 100 mSv en 5 años (no superando los 50 mSv en un año) y el límite de la dosis efectiva para la población es de 1 mSv / año. (Boix, 09/02/2017)

$$1 [\mu Sv/hora] = 8,766 [mSv/año] \quad (26)$$

Exposición del Público

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (O.I.E.A) Para la exposición del público, los límites de dosis son:

- a) una dosis efectiva de 1 mSv en un año.
- b) en circunstancias especiales, podría aplicarse un valor más elevado de dosis efectiva en un solo año, siempre que el promedio de la dosis efectiva durante cinco años consecutivos no exceda de 1 mSv por año.
- c) una dosis equivalente en el cristalino de 15 mSv en un año;
- d) una dosis equivalente en la piel de 50 mSv en un año. (OIEA, pág. 69)

4.9 Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Radiación ionizante	unidad de dosis equivalente de radiación absorbida por la materia viva por unidad de tiempo	Sv; radiación absorbida Joule/Kg. Hora J: energía ionizante Kg: masa de tejido vivo Sievert (Sv)= Sv/h	Radiación cósmica ionizante	La radiación proceso estocástico Se ajusta a la distribución de probabilidad de Poisson La OMS sostiene que, idealmente. Variables dependientes La salud de los habitantes de la provincia Cusco.
La salud de los habitantes de la provincia Cusco.	Estado de completo bienestar físico, mental y social, ausencia de enfermedad	Las dosis bajas de radiación ionizante pueden aumentar el riesgo de presentar problemas de salud a largo plazo	Energía absorbida por unidad de masa	La exposición a la radiación según United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNCEAR no debe superar los 1mSv a año.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

6.1 **Ámbito de estudio**

Localización política y geográfica el ámbito de estudio se ubica en el departamento del Cusco provincia Cusco latitud $13^{\circ}30'45''S$ longitud $71^{\circ}58'33''O$ ubicada a 3399 msnm 7 distritos Cusco, Poroy, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Saylla, Wanchaq con una extensión territorial de 617km^2 y población aproximada al 2021 de 520 558 habitantes

Figura 12

mapa político de la provincia Cusco



Fuente compendio Estadístico 2021 INEI

6.2 Tipo y nivel de investigación

Investigación descriptiva referida al diseño de la investigación, creación de preguntas y análisis de datos que se llevaron a cabo sobre la radiación cósmica.

Investigación cuantitativa porque se recopila información cuantificable para ser utilizada en el análisis estadístico de la muestra de población.

Unidad de análisis

La unidad de análisis es la radiación cósmica en la provincia cusco.

Unidad de análisis. -Sievert (Sv): unidad de radiación absorbida por la materia viva, teniendo en cuenta la eficiencia en la transferencia de la energía de la radiación en el tejido vivo

$$. 1 Sv = \frac{1 \text{ Joule}}{kg}$$

6.3 Población de estudio

La población de estudio es la provincia Cusco ubicación latitud 13°31'34"S longitud 71°58'17"O
distritos de

1. Cusco, latitud 13°31'34"S longitud 71°58'17"O a 3 339 m s. n. m
2. Santiago latitud 13°32'30"S longitud 71°59'02"O a 3 427 m s. n. m.
3. San Sebastián latitud 13°32'10"S longitud 71°55'34"O a 3295 m s. n. m.
4. Poroy latitud 13°30'07"S longitud 72°02'32"O a 3 427 m s. n. m.
5. Wánchaq latitud 13°31'48"S 71°57'23"O a 3.366 m s. n. m.
6. San Jerónimo Longitud: 75°17'2.8" O Latitud: 11°57'21.28" S a 3.249 m s. n. m
7. C.Señor De Ccoylloriti latitud 13°33'36"S 71°13'16"W 4.849 m

6.4 Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra es de siete distritos con aproximadamente de 23 puntos y 86 mediciones.

Tabla 1

distribución muestral 86 puntos

DISTRITO	PUNTOS	DISTRITO	PUNTOS
Poroy (11)	Parque del reencuentro Área 2, Apukunaq Tianan	San Sebastián (29)	Muyu Orqo Apv Villa San Antonio Parque 30 De Setiembre Nodo San Sebastián. Tancarniyoc, Parque Larapa, Larapa, Tica Pata
Cusco (20)	Picchu Alto Cristo Blanco Balconcillo Plaza de Armas Cusco		
Santiago (10)	Viva el Perú Ovalo Pachacútec Puquin	San Jerónimo (4)	Pata Pata
Wánchaq (10)	Perayoc KaLlanca Abra De Ccorao	Señor de Ccoylloriti (2)	Santuario

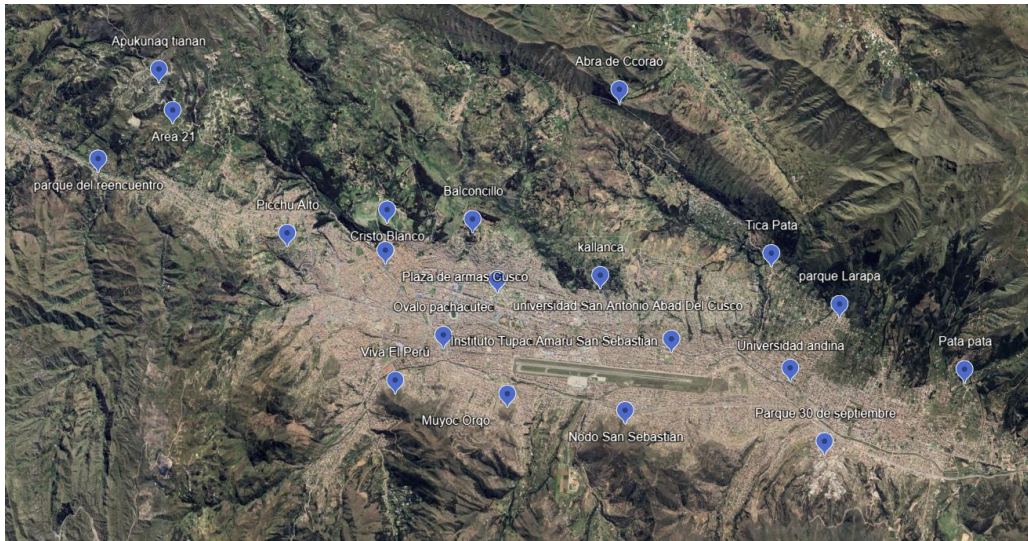
6.5 Técnicas de selección de muestra

Técnicas de muestreo probabilístico, Para garantizar que todas las zonas puedan ser incluidas en la muestra aplicamos la elección aleatoria simple. Así la posibilidad de selección de una zona de estudio que es independiente de la probabilidad que tienen el resto de las zonas que integran parte de la población.

Tamaño de muestra debido a que se conocen las características geográficas de la población. Elaboramos una lista de los elementos. Desde aquí se obtiene una serie de elementos que constituyen la muestra.

Figura 13

Puntos de recolección de datos



Fuente Google Heart

6.6 Técnicas de recolección de información

Se hace la revisión bibliográfica relacionada al tema de investigación, debido a que la investigación busca recolectar datos numéricos, aplicamos técnicas estandarizadas, sistemáticas para obtener datos precisos.

Para esto, utilizamos un detector de radiación nuclear Geiger Müller, para lo cual, se acondiciona el equipo ubicando el detector a una altura promedio 1.80m referidos a la estatura del hombre.

Para la recolección de datos se empleó detector de radiación nuclear FS-5000 con la función principal de monitorear la radiación ionizante con el siguiente detalle técnico.

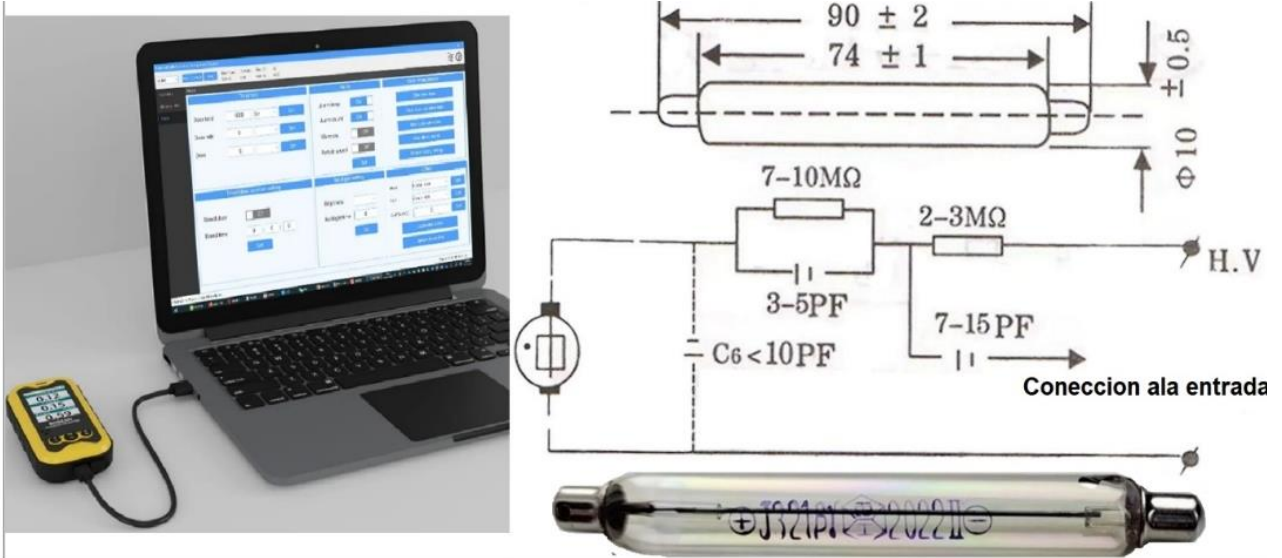
Tabla 2 Propiedades técnicas del contador Geiger Müller

Detector	Tubo contador GM de
Measurement range of dose rate	0.01 uSv/h~50 mSwh
Dose measurement range	0 uSv~1000Sv
Sensitivity	> 1 CPS/uSv/h
Energy response	48keV~1.5MeV
Relative error	< 10% (1mSv/h)

Fuente: Henan Bosean Electronic

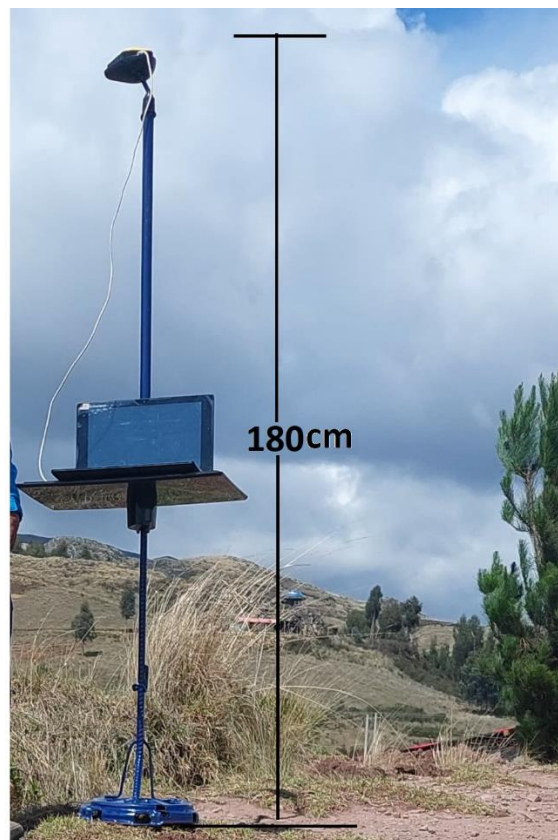
Figura 14

Circuito del contador Geiger Müller



Contador FS-500

Figura 15 Acondicionamiento del contador Geiger Müller



6.7 Técnicas de análisis e interpretación de la información.

Para el análisis de datos se empleó técnica estadística de Análisis de la Varianza (ANOVA) con la cual comparamos la media de dosis de radiación en los puntos designados, así mismo el Software empleado fue la evaluación de datos.

