

Pontificia Universidad Católica del Perú

Escuela de Posgrado



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

Tesis:

**“Medición de Radón 222 atmosférico en la ciudad de
Huancayo en el periodo del 2013-2016”**

**Para obtener el grado de
Magíster en Física**

Presentada por

Arturo Dávila Obando

Asesora:

Dra. María Elena López Herrera

Lima–Perú, 2019

RESUMEN

El Radón (^{222}Rn) es la mayor y más importante fuente de radiación natural al que está expuesto el ser humano, contribuyendo en un 53% de la dosis total. Por ser un gas, se difunde en la atmósfera, y surge del interior de la tierra debido a la desintegración del Uranio 238 que se encuentra en diferentes proporciones en casi toda la corteza terrestre. En la región Junín del Perú, el Uranio también se encuentra como subproducto en los depósitos de polimetales. En este trabajo se presenta el estudio de la concentración de ^{222}Rn atmosférico y sus fluctuaciones estacionales durante cuatro años, desde abril de 2013 a mayo del 2016, con una frecuencia de tres periodos por año en las mediciones correspondientes a la ciudad de Huancayo-Perú, capital del departamento de Junín, región predominantemente minera desde hace 150 años, además en este departamento se encuentra ubicada la falla geológica regional de Huaytapallana la cual no ha presentado una actividad tectónica por aproximadamente 48 años.

Los niveles de concentración de Radón 222 se midieron utilizando detectores de Nitrocelulosa (LR-115 tipo 2) aplicando la técnica de huellas nucleares. En los lugares de medición se registraron fluctuaciones en la concentración de Radón al aire libre teniendo en cuenta los parámetros meteorológicos y estacionales reportados por la estación meteorológica de Viques 000608 del SENAMHI. También se hizo un estudio de los detectores LR-115 tipo 2 para determinar el tiempo de exposición y de revelado químico para la obtención de la traza, teniendo en cuenta el alto nivel de radiación UV, encontrándose que su incidencia provoca daños de importancia en el material detector, debido a que Huancayo presenta uno de los niveles más altos de radiación UV del planeta, alcanzando valores promedio de 18 en el índice UV e inclusive registrando picos de 23 cuando lo máximo es de 14 para otras regiones. Los resultados del análisis de datos de las mediciones se presentan en este trabajo para luego comparar dichas concentraciones con los reportados en otros lugares.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a la Dra. María Elena López Herrera, por su dedicación y compromiso en su valiosa y noble labor, especialmente por su apoyo incondicional con los estudiantes de posgrado del interior del país.

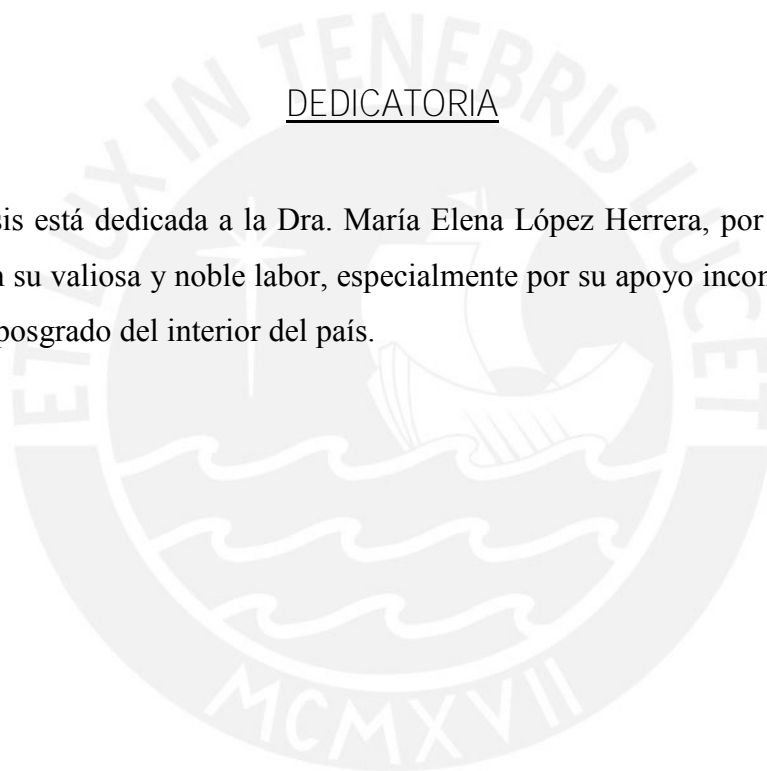


TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
2.1. La radiactividad Natural	3
2.1.1. Radiactividad Artificial	4
2.2. Radiación ionizante	5
2.2.1. Desintegración alfa	5
2.2.2. Descripción física de la desintegración α	8
2.2.3. Decaimiento Radiactivo	10
2.2.3.1. Actividad (A)	11
2.2.4. Series radiactivas naturales	12
2.2.4.1 Caso general de una cadena radiactiva.....	14
2.3. El gas Radón.	15
2.3.1. Radón, elemento radiactivo.	16
2.3.2. Radón Ambiental.	17
3. DETECTORES SOLIDOS DE HUELLAS NUCLEARES	20
3.1. Detectores LR-115	22
3.2. Modelo para describir formación de la huella nuclear	24
3.3. Geometría de la huella debido al revelado químico	26
3.3.1. Velocidad de revelado volumétrico (Vb)	26
4. DETECCION DE RADON 222 ATMOSFERICO EN HUANCAYO	27
4.1. Ciudad de Huancayo	27
4.2. Materiales y Metodología	30
4.3. Detectores y toma de datos	32
4.4. Recojo de detectores y grabado químico.	34
4.5. Densidad de huellas y concentración de Radón	35
4.6. Coeficiente de correlación de Pearson	37
5. CONCENTRACIONES DE RADÓN EN LA CIUDAD DE HUANCAYO	38
Tablas de resultados.....	39
6. DISCUSIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61

6.1. Discusiones.....	61
6.2. Conclusiones.....	63
6.3. Recomendaciones.....	64
7. BIBLIOGRAFÍA.....	65
8. ANEXOS.....	69



PRÓLOGO

Índice de figuras

2.1	Desintegración α	7
2.2	Partícula α acercándose al núcleo Y.....	8
2.3	Esquema del efecto túnel para las partículas alfa	9
2.4	Diagrama de los niveles de energía de desintegración alfa de ^{226}Ra a ^{222}Rn	10
2.5	Serie del Torio, $4n$	13
2.6	Serie del Uranio, $4n + 2$	13
2.7	Serie del Actinio, $4n + 3$	13
2.8	Contribución de la serie del ^{238}U a la dosis equivalente efectiva anual. ...	17
2.9	Emanación de Radón desde el suelo	19
3.1	Esquema descriptivo de capas del detector LR-115.....	22
3.2	Sensibilidad del detector LR-115	23
3.3	Mecanismo de punta de explosión iónica para la formación de trazas en sólidos inorgánicos	25
3.4	Formación de la huella en polímeros	25
3.5	Perfiles de trazas reveladas V_t constante, para: (a) Incidencia normal. (b) Incidencia oblicua con ángulo ϕ	26
4.1	Mapa del Perú, departamento de Junín	27
4.2	Provincia de Huancayo, límites y localización de la ciudad de Huancayo...	28
4.3	Variación de las condiciones meteorológicas de Huancayo	29
4.4	Plano de ubicación de los sitios donde se han realizado las mediciones de Radón al aire libre.	31
4.5	Vaso con orificios para evacuación de agua debido a las lluvias.	32
4.6	Base de vidrio grueso fijada con silicona especial al techo de la azotea, para para que el viento no se lleve los vasos.	32
4.7	Detector ya instalado	33
4.8	Detectores colocados por pares en los cuatro puntos cardinales.	33
4.9	Detector dañado por altos valores de radiación UV	34
4.10	Equipo termostático para grabado químico a $(60 \pm 0,5)^\circ\text{C}$	34
5.1	Concentraciones promedias de $\text{Rn } 222$ por cada sitio y por periodo, entre junio de 2013 y febrero del 2016.	51
5.2	Resultados de concentración promedio de $\text{Rn } 222$ en cada sitio durante todos los nueve periodos de medición.	51
5.3	Distribución topográfica de las concentraciones de $\text{Rn } 222$ ambiental. ...	52

5.4	Medición de Radón 222 durante los nueve periodos entre junio 2013 y febrero 2016	54
5.5	Variación estacional de la concentración de Radón 222 y el parámetro meteorológico lluvia	56
5.6	Correlación entre la concentración de Radón y la lluvia	56
5.7	Variación estacional de la concentración de Radón 222 y el parámetro meteorológico humedad	56
5.8	Correlación entre la concentración de Radón y la Humedad	57
5.9	Variación estacional de la concentración de Radón 222 y del parámetro meteorológico viento.	58
5.10	Correlación entre la concentración de Radón y la velocidad del viento	58
5.11	Variación estacional de la concentración de Radón 222 y el parámetro meteorológico presión atmosférica.	59
5.12	Correlación entre la concentración de Radón y la Presión Atmosférica.	60



Índice de Tablas

2.1	Dosis media anual e intervalos de dosis individuales de radiación ionizante (en mSv)	4
2.2	Comparación entre dosis anuales de las diferentes fuentes de exposición	5
2.3	Características del Radón	15
3.1	Detectores de trazas nucleares producidas por partículas alfa	21
4.1	Tamaño, porosidad de granos de suelo y emanación de átomos de Radón de poros con aire en varios suelos	29
5.1	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 08 al 27 junio del 2013	39
5.2	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	40
5.3	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 11 al 30 octubre del 2013	40
5.4	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	41
5.5	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 02 al 21 febrero del 2014	42
5.6	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	43
5.7	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 10 al 29 junio del 2014	43
5.8	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	44
5.9	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 08 al 27 octubre del 2014	44
5.10	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	45
5.11	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 09 al 28 febrero del 2015	45
5.12	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	46
5.13	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 02 al 21 junio del 2015	47
5.14	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	48
5.15	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 09 al 28 octubre del 2015	48
5.16	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	49
5.17	Resultados de las mediciones de Radón 222 del 07 al 26 febrero del 2016	49
5.18	Valores promedios de concentración de Radón y variables metrológicas	50
5.19	Concentración de gas Radón 222 ambiental promedio (Bq/m^3) de junio del 2013 a febrero del 2016 de acuerdo a los centros de medición	50
5.20	Medición de la concentración promedio de Radón 222, de los 6 sitios y valores atmosféricos promedios, por periodo.	53
5.21	Concentración de Radón 222 media anual	54
5.22	Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m^3) con la lluvia	56
5.23	Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m^3) con la Humedad Relativa (%)	57
5.24	Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m^3) con el viento	59



1. INTRODUCCIÓN

La radiactividad siempre ha estado presente en la evolución del hombre, pero solo fue hasta 1896 en que Becquerel la descubrió, cuando realizaba sus estudios de fluorescencia. Ahora sabemos que el 88% de la radiactividad ambiental es de origen natural y solo el 12% de origen artificial. La exposición al Radón gas y sus descendientes comprende un 53% de la radiación absorbida por un ser humano, incluyendo natural y artificial. El conocimiento de los niveles de Radón en los suelos de una región, ayuda a comprender el potencial de generación de este gas radiactivo en el agua que consume una población o en el aire que respira [1]. El radón en el aire atmosférico se difunde rápidamente, la concentración típica en la atmósfera es del orden de 10 Bq/m^3 , aunque puede variar en un amplio rango de valores, entre 1 y 100 Bq/m^3 , dependiendo de la exhalación de radón de cada terreno [2]. El Radón (^{222}Rn) se produce en la serie radiactiva del Uranio 238, exhala del suelo cuando el Radio 226 se desintegra al interior de las rocas, y pasa al aire, donde se desintegra y emite partículas radiactivas. Al respirar e inhalar esas partículas, estas se depositan en las células que recubren las vías respiratorias, donde pueden dañar el ADN y provocar cáncer de pulmón [3]. Los niveles de concentración varían enormemente entre un lugar y otro dependiendo de la geología del suelo, climatología y otros factores. Estos otros factores pueden ser la altitud, presión, temperatura, precipitación atmosférica etc.

El ^{222}Rn debido a su periodo de desintegración relativamente largo (3,8d), puede alcanzar la parte alta de la troposfera e incluso la estratosfera antes de decaer [4].

En Lima se han realizado mediciones de la concentración de Radón al aire libre (B. Pérez Ancaya-2015). Sin embargo, la influencia fuerte de las condiciones meteorológicas en el transporte de gases y partículas en el aire, impiden el uso de estos datos obtenidos para una región específica, en otras regiones con climas diferentes [5].

Huancayo, es una ciudad situada sobre los 3271 msnm y se sabe que no hay ningún estudio realizado sobre la medición de Radón en esta ciudad, donde predomina la minería de extracción de polimetales y también extracciones no metálicas, como arcilla, cal y mármol. Ingemmet informó que el valle del Mantaro tiene más de 1500 millones de toneladas inferidas de fosfatos [6]. En la parte céntrica de Huancayo, se identifican suelos tipo GM (graba-limo), y en la parte más alta encontramos suelos M-C (limo arcilloso). La emanación de átomos de Radón de los poros en los suelos como grava es de 15 – 40 % y en arcilla presenta de 30 – 70% [7].

El objetivo de este estudio es medir los niveles de Radón atmosférico en la ciudad de Huancayo y relacionar la concentración de Radón con algunos parámetros meteorológicos y estacionales para así determinar cuáles de estos parámetros son los que más influyen en las variaciones observadas en las concentraciones de actividad, a lo largo de los periodos de mediciones desde los años 2013 a 2016. Los datos correspondientes a las variables meteorológicas fueron tomados de la estación meteorológica Viques, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica del Perú SENAMHI, y se han considerado sus valores promedio durante el periodo de exposición de los detectores de radón.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 La radiactividad natural

La radiactividad es un fenómeno físico de gran interés científico e impacto tecnológico, está presente desde el origen del universo, pero fue solo hasta fines del siglo XIX (1896) en que el físico francés Henry Becquerel lo descubrió, y es el resultado de la propiedad de ciertos átomos o elementos inestables que están presentes en prácticamente todo lo que nos rodea, como en la tierra, en el aire, en los alimentos y también en nuestro cuerpo, estos se desintegran emitiendo radiación de diferentes tipos, disminuyendo así su radiactividad con el tiempo en forma espontánea hasta convertirse en átomos estables. El origen del término radiactividad proviene de la actividad del radio, y se extendió el término a todos los elementos que sufren transformaciones similares.

La radiactividad natural ha estado presente desde siempre, su origen puede ser cósmico o telúrico. La radiación cósmica, es aquella cuyo origen se debe a la radiación que proviene del espacio exterior (universo), tiene un gran poder de penetración y una elevada energía cinética, incide en la atmósfera terrestre y alcanza el suelo. La radiación que proviene directamente del espacio exterior se denomina Radiación Cósmica Primaria. Cuando la radiación cósmica primaria interacciona con los núcleos atómicos de la atmósfera, las partículas secundarias y la radiación electromagnética generada se denomina Radiación Cósmica Secundaria, y los radionúclidos producidos se denominan Radionúclidos Cosmogénicos [8].

De toda la radiación recibida por el hombre, la mayor parte proviene de fuentes naturales externas, radionúclidos terrestres y la radiación cósmica; y de fuentes naturales internas asociadas a radionúclidos que ingresan a nuestro organismo, siendo la principal vía de ingreso, la inhalación (gas Radón) y cuando ingerimos alimentos y agua.

Los radionúclidos naturales incluyen a radionúclidos primordiales, poseen vida media del orden de la edad de la Tierra y están presentes en la corteza terrestre, dentro de los más relevantes tenemos ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th y sus series de decaimiento. Radionúclidos cosmogénicos, los más importantes son el Carbono 14 (^{14}C), con una vida media de 5730 años, Hidrogeno 3 (tritio) (^3H) con 12,3 años de vida media y el Berilio 7 (^7Be) con una vida media de 53,29 días.

En la tabla 2.1 se presentan las estimaciones medias e individuales debidas a la exposición a todas las fuentes naturales. Si bien la radiación natural no cambia de manera significativa con el tiempo, el Radón en interiores puede variar significativamente por diferentes factores [9].

Tabla 2.1: Dosis media anual e intervalos de dosis individuales de radiación ionizante (en mSv) [9].

Fuentes de exposición naturales	Dosis media (mSv)	Intervalo típico	Observaciones
Inhalación (gas Radón)	1,26	0,2 - 10	La dosis es muy superior en algunas viviendas
Radiación externa	0,48	0,3 - 1	La dosis es superior en algunos lugares
Ingestión	0,29	0,2 - 1	
Radiación cósmica	0,39	0,3 - 1	La dosis aumenta con la altitud
Total	2,4	1 - 13	Grupos importantes de población reciben entre 10 y 20 mSv

2.1.1. Radiactividad Artificial

La radiactividad artificial se conduce con las leyes de la radiactividad natural, pero a diferencia de esta, es creada por el hombre y componen una pequeña fracción del total de radiación a que estamos expuestos, se produce en laboratorio por una reacción nuclear inducida, bombardeando el núcleo del átomo con otras partículas de gran velocidad (partículas alfa, beta, protones, neutrón, positrón y deuterón).

Este tipo de radiación es generada en primer lugar por aplicaciones médicas que incluye a la radiología de diagnóstico, la medicina nuclear y la radioterapia., después tenemos centrales nucleares, antiguas pruebas nucleares, accidentes nucleares como el accidente de Chernobyl, producción de energía nuclear y otras más. En la tabla 2.2 se muestra la comparación de las dosis anuales debidas a todas las fuentes. Las dosis varían según las características de los distintos lugares del mundo, también según el nivel de atención médica además de otros factores [9].

Tabla 2.2: Comparación entre dosis anuales de las diferentes fuentes de exposición [9].

FUENTE	Dosis Colectiva (Sievert/persona)	Dosis promedio anual (mSv)	Rango Característico de dosis individuales (mSv)	Comentarios
NATURALES	15 000 000	2,4	1 - 10	Grupos importantes de poblaciones reciben entre 10 – 20 mSv.
ARTIFICIALES				
Diagnostico medico	4200 000	0,6	0 – varias decenas	Promedio de 1,9 mSv en países de alto nivel sanitario
Ensayos nucleares atmosféricos	32 000	0,005	Fundamentalmente por actividad residual en suelos	Máximo 0,11 mSv en 1963
Exposición profesional	29 000	0,005	~ 0 – 20 en los trabajadores la media es 0,7 mSv	Las dosis medias más altas son originadas por la exposición a radiación natural (Radón en minas)
Energía Nuclear. Exposición al publico	1300	0,0002	Hasta 0,02 mSv a 11 km de algunos reactores.	