- Software Personal Radiation Dose Management System
- Software Origin
- Tablas dinámicas en Excel
- Programa 9.2 Distribución normal - McGraw-Hill

En el Análisis Aplicamos estadística descriptiva en cada punto con datos acumulados así mismo cada punto el análisis las variancias para comparar los promedios de dosis de radiación. Si $u_1 \dots \dots u_l$ *medias de las muestras* los promedios de las muestras dadas por $J_1 \dots \dots J_l$ El número total de todas las muestras $N = J_1 + J_2 \dots \dots + J_l$ n_i : número de observaciones, N : número total de observaciones. La hipótesis a probar $H_0: u_1 = \dots = u_l$ debió a que hay más de dos muestras por zona el análisis de variancia en un sentido donde será

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{J_i} X_{ij}}{J_i} \quad (27)$$

el promedio de todos los elementos llamada gran media muestral

$$\bar{X}_{..} = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{J_i} X_{ij}}{N} \quad (28)$$

Resumiendo, Se calcula $SSTr = \sum_{i=1}^l J_i (\bar{X}_i - \bar{X}_{..})^2 = \sum_{i=1}^l J_i \bar{X}_i^2 - N \bar{X}_{..}^2$ Se calcula $SSE = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{J_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{J_i} X_{ij}^2 - \sum_{i=1}^l J_i \bar{X}_i^2 = \sum_{i=1}^l (j_i - 1) s_i^2$ Se calcula media cuadrática de datos ($MSTr$)

$$MSTr = \frac{SSTr}{l-1} \quad (29)$$

y la media cuadrática de error MSE

$$MSE = \frac{SSE}{N - 1} \quad (30)$$

El estadístico

$$F = \frac{SSTr}{MSE} \quad (31)$$

luego hallar p-valor consultado con I-1 y N-1 grados de libertad En contra de una hipótesis alternativa dos o más u_i son diferentes . (NAVIDI, 2006)

Este programa calcula el área bajo la curva de la distribución normal y la distribución normal estándar.

Para la estimación de la dosis percibida, aplicamos el análisis de varianza para probar si el promedio de datos de cada punto sea igual. Técnicas para demostrarla verdad o falsedad de las hipótesis planteadas, Comparación de datos estadísticos de informes proporcionados por el observatorio Pierri Auger, así mismo, aplicaremos la distribución normal de probabilidad.

Distribución Normal De Gauss la distribución normal es continua. Una variable aleatoria normal puede tener una media de cualquier valor y una varianza de cualquier valor positivo. La función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria normal con media μ y varianza σ^2 dicha función está dada por:

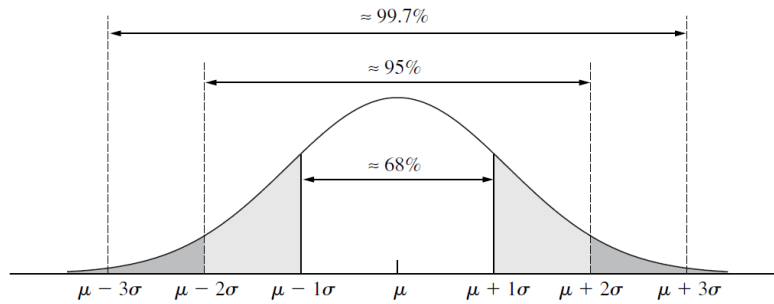
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (32)$$

Donde μ es la media σ^2 la varianza, r. Si X es una variable aleatoria cuya función de densidad de probabilidad es normal con media μ y varianza σ^2 , se expresa como.

$$X = N(\mu, \sigma^2). \quad (33)$$

Así la media de X $\mu_x = \mu$ y la varianza: $\sigma_x^2 = \sigma^2$

Figura 16
Función de probabilidad normal



Fuente Distribución normal William Navidi Estadística para ingenieros y científicos

La gráfica de la función de densidad de probabilidad normal con media μ y varianza σ . La función de densidad de probabilidad normal o curva normal. Observé que ésta, es simétrica alrededor de media μ de tal forma que μ representa la mediana, así como la media. También, toda población normal se caracteriza por Aproximadamente 68% de la población se encuentra en el intervalo $u \pm \sigma$. Aproximadamente 95% de la población se encuentra en el intervalo $u \pm 2\sigma$ Aproximadamente 99.7% de la población se encuentra en el intervalo $u \pm 3\sigma$. La proporción de una población normal que se encuentra a cierto número de desviaciones estándar de la media, es la misma en cualquier población normal. Por esta razón, cuando se trabaja con poblaciones normales, se convierte las unidades en las cuales se midió originalmente las unidades de la población a unidades estándar. Estas últimas indican a cuántas desviaciones estándar se encuentra un dato de la media poblacional. En general, se convierte a unidades estándar al restar la media y dividir entre la desviación estándar. Por consiguiente, si x es una unidad seleccionada de una población normal con media μ y varianza σ^2 , la unidad estándar equivalente a x es el número z , donde

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (34)$$

Algunas veces, al número z se le denomina “puntaje z ” de x , que representa un elemento extraído de una población normal con media 0 y desviación estándar 1. A aquella se le llama población normal estándar. (Navidi, 2006)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

Identificado los puntos, se procedió a tomar datos con el contador Geiger Müller, en cada lugar elegido se tomó datos entre sí, se eligió puntos espaciados entre sí 10 metros debido a la cantidad de datos, a continuación, mostramos los datos con sus respectivas frecuencias de 6 puntos.

- a) Parque del Reencuentro,
- b) Pata Pata,
- c) Larapa.
- d) Area 21,
- e) Apukunaq Tianan,
- f) Picchu Alto

El resto de los datos se muestran en los anexos.

Respecto al análisis de datos agrupados se muestra datos de distrito de Poroy, lo demás se muestra en los anexos.

Análisis De Datos Experimentales

Del Análisis de datos Agrupados se observa que cumplen con una distribución normal. Por lo tanto, aplicamos el análisis de varianza

Distrito de Poroy en las fechas 10-11-17 junio

Detallamos los datos recogidos por distritos Distrito de Poroy.

Zonas de evaluación:

1.- Parque del Reencuentro.

4 puntos Ubicación latitud $13^{\circ}30'02''S$ longitud $72^{\circ}01'37''W$ a 3.533 m s. n. m.

Tiempo de exposición 11:46:7 hrs

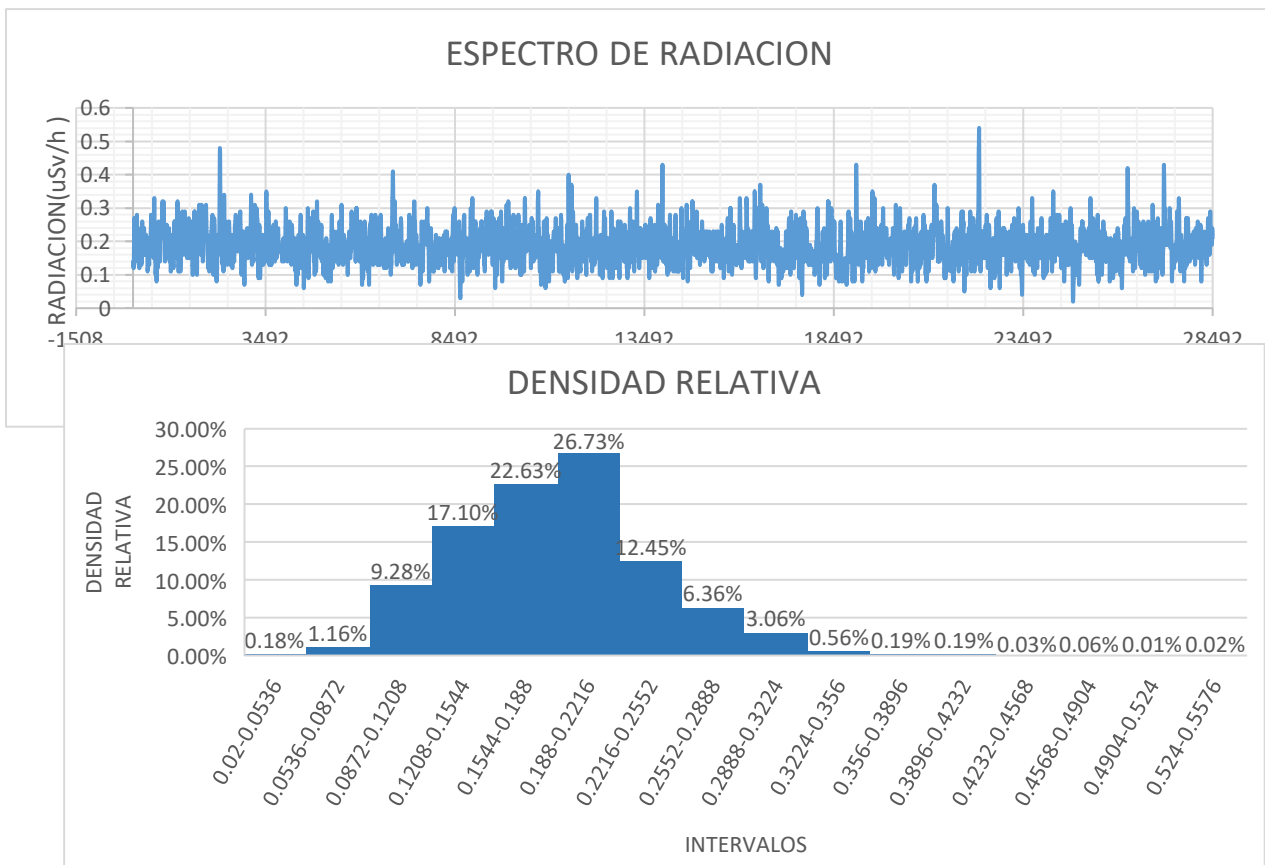
Media=0.209873 $\mu\text{Sv/h}$

Desviación estándar=0.058272 Nivel de confianza (95.0%)=0.001439

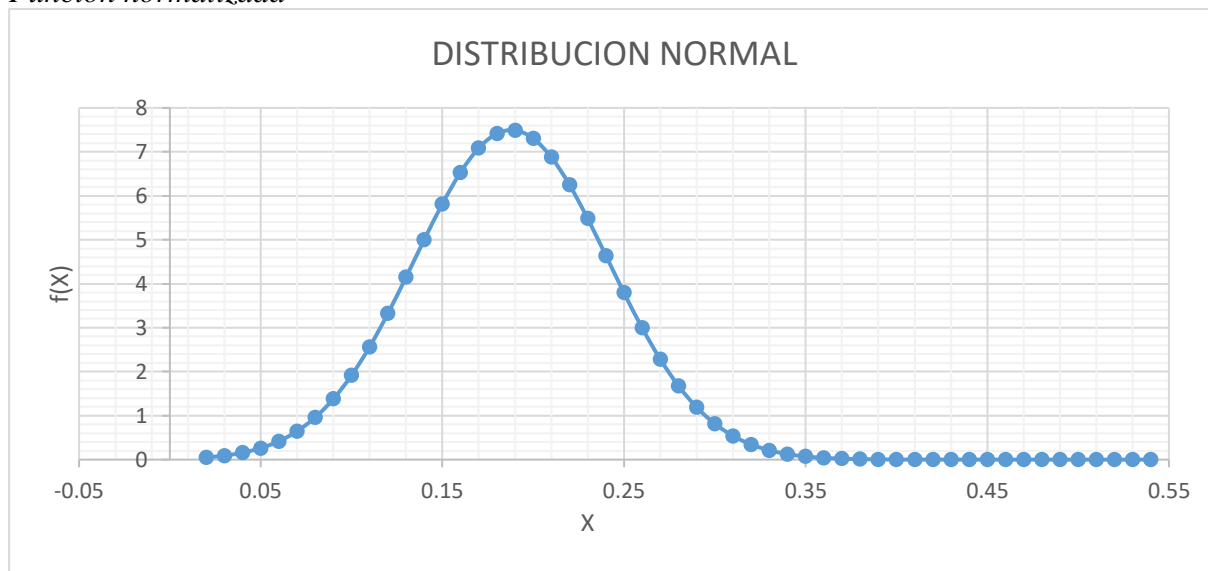
Tabla3

Análisis de datos agrupados parque del reencuentro

n	Li-Ls	fi	hi	Fi	Hi
1	0.02-0.0536	52	0.18%	52	0%
2	0.0536-0.0872	330	1.16%	382	1%
3	0.0872-0.1208	2644	9.28%	3026	11%
4	0.1208-0.1544	4871	17.10%	7897	28%
5	0.1544-0.188	6448	22.63%	14345	50%
6	0.188-0.2216	7616	26.73%	21961	77%
7	0.2216-0.2552	3546	12.45%	25507	90%
8	0.2552-0.2888	1812	6.36%	27319	96%
9	0.2888-0.3224	872	3.06%	28191	99%
10	0.3224-0.356	159	0.56%	28350	100%
11	0.356-0.3896	53	0.19%	28403	100%
12	0.3896-0.4232	54	0.19%	28457	100%
13	0.4232-0.4568	9	0.03%	28466	100%
14	0.4568-0.4904	17	0.06%	28483	100%
15	0.4904-0.524	4	0.01%	28487	100%
16	0.524-0.5576	5	0.02%	28492	100%
Total		28492	100.00%	327818	



Función normalizada



Análisis de varianza

Tabla 4

Resumen Parque del Reencuentro

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	6303	3356	1322.83	0.20987308	0.00339557	01:45:03
Punto 2	3570	1925	761.76	0.21337815	0.00370262	00:59:30
Punto 3	4002	1952	747.47	0.18677411	0.0034396	01:06:42
Punto 4	28492	13964	5353.63	0.18789941	0.00283205	07:54:52
Total	42367	21197	8185.69	0.79792475	0.01336985	11:46:07

Radiación promedio 0.193209101 μ Sv/h.