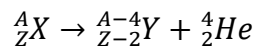
2.2 Radiación ionizante

La radiación es un proceso de propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

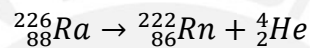
Un tipo de radiación que permite la propagación de partículas subatómicas es la radiación ionizante, aquella que es producida por átomos inestables que tienen un exceso de energía o masa o ambas. Los átomos inestables son radiactivos, estos al interactuar con la materia la ionizan, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo [10]

2.2.1. Desintegración alfa

Es una forma de desintegración radiactiva donde un núcleo atómico radiactivo emite en forma espontánea una partícula α (o núcleo de ${}^4\text{He}$) y se transforma en un núcleo con número atómico Z disminuido en 2 unidades y 4 unidades menos en el número de masa A . El proceso puede expresarse como:



Donde X se denomina núcleo padre e Y se denomina núcleo hijo. Un ejemplo de descomposición alfa es la descomposición del radio-226 en radón-222:



Para que se produzca una desintegración α se deben dar las siguientes condiciones:

- (i) La suma de los números másicos A antes y después de la desintegración debe ser igual,
- (ii) la carga neta debe conservarse en el proceso de desintegración y
- (iii) deben conservarse la energía y el momento lineal relativistas [11].

Si M_X denota la masa atómica del padre, M_Y denota la masa del hijo y M_α la masa de la partícula α , podemos definir la energía de desintegración Q como

$$Q = [M({}^A_Z X) - M({}^{A-4}_{Z-2} Y) - M({}^4_2 \text{He})]c^2$$

Para que se produzca la desintegración de forma espontánea se ha de tener que $Q > 0$, es decir, ha de liberarse energía en el proceso. La energía Q aparece en forma de energía cinética del núcleo hijo y de la partícula α . La cantidad Q también recibe el nombre de valor Q de la reacción nuclear.

$$Q = [M({}^A_Z X) - M({}^{A-4}_{Z-2} Y) - M({}^4_2 \text{He})]c^2 > 0$$

El valor Q para la desintegración α del ${}^{226}\text{Ra}$ será:

$$Q = [M({}^{226}_{88} \text{Ra}) - M({}^{222}_{86} \text{Rn}) - M({}^4_2 \text{He})]c^2$$

$$Q = [226.025403 - 222.017571 - 4.002603] \times 931.5 \text{ MeV} \approx 4.87 \text{ MeV}$$

Normalmente la mayor parte de la energía de desintegración se la lleva las partículas ligeras, en este caso la partícula α . Para comprender esto vamos a calcular la fracción de energía de desintegración que se lleva la partícula α aplicando la conservación de la energía y de la cantidad de movimiento [11].

Conservación de la energía:

$$Q = T_Y + T_\alpha$$

T_Y y T_α representan las energías cinéticas del núcleo hijo y de la partícula α , respectivamente.

Conservación del momento:

$$\vec{p}_X = \vec{p}_\alpha + \vec{p}_Y$$

Como la cantidad de movimiento del núcleo padre es cero (en reposo, ver figura 2.1), los momentos de las dos partículas emitidas deben iguales y opuestos

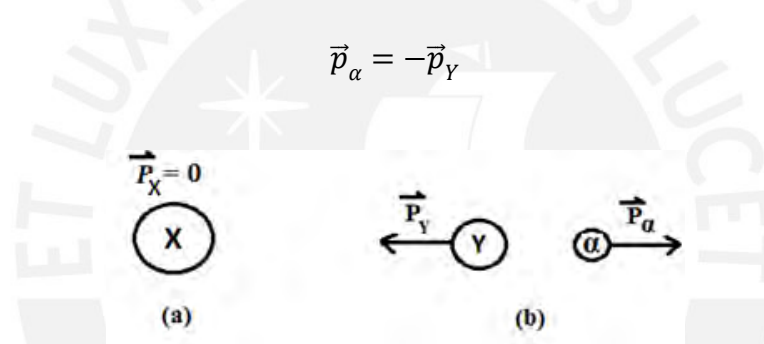


Figura 2.1: Desintegración α

El momento de la partícula α y el núcleo hijo son respectivamente:

$$p_\alpha = \sqrt{2M_\alpha T_\alpha}$$

$$p_Y = -\sqrt{2M_Y T_Y}$$

Sustituyendo en la en la ecuación de conservación del momento.

$$T_Y = \frac{M_\alpha}{M_Y} T_\alpha$$

Sustituyendo en la ecuación de conservación de energía.

$$Q = T_\alpha + \frac{M_\alpha}{M_Y} T_\alpha = \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_Y}\right) T_\alpha$$

Luego la energía de la partícula α es:

$$T_\alpha = \frac{Q}{1 + \frac{m_\alpha}{m_Y}}$$

Calculando la energía de la partícula α en la desintegración del Ra 226, tenemos.

$$T_{\alpha} = \frac{4.87}{1 + \frac{4.002603}{222.017571}} \approx 4.78 \text{ MeV}$$

2.2.2.Descripción física de la desintegración α

Supongamos el proceso inverso, en que la partícula α se acerca al núcleo Y como se muestra en la figura 2.2. La energía de repulsión es:

$$V(r) = K \frac{2(Z-2)e^2}{R}$$

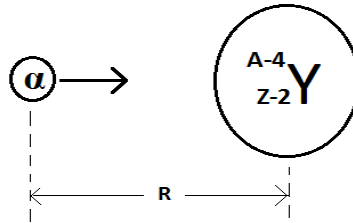


Figura 2.2: Partícula α acercándose al núcleo Y

La máxima energía de repulsión se alcanza cuando ambos núcleos están en contacto es decir:

$$V_{max}(r) = \frac{2(Z-2)Ke^2}{R_{\alpha} + R_Y} \approx \frac{2(Z-2)Ke^2}{r_0[4^{1/3} + (A-4)^{1/3}]}$$

Con esta ecuación, determinamos la máxima energía de repulsión para el Ra 226

$$\frac{Ke^2}{r_0} = \frac{\alpha\hbar c}{r_0} = \frac{197,3 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{137 \times 1,2 \text{ fm}} = 1,2 \text{ MeV}$$

$$\frac{2(Z-2)}{4^{1/3} + (A-4)^{1/3}} = \frac{2 \times 84}{1,58 + 222^{1/3}} = \frac{168}{1,58 + 6,05} = \frac{168}{7,63} = 22,02$$

Por cuanto:

$$V_{max}(r) = 1,2 \text{ MeV} \times 22,02 = 26,4 \text{ MeV}$$

Pero, según lo calculado anteriormente, la energía de la partícula α es $T_{\alpha} = 4,78 \text{ MeV}$. Vemos que una partícula α en el interior de un núcleo con una energía ($T_{\alpha} = 4,78 \text{ MeV}$) no tiene energía suficiente para remontar la barrera coulombiana de $V_{max}(r) = 26,4 \text{ MeV}$. Según la

mecánica clásica la desintegración α sería imposible. Sin embargo, según la mecánica cuántica, existe una probabilidad no nula de atravesar la barrera coulombiana (efecto túnel), lo que permite la desintegración α (figura 2.3).

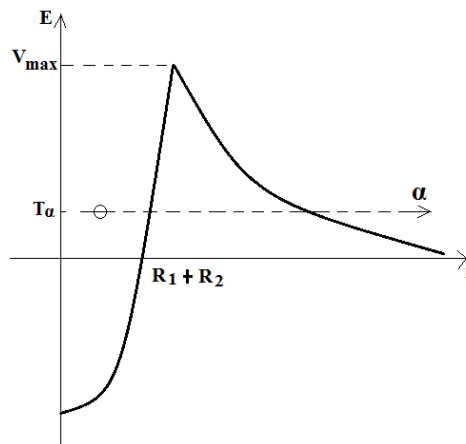
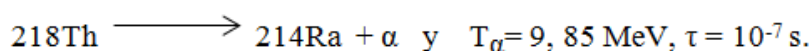
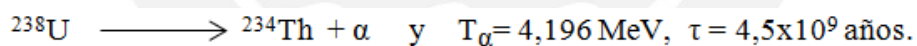


Figura 2.3: Esquema del efecto túnel para las partículas alfa

La probabilidad de que una partícula α atraviese la barrera coulombiana y se produzca la desintegración será mayor conforme más alta sea T_α . Existe, por tanto, una relación entre la energía de la partícula α emitida y el tiempo medio que emplea el núcleo en desintegrarse, denominado “vida media”. La vida media será más grande conforme más pequeña sea T_α y el rango de variación para los diferentes núcleos es muy grande (desde décimas de μs hasta millones de años para un rango de variación de T_α de 10 a 4 MeV).

Por ejemplo:



Puede ocurrir que un mismo núcleo pueda desintegrarse de varias formas, emitiendo partículas α de distintas energías. La diferencia reside en que el núcleo final puede encontrarse en su estado fundamental o en un estado excitado, como por ejemplo el ${}^{226}\text{Ra}$ puede desintegrarse de varias formas (figura 2.4).

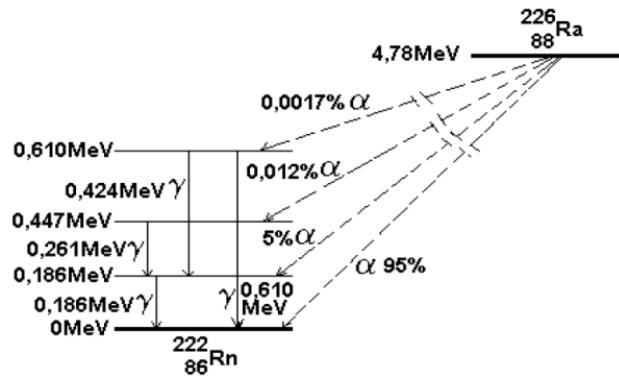


Figura 2.4: Diagrama de los niveles de energía de desintegración alfa de ^{226}Ra a ^{222}Rn [12]

2.2.3. Decaimiento radiactivo

En toda desintegración radiactiva del núcleo de un átomo, el proceso tiene naturaleza estadística, puesto que no es posible predecir el momento preciso en que un átomo sufrirá una desintegración. Solo se puede predecir la probabilidad de que ocurra.

La hipótesis básica de la teoría es que la probabilidad de desintegración por unidad del tiempo de cada átomo es constante independiente de la edad y del número de átomos.

$$\frac{P(t)}{t} = \lambda \rightarrow \text{constante de desintegración.}$$

Supongamos que en una muestra hay un número muy grande de átomos $N(t)$. La probabilidad de que un átomo se desintegre entre t y $t + dt$ será λdt . Por tanto, el número de átomos desintegrados entre t y $t + dt$ es $N(t) \lambda dt$.

$$N(t) - N(t + dt) = N(t) \lambda dt$$

$$dN = -\lambda N(t) dt$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N(t)$$

Que viene a ser la ley de la desintegración, o sea, el número de átomos desintegrados entre t y $t + dt$ es proporcional al número de átomos iniciales $N(t)$ y al intervalo dt . La solución de esta ecuación es:

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t}$$

El periodo de semidesintegración o semi-vida (*half-life*), ($T, t_{1/2}$) es el tiempo necesario para que el número de núcleos se reduzca a la mitad.

$$N(T) = \frac{1}{2} N(0)$$

Es decir:

$$N(0)e^{-\lambda T} = \frac{1}{2} N(0) \Rightarrow e^{-\lambda T} = \frac{1}{2} \Rightarrow 2 = e^{\lambda T} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

La vida media (τ)_o *mean lifetime* es el tiempo medio que un núcleo radiactivo es capaz de sobrevivir antes de desintegrarse. El tiempo de vida media es la media aritmética de los tiempos de vida de todos los núcleos, lo que se obtiene dividiendo por el número total de núcleos.

$$\tau = \bar{t} = \frac{-\int_0^{\infty} t dN}{N(0)} = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt$$

Resolviendo tenemos:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Es decir: $T = \tau \ln 2 = 0,693 \tau < \tau$

2.2.3.1. Actividad (A)

El número de núcleos que hay en una muestra, no es fácil de determinar, es más sencillo contar el número de desintegraciones por segundo. Eso es Actividad.

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

Actividad en $t = 0$

$$A(0) = \lambda N(0)$$

Po lo tanto:

$$\frac{A(t)}{A(0)} = \frac{\lambda N(0)e^{-\lambda t}}{\lambda N(0)} = e^{-\lambda t}$$

Si se mide la actividad en varios instantes de tiempo, se puede determinar λ .

Las unidades de actividad son:

Becquerel (SI): $1Bq = 1 \text{ desintegración/s}$

Curio: $1Ci = 3,7 \times 10^{10} \text{ desintegraciones/s} = \text{Actividad de un gramo de } ^{226}\text{Ra}$

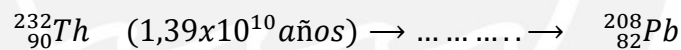
2.2.4. Series radiactivas naturales

Los materiales radiactivos presentes en la naturaleza corresponden a elementos pesados que se formaron en condiciones extremas en el interior de una estrella (súper nova que dio lugar al sistema planetario), hace unos $4,5 \times 10^9$ años.

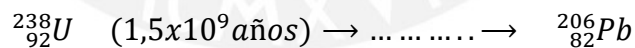
Dichos elementos inestables se desintegran en otros también radiactivos, que continúan desintegrándose, formando una cadena o serie radiactiva, hasta que terminan en un isotopo estable. Como las desintegraciones reducen el número másico en 4 unidades (α) o no lo modifican (β) podrían encontrarse cuatro familias distintas con números másicos $4n$, $4n+1$, $4n+2$ y $4n+3$.

Solo tres de las series radiactivas sobreviven en la actualidad.

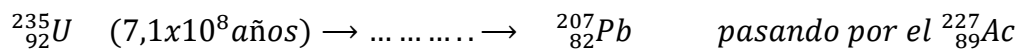
- Serie del Torio, $4n$



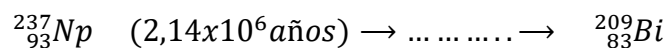
- Serie del Uranio, $4n + 2$



- Serie del Actinio, $4n + 3$



- Serie del Neptunio. No existe de forma natural porque no hay núcleos de vida medias comparables con la edad del sistema solar



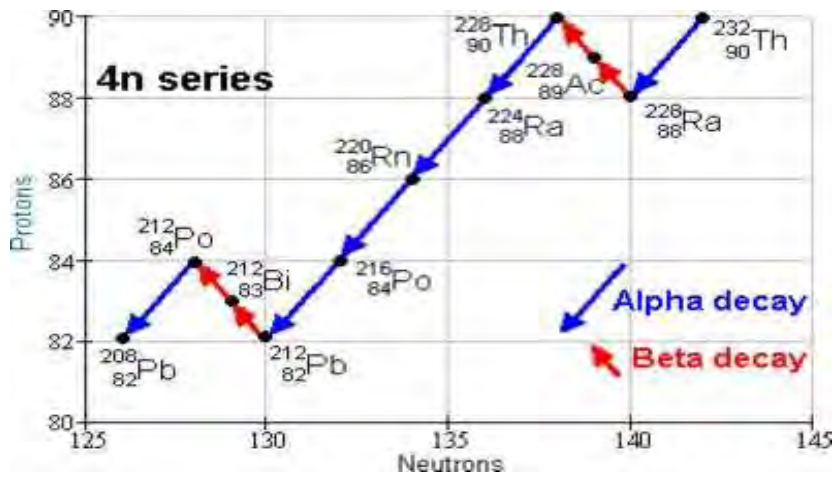


Figura 2.5: Serie del Torio, $4n$ [13]

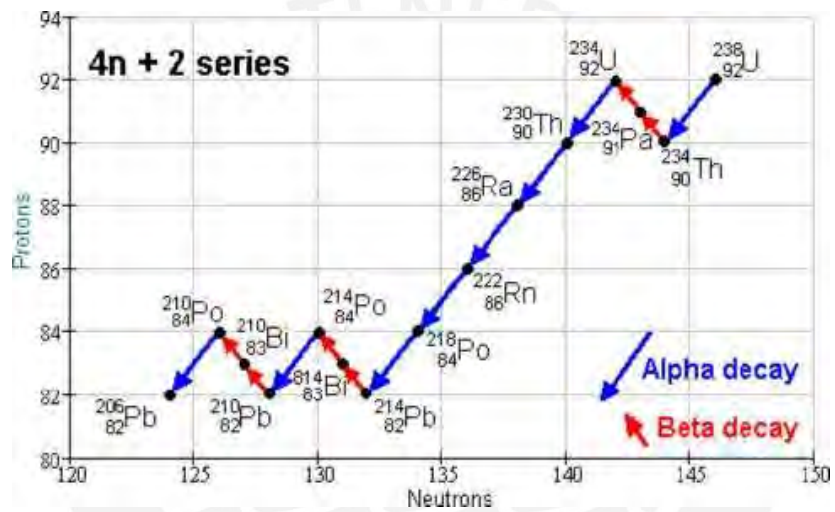


Figura 2.6: Serie del Uranio, $4n + 2$ [13]

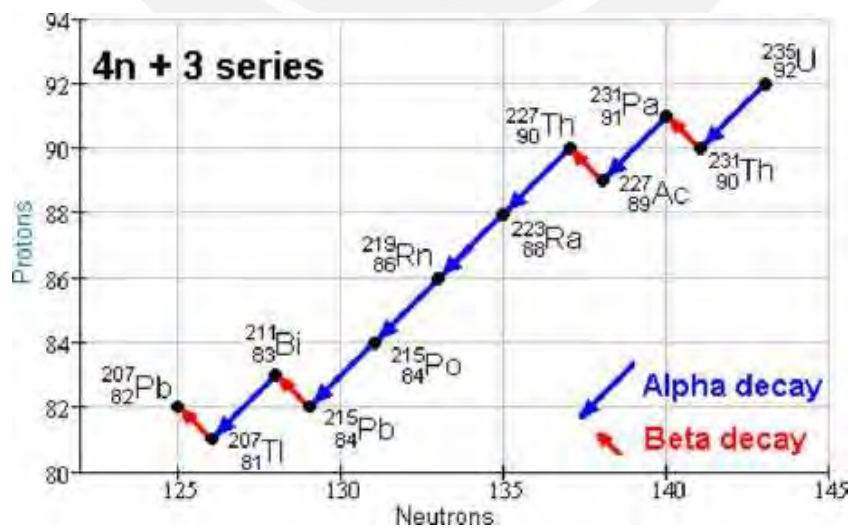
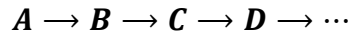


Figura 2.7: Serie del Actinio, $4n + 3$ [13]

2.2.4.1 Caso general de una cadena radiactiva



Supongamos que en $t = 0$ solo hay átomos de tipo A.

$$N_A(0) = N_0$$

$$N_B(0) = N_C(0) = N_D = \dots = 0$$

Por tanto:

$$dN_A(t) = -\lambda_A N_A(t) dt \Rightarrow N_A = N_0 e^{-\lambda_A t}$$

$$dN_B(t) = \lambda_A N_A dt - \lambda_B N_B dt \Rightarrow \frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B$$

$$\frac{dN_B}{dt} + \lambda_B N_B = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A t}$$

Probando con una solución.

$$N_B = \alpha e^{-\lambda_A t} + \beta e^{-\lambda_B t}$$

$$\frac{dN_B}{dt} = -\alpha \lambda_A e^{-\lambda_A t} - \beta \lambda_B e^{-\lambda_B t}$$

Quedando la ecuación:

$$-\alpha \lambda_A e^{-\lambda_A t} - \beta \lambda_B e^{-\lambda_B t} + \alpha \lambda_B e^{-\lambda_A t} + \beta \lambda_B e^{-\lambda_B t} = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A t}$$

$$\alpha(\lambda_B - \lambda_A) e^{-\lambda_A t} = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A t}$$

$$\alpha = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_0$$

Para encontrar el valor de β , imponemos $N_B(0) = 0$

$$N_B(0) = \alpha + \beta \Rightarrow \beta = -\alpha$$

Luego la solución es:

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_0 (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

Y la actividad:

$$A_B(t) = \lambda_B N_B = \frac{\lambda_A \lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} N_0 (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

Este procedimiento se generaliza a una cadena con varios miembros. La actividad del miembro n está dada por las ecuaciones de Bateman.

$$A_n(t) = N_0 \sum_{i=1}^n C_i e^{-\lambda_i t}$$

$$C_i = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n}{(\lambda_1 - \lambda_i) \dots (\lambda_{i-1} - \lambda_i)(\lambda_{i+1} - \lambda_i) \dots (\lambda_n - \lambda_i)}$$

$$C_i = \frac{\prod_{k=1}^n \lambda_k}{\prod_{k=1}^n (\lambda_k - \lambda_i)}$$

2.3 El gas Radón.

El gas Radón es un elemento químico, de símbolo Rn, número atómico 86, descubierto por el científico alemán Friedrich Ernst Dorn en 1900. Es incoloro, inodoro e insípido por lo que no puede ser percibido por los sentidos de los humanos, en condiciones normales presenta una baja reactividad química. Es un gas pesado y radiactivo que se creía químicamente inerte, pero a partir de 1962 se empezó a obtener compuestos de este elemento [14]

En condiciones normales de presión y temperatura, el Radón tiene una densidad de 9.73 kg/m³. De todos los gases nobles, es el más soluble en agua. Tiene alta movilidad debido a que se trata de un gas, lo que le permite emanar fácilmente del subsuelo hacia el medio ambiente [15]. En la tabla 2.3 se encuentran descritas las principales características que tiene el Radón

Tabla 2.3: Características del Radón [16]

Símbolo químico	Rn
Número atómico	86
Grupo	18
Periodo	6
Aspecto	incoloro
Bloque	p
Densidad	9.73 kg/m ³
Masa atómica	222 u
Radio atómico	120
Radio covalente	145 pm
Configuración electrónica	[Xe]4f14 5d10 6s2 6p6
Estados de oxidación	0 (desconocido)
Estructura cristalina	cúbica centrada en las caras
Estado	gaseoso
Punto de fusión	202 K
Punto de ebullición	211 K
Calor de fusión	2.89 kJ/mol
Calor específico	94 J/(kg·K)
Conductividad térmica	0,00364 W/(m·K)

2.3.1. Radón, elemento radiactivo

En las tres series radiactivas naturales, existe una característica común y es la presencia de tres isotopos radiactivos de Radón, el ^{222}Rn llamado Radón, el ^{220}Rn también conocido como torón y el ^{219}Rn o Actinón.

El Radón tiene un periodo de semidesintegración de 3,825 días y es producido debido a la desintegración del ^{226}Ra , que desciende del ^{238}U .

El Torón (^{220}Rn) que pertenece a la cadena radiactiva del Torio (^{232}Th), tiene un periodo de semidesintegración de 55 segundos y el Actinón ^{219}Rn , con un periodo de semidesintegración de solo 4 segundos, forma parte de la serie del ^{235}U .

Debido a que cada isótopo se encuentra en una serie radiactiva diferente, no se pueden considerar como una mezcla natural, si se encontrarían mezclados sería de forma arbitraria, debido a que sus progenitores se encuentran juntos en la corteza terrestre. [17]

Estos isótopos del Radón se encuentran en estado gaseoso en condiciones normales de presión y temperatura, y además su capacidad de reaccionar para formar compuestos moleculares es muy pequeña, al tratarse de un gas noble. Ello permite que una vez que se ha producido en el interior de la corteza terrestre, posea la capacidad de alcanzar la atmósfera por difusión molecular o por convección a través del terreno, de este modo será posible encontrar Radón y Torón mezclados con los gases atmosféricos y su distribución dependerá de los procesos atmosféricos y tipo del terreno [17].

Debido a que los procesos de difusión y convección en el terreno, y los procesos atmosféricos tienen unos tiempos de evolución muy superiores al periodo de desintegración del Torón, y en mayor grado del Actinón, estos isótopos del Radón no serán de gran interés radiológico en lo que respecta a su presencia en la atmósfera. Por tanto a la hora de evaluar la contribución a la dosis natural recibida por el público debido al Radón solo se suele tener en cuenta el ^{222}Rn [18].

El Radón ^{222}Rn decae en polonio 218, el cual es un metal y tiene un tiempo de vida media de 3.05 minutos y este a su vez decae en otros elementos radiactivos, llamados hijas de radón

o progenie, emitiendo partículas radioactivas ionizantes, las que resulta peligroso porque pueden causar efectos en la salud dañando el ADN [19].

La figura 2.8 muestra la contribución de las diferentes subseries de la familia del Uranio a la dosis interna anual. De los 1.24 mSv/año (UNSCEAR-Report 1988) 0.005 mSv/año proceden de la subserie Uranio 238 a Uranio 234, 0.007 mSv/año de la del torio 230, 1.017 mSv/año de la del Radón 222 a Polonio 214, 0.007 mSv/año del Radio 226 y ultimo 0.12 mSv/año de la del Plomo 210 a Polonio 210. Se puede observar que la mayor contribución a la dosis procede del Radón 222 y sus descendientes [8].

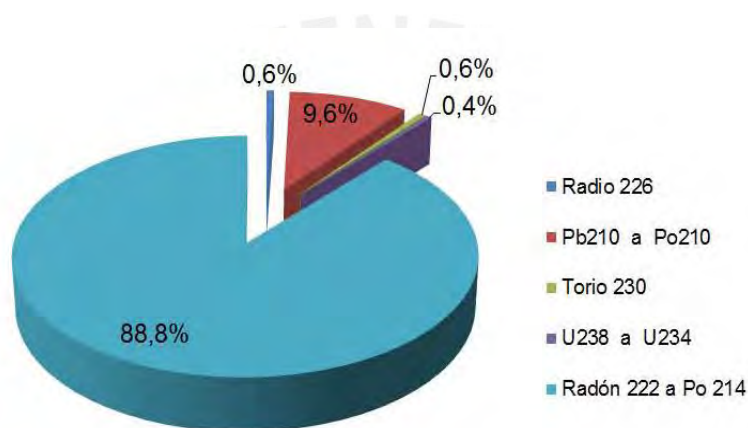


Figura 2.8: Contribución de la serie del ^{238}U a la dosis equivalente efectiva anual (1.24 mSv/año) [8].

2.3.2.Radón ambiental

El Radón 222, debido a su relativamente largo periodo de semidesintegración (3,825días) puede incluso alcanzar hasta la estratosfera antes de decaer, más no el Radón 220 de periodo de semidesintegración 55 segundos que debido a su muy corto periodo solo está presente en el aire que está más en contacto con el suelo. Las concentraciones que estos dos isótopos tienen en el aire son muy variables y dependen de las concentraciones de sus precursores como el Radio 226 y el Radio 224, y de la tasa de exhalación, pueden sufrir fuertes variaciones debido a factores como altitud, presión, temperatura, precipitación atmosférica, estación, etc. Así un incremento de la temperatura o una disminución de la presión atmosférica aumentarían la exhalación del Radón procedente del suelo [4]. Esta información es muy importante, para entender el comportamiento del Radón y sus productos de

desintegración de vida corta en el aire, así como para estimar dosis e interpretar resultados en el tratamiento de la exposición pública. [20].

La fuerte influencia de las condiciones meteorológicas en el transporte de gases y partículas en el medio ambiente (aire libre) impide el uso, para una región específica, de los datos obtenidos en regiones con climas diferente [5]. Para una determinada concentración de radón en el suelo, la concentración de este gas que emana en la atmósfera depende de la permeabilidad del suelo (si está seco, húmedo, congelado o cubierto de nieve) y de las condiciones meteorológicas (temperatura del suelo y temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento y dirección de soplado) [21].

Se estima, que la concentración mundial promedio de Radón a la que la población está expuesta, es de 10 Bq/m^3 (0,3 pCi/l) al aire libre y de 40 Bq/m^3 (1,1 pCi/l) en interiores [22]. En los Estados Unidos, estos promedios se estiman en 15 Bq/m^3 (0,4 pCi/l) al aire libre y 54 Bq/m^3 (1,5 pCi/l) en interiores [23].

Las mediciones de concentración de Radón al aire libre, se basan en mediciones dispersas, a corto plazo, incluso en los Estados Unidos, donde la ley de reducción de Radón en interiores (Public Law 100-5 51,1988) establece como objetivo, reducir los niveles de Radón en interiores a los niveles atmosféricos locales. Pero poco se ha hecho, en cuanto a mediciones de Radón al aire libre, a largo plazo [24] [25].

La importancia de los datos sobre el ^{222}Rn ambiental, fue señalada en el informe del UNSCEAR 1982. Se informó que no hay suficientes datos sobre las concentraciones ambientales de ^{222}Rn para estimar la dosis efectiva. Se destacó que la medición de concentración de ^{222}Rn ambiental, debería ser realizada por todos los países del mundo [26].

Podemos afirmar ahora y está científicamente comprobado, que el Radón, por su origen y sus características fisicoquímicas y su progenie, es cancerígeno, por lo tanto, es necesario investigar e identificar todas las zonas de riesgo potencial de exposición al Radón en el país [27].

La concentración de Radón ambiental en la atmósfera, dependerá básicamente de tres condiciones, en primer lugar, debido a la capacidad que tenga el gas de escapar de la estructura de la roca (emanación), donde los átomos de Radón logran escapar de un grano de material, como resultado de su retroceso cuando el radio se desintegra. Debido a que el rango de retroceso en los sólidos es pequeño, la mayoría de los átomos permanecen dentro de la red cristalina del mineral, pero solo cuando el retroceso termina fuera del grano o en un poro abierto, el Radón es capaz de migrar. En segundo lugar, depende de la porosidad y humedad presentes en el terreno para que el Radón pueda alcanzar la superficie (exhalación); en este proceso, el gas Radón es liberado hacia la atmósfera, tras ser transportado desde su origen. En tercer lugar, depende de las condiciones meteorológicas del medio como humedad, lluvia, temperatura, presión atmosférica, viento, etc. [28][29].

En la Figura 2.9 se muestra un dibujo esquemático del perfil de un suelo y un esquema del proceso de emanación de los átomos de ^{222}Rn procedentes de granos de material con contenido en ^{226}Ra .

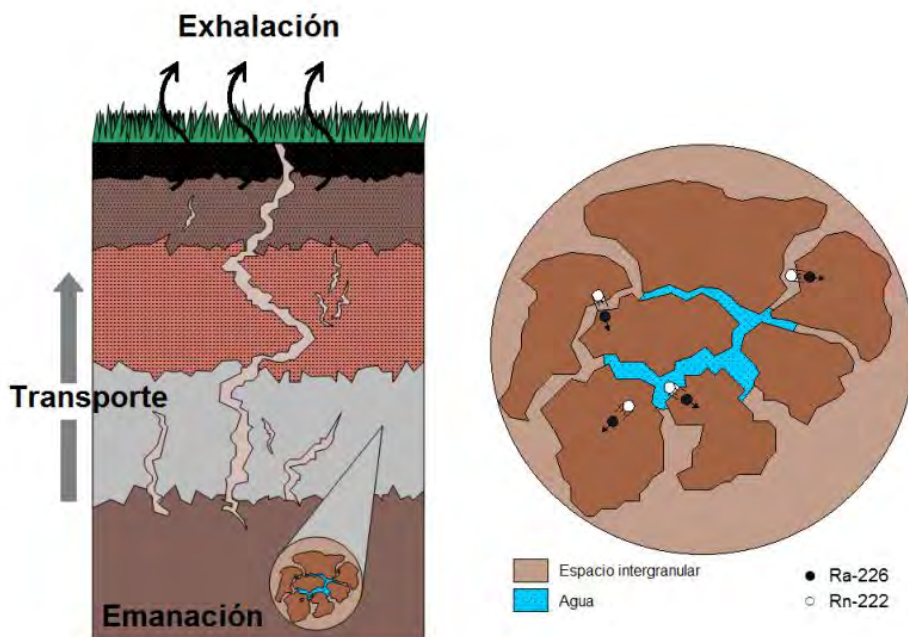


Figura 2.9: Dibujo del perfil de un suelo donde se señalan los procesos que experimenta el gas Radón y esquema del proceso de emanación del Radón ^{222}Rn procedente de la desintegración de los átomos ^{226}Ra en los granos del material. [30]

3. DETECTORES SÓLIDOS DE HUELLAS NUCLEARES

Los detectores de huellas nucleares (SSNTD Solid State Nuclear Track Detector) son muestras de material sólido dieléctrico como policarbonatos (CR-39), vidrios, celulosas nitradas (LR-115), entre otros, que registran radiación nuclear (partículas cargadas y neutrones) mediante un daño en el material [31]. Siempre han existido, pero fue a finales de los años 50 en que fueron redescubiertos. En 1958, Young fue el primero en observar estas formaciones microscópicas (pequeños orificios) en cristales de fluoruro de litio que fueron irradiados con fragmentos de fisión, debido a esto, Young realiza la primera publicación en este campo.

Los pioneros en el crecimiento y desarrollo de esta nueva disciplina se deben a los físicos R. Fleischer, P. Price y R. Walker, que en ese tiempo trabajaban en los laboratorios del General Electric en New York. Ellos además de lograr desarrollar la técnica también le dieron la aplicación en casi todas las ramas de la ciencia.

Las huellas nucleares son daños intensos en la estructura molecular, en la mayoría de los semiconductores sólidos, producidos por partículas nucleares y iones pesados que depositan toda o parte de su energía, además se puede mencionar que no se han encontrado hasta ahora huellas en los materiales conductores, esto es porque los electrones desplazados en el material conductor pueden ser fácilmente sustituidos por otros electrones, haciendo imposible la formación de la huella [32].

Existen diferentes tipos de detectores, como LR-115, CR-39, Makrofol, Lexano, Cuarzo, Mica, Obsidiana, etc. y pueden ser de origen mineral, cristal, vidrios, polímeros etc. (tabla 3.1).

Los SSNTDs más utilizados para medir Radón, son el CR-39 y el LR-115, empleados generalmente para registrar la densidad de huellas, y así poder estimar la concentración de Radón, una diferencia entre estos dos detectores es que el CR-39 es también sensible a las

hijas del Radón depositadas sobre su superficie, mientras que el LR-115 no reconoce fácilmente a la progenie del Radón porque estas, están fuera del rango energético de detección (energías $> 4,5\text{MeV}$) [31].

Los detectores de huellas nucleares han logrado un gran desarrollo en el registro y caracterización de las partículas cargadas, debido a su versatilidad. Son aplicados en muchas disciplinas científicas y tecnológicas en las diversas ramas de la ciencia como por ejemplo en física nuclear para visualizar ciertas reacciones nucleares, buscar monopolios magnéticos, investigar fotofisiones de alta energía. En Geología y Arqueología, mediante la datación por trazas de fisión, registrando buenos resultados en muestras geológicas, arqueológicas y cosmológicas. En Cosmología, se han utilizado detectores en el estudio del flujo de rayos cósmicos sobre la superficie lunar, se estudiaron huellas nucleares en meteoritos. En Biología, el desarrollo de la detección de huellas nucleares ha contribuido en la fabricación de microfiltros que son utilizados para filtrar las células cancerosas en la sangre, además se han utilizado también para filtrar el polvo y otras suspensiones del aire [33].

Tabla 3.1: Detectores de huellas nucleares producidas por partículas alfa [34]

Categoría	Material del detector	Baño Químico (Etching)	Partícula detectable	Angulo crítico Q_c
Mineral	Olivina	KOH Soln., 160°C, 6 min; 10 % HF, 23°C, 30 sec.	Fe	
Cristales	Zirconio	85 % H ₃ PO ₄ , 500°C, 1 min	Ca	
	Quarzo	KOH Soln., 210°C, 10 min.	Ar (100 MeV)	
	Mica	48 % HF, 23°C, 3 Sec- 40 min.	Ne (20 MeV)	4° 30'
Vidrios	Sodalime glass	48 % HF, 23°C, 3 Sec.	Ne (20 MeV)	~ 50°
	Phosphate glass	48 % HF, 23°C, 3 Sec.	F (20 MeV)	1-5°
Polímeros	Polycarbonatos Plásticos: Lexan, Makrafol, Milar.	6 N NaOH, 60°C, 60 min.	He (0.3 MeV)	~ 2-3°
	Cellulose Nitrate (CN): Daicell, LR-115, CA-80-15.	3-6N NaOH, 50°C, 40 min. 2.5 N NaOH, 60°C, 60 min.	H (0.5 MeV) alfas radón gas	~ 4-8°
	Allyldiglycol Polycarbonate (CR-39)	6 N NaOH, 70°C, 1-4 hrs.	H (1.0 MeV)	~ 10°

3.1 Detectores LR-115

Son películas delgadas de nitrato de celulosa, de color rojo intenso, de espesor 6 micras si es del “tipo 1” y espesor 12 micras si es del “tipo 2”, sobre una base de poliéster de 100 micras (figura 3.1). En la capa de 6 o 12 micras (capa activa o sensible) es donde ocurre la detección de partículas alfa (capa sensible) [35].

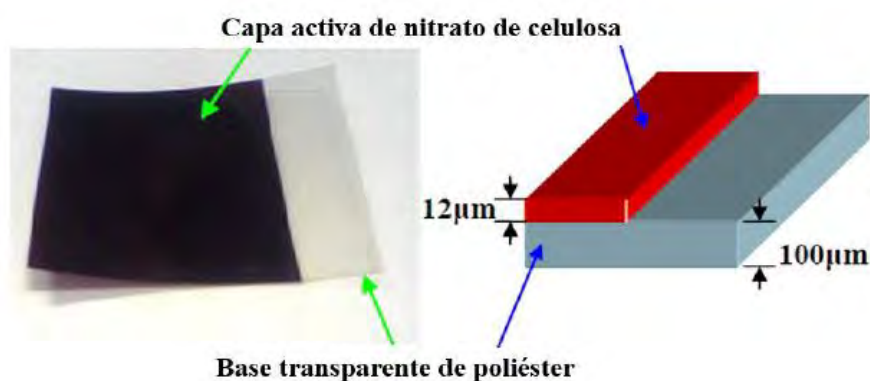


Figura 3.1: Esquema descriptivo de capas del detector LR-115 [31].