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	4.1714991	3	1.390499702	456.4	6.9721	2.6051188
Dentro de los	129.06339	42363	0.003046607			
Total	133.23489	42366				

2.- Área 21

Ubicación latitud 13°29'25" S longitud 72°00'44" W a 3.765 m s. n. m. tiempo de exposición

10:08:43 hrs

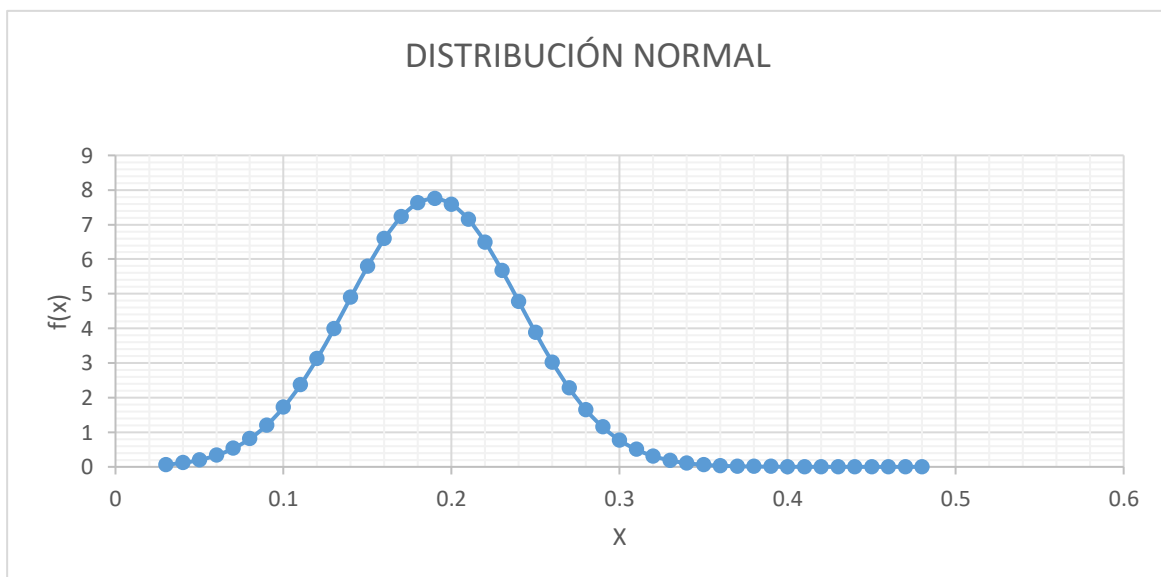
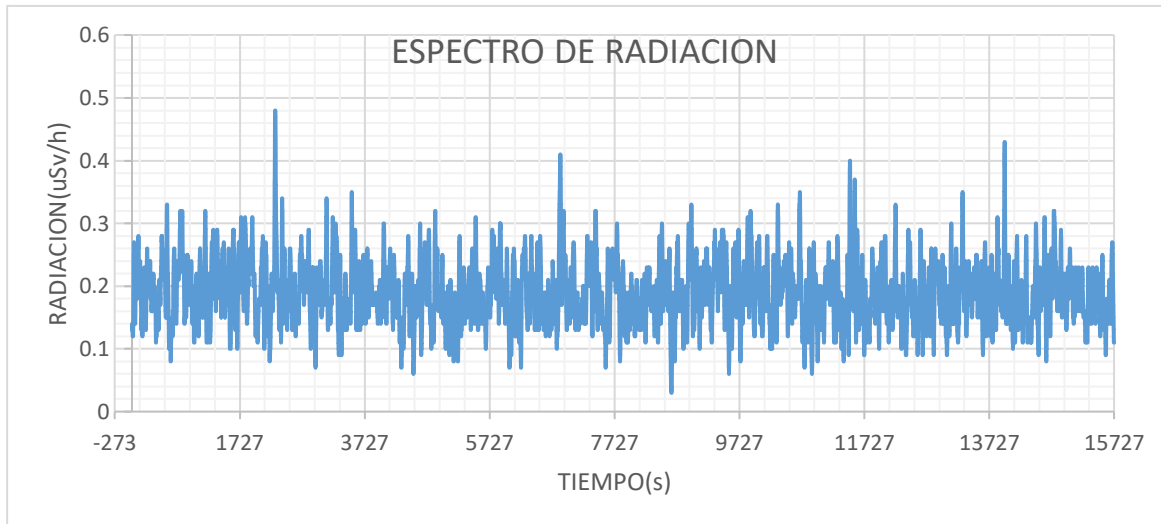
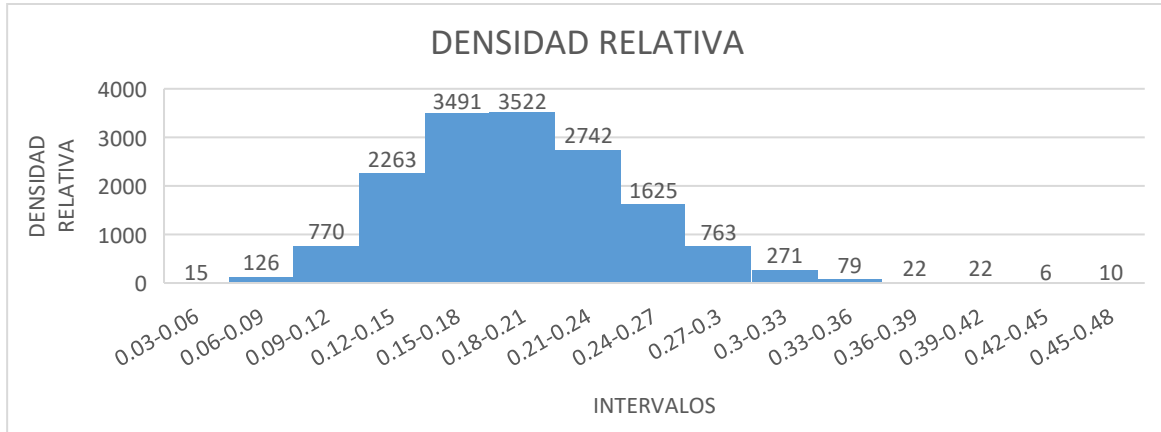


Tabla 5

Resumen área 21

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	5485	2773	1062.31	0.193675479	0.003264971	01:31:25
Punto 2	15281	7403	2841.6	0.185956416	0.002834702	04:14:41
Punto 3	15727	7782	2978.04	0.189358428	0.002650415	04:22:37
Total	36493	17958	6881.95	0.568990323	0.008750088	

Radiación promedio 0.188582742 μ Sv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de</i>	<i>Suma</i>	<i>de</i>	<i>Grados</i>	<i>Promedio</i>	<i>F</i>	<i>Probabilida</i>	<i>Valor</i>
Entre	0.257124	2		0.128562	45.5901	0	2.99597
Dentro de	102.8998	36490		0.00282			
Total	103.1569	36492					

3.-Apukunaq Tianan

4 puntos, espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 13°29'11"S, longitud 72°01'01"W, a 3.857 m s. n. m. Tiempo de exposición

9:39:21 hrs

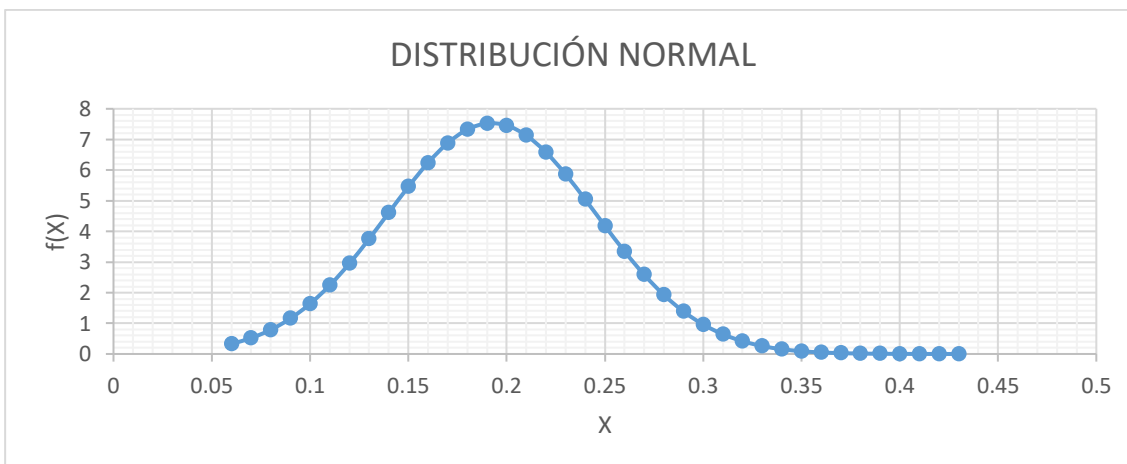
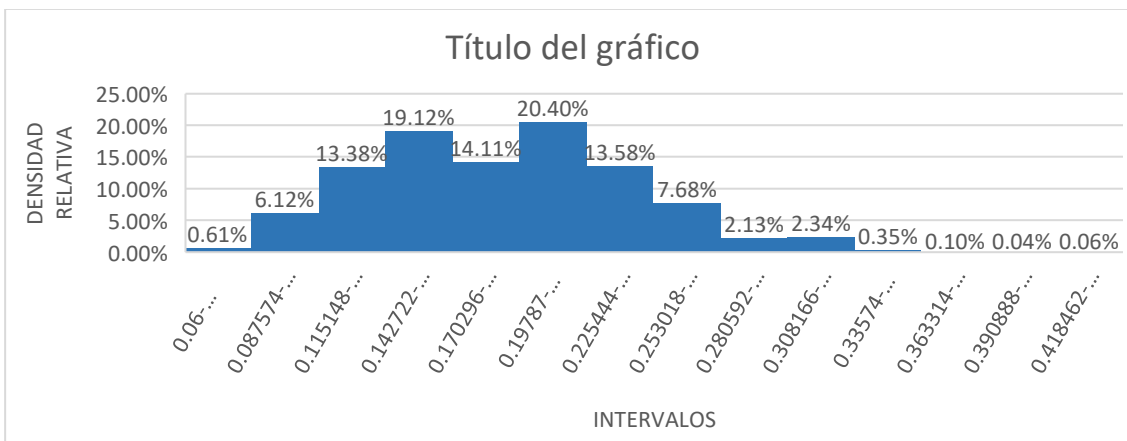
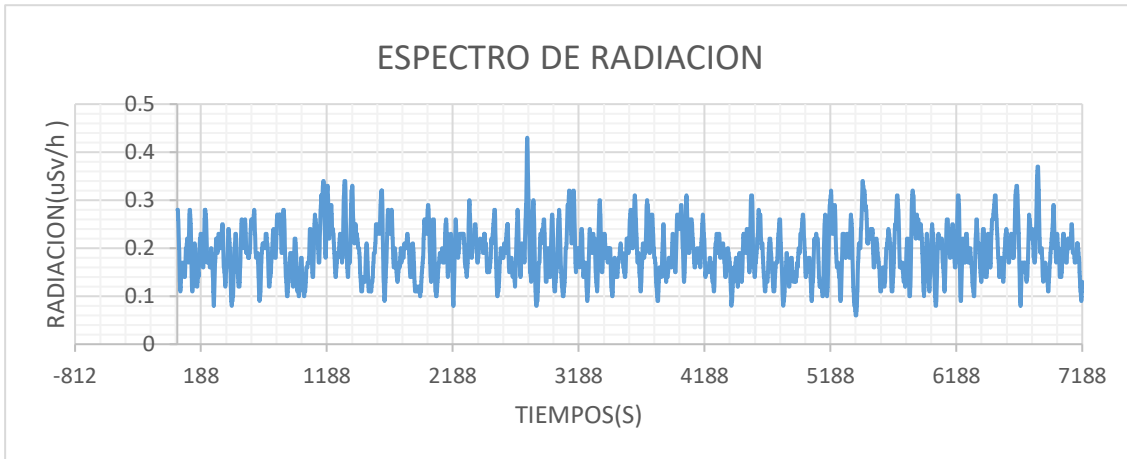


Tabla 6

Resumen apukunaq tianan

Análisis de varianza de un factor						
Resumen						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	5539	2737	1043.7	0.188427514	0.002747816	01:32:19
Punto 2	14251	6919	2663.21	0.186878816	0.002898356	03:57:31
Punto 3	7783	3783	1458.57	0.1874046	0.00290894	02:09:43
Punto 4	7188	3598	1383.86	0.192523651	0.002805875	01:59:48
Total	34761	17037	6549.34	0.75523458	0.011360986	9:39:21

Radiación promedio 0.188410575μSv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Proba</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.162917017	3	0.054305672	19.003	2.6E-12	2.6051646
Dentro de los	99.32216726	34757	0.002857616			
Total	99.48508427	34760				

Distrito de Cusco

Cusco 15-16 22,23 Julio Detallamos los datos recogidos por distritos Distrito de Cusco.