Cuando una partícula alfa incide sobre el nitrato de celulosa, se produce un daño en la estructura molecular de la película, el cual se puede observar, cuando la película expuesta se graba en un baño de solución diluida de hidróxido sodio (NaOH) bajo condiciones específicas. Después de este proceso, se observan pequeños agujeros bajo un microscopio óptico y pueden contarse, pueden ser cuantificados con precisión. Los agujeros, tienen diámetros de $1\mu\text{m}$ a $15\mu\text{m}$ y están situados donde las alfas incidieron sobre la película [36].

Las partículas α en el aire viajan dependiendo de su energía, que por lo general fluctúan en distancias de unos pocos centímetros. Para que las partículas alfa sean registradas en el detector LR-115 Tipo 2, estas deben llegar al detector con energías comprendidas dentro del rango de 0,8 - 4,5 MeV. Como el Radón y su progenie emiten las partículas α con energías superiores al rango ($> 4,5$ MeV) estas deberán recorrer cierta distancia en el aire para ser detectadas y que se generan muy cerca de la superficie del LR-115 tipo 2, pasan a través de la capa sensible del detector sin causar ninguna interacción y por tanto sin dejar ninguna huella, como se puede apreciar en la figura 3.2 [35].

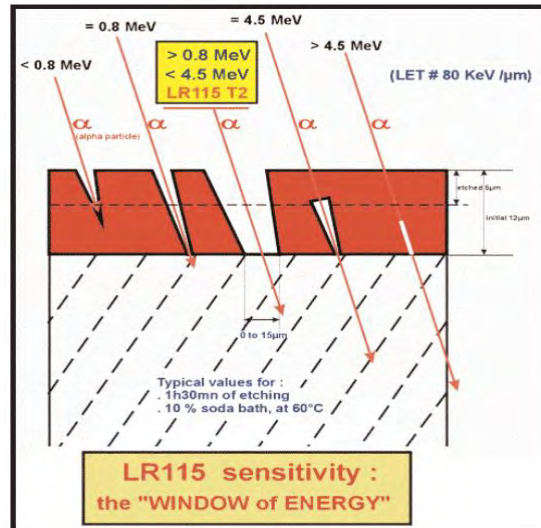


Figura 3.2: Sensibilidad del detector LR-115 [35]

Las trazas producidas en el LR-115 tipo 2 como en todos los SSNTDs poliméricos, se deben a la ruptura de estructuras moleculares en el material detector y se les conoce como trazas latentes. Estos daños tienen tamaños del orden de los nanómetros, lo que dificulta su visualización a través de un microscopio óptico de transmisión, es por esto que los detectores son inmersos o revelados en una solución alcalina, que expande las rupturas hasta aumentar sus dimensiones al orden de los micrómetros, dando lugar a lo que se conoce como traza revelada. Ambos daños son producidos, es decir las trazas latentes y reveladas, por procesos físicos y químicos respectivamente [31].

El número de huellas por unidad de superficie, después de sustraer el recuento de fondo, es directamente proporcional a la concentración del Radón.

Las condiciones para el grabado químico dependen del tipo de detector, la solución química, tiempo y temperatura. En el presente trabajo realizamos el tratamiento o revelado químico sumergiendo las películas irradiadas LR-115 tipo 2 en una solución que remueve el material detector eliminando parte del nitrato de celulosa. Los polímeros LR-115 tipo 2 son grabados bajo condiciones estándares de revelado, aplicándoles una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) con una concentración de 2,5 N a 60°C, de temperatura que se logra a través de un baño maría. La solución ataca químicamente al detector perdiendo cierta cantidad de espesor, en el caso de los detectores LR-115, de nitrato de celulosa con una tasa de revelado masivo de aproximadamente 3,27 $\mu\text{m}/\text{h}$ [37].

Analizando los detectores LR-115 tipo 2 a través de un microscopio óptico, se observan las trazas hechas por las partículas α como puntos brillantes de luz. Así las trazas son fácilmente distinguibles de las partículas de polvo o de los defectos superficiales de la capa sensible del detector. Es importante conservar las películas de LR-115 tipo 2 en un lugar seco y fresco (temperatura menor a 10°C y humedad menor al 50%), si se desea mantenerlas en buen estado y a la hora de manipularlas es recomendable utilizar guantes de laboratorio [38].

3.2 Modelo para describir formación de la huella nuclear

En 1962 Price y Walker observaron por medio de un microscopio electrónico de transmisión que el diámetro de la región dañada en una mica expuesta a fragmentos de fisión era del orden de los 50Å. En 1960 Heckman estudia los depósitos de energías en sólidos debido a la formación de huellas, por lo que, si un átomo con número atómico (Z), se mueve a través de un sólido, este por efecto de la interacción eléctrica se convertirá en un ion positivo de carga (Z^*) al ser desalojado de algunos o todos sus electrones originales. Estableciendo en forma empírica la expresión [32]:

$$Z^* = Z \left[1 - \exp \left(\frac{-130\beta}{Z^{2/3}} \right) \right]$$

Dónde:

- β = velocidad v del ion respecto a la velocidad de la luz.
- Z^* = carga del ion adquirida.
- Z = número atómico del átomo original

En este paso de las partículas por la materia, pueden producir colisiones, y tiene dos efectos en la misma, dependiendo básicamente de la velocidad del ion. Para velocidades altas, la interacción dominante es de tipo eléctrica produciendo, primero la excitación de los electrones del sólido o segundo la pérdida de los electrones de los átomos del sólido. Ahora bien, en los polímeros como el LR-115 tipo 2, la sobre excitación puede provocar un rompimiento de cadenas moleculares largas y producir radicales libres, produciendo así “centros de tensión”, mientras que los electrones desplazados, conocidos como rayos deltas, pueden producir excitación y ionización si tienen suficiente energía [39].

La formación de una huella nuclear es diferente si el material detector es un sólido inorgánico o un polímero. Para el estudio de formación de huellas en los polímeros, el modelo más aceptado, es el “*Modelo de la Punta de Explosión Iónica*” (en inglés, *Ion Explosion Spike Model*), el cual consiste en la formación de una orientación inestable electrostática a lo largo del patrón de ionización de la partícula, produciéndose una repulsión de los iones, desde sus sitios originales hacia sus posiciones intersticiales, seguido de la producción de iones primarios se produce una “formación de iones intersticiales” y de sitios vacantes en la red, producto de las fuerzas coulombianas, disminuyendo el relajamiento elástico, expandiendo el “esfuerzo” del material hacia los lados de la trayectoria de la partícula nuclear (rayos delta), pudiendo este esfuerzo observarse mediante un microscopio electrónico de transmisión, ver figuras 3.3 y 3.4 [32].

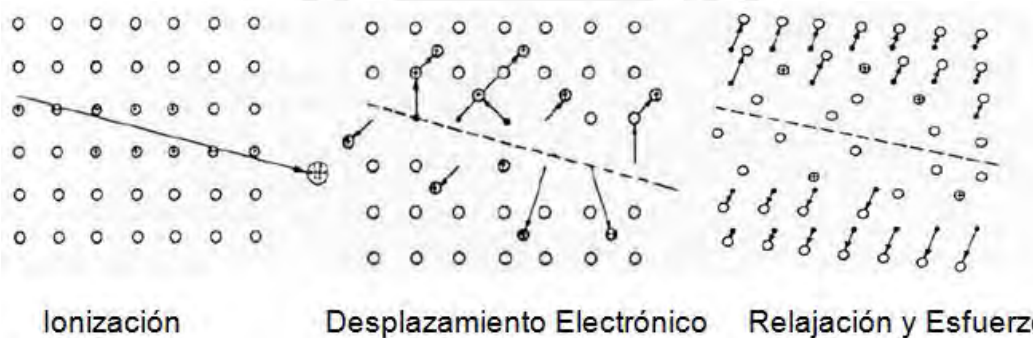


Figura 3.3: Mecanismo de punta de explosión iónica para la formación de trazas en sólidos inorgánicos [32].

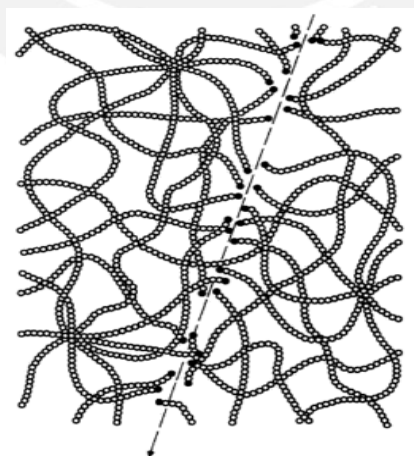


Figura 3.4: Formación de la huella en polímeros [40].

3.3 Geometría de la huella debido al revelado químico

En la formación de la huella revelada, existen dos factores importantes en la formación: uno que varía con la profundidad de la huella y que llamamos velocidad de revelado de la huella latente (V_t) y el otro es la velocidad de revelado volumétrico (V_b), isótropa y será constante para este caso. Para visualizar la huella revelada a través del microscopio de transmisión, se debe de cumplir $V_t > V_b$. Cuando la solución de revelado alcanza el final de la huella latente ambas velocidades son iguales ($V_t = V_b$) [40].

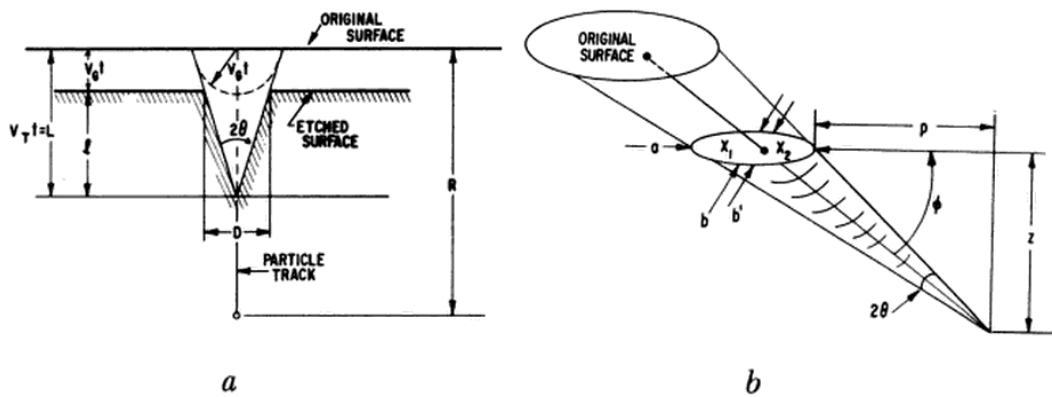


Figura 3.5: Perfiles de trazas reveladas V_t constante, para: (a) Incidencia normal. (b) Incidencia oblicua con ángulo ϕ [40].

La tasa de revelado depende mucho de las características de la partícula radiactiva (como masa, carga energía) y también las condiciones de revelado químico.

Hasta ahora no existe una teoría que realice una explicación satisfactoria de la formación geométrica de la traza revelada, pero se puede hacer una analogía entre el desarrollo de la huella revelada y la propagación de ondas [41].

3.3.1. Velocidad de revelado volumétrico (V_b)

Es la velocidad con la que la solución química (NaOH) remueve la superficie del detector LR-115 durante el proceso de revelado, donde algunas moléculas son desplazadas desgastando en capas la superficie del material detector reduciendo así su espesor. Se puede medir V_b con diversos métodos tanto directos como indirectos.

4. DETECCIÓN DE RADÓN 222 ATMOSFÉRICO EN HUANCAYO-PERÚ

4.1 Ciudad de Huancayo, departamento de Junín-Perú

Fundada como *Santísima Trinidad de Huancayo* el 1 de junio de 1572, es la ciudad más importante de la sierra central del Perú (figura 4.1) y está situada al sur del Valle del Mantaro. Es el distrito capital del departamento de Junín y de la provincia de Huancayo [42].



https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Jun%C3%ADn

(a)

(b)

Figura 4.1: (a) Mapa del Perú, departamento de Junín en rojo.

(b) Departamento de Junín, su capital Huancayo.

La provincia de Huancayo, del departamento de Junín, tiene una superficie aproximada de 3558.1 m², se encuentra localizada a 12° 4' S de latitud y 75° 13' W de longitud, posee un clima templado y seco, encontrándose a 3259 m.s.n.m. y a una distancia de 298 km de la capital Lima-Perú.

Sus límites son:

Norte : Provincias de Chupaca y Concepción

Sur : Departamento de Huancavelica.

Este : Provincia de Satipo

Oeste : Departamento de Lima.

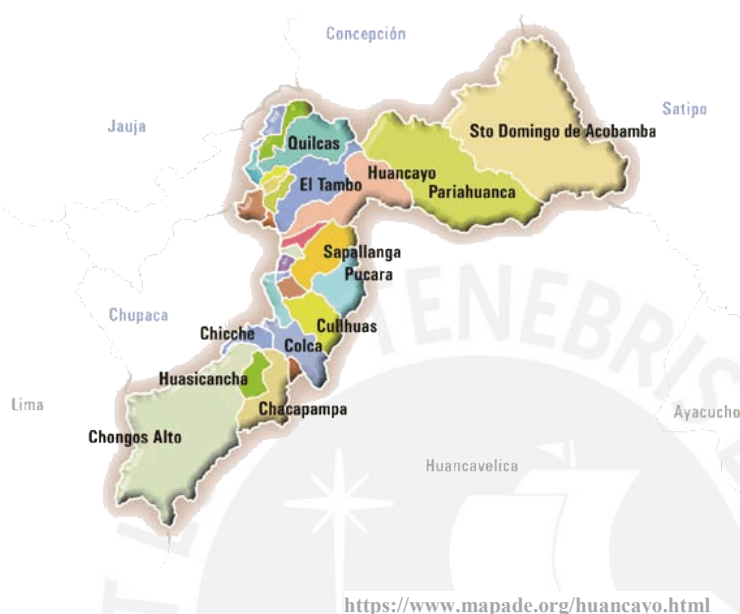


Figura 4.2: Provincia de Huancayo, límites y localización de la ciudad de Huancayo.

Se conoce en general que los suelos están formados por granos de diversos tamaños y componentes, como rocas, arena, arcilla, limo, minerales y otros elementos. La estructura de un suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan se denominan agregados.

En función de la estructura de los suelos, en Huancayo se tiene, suelos del tipo GM (grava y limo) en la parte céntrica de Huancayo (llámese el contorno de la ciudad, la Plaza Constitución, la Municipalidad, Gobierno Regional, Conjunto Habitacional FONCODES, Urbanización Los Sauces), pero en la parte más alta, se encuentran suelos del tipo ML (limo con baja plasticidad), CL (arcilla con baja plasticidad y limos arcillosos), y en El Tambo, se puede encontrar suelos del tipo GP (Gravas mal graduadas) y GP-GM (gravas con poco contenido de limos) [43] .

También se conoce, que mientras más pequeña y porosa sea la partícula en la que el átomo de Radón es formado, hay mayor oportunidad que este gas escape y se genere así una mayor concentración de Radón en un suelo [7].

Tabla 4.1: Tamaño, porosidad de granos de suelo y emanación de átomos de Radón de poros con aire en varios suelos [7]

Tipos de suelo y roca	Tamaño del grano	Porosidad (%)	e (%)
Arcilla fina	<0.6 um (la mayoría de los granos de arcilla son < 0.06 um)	40 - 70	30 - 70
Arcilla gruesa	0.6-2 um		
Limo	2-60 um	35 - 50	-----
Arena	60-2000 um	25 - 50	15 - 30
Grava	2000-60000 um	25 - 40	15 - 40
Roca	-----	5 - 50	5 - 15

Como se muestra en la tabla 4.1, las partículas de arcilla son muy pequeñas, presentando un elevado porcentaje de porosidad ofreciendo poca resistencia al desplazamiento del Radón llegando sin dificultad a la superficie del suelo y al aire exterior (exhalación). El limo también presenta alto porcentaje de porosidad aunque en menor grado que la arcilla.

En cuanto a las estaciones climatológicas, en Huancayo, no se perciben nítidamente las cuatro, solo se distinguen dos estaciones. Desde la tercera semana de octubre hasta la primera semana de abril (gran parte de la primavera y todo el verano) representa la temporada de lluvias, registrándose las mayores precipitaciones en el mes de febrero. A partir de la segunda semana de abril a mediados de octubre, representa la temporada de menor cantidad de lluvias (temporada “seca” o periodo “sin lluvia”) ver figura 4.3. La Temperatura media anual máxima es de 23°C y la mínima 3°C [44].

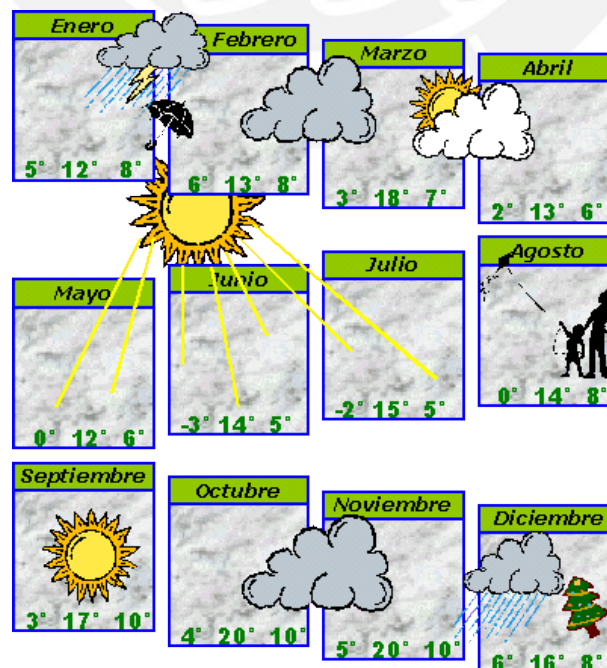


Figura 4.3: Variación de las condiciones meteorológicas de Huancayo [44].

En este trabajo, se han realizado mediciones en la ciudad de Huancayo en los sitios indicados en la figura 4.4, en tres periodos por año durante los años 2013 al 2016.

4.2 Materiales y metodología

En esta investigación, se seleccionaron 6 sitios de medición de Radón en la ciudad de Huancayo (figura 4.4), teniendo en común que todos los sitios de medición, se encuentran a aproximadamente 9 metros del nivel de la superficie del suelo. Fueron elegidos a esa altura para evitar o disminuir el excesivo polvo característico de la ciudad que puede depositarse en los detectores, puesto que, la ciudad está cercana a centros mineros o a sitios de excavación. El objetivo principal era medir el Radón atmosférico, evitando el polvo ambiental u otros contaminantes.

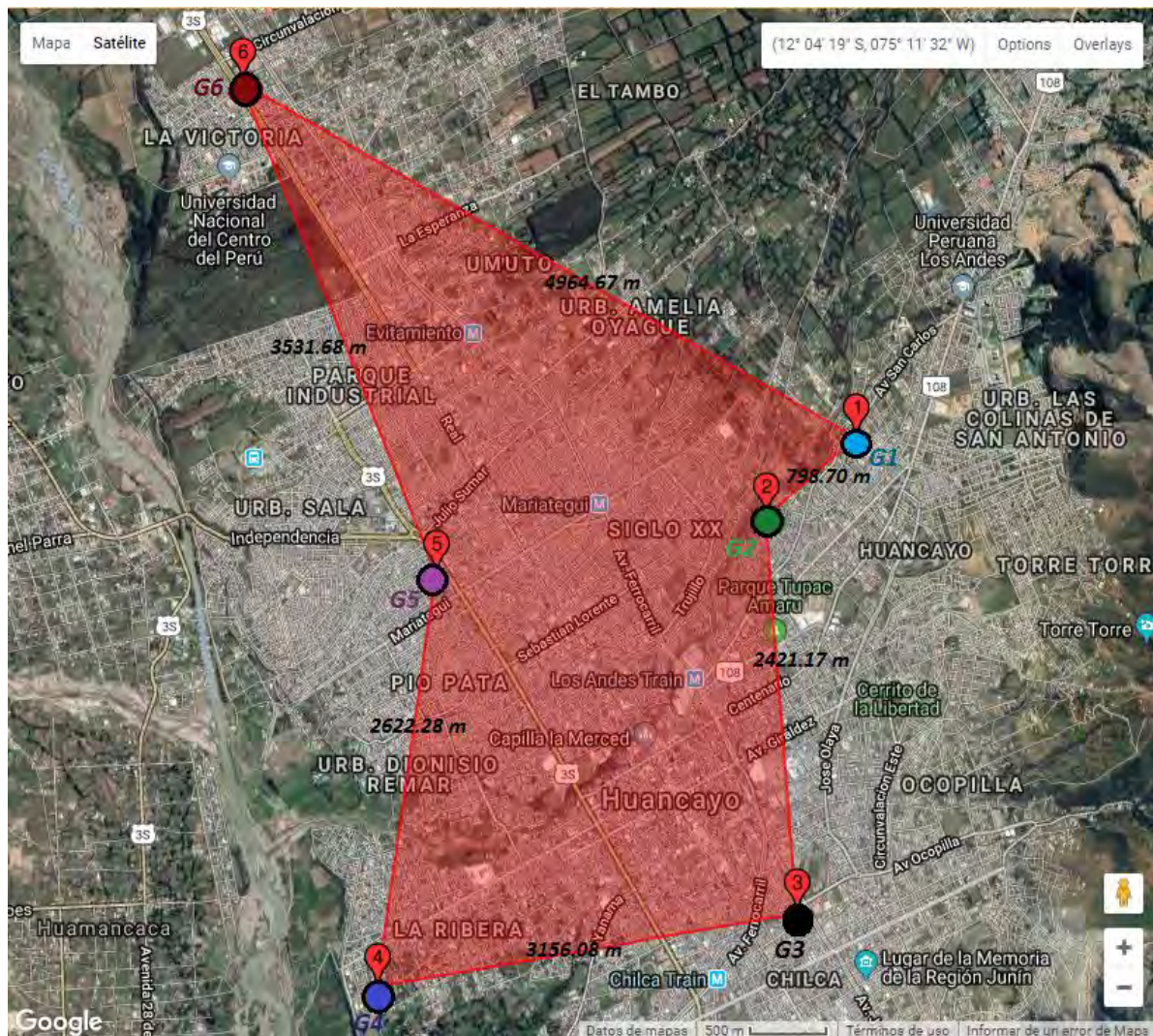
La ciudad de Huancayo está incluida en zonas de atención prioritaria de calidad del aire del Ministerio de Ambiente de Perú (MINAM); siendo el material particulado (MP), el principal problema de calidad de aire, registrando para el MP10 (material particulado menor a $10\mu\text{m}$) un valor promedio de $64,54 \pm 30,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando el estándar de Calidad Ambiental (ECA) anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en más del 29%. Los cinco elementos más abundantes del MP10 de Huancayo, durante el periodo en que se monitoreo, fueron el Sí, Ca, Al, Fe y K ocupando el 7,6% del MP10, indicando la dominancia de elementos geológicos cuya fuente principal es el suelo [45].

El registro para el MP2,5 (material particulado menor a $2,5\mu\text{m}$) fue de $34,47 \pm 14,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando en más del doble el ECA anual ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los cinco elementos químicos más abundantes en el PM2,5 fueron el S, Si, K, Ca y Cl; la gran presencia del S en este tamaño de partícula podría estar relacionado con la quema de biomasa. Los elementos Si, K y Ca pertenecen a los elementos geológicos de los suelos [45].

Los sitios de medición se encuentran ubicados en las direcciones siguientes:

- La azotea del pabellón “D” de la Universidad Continental de Huancayo. (Lat.: $12^\circ 02' 52''$ S, Lon: $075^\circ 11' 54''$ O)
- La azotea de una casa ubicada en el pasaje San Nicolás, Urb. San Luis. (Lat.: $12^\circ 03' 08''$ S, Lon: $075^\circ 12' 16''$ O)

- La azotea de una casa ubicada en el Jr. Montani (Lat.: 12° 04' 27" S, Lon: 075° 12' 11" O)
- La azotea de una casa ubicada en el Jr. Lima (Lat.: 12° 04' 46" S, Lon: 075° 13' 39" O)
- La azotea de una casa ubicada en el distrito de El Tambo. Los Manzanos. (Lat.: 12° 03' 19" S, Lon: 075° 13' 28" O)
- La azotea de una casa ubicada en la Av. Mariscal Castilla (Lat.: 12° 01' 36" S, Lon: 075° 14' 11" O). Como se aprecia en la figura 4.4 del plano de ubicación.



LEYENDA	
●	Av. San Carlos 1980, Univ. Continental, Hyo. (DETECTORES GRUPO 1)
●	Pje. San Nicolás N°162, Urb. San Luis, Hyo. (DETECTORES GRUPO 2)
●	Jr. Montani N° 375, Hyo. (DETECTORES GRUPO 3)
●	Jr. Lima 2335, Hyo. (DETECTORES GRUPO 4)
●	Mz. 1274, El Tambo. Hyo. (DETECTORES GRUPO 5)
●	Av. Mariscal Castilla Mz 2 Lt 4, Hyo. (DETECTORES GRUPO 6)

Figura 4.4: Plano de ubicación de los sitios donde se han realizado las mediciones de Radón al aire libre.

4.3 Detectores y toma de datos

Se utilizaron 48 detectores del LR-115, tipo 2, de tamaño 2 cm x 2 cm, por periodo de muestreo (se realizaron 9 periodos de muestreo) colocados sobre una base de vidrio (porta muestras de microscopio) de dimensiones 7.5cm de largo, 2.5cm de ancho. Se usaron vasos de plástico descartables de 7 oz, altura 8.5cm, 6cm de diámetro mayor y 4cm de diámetro menor. Se realizaron 2 cortes horizontales a 4.5cm de la base en cada uno de los vasos para poder colocar los detectores puestos sobre la base de vidrio, en forma horizontal, donde indica también el código del detector, fecha, hora de inicio y fecha, hora final de muestreo. Además, se hizo orificios de aproximadamente 1 cm de diámetro en la parte inferior de los vasos, para que cuando hubiera lluvia, se pueda evacuar el agua almacenada en ellos (figura 4.5). Los vasos fueron pegados con silicona a una base gruesa de vidrio, para que el viento no se lleve los vasos (figura 4.6).



Figura 4.5: Vaso con orificios para evacuación de agua debido a las lluvias.

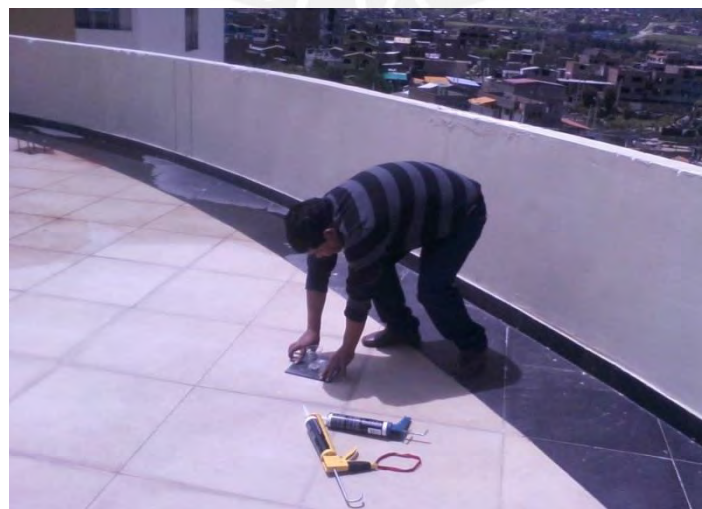


Figura 4.6: Base de vidrio grueso fijada con silicona especial al techo de la azotea, para para que el viento no se lleve los vasos.



Figura 4.7: Detector ya instalado.

Los detectores ya preparados (Figura 4.7) se colocaron en la azotea de cada edificación (ocho detectores por cada inmueble) ubicados dos a dos en los cuatro puntos cardinales para siempre tener la misma disposición de detectores en todos los sitios de medición (Figura 4.8), por un periodo de tiempo de 20 días. Este tiempo fue determinado previamente en un estudio con los detectores LR-115 tipo 2; se determinó el tiempo de exposición y de revelado químico para la obtención de la traza, teniendo en cuenta el alto nivel de radiación UV en la ciudad.



Figura 4.8: Detectores colocados por pares orientados en los cuatro puntos cardinales.

4.4 Recojo de detectores y grabado químico

Se hicieron estudios previos para determinar las condiciones de exposición y grabado de detectores de LR115-tipo 2 en ambientes exteriores con alto índice de UV en la ciudad de Huancayo, encontrándose que su incidencia provoca daños de importancia en el material detector, debido a que esta ciudad presenta uno de los niveles más altos de radiación UV (Figura 4.9).



Figura 4.9: Detector dañado por alto valores de radiación UV

Después de continuas pruebas durante 4 meses (febrero a mayo del 2013) variando el tiempo de exposición y de grabado se llegó al valor aceptable de 20 días de exposición y 20 minutos de grabado. Finalmente, estas condiciones así determinadas, se han aplicado en toda esta investigación, como se describe a continuación.

Después de la exposición durante 20 días, los detectores LR-115- tipo 2 fueron recolectados y sometidos al grabado químico. Para el grabado químico, se realiza una inmersión en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a 2,5 N a una temperatura constante de 60° C durante 20 minutos, tiempo determinado para los detectores de LR115-tipo 2 expuestos al exterior en presencia de valores altos de UV (figura 4.10).

Para obtener una buena lectura de los detectores LR-115- tipo 2, estos se enjuagaron repetidamente con agua destilada en otros envases, eliminando residuos e impurezas que hayan quedado desde el primer enjuague, posteriormente se dejan secar durante un tiempo de mínimo 24 horas.



Figura 4.10: Equipo termostático para grabado químico a $(60 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$

4.5 Densidad de huellas y concentración de Radón

Luego que los detectores fueron grabados con el procedimiento anterior, se procedió a la lectura o conteo de huellas usando un microscopio óptico marca LEICA, modelo DM LM con aumento de la lente objetivo 10X, teniendo presente de colocar la parte sensible del detector frente a la lente del microscopio. La lectura de huellas se realizó tomando en cuenta el campo de visión del microscopio de $3,89 \text{ mm}^2$ ya calculado en un trabajo de investigación anterior [10]. Con este procedimiento de lectura, se contabilizó las huellas en cada detector.

El cálculo de las densidades de huellas de las partículas alfa proveniente del Radón y su progenie se calcula mediante la expresión:

$$\rho = \frac{N - N_f}{nA}$$

Dónde: ρ es la densidad de huellas nucleares, N número total de huellas analizadas en todos los campos ópticos de visión del microscopio, N_f el número total de trazas de fondo, n número total de campos de visión, A área del campo óptico.

La ecuación a utilizar, para relacionar la densidad de huellas con la concentración de Radón en Bq/m^3 es la siguiente:

$$c = \frac{\rho}{k \cdot t}$$

Dónde:

c = Concentración de Radón en Bq/m^3

ρ = Numero de huellas por unidad de área (densidad de huellas). *Huellas/mm²*

t = Tiempo en horas

k = Factor de calibración igual a:

$$k = 8,402 \times 10^{-5} \left[\frac{\text{huellas}/(\text{horas} \times \text{mm}^2)}{\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}} \right]$$

Este factor de calibración fue calculado en una investigación en la PUCP [46]. El cual ha sido determinado con detectores LR115-tipo 2 usados para obtener el factor de calibración que fueron expuestos, revelados y analizadas sus trazas, en condiciones similares a las experimentadas por los detectores usados en este trabajo.

Las incertidumbres asociadas, a las densidades de huellas y concentraciones de radón y progenie, se determinaron mediante el cálculo de la incertidumbre estándar combinada. Para densidad de huellas es:

$$\sigma_{\rho} = \sqrt{\left[\frac{\partial \rho}{\partial N} \cdot \sigma_N\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial N_f} \cdot \sigma_{N_f}\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial A} \cdot \sigma_A\right]^2}$$

Dónde:

σ_{ρ} = incertidumbre estándar combinada de la densidad de huellas.

$\frac{\partial \rho}{\partial N}$ = derivada parcial de la densidad de huellas con respecto al número de huellas

σ_N = incertidumbre estándar del número de huellas

$\frac{\partial \rho}{\partial N_f}$ = derivada parcial de la densidad de huellas con respecto a las huellas de fondo

σ_{N_f} = incertidumbre estándar del número de huellas de fondo

$\frac{\partial \rho}{\partial A}$ = derivada parcial de la densidad de huellas con respecto al área

σ_A = incertidumbre estándar del área de campo de visión

Para el cálculo de la incertidumbre de la concentración de radón y progenie, usamos:

$$\sigma_C = \sqrt{\left[\frac{\partial C}{\partial \rho} \cdot \sigma_{\rho}\right]^2 + \left[\frac{\partial C}{\partial k} \cdot \sigma_k\right]^2 + \left[\frac{\partial C}{\partial t} \cdot \sigma_t\right]^2}$$

Dónde:

σ_C = incertidumbre estándar combinada de la concentración

$\frac{\partial C}{\partial \rho}$ = derivada parcial de la concentración con respecto a la densidad de huellas

σ_{ρ} = incertidumbre estándar de densidad de huellas

$\frac{\partial C}{\partial k}$ = derivada parcial de la concentración con respecto al factor de calibración

σ_k = incertidumbre estándar del factor de calibración

$\frac{\partial C}{\partial t}$ = derivada parcial de la concentración con respecto al tiempo

σ_t = incertidumbre estándar del tiempo.

4.6 Coeficiente de correlación de Pearson (r)

Se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson para examinar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables. Y se calcula aplicando la siguiente ecuación

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad -1 \leq r \leq 1$$

Dónde:

r = coeficiente de correlación de Pearson

$\sigma_{xy} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{N}$, es la covarianza o varianza conjunta de X y Y

$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}}$, es la desviación típica de la variable marginal X

$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2}{N}}$, es la desviación típica de la variable marginal Y

x, y = variables cuya relación se evalúa

\bar{x} = media aritmética de la variable x

\bar{y} = media aritmética de la variable x

N = número de datos.

El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$. Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables. Para la correlación de Pearson, un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación. Si ambas variables tienden a aumentar o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia arriba. Si una variable tiende a incrementarse mientras la otra disminuye, el coeficiente es negativo y la línea que representa la correlación forma una pendiente hacia abajo. Para interpretar el coeficiente de correlación utilizamos la siguiente escala [47]:

Coeficiente	Interpretación	Coeficiente	Interpretación
$r = 1$	Positiva perfecta	$r = -1$	Negativa perfecta
$0.90 < r < 0.99$	Positiva muy alta	$-0.90 < r < -0.99$	Negativa muy alta
$0.70 < r < 0.89$	Positiva alta	$-0.70 < r < -0.89$	Negativa alta
$0.40 < r < 0.69$	Positiva moderada	$-0.40 < r < -0.69$	Negativa moderada
$0.20 < r < 0.39$	Positiva Baja	$-0.20 < r < -0.39$	Negativa Baja
$0.01 < r < 0.19$	Positiva muy baja	$-0.01 < r < -0.19$	Negativa muy baja
$r = 0$	Nula	$r = 0$	Nula

5. CONCENTRACIONES DE RADÓN EN LA CIUDAD DE HUANCAYO

Las mediciones de la concentración de Radón ambiental en la ciudad de Huancayo, se han realizado durante 9 periodos, con una duración de 20 días por periodo, en los meses de febrero, junio y octubre, comprendidos desde junio del 2013 hasta febrero del 2016.

Se sabe, por estudios en diferentes lugares que las condiciones meteorológicas juegan un rol importante en las mediciones de concentración de Radón ambiental, puesto que la mayor parte del Radón en el aire proviene de la exhalación del suelo, variaciones de temperatura o presión atmosférica hacen variar la exhalación del Radón procedente del suelo. Como se describió anteriormente, en Huancayo no se perciben las 4 estaciones del año, más bien se identifican tres temporadas bien marcadas, de enero a marzo por sus intensas lluvias, de junio a setiembre por su fuerte sol y clima seco, y de octubre a diciembre, donde regresan nuevamente las lluvias. Es por este motivo que se tomaron mediciones en 3 periodos por año, en los periodos de junio 2013 y octubre 2013, también en febrero 2014, junio 2014 y octubre 2014, posteriormente se realizaron mediciones en febrero 2015, junio 2015 y octubre 2015 y finalmente febrero 2016, todos los periodos de medición con un tiempo de exposición de 20 días.

Los datos de las variables meteorológicas como temperatura, presión, humedad, lluvias y velocidad del viento correspondientes a los años 2013 a 2016 fueron facilitados por la estación meteorológica Viques del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, considerando que los datos reportados son representativos de los diferentes sitios donde se colocaron los detectores [48].

5.1 TABLAS DE RESULTADOS.

Se muestran las tablas de resultados de los 6 sitios de medición por cada uno de los 9 periodos, donde se indican los días de medición, las estadísticas desde junio del 2013 hasta febrero del 2016. Por cada periodo se presenta una tabla con los datos meteorológicos como temperatura, presión atmosférica, lluvias y velocidad del viento (tabla 5.1 hasta tabla 5.18). Es importante recordar que se colocaron 8 detectores por sitio de medición, pero por las características ambientales como fuerza de viento y lluvias en la zona, se perdieron algunos detectores, además del posible daño ocasionado en los procesos de colocar o retirar los detectores LR 115 en los vasos descartables. A fin de tener un número constante de detectores por periodo de muestreo, se presentan resultados de 5 detectores por sitio de medición.