Zonas de evaluación:

1.- Picchu Alto

5 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°30'37"S

longitud a 71°59'27" W a 3.552 m s. n. m. Tiempo de exposición 11:26:46 hrs

Tabla 7

Resumen Picchu Alto

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	3383	1583	615.63	0.18197753	0.002800257	00:56:23
Punto 2	3591	1828	685.88	0.19099972	0.002843262	00:59:51
Punto 3	7654	3849	1460.9	0.19086752	0.002864424	02:07:34
Punto 4	9472	4913	1890.81	0.19962099	0.002863788	02:37:52
Punto 5	17103	8458	3248.64	0.18994562	0.002813264	04:45:03
TOTAL	41203	20631	7901.86	0.95341139	0.014184997	11:26:46

Radiación promedio 0.191778754127005 μSv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.9735	4	0.2433813	85.820	9.9E-73	2.37214781
Dentro de los	116.83	41198	0.0028359			
Total	117.81	41202				

2.- Cristo Blanco

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°30'37"S

longitud a 71°59'27" W a 3.552 m s. n. m. Tiempo de exposición 13:31:32 hrs

Tabla 8

Resumen Cristo Blanco

Grupos	Cuenta	CPS	Suma	Promedio	Varianza	Tiempo
Punto 1	3201	1679	650.77	0.203302093	0.002897812	00:53:21
Punto 2	6527	3284	1250.69	0.191617895	0.003052148	01:48:47
Punto 3	11268	5670	2174.99	0.193023607	0.00303235	03:07:48
Punto 4	27696	13646	5234.65	0.189003827	0.002939838	07:41:36
Total	48692	24279	9311.1	0.776947422	0.011922147	13:31:32

Radiación promedio 0.191224431 $\mu\text{Sv/h}$

Análisis de varianza

Origen de las Suma	de Grados	de Promedio de los F	Probab	Valor
Entre grupos	0.640986	3	0.213662065	71.854 2.3E-46 2.60509161
Dentro de los	144.7756	48688	0.002973538	
Total	145.4166	48691		

3.- Balconcillo

6 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°30'53"S

longitud a 71°57'23" W 3.489 m s. n. m. tiempo de exposición 18:02:18 hrs

Tabla 9

Resumen Balconcillo

Grupos	Cuenta	CPS	Suma	Promedio	Varianza	Tiempo
Punto 1	5300	2672	1028.43	0.1940434	0.00308727	01:28:20
Punto 2	5539	2740	1043.7	0.18842751	0.00274782	01:32:19
Punto 3	6873	3426	1321.56	0.19228285	0.00299742	01:54:33
Punto 4	7520	3909	1501.72	0.19969681	0.00286372	02:05:20
Punto 5	13136	6446	2443.95	0.18604979	0.00292376	06:38:56
Punto 6	14570	7115	2731	0.18743995	0.00276362	04:02:50
Total	52938	26308	10070.36	1.1479403	0.0173836	18:02:18

Radiación promedio 0.190229324941743 $\mu\text{Sv/h}$

Análisis de varianza

Origen de las Suma	de Grados	de Promedio de F	Probab	Valor
Entre grupos	1.1409380	5	0.228187614	79.268 3.8E-83 2.2142683
Dentro de los	152.37407	52932	0.002878676	
Total	153.51501	52937		

4.-Plaza de Armas Cusco 5 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 13°31'15"S longitud 71°58'33"W a 3.381 m s. n. m. Tiempo de exposición

18:23:10 hrs

Tabla 10

Resumen Plaza De Armas Cusco

Grupos	Cuenta	CPS	Suma	Promedio	Varianza	Tiempo
Punto 1	7001	3644	1389.12	0.198417	0.002976	01:56:41
Punto 2	7783	3783	1458.57	0.187405	0.002909	02:09:43
Punto 3	9077	4361	1676.81	0.184732	0.003073	02:31:17
Punto 4	17382	8638	3331.81	0.191682	0.003028	04:49:42
Punto 5	24947	12842	4920.92	0.197255	0.002948	06:55:47
Total	66190	33268	12777.23	0.95949	0.014934	18:23:10

Radiación promedio 0.193038826 μ Sv/h.

Análisis de varianza

Origen de las	Suma de	Grados de	Promedio de	F	Probab	Valor
Entre grupos	1.551455	4	0.387864	129.	9.3E-11	2.372066
Dentro de los	197.5253	66185	0.002984			
Total	199.0767	66189				

Distrito de Santiago

Santiago 12-13,19 agosto Detallamos los datos recogidos por distritos Distrito de Cusco. Zonas de evaluación:

1.- Viva el Perú

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 13°31'57"S longitud 71°57'50"W a 3.328 m s. n. m. Tiempo de exposición

22:54:07 hrs

Tabla 11

Resumen Viva el Perú

Grupos	Cuenta	CPS	Suma	Promedio	Varianza	Tiempo
Punto 1	17509	8723	3280.38	0.187354	0.003103	04:51:49
Punto 2	23729	12217	4681.05	0.197271	0.002901	06:35:29
Punto 3	23530	11839	4492.57	0.190929	0.002836	07:05:30
Punto 4	15679	7855	3009.49	0.191944	0.002779	04:21:19
Total	80447	40634	15463.49	0.767499	0.011619	22:54:07

Radiación promedio 0.192219598 μ Sv/h.

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	1.060426	3	0.353475	121.	1.05E-78	2.60502
Dentro de los	233.4652	80443	0.002902			
Total	234.5257	80446				

2.- Ovalo Pachacútec

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°31'51"S

longitud 71°58'01"W a 3.337 m s. n. m. tiempo de exposición 05:26:19 hrs

Tabla 12

Resumen Ovalo Pachacútec

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
PUNTO 1	3974	1797	717.19	0.180471	0.002648	01:06:14
PUNTO 2	5524	2550	1007.59	0.182402	0.00256	01:32:04
PUNTO 3	10081	4764	1854.81	0.183991	0.002698	02:48:01
TOTAL	19579	9111	3579.59	0.546863	0.007906	05:26:19

Radiación promedio 0.182828218 μSv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de los</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.036715	2	0.018357	6.93	0.0009	2.996191
Dentro de los	51.8544	19576	0.002649			
Total	51.89111	19578				

3.- Puquín

3 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 13°31'38"S longitud 71°59'41"W a 3.542 m s. n. m. tiempo de exposición

08:47:09 hrs.

Tabla 13

Resumen Puquín

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
PUNTO 1	3383	1574	615.63	0.181978	0.0028	00:56:23
PUNTO 2	4299	2112	796.31	0.185231	0.002703	01:11:39
PUNTO 3	23947	12560	4674.06	0.195184	0.00305	06:39:07
TOTAL	31629	16246	6086	0.562393	0.008553	08:47:09

Radiación promedio 0.192418695 μSv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.773937	2	0.386969	130.	0	2.996016
Dentro de los	94.11678	31626	0.002976			
Total	94.89072	31628				

Distrito de Wanchaq

Wánchaq 9 -10-16 Setiembre 2023 Detallamos los datos recogidos por distritos Distrito de

Wánchaq. Zonas de evaluación:

1.- Perayoc

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 13°31'17"S longitud 71°56'48"W a 3.354 m s. n. m. Tiempo de exposición

19:14:59 hrs

Tabla 14

Resumen Perayoc

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>TIEMPO</i>
Punto 1	28344	14247	5467.73	0.19290608	0.00273917	07:52:24
Punto2	17103	25568	3248.64	0.18994562	0.00281326	04:45:03
Punto 3	23852	11668	4516.92	0.1893728	0.00306854	06:37:32
Punto 4	7176	3383	1320.14	0.183966	0.00312648	01:59:36
Total	76475	54866	14553.43	0.7561905	0.01174746	21:14:35

Radiación promedio 0.190303106μSv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.5030538	3	0.167684605	57.925	2.1447	2.6050253
Dentro de los	221.36912	76471	0.002894811			
Total	221.87217	76474				

2.- Kallanca

3 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 13°31'18"S longitud 71°56'27"W 3.371 m s. n. m. Tiempo de exposición

09:36:51 hrs

Tabla 15

Resumen Kallanca

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>tiempo</i>
Punto 1	17134	8536	3302.37	0.192738	0.003002	04:45:34
Punto 2	14251	6922	2663.21	0.186879	0.002898	03:57:31
Punto 3	3226	1670	652.73	0.202334	0.003074	00:53:46
Total	34611	17128	6618.31	0.581951	0.008974	09:36:51

Radiación promedio 0.191219988 μ Sv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.706536	2	0.353268	119.	0	2.995992
Dentro de los	102.646	34608	0.002966			
Total	103.3525	34610				

3.-Abra de Ccorao

3 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud13°29'21"S longitud

71°56'29"W 3.712 m s. n. m. Tiempo De Exposición 10:30:46 hrs

Tabla 16

Resumen Abra de Ccorao

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>tiempo</i>
Punto 1	14251	6928	2663.2	0.1869	0.0029	03:57:31
Punto 2	3283	1685	652.46	0.1987	0.0031	00:54:43
Punto 3	20312	10262	3935.8	0.1938	0.0028	05:38:32
Total	37846	18875	7251.5	0.5794	0.0088	10:30:46

Radiación promedio 0.19160492564123 μ Sv/h

Análisis de Varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.580412	2	0.290206	101.	0	2.995969
Dentro de los	107.7729	37843	0.002848			
Total	108.3533	37845				

Distrito de San Sebastián

San Sebastián 23 -24 setiembre 7-8-14-15, 21-22 octubre Detallamos los datos recogidos por

distritos Distrito de san Sebastián. Zonas de evaluación:

1.- Muyuc Orqo

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación

latitud 13°32'01"S longitud 71°55'53"W a 3.280 m s. n. m. Tiempo de exposición 05:21:20 hrs

Tabla 17

Resumen Muyuc Orqo

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	2811	2565	548.16	0.195005	0.002714	00:46:51
Punto 2	3122	6732	624.96	0.200179	0.002829	00:52:02
Punto 3	6678	4441	1288.5	0.192947	0.003226	01:51:18
Punto 4	6669	3196	1231.46	0.184654	0.002796	01:51:09
Total	19280	16934	3693.08	0.772786	0.011565	05:21:20

Radiación promedio 0.191549558 $\mu\text{Sv/h}$

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.596186	3	0.198729	67.6	1.7E-43	2.60537
Dentro de los	56.63631	19276	0.002938			
Total	57.23249	19279				

2.- Apv Villa San Antonio

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°32'44"S

longitud 71°55'50"W 3341m s. n. m. Tiempo de exposición 03:06:17 hrs

Tabla 18

Resumen Apv Villa San Antonio

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
PUNTO 1	1402	636	253.86	0.18107	0.002718	00:23:22
PUNTO 2	1745	852	327.04	0.187415	0.002396	00:29:05
PUNTO 3	2009	899	360.83	0.179607	0.00267	00:33:29
PUNTO 4	6021	3151	1225.68	0.203568	0.003306	01:40:21
TOTAL	11177	5538	2167.41	0.75166	0.01109	03:06:17

Radiación promedio 0.193917214 $\mu\text{Sv/h}$.

Análisis de varianza

<i>Origen de</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probabilida</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	1.277317	3	0.425772	143.080	5.6E-91	2.605704
Dentro de los	33.248	11173	0.002976			
Total	34.52531	11176				

3.- Parque 30 de Setiembre

3 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°33'03"S

longitud 71°53'52"W 3282.9m s. n. m. tiempo de exposición 09:51:54 hrs

Tabla 19

Resumen Parque 30 de Setiembre

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
PUNTO 1	10967	9125	3826.97	0.348953	0.038828	03:02:47
PUNTO 2	11778	6234	2365.04	0.200801	0.00287	03:16:18
PUNTO 3	12769	6677	2560.46	0.200522	0.002867	03:32:49
TOTAL	35514	22036	8752.47	0.750276	0.044565	09:51:54

Radiación promedio 0.246451178 μ Sv/h.

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	166.7073	2	83.35365	5965	0	2.995985
Dentro de los	496.1945	35511	0.013973			
Total	662.9019	35513				

4.- Nodo San Sebastián

5 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°32'43"S

longitud 71°56'05"W 3407m s. n. m. Tiempo de exposición 08:05:31 hrs

Tabla 20

Resumen Nodo De San Sebastián

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	9305	4496	1739.87	0.186982	0.002583	02:35:05
Punto 2	9878	4768	1830.57	0.185318	0.002993	02:44:38
Punto 3	9948	5005	1922.19	0.193224	0.002823	02:45:48
Total	29131	14269	5492.63	0.565524	0.008399	08:05:31

Radiación promedio 0.188549312 μ Sv/h

Análisis de Varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.343366	3	0.114455	40.8	2.6E-26	2.605214
Dentro de los	81.67293	29127	0.002804			
Total	82.01629	29130				

5.- M. Tancarniyoc

5 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°31'54"S

longitud 71°55'43"W 3.281 m s. n. m. Tiempo de exposición 04:04:09 hrs

Tabla 21

Resumen M. Tancarniyoc

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	2530	1248	475.21	0.18783	0.002802	00:42:10
Punto 2	2888	1472	571.22	0.197791	0.00267	00:48:08
Punto 3	2988	1685	656.72	0.219786	0.007439	00:49:48
Punto 4	6243	3062	1185.59	0.189907	0.002919	01:44:03
Total	14649	7467	2888.74	0.795314	0.015831	04:04:09

Radiación promedio 0.197197097 μSv/h.

Análisis de Varianza

<i>Origen de Suma de Grados</i>	<i>Promedio de F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	2.07941 3	0.693137	183.763 5.7E-117 2.605515
Dentro de los	55.2395 14645	0.003772	
Total	57.31891 14648		

6.- Parque Larapa

3 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación latitud 13°31'36"S

longitud 71°53'49"W 3.380 m s. n. m. Tiempo de exposición 04:16:48 hrs

Tabla 22

Resumen Parque Larapa

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	5000	2657	1013.34	0.202668	0.002859	01:23:20
Punto 2	5203	3050	1168.62	0.224605	0.006505	01:26:43
Punto 3	5205	2402	943.53	0.181274	0.003037	01:26:45
Total	15408	8109	3125.49	0.608547	0.012401	04:16:48

Radiación promedio 0.202848584 μSv/h

Análisis de varianza

<i>Origen de las Suma de Grados de Promedio de los F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	4.885751 2	2.442876 588 0 2.996315
Dentro de los	63.93453 15405	0.00415
Total	68.82028 15407	

7.- Larapa

5 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación

latitud13°32'18"S longitud71°54'15" W a 3.243 m s. n. m. Tiempo de exposición 10:50:10 hrs

Tabla 23

Resumen Larapa

Grupos	Cuenta	CPS	Suma	Promedio	Varianza	Tiempo
Punto 1	3175	1575	608.28	0.191584	0.002844	00:52:55
Punto 2	3383	1574	615.63	0.181978	0.0028	00:56:23
Punto 3	3398	1683	648.09	0.190727	0.002419	00:56:38
Punto 4	13668	6740	2591.97	0.189638	0.002725	03:47:48
Punto 5	15386	8216	3122.73	0.202959	0.003354	04:16:26
Total	39010	19788	7586.7	0.956886	0.014142	10:50:10

Radiación promedio 0.194480915 μ Sv/h.

Análisis de varianza

Origen de las	Suma	de Grados de	Promedio	de F	Probab	Valor
Entre grupos	2.029957	4	0.507489	171.	1.1E-15	2.37216
Dentro de los	115.5596	39005	0.002963			
Total	117.5895	39009				

8.-Tica Pata 3 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto Ubicación

latitud13°31'12"S longitud71°55'02" W 3.494 m s. n. m. Tiempo de exposición 06:02:03

Tabla 24

Resumen Tica Pata

Grupos	Cuenta	CPS	Suma	Promedio	Varianza	Tiempo
PUNTO 1	4073	2002	764.67	0.187741	0.002474	01:07:53
PUNTO 2	4231	2187	834.43	0.197218	0.002885	00:53:51
PUNTO 3	13419	6669	2560.38	0.190803	0.002774	03:43:39
TOTAL	21723	10858	4159.48	0.575762	0.008132	06:02:03

Radiación promedio 0.191478337 μ Sv/h.

Análisis de varianza

Origen de las	Suma	de Grados de	Promedio	de F	Probabl	Valor
Entre grupos	0.202403	2	0.101202	36.9	1.11E-16	2.996145
Dentro de los	59.49523	21720	0.002739			
Total	59.69764	21722				

Distrito de San Jerónimo

Fecha 17-18-22 mayo 2024 Detallamos los datos recogidos por distritos. Distrito de San

Jerónimo. Zonas de evaluación:

1.-Pata Pata

4 puntos espaciado aproximadamente a 10m cada punto

Ubicación latitud 3°32'24"S longitud 71°52'33"W a 3.296 m s. n. m. tiempo de exposición

21:19:37 hrs

Tabla 25

Resumen Pata Pata

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
Punto 1	17850	8869	3375.84	0.189122689	0.002985616	04:57:30
Punto 2	15154	7543	2915.51	0.192392108	0.003016709	04:12:34
Punto 3	15281	7415	2841.6	0.185956416	0.002834702	04:14:41
Punto 4	28492	13972	5353.63	0.18789941	0.002832052	07:54:52
Total	76777	37799	14486.58	0.755370624	0.011669078	21:19:37

Radiación promedio 0.18868385μSv/h.

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probabilida</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	0.343029	3	0.114343	39.3644	2.08E-25	2.60502
Dentro de los	223.0047	76773	0.002905			
Total	223.3477	76776				

2.- C. Señor de Ccoylloriti

Ubicación latitud 13°33'36"S longitud 71°13'16"W a 4.849 m s. n. m. Tiempo de exposición

01:28:18 hrs

Tabla 26

Resumen C. Señor de Ccoylloriti

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>CPS</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>Tiempo</i>
PUNTO 1	4199	2687	1031.62	0.24568230	0.00340338	01:09:59
PUNTO 2	1099	812	327.87	0.29833485	0.00632682	00:18:19
TOTAL	5298	3499	1359.49	0.54401715	0.00973021	01:28:18

Radiación promedio 0.256604379μSv/h.

Análisis de varianza

<i>Origen de las</i>	<i>Suma de</i>	<i>Grados de</i>	<i>Promedio de</i>	<i>F</i>	<i>Probab</i>	<i>Valor</i>
Entre grupos	2.41474	1	2.41474	602.	4.7E-13	3.843215
Dentro de los	21.23427	5296	0.004009			
Total	23.64901	5297				

8.1.1 *Resultados de datos Experimentales*

Tabla 27

Resumen de Puntos Evaluados en ($\mu\text{Sv/h}$)

ZONA	Radiación	ZONA	Radiación
1 Parque Del Reencuentro	0.1932091		
2 Área 21	0.18858274	13 Abra De Ccorao	0.19160493
3 Apukunaq Tianan	0.18841058	14 Muyu Orqo	0.19154956
4 Picchu Alto	0.19177875	15 Apv Villa San Antonio	0.19391721
5 Cristo Blanco	0.19122443	16 Parque 30 De Setiembre	0.24645118
6 Balconcillo	0.19022932	17 Nodo San Sebastián	0.18854931
7 Plaza De Armas Cusco	0.19303883	18 M. Tancarniyoc	0.1971971
8 Viva El Perú	0.1922196	19 Parque Larapa	0.20284858
9 Ovalo Pachacútec	0.18282822	20 Larapa	0.19448091
10 Puquín	0.19241869	21 Tica Pata	0.19147834
11 Perayoc	0.19030311	22 Pata Pata	0.18868385
12 Ka Llanca	0.19121999	23 C.Señor De Ccoylloriti	0.25660438

Radiación promedio total

Resumen de promedio de radiación por puntos evaluados en micro sievert hora de las 23 muestras evaluadas con una:

Media 0.196905596

Error típico 0.003687912

Desviación estándar 0.017686607

Varianza de la muestra 0.000312816

Rango 0.073776161

Mínimo 0.182828218

Máximo 0.256604379

Nivel de confianza (95.0%)

Valor estimado de radiación $0.196905596 \pm 7.68 \times 10^{-5}$

$= (0.196905596 \pm 0.04\%) \mu\text{Sv/h}$

Equivalente a $X = 0.196905596 \mu\text{Sv/h} \approx 1.726\ 074\ 454\ 536\ \text{mSv/año}$

Consideramos la radiación entre 0.1 a 0.27 $\mu Sv/h$ por encima de dicho valor esporádicamente aparecen pisos superiores 0.27 $\mu Sv/h$ por tener una distribución normal hallamos la probabilidad de estar expuestos a dichas dosis de radiación,

Cálculo de Probabilidad de Recibir Una Radiación Superior a $0.27 \frac{\mu Sv}{h}$

$$Si \quad f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}}$$

$$p = 0.27 \frac{\mu Sv}{h}$$

$$\sigma = 0.053217023$$

$$u = 0.18789941$$

$$X=0.27$$

$$z = \frac{x-u}{\sigma}$$

$$limite inferior = \frac{0.27-0.18789941}{0.053217023} = 1.54275052176444$$

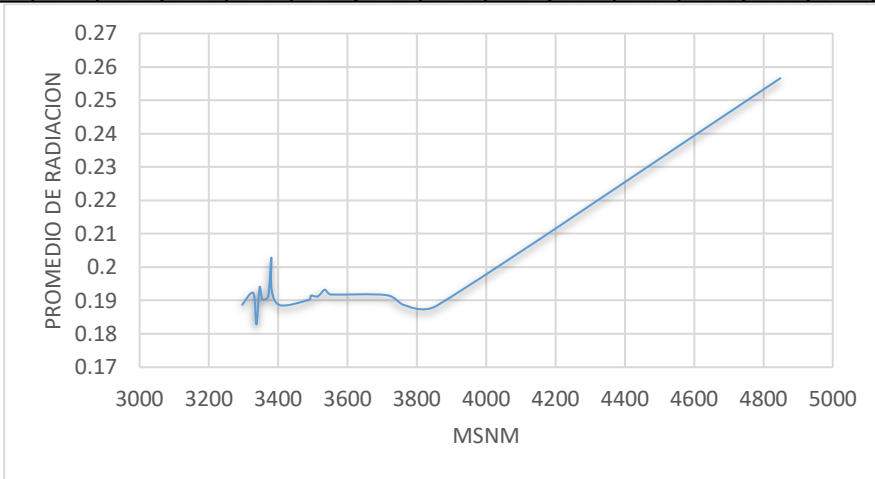
$$p(x) = \int_{1.54}^{\infty} \frac{1}{0.053\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(0.27-0.18)^2}{2(0.053)^2}} = 0.06145 \approx 6.145\% \quad p(x) = 6.145\%$$

Procediendo, para cada punto muestral tenemos los resultados mostrados en la tabla 28

Tabla 28
Probabilidad de Radiación Ionizante $\geq 0.27\mu Sv/h$

Zona	Media	Desviación Estándar	Probabilidad
1.-DISTRITO POROY			
Parque Del Reencuentro	0.18789941	0.053217023	6.15%
Area 21	0.189358428	0.051482182	5.86%
Apukunaq Tianan	0.186878816	0.05383638	6.13%
2.-DISTRITO CUSCO			
Picchu Alto	0.189945624	0.053040216	6.56%
Cristo Blanco	0.189003827	0.054220274	6.76%
Balconcillo	0.187439945	0.052570098	5.82%
Plaza De Armas Cusco	0.197254981	0.002948001	0.00%
3.-DISTRITO SANTIAGO			
Viva El Perú	0.197271271	0.053861201	8.85%
Ovalo Pachacutecq	0.183990676	0.051939903	4.89%
Puquin	0.19518353	0.055224525	8.78%
4.-DISTRITO WANCHAC			
Perayoc	0.192906082	0.052337091	7.64%
Ka Llanca	0.192737831	0.054789872	7.93%
Abra De Ccorao	0.193767724	0.052643176	
5.-DISTRITO SAN SEBASTIAN			
Muyu Orqo	0.18963784	0.052196859	6.18%
Apv Villa San Antonio	0.1810699	0.052137708	4.40%
Parque 30 De Setiembre	0.200521576	0.053542963	9.72%
Nodo San Sebastián	0.193223764	0.053136578	7.42%
M. Tancarniyoc	0.197790859	0.051674776	8.11%
Parque Larapa	0.202668	0.053468622	10.40%
Larapa	0.202959184	0.057917813	12.35%
Tica Pata	0.190802593	0.052667025	6.63%
6.-DISTRITO SAN JERÓNIMO			
Pata Pata	0.18789941	0.053217023	6.15%
C.Señor De Ccoylloriti	0.29833485	0.079541335	63.92%