TABLAS 5.1: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN ²²² del 08 al 27 JUNIO DEL 2013

Detectores G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.86 ± 0.06	21.25 ± 2.09
2	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
3	0.77 ± 0.05	19.12 ± 1.84
4	1.03 ± 0.05	25.50 ± 2.20
5	0.51 ± 0.09	12.75 ± 2.31
PROMEDIO		17.85 ± 0.87
MAXIMO		25.50 ± 2.20
MINIMO		10.62 ± 1.04

Detectores G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.71 ± 0.06	42.49 ± 3.37
2	1.11 ± 0.08	27.62 ± 2.73
3	0.94 ± 0.06	23.37 ± 2.20
4	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
5	0.86 ± 0.03	21.25 ± 1.68
PROMEDIO		25.92 ± 1.12
MAXIMO		42.49 ± 3.37
MINIMO		14.87 ± 2.15

Detectores G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
2	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
3	0.69 ± 0.06	17.00 ± 1.88
4	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
5	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
PROMEDIO		13.60 ± 0.83
MAXIMO		17.00 ± 1.88
MINIMO		6.37 ± 0.46

Detectores G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
2	1.03 ± 0.05	25.50 ± 2.21
3	0.86 ± 0.08	21.25 ± 2.41
4	0.86 ± 0.06	21.25 ± 2.09
5	0.60 ± 0.03	14.87 ± 1.28
PROMEDIO		19.97 ± 0.86
MAXIMO		25.50 ± 2.21
MINIMO		14.87 ± 1.28

Detectores G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
-------------------------	-------------------------	---------------------------------

Detectores G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
-------------------------	-------------------------	---------------------------------

1	1.37 ± 0.08	34.00 ± 3.08
2	1.03 ± 0.09	25.50 ± 2.81
3	0.34 ± 0.06	8.50 ± 1.55
4	0.86 ± 0.10	21.25 ± 2.97
5	0.60 ± 0.10	14.87 ± 2.76
	PROMEDIO	20.82 ± 1.20
	MAXIMO	34.00 ± 3.08
	MINIMO	8.50 ± 1.55

1	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
2	0.60 ± 0.03	14.87 ± 1.28
3	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23
4	0.51 ± 0.00	12.75 ± 0.92
5	0.43 ± 0.06	10.62 ± 1.62
	PROMEDIO	13.60 ± 0.71
	MAXIMO	17.00 ± 2.23
	MINIMO	10.62 ± 1.62

La tabla 5.2 muestra el valor promedio de Radón 222 de los 30 detectores distribuidos en 6 sitios de medición del 8 al 27 de junio del 2013 (primer periodo), así como los valores de concentración de Radón 222 máximos y mínimos, también muestra los valores de las condiciones ambientales promedios correspondientes al primer periodo.

Tabla 5.2: Primer periodo, valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T ^a	T ^a	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
18.63±0.39	42.49±3.37	6.37±0.46	20.12	3.57	712.73	70.76	0.09	2.70

SEGUNDO PERIODO: del 11 al 30 de octubre del 2013

TABLAS 5.3: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 11 al 30 OCTUBRE DEL 2013

Detectores G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.86 ± 0.08	21.25 ± 2.41
2	0.77 ± 0.09	19.12 ± 2.53
3	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
4	0.94 ± 0.08	23.37 ± 2.51
5	0.60 ± 0.03	14.87 ± 1.28
	PROMEDIO	17.42 ± 0.92
	MAXIMO	23.37 ± 2.51
	MINIMO	8.50 ± 0.93

Detectores G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.03 ± 0.10	25.50 ± 3.05
2	0.94 ± 0.03	23.37 ± 1.82
3	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
4	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
5	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
	PROMEDIO	17.00 ± 1.02
	MAXIMO	25.50 ± 3.05
	MINIMO	4.25 ± 0.76

Detectores G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
-------------------------	-------------------------	---------------------------------

Detectores G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
-------------------------	-------------------------	---------------------------------

1	0.77 ± 0.09	19.12 ± 2.53
2	0.94 ± 0.10	23.37 ± 3.05
3	0.86 ± 0.08	21.25 ± 2.41
4	0.17 ± 0.06	4.25 ± 1.46
5	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
	PROMEDIO	15.72 ± 0.99
	MAXIMO	23.37 ± 3.05
	MINIMO	4.25 ± 1.46

1	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
2	0.94 ± 0.08	23.37 ± 2.51
3	1.11 ± 0.06	27.62 ± 2.44
4	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
5	0.77 ± 0.10	19.12 ± 2.80
	PROMEDIO	19.97 ± 1.06
	MAXIMO	27.62 ± 2.44
	MINIMO	14.87 ± 1.78

Detectores G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23
2	1.11 ± 0.06	27.62 ± 2.44
3	1.46 ± 0.08	36.12 ± 3.20
4	0.60 ± 0.10	14.87 ± 2.76
5	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
	PROMEDIO	22.52 ± 1.11
	MAXIMO	36.12 ± 3.20
	MINIMO	14.87 ± 2.76

Detectores G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.77 ± 0.10	19.12 ± 2.80
2	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
3	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.60 ± 0.12	14.87 ± 3.26
	PROMEDIO	12.32 ± 0.96
	MAXIMO	19.12 ± 2.80
	MINIMO	4.25 ± 0.76

La tabla 5.4 muestra el valor promedio de concentración de Radón 222 de los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 11 al 30 de octubre del 2013 (segundo periodo), así como los valores de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al segundo periodo.

Tabla 5.4: Segundo periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T ^a	T ^a	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
17.49±0.41	36.12±3.20	4.25±0.76	21.15	5.80	710.93	71.89	1.17	3.60

TERCER PERIODO: del 02 al 21 de febrero del 2014

TABLAS 5.5: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 02 al 21 FEBRERO DEL 2014

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
2	0.17 ± 0.06	4.25 ± 1.46
3	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
4	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
5	0.43 ± 0.06	10.62 ± 1.62
PROMEDIO	6.80 ± 0.57	
MAXIMO	12.75 ± 1.54	
MINIMO	2.12 ± 0.72	

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
2	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
3	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
PROMEDIO	9.35 ± 0.62	
MAXIMO	14.87 ± 1.78	
MINIMO	4.25 ± 0.76	

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
2	0.17 ± 0.06	4.25 ± 1.46
3	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
4	0.26 ± 0.05	6.37 ± 1.31
5	0.51 ± 0.10	12.75 ± 2.61
PROMEDIO	7.65 ± 0.74	
MAXIMO	12.75 ± 1.54	
MINIMO	2.12 ± 0.72	

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
2	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
3	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
PROMEDIO	9.35 ± 0.59	
MAXIMO	14.87 ± 2.15	
MINIMO	4.25 ± 0.76	

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
2	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
3	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
PROMEDIO	7.22 ± 0.43	
MAXIMO	17.00 ± 1.41	
MINIMO	2.12 ± 0.72	

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
2	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
3	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23
PROMEDIO	7.22 ± 0.65	
MAXIMO	17.00 ± 2.23	
MINIMO	2.12 ± 0.72	

La tabla 5.6 muestra el valor promedio de Radón 222 de los 30 detectores distribuidos en 6 sitios de medición del 2 al 21 de febrero del 2014 (tercer periodo), así como los valores de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al tercer periodo.

Tabla 5.6: Tercer periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T ^a	T ^a	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
7.93±0.25	17.00±2.23	2.12±0.72	19.83	7.26	711.42	77.52	2.98	2.80

CUARTO PERIODO: del 10 al 29 de junio del 2014

TABLAS 5.7: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 10 al 29 JUNIO DEL 2014

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.94 ± 0.08	23.37 ± 2.51
2	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
3	0.77 ± 0.05	19.12 ± 1.85
4	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
5	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97
	PROMEDIO	14.01 ± 0.80
	MAXIMO	23.37 ± 2.51
	MINIMO	2.12 ± 0.72

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.03 ± 0.05	25.50 ± 2.21
2	1.63 ± 0.08	40.37 ± 3.45
3	0.94 ± 0.08	23.37 ± 2.51
4	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
5	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
	PROMEDIO	24.22 ± 1.20
	MAXIMO	40.37 ± 3.45
	MINIMO	14.87 ± 2.15

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.69 ± 0.06	17.00 ± 1.88
2	0.86 ± 0.11	21.25 ± 3.21
3	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
4	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
5	0.77 ± 0.05	19.12 ± 1.85
	PROMEDIO	16.57 ± 0.93
	MAXIMO	21.25 ± 3.21
	MINIMO	10.62 ± 1.04

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.11 ± 0.03	27.62 ± 2.10
2	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
3	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
4	1.46 ± 0.12	36.12 ± 4.03
5	0.86 ± 0.08	21.25 ± 2.41
	PROMEDIO	23.37 ± 1.15
	MAXIMO	36.12 ± 4.03
	MINIMO	14.87 ± 2.15

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.20 ± 0.06	29.75 ± 2.57
2	0.86 ± 0.10	21.25 ± 2.97
3	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23
4	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
5	0.60 ± 0.10	14.87 ± 2.76
	PROMEDIO	19.97 ± 1.10
	MAXIMO	29.75 ± 2.57
	MINIMO	14.87 ± 2.76

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.77 ± 0.05	19.12 ± 1.85
2	0.86 ± 0.12	21.25 ± 3.44
3	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
4	1.03 ± 0.13	25.50 ± 3.73
5	0.51 ± 0.09	12.75 ± 2.31
	PROMEDIO	18.70 ± 1.23
	MAXIMO	25.50 ± 3.73
	MINIMO	12.75 ± 2.31

La tabla 5.8 muestra el valor promedio de los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 10 al 29 de junio del 2014 (cuarto periodo), muestra los valores de concentración de Radón

222, máximos y mínimos, así como las condiciones ambientales promedios correspondientes al cuarto periodo.

Tabla 5.8: Cuarto periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T°	T°	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
19.55±0.44	40.37±3.45	2.12±0.72	21.04	1.25	713.26	70.15	0.43	1.85

QUINTO PERIODO: del 08 al 27 de octubre del 2014

TABLA 5.9: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 08 al 27 OCTUBRE DEL 2014

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.69 ± 0.06	17.00 ± 1.88
2	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
3	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
4	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
5	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
	PROMEDIO	13.60 ± 0.87
	MAXIMO	17.00 ± 2.83
	MINIMO	6.37 ± 0.46

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.29±0.09	31.87 ± 3.12
2	0.94±0.08	23.37 ± 2.51
3	0.69±0.08	17.00 ± 2.23
4	1.03±0.10	25.50 ± 3.05
5	0.60±0.03	14.87 ± 1.28
	PROMEDIO	22.52 ± 1.13
	MAXIMO	31.87 ± 3.12
	MINIMO	14.87 ± 1.28

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.94 ± 0.03	23.37 ± 1.82
2	1.11 ± 0.06	27.62 ± 2.44
3	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23
4	0.69 ± 0.03	17.00 ± 1.41
5	0.77 ± 0.09	19.12 ± 2.53
	PROMEDIO	20.82 ± 0.95
	MAXIMO	27.62 ± 2.44
	MINIMO	17.00 ± 1.41

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.11 ± 0.08	27.62 ± 2.73
2	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
3	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
4	1.29 ± 0.10	31.87 ± 3.35
5	1.46 ± 0.14	36.12 ± 4.40
	PROMEDIO	25.50 ± 1.42
	MAXIMO	36.12 ± 4.40
	MINIMO	14.87 ± 2.15

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.94 ± 0.03	23.37 ± 1.82

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.06	8.50 ± 1.55

2	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
3	0.69 ± 0.12	17.00 ± 3.31
4	1.03 ± 0.05	25.50 ± 2.21
5	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
	PROMEDIO	19.55 ± 1.10
	MAXIMO	25.50 ± 2.21
	MINIMO	14.87 ± 1.78

2	0.43 ± 0.06	10.62 ± 1.62
3	0.77 ± 0.09	19.12 ± 2.53
4	0.51 ± 0.09	12.75 ± 2.31
5	0.69 ± 0.06	17.00 ± 1.88
	PROMEDIO	13.60 ± 0.90
	MAXIMO	19.12 ± 2.53
	MINIMO	8.50 ± 1.55

La tabla 5.10 muestra el valor promedio con respecto a los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 8 al 27 de octubre del 2014 (quinto periodo), así como los valores de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al quinto periodo.

Tabla 5.10: Quinto periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T ^a	T ^a	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
19.27±0.44	36.12±4.40	6.37±0.46	20.69	4.60	712.22	72.59	1.20	3.00

SEXTO PERIODO: del 09 al 28 de febrero del 2015

TABLAS 5.11: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 09 al 28 FEBRERO DEL 2015

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.43 ± 0.06	10.62 ± 1.62
2	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
3	0.26 ± 0.05	6.37 ± 1.31
4	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
5	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
	PROMEDIO	8.50 ± 0.58
	MAXIMO	12.75 ± 1.54
	MINIMO	2.12 ± 0.72

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.51 ± 0.09	12.75 ± 2.31
2	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97
3	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
4	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
5	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
	PROMEDIO	10.20 ± 0.77
	MAXIMO	14.87 ± 2.15
	MINIMO	6.37 ± 0.46

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
2	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.43 ± 0.08	10.62 ± 2.02
2	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97

3	0.43 ± 0.08	10.62 ± 2.02
4	0.26 ± 0.05	6.37 ± 1.31
5	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
	PROMEDIO	7.65 ± 0.67
	MAXIMO	10.62 ± 2.02
	MINIMO	4.25 ± 0.76

3	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
4	0.60 ± 0.03	14.87 ± 1.28
5	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
	PROMEDIO	10.62 ± 0.70
	MAXIMO	14.87 ± 1.28
	MINIMO	6.37 ± 0.46

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.26 ± 0.05	6.37 ± 1.31
2	0.34 ± 0.00	8.50 ± 1.97
3	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
4	0.51 ± 0.00	12.75 ± 0.92
5	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
	PROMEDIO	8.92 ± 0.56
	MAXIMO	12.75 ± 0.92
	MINIMO	6.37 ± 1.31

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
2	0.86 ± 0.11	21.25 ± 3.21
3	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.43 ± 0.08	10.62 ± 2.02
	PROMEDIO	10.20 ± 0.85
	MAXIMO	21.25 ± 3.21
	MINIMO	2.12 ± 0.72

La tabla 5.12 muestra el valor promedio de los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 9 al 28 de febrero del 2015 (sexto periodo), así como los valores de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al sexto periodo.

Tabla 5.12: Sexto periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T ^a	T ^a	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
9.35±0.25	21.25±3.21	2.12±0.72	19.70	6.70	710.98	79.47	5.49	2.55

SEPTIMO PERIODO: del 02 al 21 de junio del 2015

TABLAS 5.13: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 02 al 21 JUNIO DEL 2015

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.03 ± 0.05	25.50 ± 2.21
2	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.80
3	0.43 ± 0.08	10.62 ± 2.02
4	0.94 ± 0.08	23.37 ± 2.51
5	0.77 ± 0.05	19.12 ± 1.85
PROMEDIO		18.70 ± 0.94
MAXIMO		25.50 ± 2.21
MINIMO		10.62 ± 2.02

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.77 ± 0.05	19.12 ± 1.85
2	1.03 ± 0.10	25.50 ± 3.05
3	0.94 ± 0.10	23.37 ± 3.05
4	0.77 ± 0.09	19.12 ± 2.53
5	0.60 ± 0.10	14.87 ± 2.76
PROMEDIO		20.40 ± 1.20
MAXIMO		25.50 ± 3.05
MINIMO		14.87 ± 2.76

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
2	0.77 ± 0.13	19.12 ± 3.53
3	0.51 ± 0.09	12.75 ± 2.31
4	0.60 ± 0.03	14.87 ± 1.28
5	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23
PROMEDIO		14.45 ± 1.01
MAXIMO		19.12 ± 3.53
MINIMO		8.50 ± 0.93

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.86 ± 0.03	21.25 ± 1.68
2	1.03 ± 0.09	25.50 ± 2.81
3	1.46 ± 0.08	36.12 ± 3.20
4	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
5	0.69 ± 0.14	17.00 ± 3.77
PROMEDIO		22.52 ± 1.23
MAXIMO		36.12 ± 3.20
MINIMO		12.75 ± 1.54

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.86 ± 0.08	21.25 ± 2.41
2	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
3	0.94 ± 0.03	23.37 ± 1.82
4	1.54 ± 0.09	38.25 ± 3.47
5	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
PROMEDIO		22.10 ± 1.06
MAXIMO		38.25 ± 3.47
MINIMO		12.75 ± 1.54

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97
2	0.43 ± 0.06	10.62 ± 1.62
3	0.51 ± 0.10	12.75 ± 2.61
4	0.86 ± 0.11	21.25 ± 3.21
5	0.69 ± 0.1	17.00 ± 2.83
PROMEDIO		14.02 ± 1.12
MAXIMO		21.25 ± 3.21
MINIMO		8.50 ± 1.97

La tabla 5.14 muestra el valor promedio de los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 2 al 21 de junio del 2015 (séptimo periodo), así como los valores de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también se muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al séptimo periodo.

Tabla 5.14: Séptimo periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T ^a	T ^a	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
-------	-------	-------	----------------	----------------	---------	---------	--------	-----------

Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
18.70±0.45	38.25±3.47	8.50±0.93	20.45	1.98	712.77	72.63	1.20	2.30

OCTAVO PERIODO: del 09 al 28 de octubre del 2015

TABLAS 5.15: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 09 al 28 OCTUBRE DEL 2015

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.43 ± 0.06	10.62 ± 1.62
2	1.11 ± 0.08	27.62 ± 2.73
3	0.94 ± 0.08	23.37 ± 2.51
4	0.60 ± 0.11	14.87 ± 3.02
5	0.34 ± 0.03	8.50 ± 1.00
	PROMEDIO	17.00 ± 1.03
	MAXIMO	27.62 ± 2.73
	MINIMO	8.50 ± 1.00

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.20 ± 0.08	29.75 ± 2.84
2	0.94 ± 0.03	23.37 ± 1.82
3	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
4	0.43 ± 0.08	10.62 ± 2.02
5	0.69 ± 0.10	17.00 ± 2.83
	PROMEDIO	18.70 ± 1.02
	MAXIMO	29.75 ± 2.84
	MINIMO	10.62 ± 2.02

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
2	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
3	1.11 ± 0.03	27.62 ± 2.10
4	0.86 ± 0.12	21.25 ± 3.44
5	0.60 ± 0.11	14.87 ± 3.02
	PROMEDIO	17.85 ± 1.11
	MAXIMO	27.62 ± 2.10
	MINIMO	10.62 ± 1.04

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.29 ± 0.09	31.87 ± 3.12
2	1.20 ± 0.14	29.75 ± 4.14
3	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
4	0.51 ± 0.09	12.75 ± 2.31
5	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
	PROMEDIO	19.55 ± 1.20
	MAXIMO	31.87 ± 3.12
	MINIMO	8.50 ± 0.93

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	1.11 ± 0.10	27.62 ± 3.23
2	0.94 ± 0.06	23.37 ± 2.20
3	0.60 ± 0.03	14.87 ± 1.28
4	0.69 ± 0.06	17.00 ± 1.88
5	1.20 ± 0.11	29.75 ± 3.54
	PROMEDIO	22.52 ± 1.15
	MAXIMO	29.75 ± 3.54
	MINIMO	14.87 ± 1.28

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.94 ± 0.03	23.37 ± 1.82
2	1.11 ± 0.11	27.62 ± 3.45
3	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
4	0.60 ± 0.06	14.87 ± 1.78
5	0.86 ± 0.03	21.25 ± 1.68
	PROMEDIO	19.55 ± 0.94
	MAXIMO	27.62 ± 3.45
	MINIMO	10.62 ± 1.04

La tabla 5.16 muestra el valor promedio con respecto a los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 9 al 28 de octubre del 2015 (octavo periodo), así como los valores

de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al octavo periodo.