Radiación	0.189	0.192	0.183	0.194	0.19	0.191	0.203	0.193	0.189	0.19	0.191	0.191	0.193	0.192	0.192	0.192	0.189	0.188	0.257
msnm	3296	3328	3337	3346	3354	3371	3380	3381	3407	3489	3494	3514	3533	3542	3552	3712	3765	3857	4849



En el grafico predomina la densidad de radiación entre 3296 msnm a 4849 msnm la radiación tiene una radiación próxima al promedio a partir de 4849 msnm la radiación se incrementa, a 4849 msnm la radiación es superior al promedio total siendo esta de $0.257\mu Sv/h$. Equivalente a $2.25 mSv/año$

$$0.257 \text{ microsiévert/hora} = 2.252862 \text{ milisiévert/año}$$

8.2 Pruebas de hipótesis

El avance de la tecnología permite contar con instrumentos de medición manejables por lo tanto es posible medir la dosis de radiación ionizante en la provincia del Cusco con los instrumentos disponibles en el mercado. de los datos obtenido en la tabla 28, muestra la medición de un total de 86 puntos muestrales, siendo el promedio total correspondiente a la provincia del Cusco es de

$$X = 0.196905596 \mu Sv/h \approx 1.726 \text{ } 074 \text{ } 454 \text{ } 536 mSv/año$$

La exposición a la radiación según Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los

Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNCEAR) no debe superar los $1mSv$ a año.

de los resultados obtenidos se observa que supera a este parámetro en $0.7 mSv/año$. En consecuencia, la Radiación cósmica es muy probable que afecte la salud del poblador de la provincia de Cusco.

8.3 presentación de resultados

La radiación cósmica en la provincia del Cusco, se observa en la tabla 27 Radiación promedio total

$$X = 0.196905596 \frac{\mu Sv}{h} \approx 1.726\ 074\ 454\ 536 \frac{mSv}{año}$$

Se delimito geográficamente la provincia Cusco aleatoriamente en 86 puntos muestrales.

DISTRITO	PUNTOS
Poroy (11)	Parque del reencuentro Área 21 Apukunaq Tianan
Cusco (20)	Picchu Alto Cristo Blanco Balconcillo Plaza de Armas Cusco
Santiago (10)	Viva el Perú Ovalo Pachacútec Puquin
Wánchaq (10)	Perayoc KaLlanca Abra De Ccorao
San Sebastián (29)	Muyu Orqo Apv Villa San Antonio Parque 30 De Setiembre Nodo San Sebastián., Parque Larapa, Larapa, Tica Pata
San Jerónimo (4)	Pata Pata
Señor de Ccoylloriti (2)	Santuario

Comparando los valores de radiación promedio obtenido con los valores de dosis permitidas según la OMS

De la tabla 28 la Radiación de 18 puntos evaluados oscila entre a 0.18 a 0.19 y 5 puntos superior a 0.20 a 0.29

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

- a) La radiación en la provincia del Cusco es de

$$X = 0.196905596 \mu Sv/h \approx 1.726\ 074\ 454\ 536\ mSv/año$$

- b) De la delimitación geográfica en la provincia del Cusco los promedios, de radiación son:

Poroy, Cusco, Santiago. Wánchaq, San Sebastián, San Gerónimo son

aproximadamente $0.19\ 0.19\ \mu Sv/h$, a excepción de la muestra Señor de Ccoylloriti

que está a $0.24\ 0.290.19\ \mu Sv/h$

- c) Al comparar los valores de radiación promedio obtenido con los valores de dosis permitidas según la OMS, se observa que hay la probabilidad de ser afectados por la radiación, debido a que excede los valores que son recomendados por dicha organización en un valor de $0.7\ mSv/año$

10.2 Recomendaciones

1.- En general, recomendamos un monitoreo continuo de la radiación ambiental estableciendo una red de estaciones en diverso punto de la provincia.

2.- Promover la investigación en la identificación de fuentes de radiación ionizante natural como el radón, minerales radiactivos y fuentes artificiales como instalaciones médicas, industriales o nucleares y su posible control.

3.- Crear mapas indicando zonas de riesgo de radiación ionización ionizante.

4.- Debido a que la población no es consciente del riesgo de las radiaciones ionizantes se recomienda informar a la población sobre los riesgos de la radiación, medidas preventivas y signos de alerta.

- 5.- Promover la investigación en el reconocimiento de la presencia de minerales radiactivos en el suelo y agua.
- 6.- Se recomienda a instituciones dedicadas al estudio de radiación hacer un monitoreo de la radiación ionizante y se haga una base de datos para posteriores investigaciones.
- 7.- A la universidad y centros de investigación se sugiere la adquisición de instrumentos y estén disponibles para los alumnos de la universidad.
- 8.- Se recomienda a instituciones dedicadas al estudio de radiación hacer un monitoreo de la radiación ionizante y se haga una base de datos para posteriores investigaciones.
- 9.- Se recomienda realizar implementar un centro de monitoreo en los diversos puntos de la región Cusco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (CFR), C. o. (s.f.). *Normas de Protección Radiológica Ambiental Para Operaciones de Energía Nuclear Code of Federal Regulations (CFR)*. EEUU. Obtenido de Code of Federal Regulations (CFR): <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-F/part-190>
- Aníbal E. Badel, J. S.-M.-I. (2018). Radiación ionizante: revisión de tema y. *Revista Colombiana de cardiología*, 8.
- Ascarza, J. L. (2013). EVALUACIÓN DE LA RADIOACTIVIDAD NATURAL EN EL RANGO GAMMA EN EDIFICACIONES DE LA. En V. D. INVESTIGACIÓN, *VADEMÉCUM* (págs. 257-262). cusco: Editorial Universitaria - Vicerrectorado de Investigación Unsaac.
- Auger, C. ©. (lines de 03 de 2024). *Observatorio Pierre Auger*. Obtenido de Observatorio Pierre Auger: <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/que-son-los-rayos-cosmicos/>
- Boix, J. P. (09/02/2017). Comprender las unidades de medida de la radiación. *Terra.Org*, 1,2,3.
- CCT, C. f. (18 de 7 de 2024). *Instituto Nacional del Cáncer (NCI)*. Obtenido de Instituto Nacional del Cáncer (NCI): <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/radiacion-ionizante>
- Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima: Colección Racso.
- González Romero, Y. A. (2020). *Repositorio Digital Universidad De Las Américas*. Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12073>: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12073>

- H. S. Ahluwalia, I. E. (1963). Radiación cósmica Rayos cósmicos Espacio interplanetario Viento solar. *Geofísica Internacional*, 3(2).
- HESS, A. -C. (2001). *Rayos cosmicos La II Escuela Mexicana de Física Nuclear*. Mexico. Obtenido de file:///C:/Users/WINDOWS/Desktop/RADIACION/II_Escuela_Mexicana_de_Fisica_Nuclear_ME.pdf
- INEI, I. N. (2021). *Enfermedades No Transmisibles y Trasmisibles 2021*. Editorial: INEI, ININ Mexico, I. N. (18 de Agosto de 1923). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de Gobierno _ gob.mx: <https://www.gob.mx/inin/articulos/radiacion-cosmica-de-fondo-y-radiacion-cosmica#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20c%C3%B3smica%20es%20de,de%20part%C3%ADculas%20en%20el%20espacio>.
- M.Picquart. (2016). Energía nuclear,. En M. A. M.Picquart, *Energía nuclear*, (pág. 91). Mexico: D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.
- Manosalva Bacigalupo, J. (2013). Radiación ambiental en la ruta Cusco-Machu Picchu. *Alicia*, 4.
- NAVIDI, W. (2006). *ESTADISTICA PARA INGENIEROS Y CIENTIFICOS*. México, D. F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Navidi, W. (2006). *Estadística Para ingenieros y científicos*. Mexico: McGraw-Hill.
- Nejaim. (Nejaim 2015). Racionalización de la dosis de radiación. *Revista Estomatológica Herediana*, 8. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1019-43552015000300010&script=sci_arttext
- OIEA. (2016). OIEA. En OIEA, *Poteccion Radiologica* (pág. 69). AUSTRIA: Impreso por el OIEA en Austria.

OMS. (julio de 2023). Obtenido de Organización Mundial de la Salud:

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>

OMS, O. M. (2024). *Efectos en la salud de las radiaciones ionizantes*.

Savater, R. P. (2005). *La ira es una reacción humana*. Lima: Racsus. Obtenido de

<https://www.goratools.com/post/2016/12/07/filosof%C3%ADa-del-dise%C3%B1o-sismorre-sistente>

Suarez, J. C. (2017). *Dosis estimada de radiación cósmica*. Colombia: Universidad Nacional De Colombia.

T.Vázquez. (2010). *estudio de la componente muónica en chubascos de partículas, producidos por rayos cósmicos en la atmósfera, usando el experimento KASKDE-Grande*. Mexico.

Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.

UNSCEAR 2000-ONU. (2000). *Sources And Effects*. United Nation.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TÍTULO; Estudio de la radiación IONIZANTE y sus Efectos en la Salud de los habitantes de La provincia Cusco

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO METODOLOGICO	POBLACION Y MUESTRA	TECNICAS E INSTRUMENTOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE	Radiación(μSv) OIEA Organismo Internacional De Energía Nuclear	ENFOQUE Cuantitativo	POBLACION:	TECNICAS:
¿La de radiación ionizante promedio influye en la salud del poblador de la provincia Cusco-2024?	Determinar la radiación ionizante promedio en la provincia del Cusco y sus efectos en la salud-2024.	La Radiación ionizante promedio si influye en la salud del poblador de la provincia Cusco.	La radiación ionizante es un proceso espontáneo y estocástico (aleatorio y probabilístico)		NIVEL DE INVESTIGACION Descriptivo correlacional	Prov. cusco	Método de detección directa Observación Recogida de datos INSTRUMENTOS: Contador Geiger Müller
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	DEPENDIENTES		DISEÑO DE LA INVESTIGACION	MUESTRA:	
1.-¿Cuál es la dosis de radiación ionizante en la provincia del Cusco?	1.-Medir los niveles de radiación ionizante en diferentes localidades de la provincia de Cusco.	La Radiación ionizante afecta la salud del poblador de la provincia Cusco	La salud de los habitantes de la provincia Cusco.		: descriptiva cuantitativa	Distritos: Cusco San Sebastián Poroy Santiago San Jerónimo	

COM1

Auto-Connect

Start

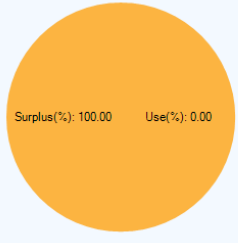
Dev-Type: FS-5000 Dev-ID: 10
Sensor: 001 Version: V1.0