Tabla 5.16: Octavo periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	T°	T°	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
19.20±0.44	31.87±3.12	8.50±0.93	22.06	5.78	712.34	68.83	1.82	2.80

NOVENO PERIODO: del 07 al 26 febrero del 2016

TABLAS 5.17: RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE RADÓN 222 del 07 al 26 FEBRERO DEL 2016

Detector G1 (Sitio 1)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
2	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
3	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
4	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
5	0.26 ± 0.00	6.37 ± 0.46
	PROMEDIO	6.80 ± 0.43
	MAXIMO	12.75 ± 1.54
	MINIMO	2.12 ± 0.72

Detector G2 (Sitio 2)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34±0.08	8.50±1.97
2	0.43±0.06	10.62±1.62
3	0.51±0.09	12.75±2.31
4	0.26±0.00	6.37±0.46
5	0.09±0.03	2.12±0.72
	PROMEDIO	9.32 ± 0.71
	MAXIMO	12.75±2.31
	MINIMO	2.12±0.72

Detector G3 (Sitio 3)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.06	8.50 ± 1.55
2	0.17 ± 0.06	4.25 ± 1.46
3	0.43 ± 0.03	10.62 ± 1.04
4	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72
5	0.51 ± 0.10	12.75 ± 2.61
	PROMEDIO	6.80 ± 0.72
	MAXIMO	12.75 ± 2.61
	MINIMO	2.12 ± 0.72

Detector G4 (Sitio 4)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.34 ± 0.06	8.50 ± 1.55
2	0.51 ± 0.10	12.75 ± 2.61
3	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93
4	0.17 ± 0.03	4.25 ± 0.76
5	0.26 ± 0.05	6.37 ± 1.31
	PROMEDIO	8.07 ± 0.70
	MAXIMO	12.75 ± 2.61
	MINIMO	4.25 ± 0.76

Detector G5 (Sitio 5)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.69 ± 0.08	17.00 ± 2.23

Detector G6 (Sitio 6)	Huellas/mm ²	Concentración Bq/m ³
1	0.09 ± 0.03	2.12 ± 0.72

2	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97	2	0.51 ± 0.05	12.75 ± 1.54
3	0.51 ± 0.00	12.75 ± 0.92	3	0.51 ± 0.10	12.75 ± 2.61
4	0.34 ± 0.03	8.50 ± 0.93	4	0.34 ± 0.08	8.50 ± 1.97
5	0.26 ± 0.05	6.37 ± 1.31	5	0.60 ± 0.08	14.87 ± 2.15
	PROMEDIO	10.62 ± 0.70		PROMEDIO	10.20 ± 0.85
	MAXIMO	17.00 ± 2.23		MAXIMO	14.87 ± 2.15
	MINIMO	6.37 ± 1.31		MINIMO	2.12 ± 0.72

La tabla 5.18 muestra el valor promedio de los 30 detectores distribuidos en 6 puntos de ubicación del 7 al 26 de febrero del 2016 (noveno periodo), así como los valores de concentración de Radón 222, máximos y mínimos, también muestra las condiciones ambientales promedios correspondientes al noveno periodo.

Tabla 5.18: Noveno periodo: Valores de concentración de Radón y variables meteorológicas.

Valor	Valor	Valor	Ta	Ta	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad
Promedio	Máximo	Mínimo	Máx.	Mín.				Viento
Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
8.64±0.28	17.00±2.23	2.12±0.72	20.50	10.00	711.54	79.44	6.82	1.43

La tabla 5.19 muestra los resultados de la concentración de Radón 222 promedios de los 6 sitios de medición durante los 9 periodos, desde junio del 2013 hasta febrero del 2016.

Tabla 5.19: Concentración media de gas Radón 222 ambiental (Bq/m³) de junio del 2013 a febrero del 2016 de acuerdo a los sitios de medición

Ubicación	Junio 2013	Octubre 2013	Febrero 2014	Junio 2014	Octubre 2014	Febrero 2015	Junio 2015	Octubre 2015	Febrero 2016	Promedio
G1	17.85±0.87	17.42±0.92	6.80±0.57	14.01±0.80	13.60±0.87	8.50±0.58	18.70±0.94	17.00±1.03	6.80±0.43	13.41±0.27
G2	25.92±1.12	17.00±1.02	9.35±0.62	24.65±1.20	22.52±1.13	10.20±0.77	20.40±1.20	18.70±1.02	9.32±0.71	17.56±0.33
G3	13.60±0.83	15.72±0.99	7.65±0.74	16.57±0.93	20.82±0.95	7.65±0.67	14.45±1.01	17.85±1.11	6.80±0.72	13.46±0.30
G4	19.97±0.86	19.97±1.06	9.35±0.59	23.37±1.15	25.50±1.42	10.62±0.70	22.52±1.23	19.55±1.20	8.07±0.70	17.66±0.34
G5	20.82±1.20	22.52±1.11	7.22±0.43	19.97±1.10	19.55±1.10	8.92±0.56	22.70±1.06	22.52±1.15	10.62±0.70	17.14±0.32
G6	13.60±0.71	12.32±0.96	7.22±0.65	18.70±1.23	13.60±0.90	10.20±0.85	14.02±1.12	19.55±0.94	10.20±0.85	13.27±0.31

En la figura 5.1 se muestra los resultados de la concentración de Radón 222 promedios de los 6 sitios de medición durante los 9 periodos desde junio del 2013 hasta febrero del 2016, en un gráfico de barras.

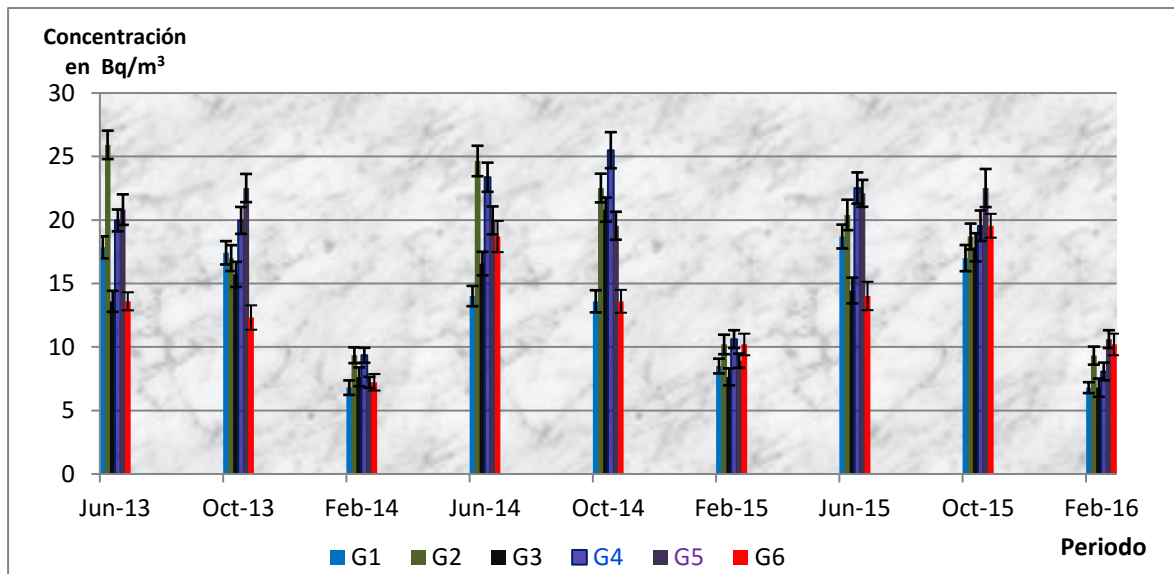


Figura 5.1: Concentraciones promedio de Rn 222 por cada sitio y por periodo, junio de 2013 a febrero del 2016

La figura 5.2, representa los resultados promedio de concentración de Radón de cada sitio de medición, durante los 9 periodos, desde junio del 2013 a febrero del 2016.

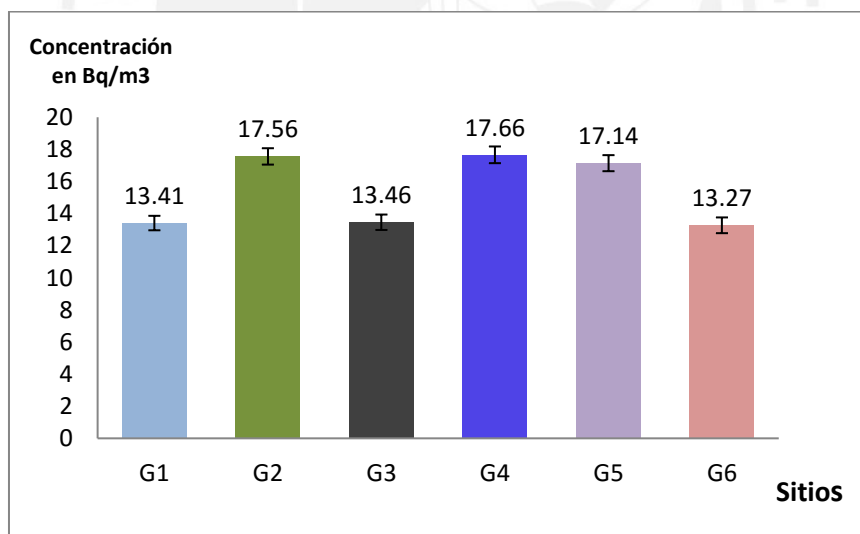
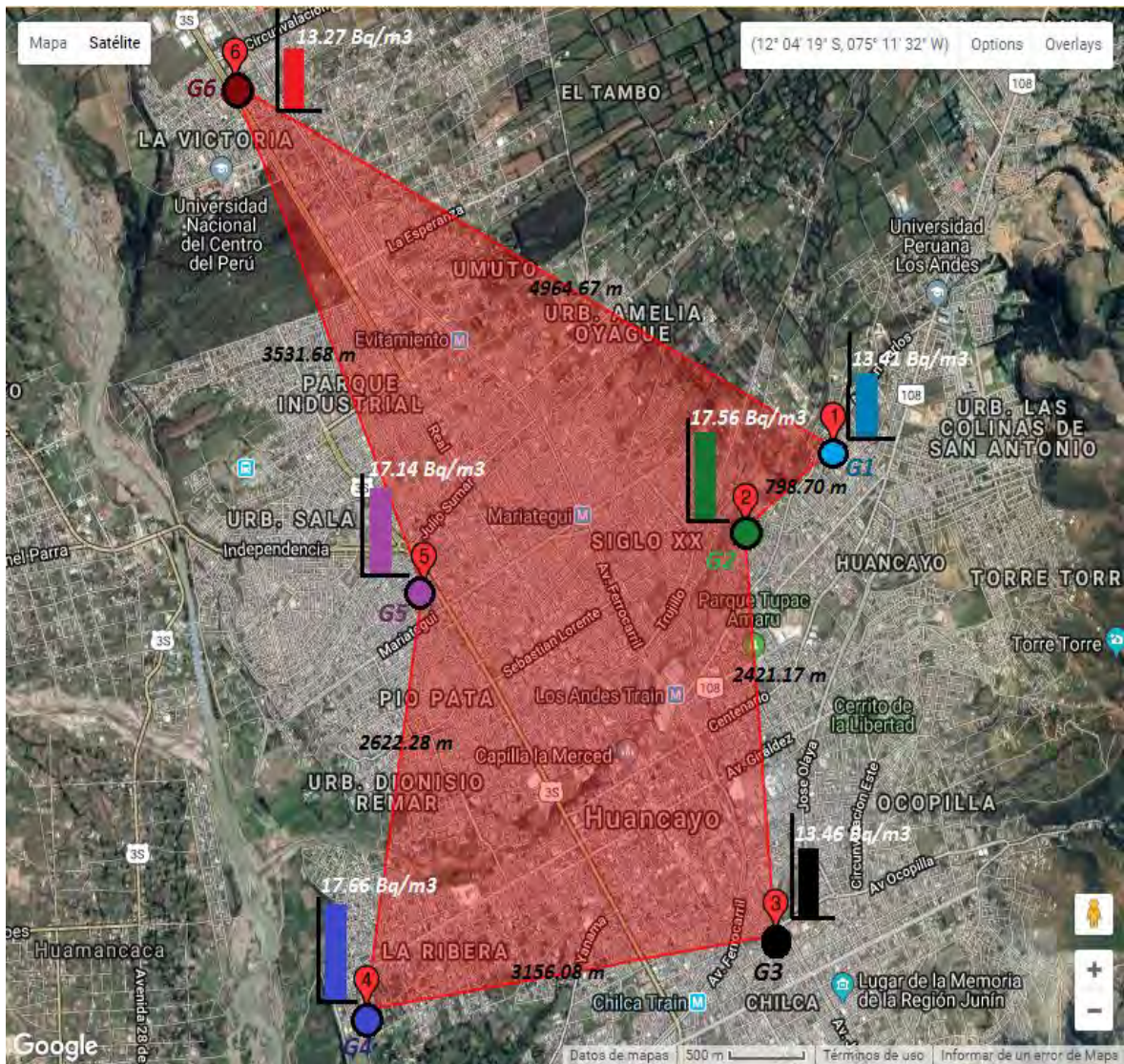


Figura 5.2: Resultados de concentración promedio de Rn 222 en cada sitio durante todos los nueve periodos de medición

Los resultados de concentración promedio de Rn 222 de cada sitio durante los 9 periodos de medición se presentan en el gráfico 5.3, de acuerdo a la ubicación del sitio de medición.



LEYENDA

- Av. San Carlos 1980, Univ. Continental, Hyo. (DETECTORES GRUPO 1)
- Pje. San Nicolás N°162, Urb. San Luis, Hyo. (DETECTORES GRUPO 2)
- Jr. Montani N° 375, Hyo. (DETECTORES GRUPO 3)
- Jr. Lima 2335, Hyo. (DETECTORES GRUPO 4)
- Mz. 1274, El Tambo, Hyo. (DETECTORES GRUPO 5)
- Av. Mariscal Castilla Mz 2 Lt 4, Hyo. (DETECTORES GRUPO 6)

Figura 5.3: Distribución topográfica de las concentraciones de Rn 222 ambiental

La tabla 5.20 muestra los valores de concentración de Radón y valores atmosféricos por cada uno de los 9 periodos de medición de junio del 2013 hasta febrero del 2016.

Tabla 5.20: Medición de la concentración promedio de Radón 222, de los 6 sitios y valores atmosféricos promedios, por periodo.

Periodo	Valor Promedio	Valor Max.	Valor Min.	Tª Max.	Ta Min.	Presión	Humedad	Lluvia	Velocidad Viento
---------	----------------	------------	------------	---------	---------	---------	---------	--------	------------------

	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	°C	°C	Mb	%	mm	m/s
Junio 2013	18.63±0.39	42.49±3.37	6.37±0.43	20.11	3.57	712.73	70.76	0.09	2.70
Octubre 2013	17.49±0.41	36.12±3.20	4.25±0.76	21.15	5.80	710.93	71.89	1.17	3.60
Febrero 2014	7.93±0.25	17.00±2.23	2.12±0.72	19.83	7.26	711.42	77.52	2.98	2.80
Junio 2014	19.55±0.44	40.37±3.45	2.12±0.72	21.04	1.25	713.26	70.15	0.43	1.85
Octubre 2014	19.27±0.44	36.12±4.40	6.37±0.46	20.69	4.60	712.22	72.59	1.20	3.00
Febrero 2015	9.35±0.25	21.25±3.21	2.12±0.72	19.70	6.70	710.98	79.47	5.49	2.55
Junio 2015	18.70±0.45	38.25±3.47	8.50±0.93	20.45	1.98	712.77	72.63	1.20	2.30
Octubre 2015	19.20±0.44	31.87±3.12	8.50±0.93	22.06	5.78	712.34	68.83	1.82	2.80
Febrero 2016	8.64±0.28	17.00±2.23	2.12±0.72	20.50	10.00	711.54	79.44	6.82	1.43

La figura 5.4 muestra los resultados de la concentración de Radón 222 durante los 9 periodos de medición entre junio 2013 y febrero 2016. Se puede apreciar que en el mes de febrero de cada año que coincide con época de lluvias, el valor de la concentración promedio baja. Los valores más altos corresponden a los meses de junio y octubre. Los valores nulos corresponden a meses en donde no se tomaron medidas o se perdieron por daño de los detectores.



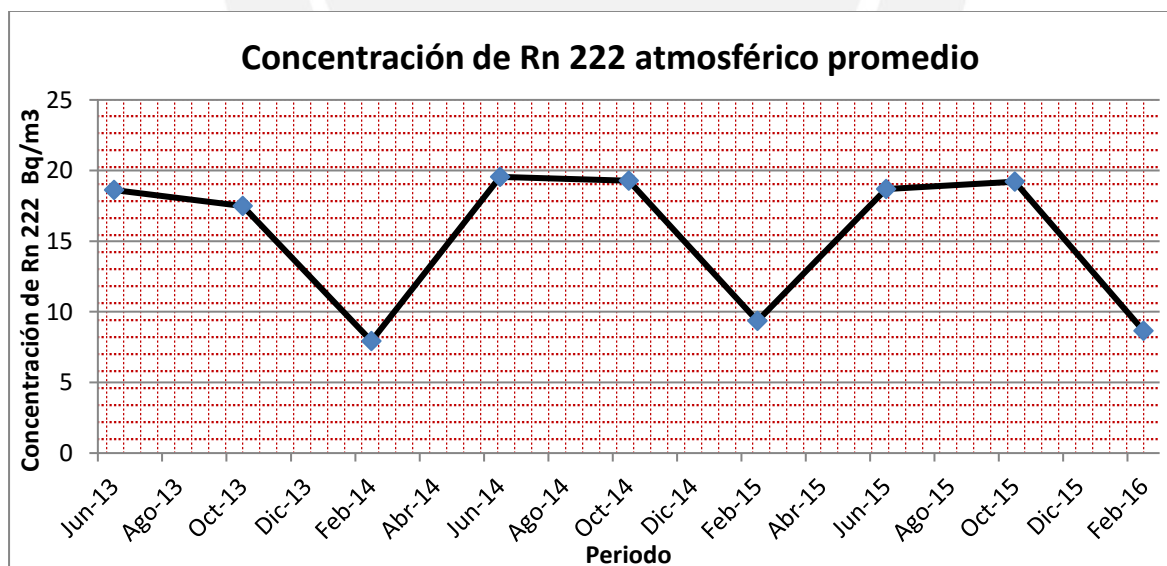
Figura 5.4: Medición de Radón 222 durante los 9 periodos entre junio 2013 y febrero 2016

Finalmente, en la tabla 5.21 se presentan las concentraciones medias anuales obtenidas en este trabajo de investigación.