Real-time data

Real-time data

Historical data

Param



Dose: 0 μ Sv/1000Sv

----- μ Sv/h

AVG : ---- μ Sv/h CPS : ----

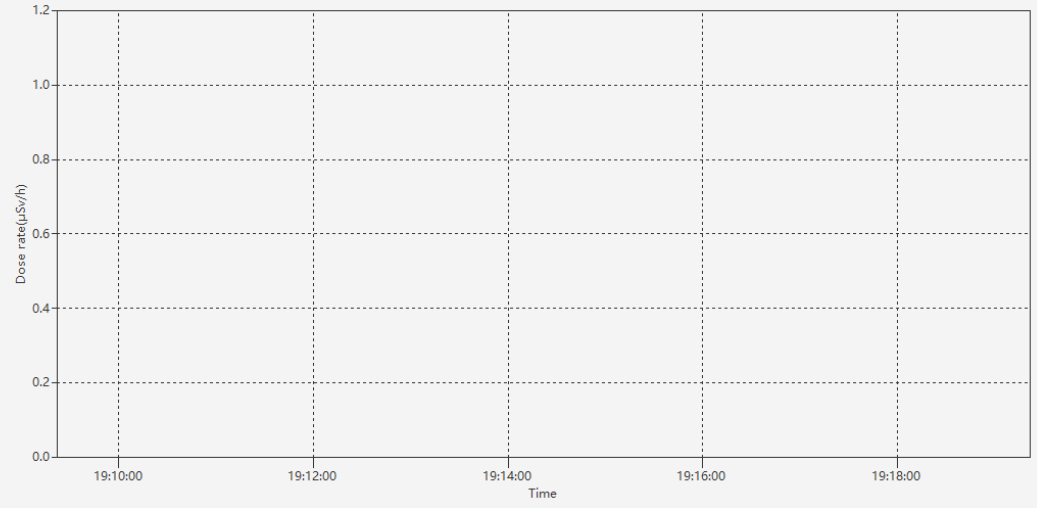
Dose: ---- μ Sv CPM: -----

Timing duration: --: --: --

Timed dose: -- μ Sv

Real time dose rate curve

■ <Dose rate>



Information: Please connect the device

12.1 Datos Con Sus Respectivas Frecuencias

n	Parque del Reencuentro		Pata Pata		Larapa		Área 21		Apukunac		Picchu Alto	
	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi
1	0.02	7	0.02	7	0.04	6	0.03	7	0.04	2	0.01	6
2	0.03	11	0.03	11	0.05	8	0.04	6	0.05	7	0.02	9
3	0.04	13	0.04	13	0.06	13	0.05	2	0.06	56	0.03	9
4	0.05	21	0.05	21	0.07	23	0.06	7	0.07	69	0.04	8
5	0.06	37	0.06	37	0.08	90	0.07	45	0.08	121	0.05	22
6	0.07	83	0.07	83	0.09	122	0.08	74	0.09	184	0.06	43
7	0.08	210	0.08	210	0.1	214	0.09	147	0.1	221	0.07	72
8	0.09	324	0.09	324	0.11	360	0.1	206	0.11	365	0.08	124
9	0.1	493	0.1	493	0.12	429	0.11	417	0.12	585	0.09	269
10	0.11	866	0.11	866	0.13	523	0.12	503	0.13	719	0.1	335
11	0.12	961	0.12	961	0.14	718	0.13	707	0.14	905	0.11	368
12	0.13	1267	0.13	1267	0.15	680	0.14	1053	0.15	924	0.12	455
13	0.14	1823	0.14	1823	0.16	863	0.15	979	0.16	903	0.13	686
14	0.15	1781	0.15	1781	0.17	1054	0.16	1079	0.17	1253	0.14	1038
15	0.16	1915	0.16	1915	0.18	937	0.17	1433	0.18	1066	0.15	958
16	0.17	2443	0.17	2443	0.19	1052	0.18	1154	0.19	927	0.16	1037
17	0.18	2090	0.18	2090	0.2	1219	0.19	1131	0.2	1068	0.17	1368
18	0.19	2041	0.19	2041	0.21	946	0.2	1237	0.21	837	0.18	1236
19	0.2	2292	0.2	2292	0.22	872	0.21	957	0.22	763	0.19	1256
20	0.21	1697	0.21	1697	0.23	1086	0.22	849	0.23	768	0.2	1462
21	0.22	1586	0.22	1586	0.24	740	0.23	936	0.24	549	0.21	1158
22	0.23	1646	0.23	1646	0.25	658	0.24	589	0.25	474	0.22	1008
23	0.24	1045	0.24	1045	0.26	684	0.25	510	0.26	412	0.23	1048
24	0.25	855	0.25	855	0.27	438	0.26	526	0.27	257	0.24	686
25	0.26	866	0.26	866	0.28	425	0.27	311	0.28	201	0.25	562
26	0.27	545	0.27	545	0.29	352	0.28	259	0.29	165	0.26	560

27	0.28	401	0.28	401	0.3	193	0.29	193	0.3	123	0.27	343
28	0.29	378	0.29	378	0.31	158	0.3	110	0.31	87	0.28	253
29	0.3	217	0.3	217	0.32	120	0.31	88	0.32	72	0.29	211
30	0.31	147	0.31	147	0.33	108	0.32	73	0.33	56	0.3	174
31	0.32	130	0.32	130	0.34	96	0.33	39	0.34	36	0.31	128
32	0.33	76	0.33	76	0.35	53	0.34	23	0.35	26	0.32	72
33	0.34	48	0.34	48	0.36	46	0.35	17	0.36	12	0.33	36
34	0.35	35	0.35	35	0.37	21	0.36	9	0.37	5	0.34	33
35	0.36	23	0.36	23	0.38	24	0.37	9	0.38	6	0.35	25
36	0.37	20	0.37	20	0.39	10	0.38	4	0.39	5	0.36	12
37	0.38	10	0.38	10	0.4	6	0.39	11	0.4	7	0.37	5
38	0.39	17	0.39	17	0.41	10	0.4	6	0.41	3	0.38	3
39	0.4	12	0.4	12	0.42	4	0.41	5	0.42	1	0.39	6
40	0.41	12	0.41	12	0.43	6	0.42	3	0.44	1	0.4	1
41	0.42	13	0.42	13	0.45	3	0.43	1	0.45	1	0.41	5
42	0.43	6	0.43	6	0.46	6	0.44	2	0.46	1	0.43	2
43	0.44	2	0.44	2	0.47	1	0.45	1	0.47	2	0.44	2
44	0.45	1	0.45	1	0.48	1	0.46	1	0.49	3	0.45	2
45	0.46	3	0.46	3	0.49	2	0.47	4	0.5	1	0.46	2
46	0.47	5	0.47	5	0.5	2	0.48	4	0.51	2	0.47	1
Total	14.84	28492	14.84	28492	13.3	15386	11.73	15727	12.29	14251	11.34	17103

n	Cristo Blanco		Balconcillo		Plaza De Armas		Viva El Perú		Ovalo Pachacútec		Puquin	
	(uSv/h)	fi	uSv/h	fi	(uSv/h)	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi
1	0.01	12	0.04	6	0.01	1	0.02	1	0.04	2	0.04	11
2	0.02	16	0.05	17	0.02	5	0.04	1	0.05	15	0.05	22
3	0.03	23	0.06	32	0.03	4	0.05	9	0.06	16	0.06	80
4	0.04	17	0.07	52	0.04	4	0.06	12	0.07	47	0.07	89
5	0.05	37	0.08	116	0.05	16	0.07	16	0.08	89	0.08	142
6	0.06	77	0.09	161	0.06	21	0.08	147	0.09	132	0.09	278
7	0.07	145	0.1	242	0.07	23	0.09	236	0.1	190	0.1	312
8	0.08	218	0.11	412	0.08	152	0.1	310	0.11	294	0.11	621
9	0.09	371	0.12	491	0.09	241	0.11	438	0.12	386	0.12	687
10	0.1	454	0.13	639	0.1	329	0.12	625	0.13	528	0.13	909
11	0.11	656	0.14	935	0.11	472	0.13	808	0.14	723	0.14	1263
12	0.12	795	0.15	933	0.12	656	0.14	1339	0.15	629	0.15	1259
13	0.13	1195	0.16	1049	0.13	845	0.15	1299	0.16	681	0.16	1363
14	0.14	1830	0.17	1312	0.14	1413	0.16	1599	0.17	913	0.17	1879
15	0.15	1723	0.18	1120	0.15	1374	0.17	1836	0.18	743	0.18	1741
16	0.16	1794	0.19	1062	0.16	1666	0.18	1682	0.19	736	0.19	1745
17	0.17	2192	0.2	1045	0.17	1900	0.19	1621	0.2	791	0.2	1919
18	0.18	1950	0.21	840	0.18	1746	0.2	1882	0.21	555	0.21	1477
19	0.19	2010	0.22	756	0.19	1695	0.21	1420	0.22	502	0.22	1371
20	0.2	2229	0.23	758	0.2	1993	0.22	1513	0.23	506	0.23	1480
21	0.21	1746	0.24	529	0.21	1513	0.23	1625	0.24	421	0.24	1029
22	0.22	1517	0.25	432	0.22	1586	0.24	1072	0.25	273	0.25	874
23	0.23	1637	0.26	467	0.23	1689	0.25	967	0.26	247	0.26	903
24	0.24	1065	0.27	332	0.24	1108	0.26	790	0.27	172	0.27	619
25	0.25	855	0.28	249	0.25	1001	0.27	606	0.28	122	0.28	480
26	0.26	900	0.29	203	0.26	842	0.28	455	0.29	108	0.29	409
27	0.27	543	0.3	111	0.27	641	0.29	407	0.3	70	0.3	254

28	0.28	425	0.31	75	0.28	496	0.3	258	0.31	65	0.31	231
29	0.29	363	0.32	59	0.29	431	0.31	228	0.32	41	0.32	150
30	0.3	270	0.33	47	0.3	275	0.32	169	0.33	24	0.33	99
31	0.31	218	0.34	30	0.31	248	0.33	88	0.34	10	0.34	74
32	0.32	113	0.35	12	0.32	174	0.34	56	0.35	9	0.35	46
33	0.33	73	0.36	9	0.33	93	0.35	71	0.36	20	0.36	28
34	0.34	81	0.37	13	0.34	60	0.36	37	0.37	6	0.37	29
35	0.35	40	0.38	3	0.35	75	0.37	20	0.38	3	0.38	18
36	0.36	24	0.39	2	0.36	44	0.38	13	0.39	7	0.39	19
37	0.37	11	0.4	2	0.37	21	0.39	17	0.4	1	0.4	9
38	0.38	9	0.41	6	0.38	16	0.4	23	0.42	4	0.41	7
TOTAL	11.76	27696	9.84	14570	10.81	24947	10.77	23729	8.56	10081	11.22	23947

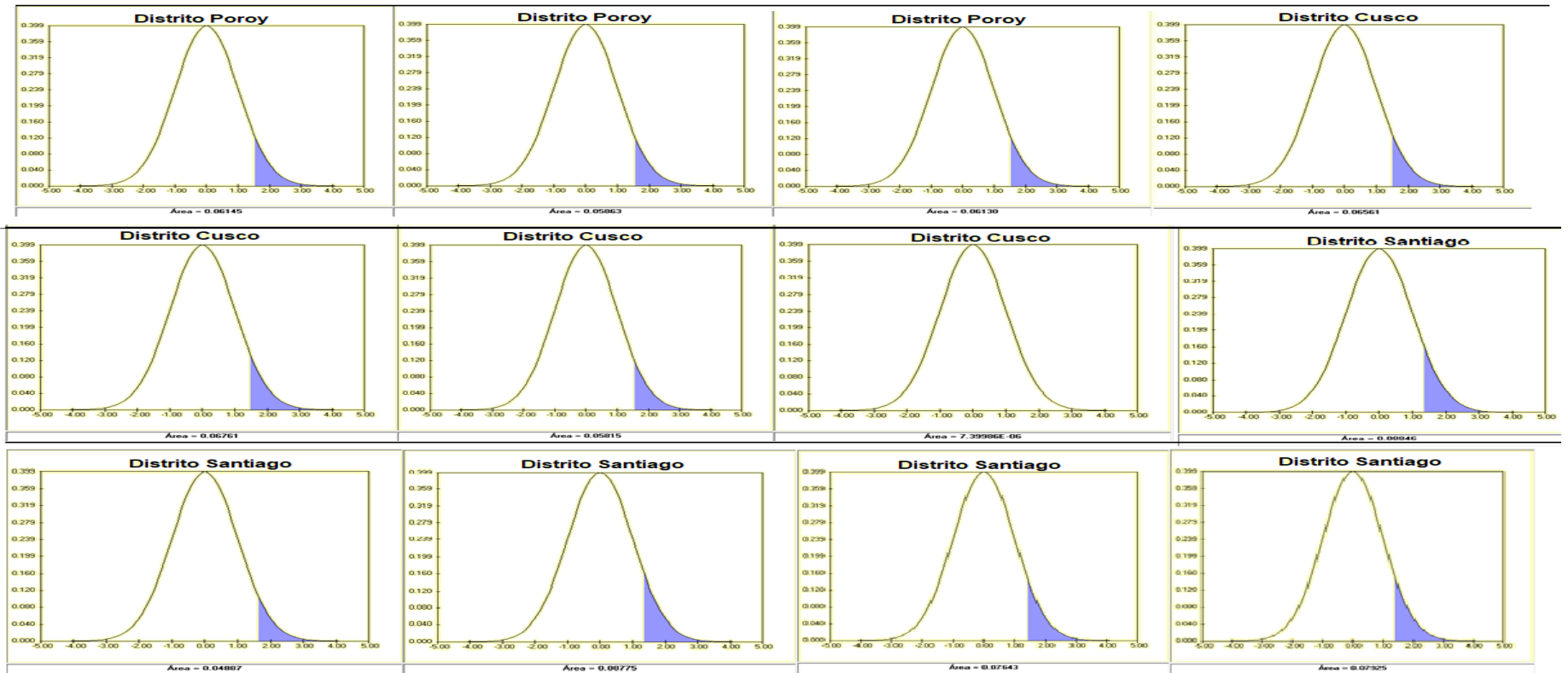
n	Perayoc		Kallanca		Abra de Ccorao		Muyoc Orcoco		Apv Villa San Antonio		Parque 30 De Setiembre	
	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi
1	0.03	1	0.04	13	0.03	1	0.04	4	0.06	16	0.03	1
2	0.04	5	0.05	14	0.04	5	0.05	13	0.07	19	0.04	9
3	0.05	20	0.06	28	0.05	20	0.06	25	0.08	57	0.05	11
4	0.06	34	0.07	59	0.06	34	0.07	30	0.09	76	0.06	26
5	0.07	80	0.08	112	0.07	51	0.08	74	0.1	65	0.07	31
6	0.08	195	0.09	201	0.08	146	0.09	179	0.11	116	0.08	73
7	0.09	245	0.1	251	0.09	165	0.1	243	0.12	158	0.09	109
8	0.1	398	0.11	472	0.1	238	0.11	365	0.13	220	0.1	131
9	0.11	686	0.12	635	0.11	467	0.12	471	0.14	271	0.11	215
10	0.12	889	0.13	682	0.12	624	0.13	541	0.15	211	0.12	298
11	0.13	1103	0.14	1047	0.13	797	0.14	981	0.16	274	0.13	370
12	0.14	1670	0.15	993	0.14	1210	0.15	842	0.17	406	0.14	584
13	0.15	1666	0.16	1029	0.15	1232	0.16	821	0.18	345	0.15	616
14	0.16	1778	0.17	1274	0.16	1226	0.17	981	0.19	401	0.16	716
15	0.17	2126	0.18	1121	0.17	1465	0.18	979	0.2	483	0.17	930
16	0.18	1883	0.19	1128	0.18	1327	0.19	894	0.21	427	0.18	912
17	0.19	2117	0.2	1452	0.19	1549	0.2	1156	0.22	395	0.19	1042
18	0.2	2561	0.21	993	0.2	1873	0.21	847	0.23	432	0.2	1141
19	0.21	1942	0.22	974	0.21	1364	0.22	798	0.24	289	0.21	842
20	0.22	1644	0.23	969	0.22	1169	0.23	862	0.25	263	0.22	723
21	0.23	1609	0.24	725	0.23	1152	0.24	642	0.26	292	0.23	840
22	0.24	1153	0.25	581	0.24	828	0.25	441	0.27	190	0.24	640
23	0.25	957	0.26	650	0.25	688	0.26	420	0.28	155	0.25	540
24	0.26	963	0.27	439	0.26	702	0.27	291	0.29	108	0.26	463
25	0.27	661	0.28	350	0.27	468	0.28	225	0.3	68	0.27	351
26	0.28	576	0.29	304	0.28	438	0.29	205	0.31	80	0.28	332
27	0.29	476	0.3	189	0.29	372	0.3	109	0.32	76	0.29	244

28	0.3	286	0.31	154	0.3	229	0.31	78	0.33	49	0.3	166
29	0.31	231	0.32	97	0.31	180	0.32	50	0.34	19	0.31	161
30	0.32	137	0.33	42	0.32	108	0.33	29	0.35	10	0.32	87
31	0.33	86	0.34	58	0.33	60	0.34	29	0.36	9	0.33	45
32	0.34	55	0.35	39	0.34	47	0.35	10	0.37	9	0.34	43
33	0.35	31	0.36	22	0.35	25	0.36	7	0.38	10	0.35	26
34	0.36	41	0.37	21	0.36	26	0.37	5	0.39	11	0.36	10
35	0.37	10	0.38	11	0.37	8	0.38	3	0.4	5	0.37	11
36	0.38	6	0.39	4	0.38	6	0.39	3	0.41	1	0.38	4
37	0.39	11	0.4	1	0.39	9	0.4	1	0.42	2	0.39	6
Total	9.45	28344	8.14	17134	8.17	20312	10.75	13668	9.31	6021	9	12769

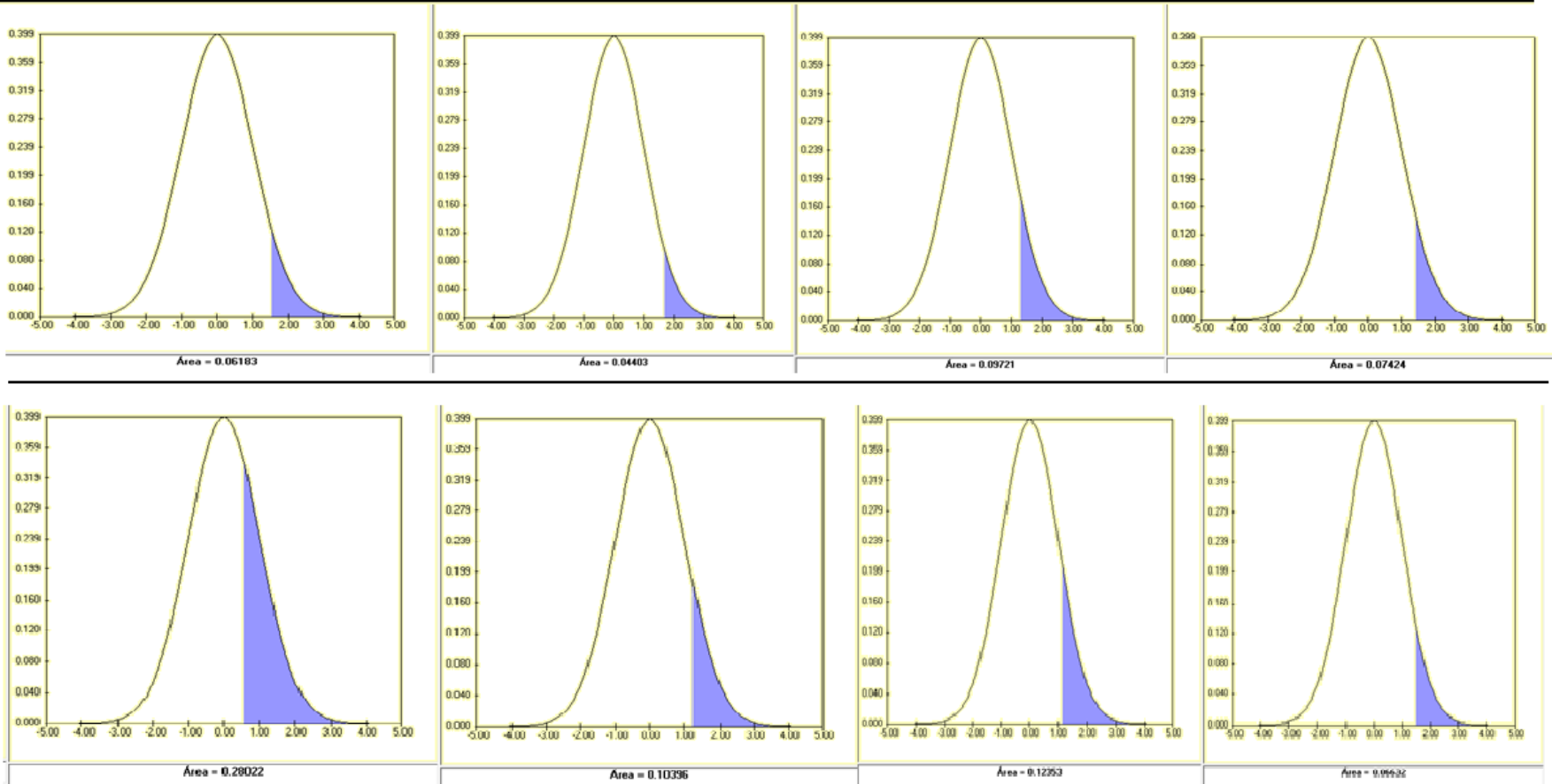
Nodo San Sebastián		M. Tancarniyoc		Parque Larapa		Tica Pata
Sv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h	fi	uSv/h
.04	15	0.03	6	0.05	7	0.03
.05	21	0.04	4	0.06	9	0.04
.06	18	0.05	3	0.07	38	0.05
.07	44	0.06	35	0.08	58	0.06
.08	79	0.07	36	0.09	116	0.07
.09	68	0.08	56	0.1	127	0.08
.1	106	0.09	80	0.11	223	0.09
.11	259	0.1	110	0.12	221	0.1
.12	369	0.11	180	0.13	233	0.11
.13	387	0.12	202	0.14	349	0.12
.14	537	0.13	244	0.15	277	0.13
.15	490	0.14	359	0.16	337	0.14
.16	620	0.15	341	0.17	497	0.15
.17	695	0.16	397	0.18	423	0.16
.18	703	0.17	530	0.19	377	0.17
.19	779	0.18	378	0.2	430	0.18
.2	863	0.19	370	0.21	271	0.19
.21	664	0.2	490	0.22	231	0.2
.22	598	0.21	424	0.23	198	0.21
.23	589	0.22	354	0.24	140	0.22
.24	398	0.23	402	0.25	112	0.23
.25	331	0.24	269	0.26	128	0.24
.26	343	0.25	235	0.27	101	0.25
.27	256	0.26	231	0.28	80	0.26
.28	202	0.27	142	0.29	53	0.27
.29	182	0.28	105	0.3	50	0.28
.3	121	0.29	93	0.31	47	0.29
.31	85	0.3	57	0.32	24	0.3
.32	49	0.31	40	0.33	8	0.31
.33	31	0.32	32	0.34	9	0.32
.34	19	0.33	11	0.35	10	0.33
.35	14	0.34	3	0.36	6	0.34
.36	7	0.35	7	0.37	3	0.35
.37	2	0.36	5	0.38	2	0.36
.38	4	0.37	4	0.41	1	0.37
TOTAL	9948	7.77	6243	10.05	5205	7.77

Anexo 3: Medios de Verificación

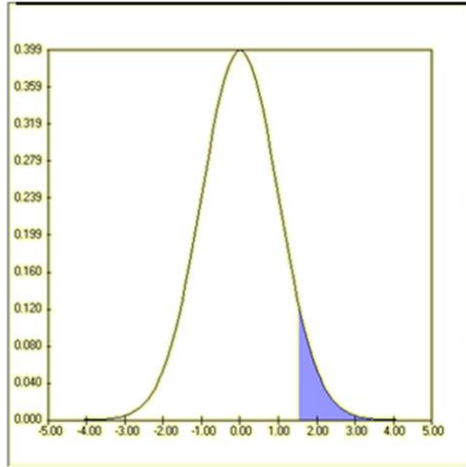
12.2 Gráficos De Función de Probabilidad Normalizada



Distrito San Sebastian

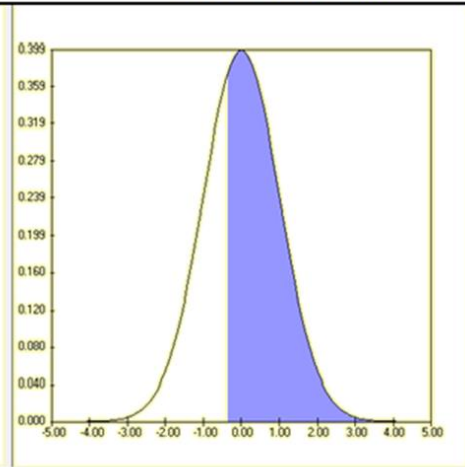


Distrito San Jeronimo



Área = 0.06145

Señor de Qoyllurit'i



Área = 0.63916

Anexo 4: Otros

1.1. Instrumentos de medida:

Detalles técnicos:

Tipo de sensor: Tubo GM

Especies detectables: Beta, Gamma, Rayos X

Rango de energía: 48keV-1.5MeV menos del 30%

Error intrínseco relativo: $\pm 10\%$

Sensibilidad: 80cpm / μSV / Co-60

Rango de medición: 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ ~ 50 mSv/h

Tasa máxima de dosis equivalente: 10 mSv/h

Conteo de partículas por segundo CPS

Umbral de alarma: 0,5 (ajustable)

Uso de temperatura ambiente: $-10 \sim +45^\circ\text{C}$

Humedad relativa: menos del 95%

Fuente de alimentación: batería de 3,7 V 1800 mAh



Espectro de radiacion zona balconcillo