Tabla 5.21: Concentración de Radón 222 media anual

Año	Concentración Radón Bq/m³
2014	15.58 ± 0.22
2015	15.75 ± 0.23
2016	15.42 ± 0.24

En la siguiente figura 5.5, se presenta la variación estacional de la concentración de Radón 222 con el parámetro meteorológico lluvia y en la figura 5.6, la correlación entre la concentración de Radón 222 y la lluvia.



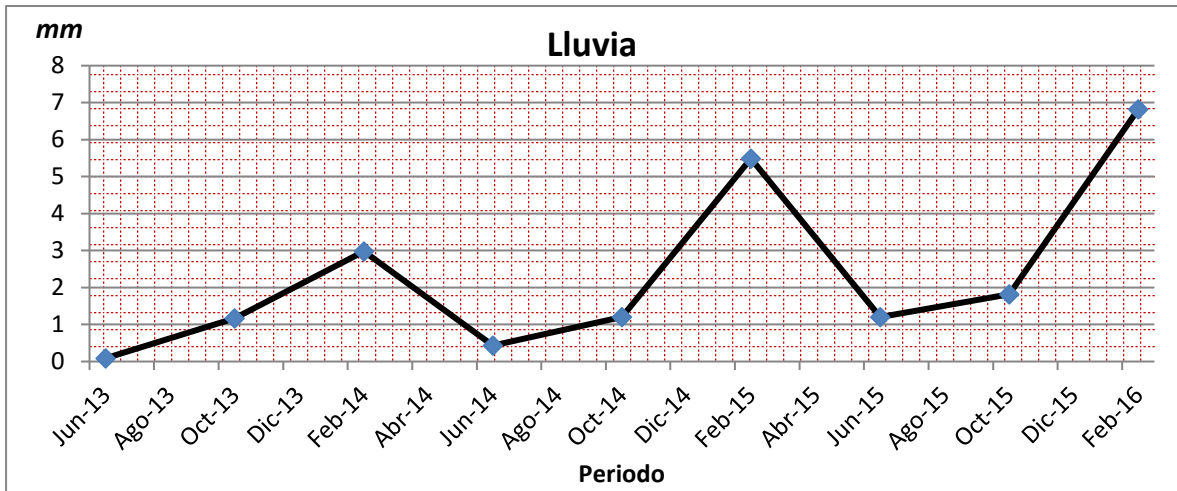


Figura 5.5: Variación estacional de la concentración de Radón 222 y el parámetro meteorológico lluvia

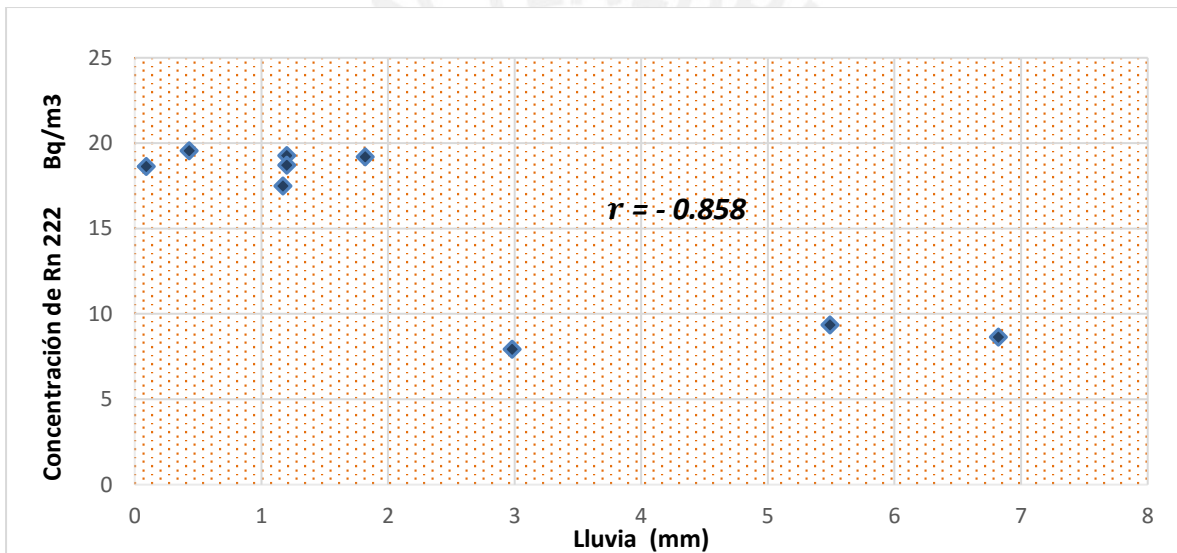


Figura 5.6: Correlación entre la concentración de Radón y la lluvia

Tabla N°5.22: Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m³) con la lluvia

Coefficiente de Correlación de Pearson	-0,858
P-Valor ($\alpha = 0.05$)	0,002

Evaluando el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla N°5.22), notamos que entre la concentración de Radón 222 y la lluvia existe una correlación lineal negativa alta (-0.858) y significativa con un P-valor de $0.002 < \alpha (0.05)$.

En la figura 5.7, se presenta la variación estacional de la concentración de Radón 222 con el parámetro meteorológico humedad y en la figura 5.8, la correlación entre la concentración de Radón 222 y humedad.

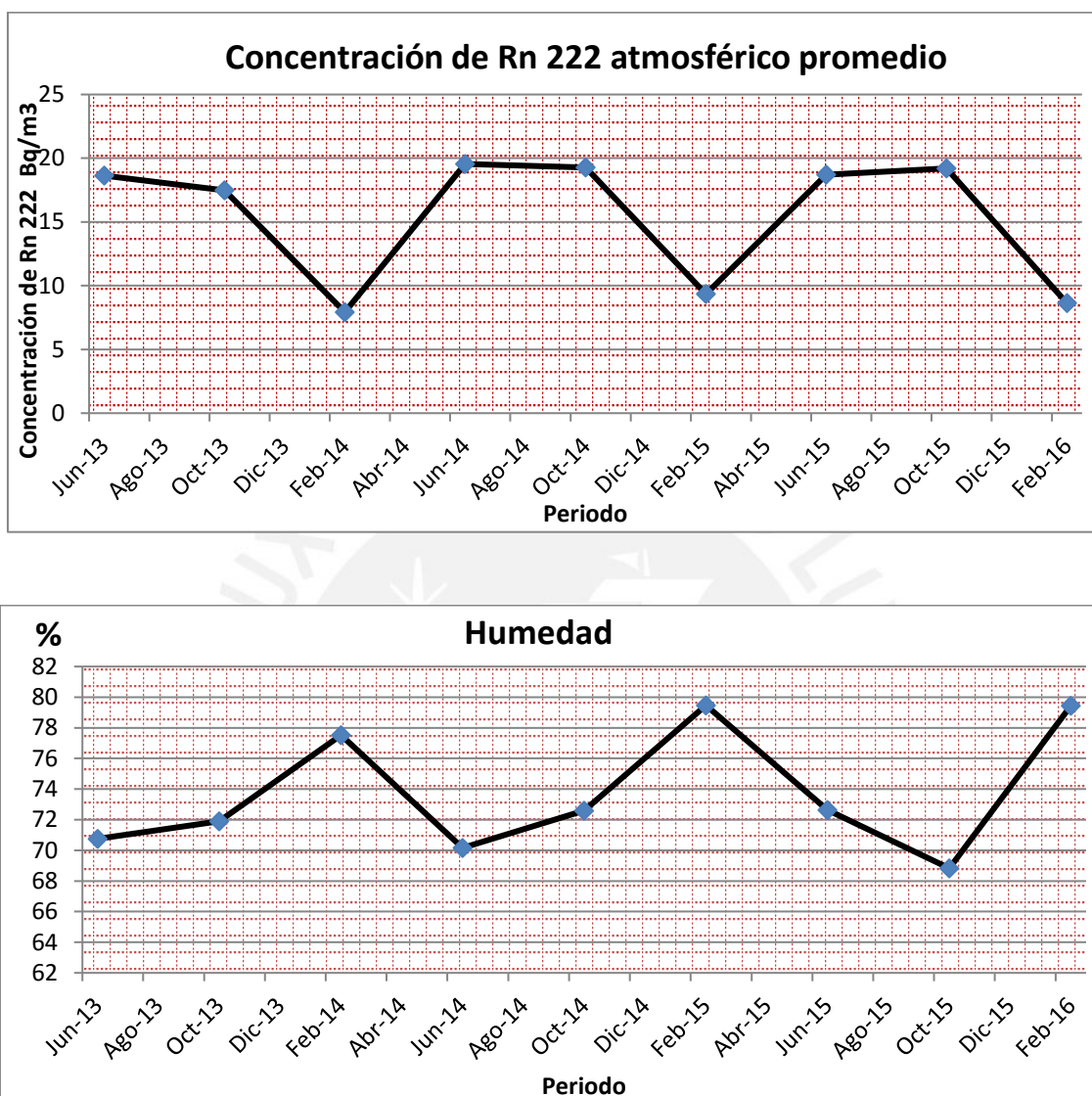


Figura 5.7: Variación estacional de la concentración de Radón 222 y el parámetro meteorológico humedad

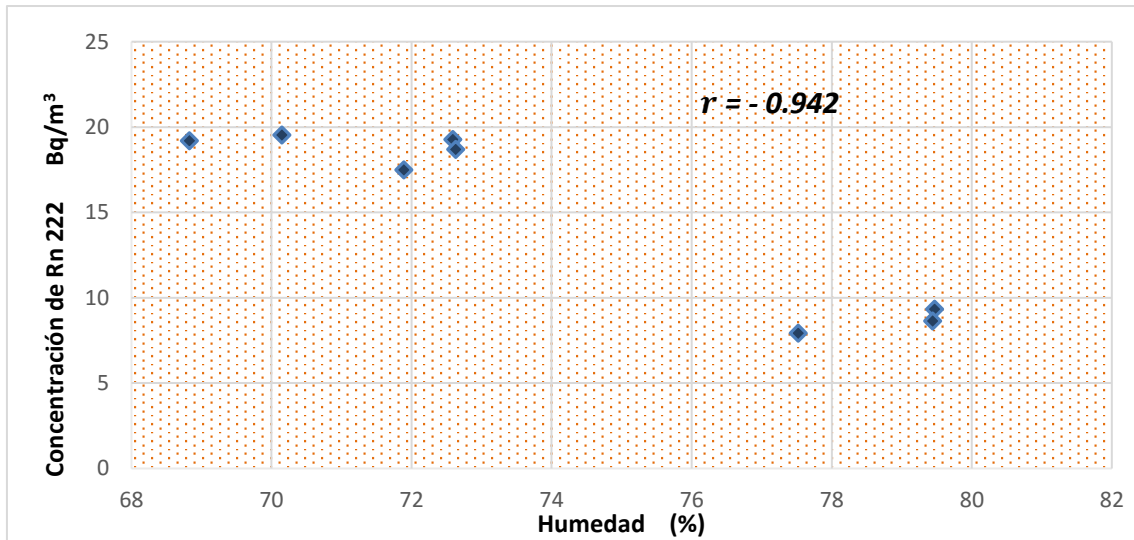


Figura 5.8: Correlación entre la concentración de Radón y la Humedad

Tabla 5.23: Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m³) con la Humedad Relativa (%)

Coefficiente de Correlación de Pearson	-0,942
P-Valor ($\alpha = 0.05$)	0,000

Evaluando el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla N°5.23), notamos que entre la concentración de Radón 222 y la humedad relativa existe una correlación lineal negativa muy alta (-0.942) y significativa con un P-valor de $0.000 < \alpha (0.05)$.

En la siguiente figura 5.9, se presenta la variación estacional de la concentración de Radón 222 con el parámetro meteorológico viento y en la figura 5.10, la correlación entre la concentración de Radón 222 y viento.

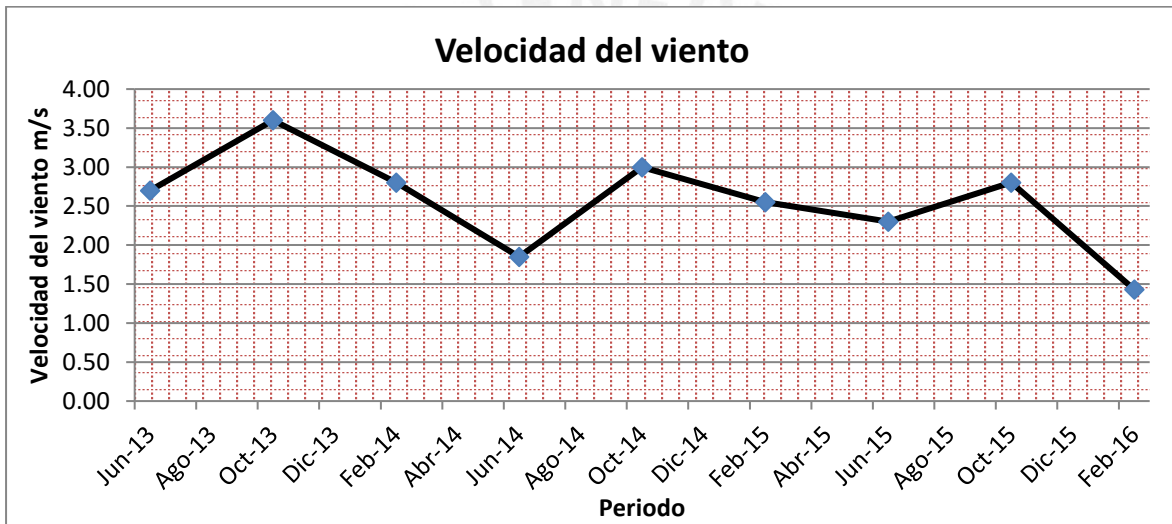
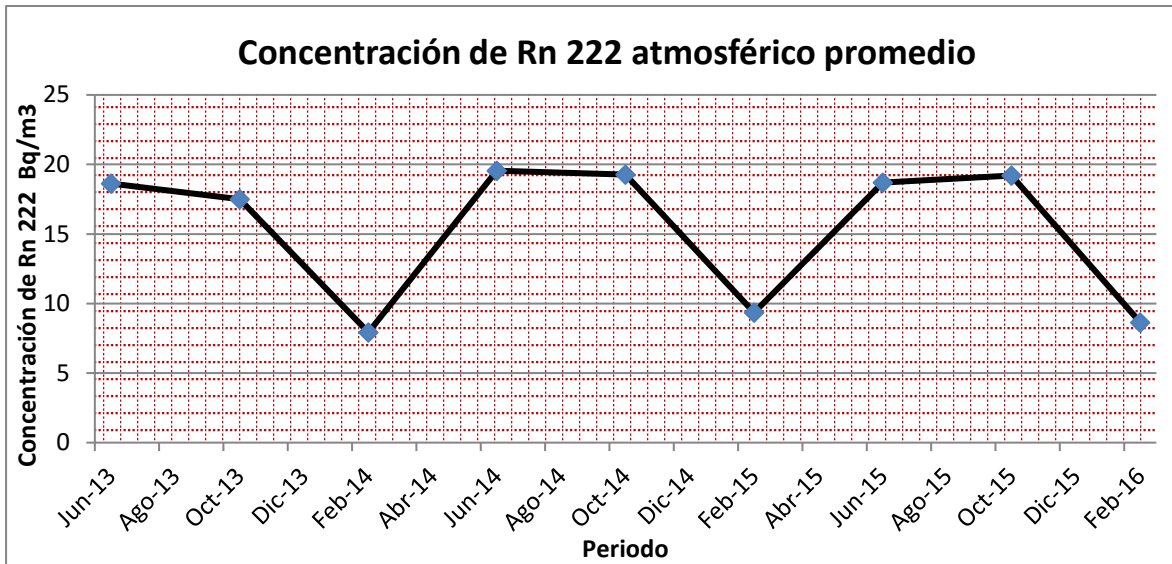


Figura 5.9: Variación estacional de la concentración de Radón 222 y del parámetro meteorológico viento.

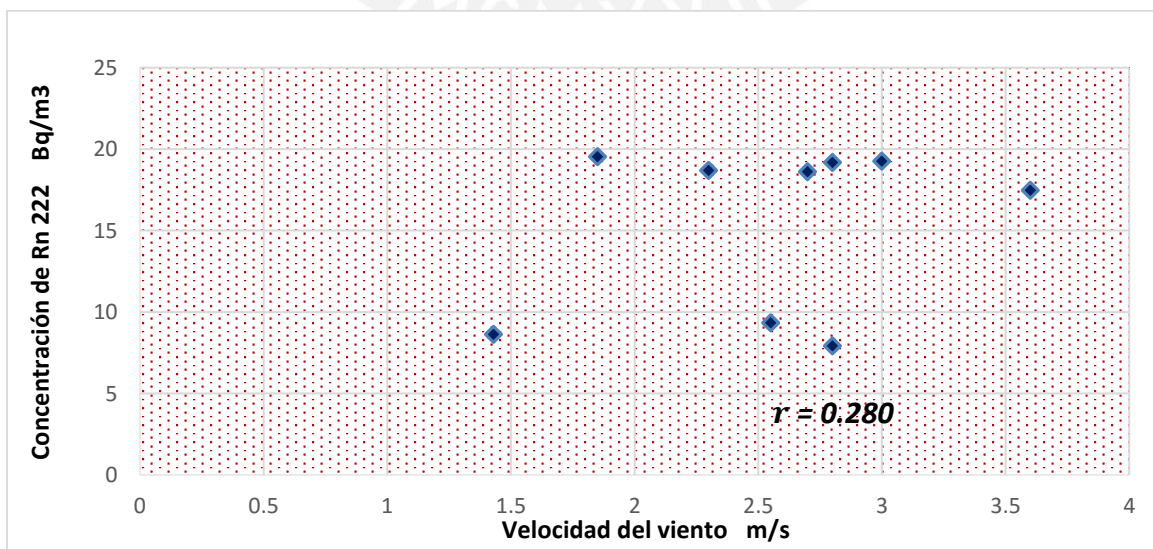


Figura 5.10: Correlación entre la concentración de Radón y la velocidad del viento.

Tabla N°5.24: Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m³) con el viento

Coefficiente de Correlación de Pearson	0.280
P-Valor ($\alpha=0.05$)	0.232

Evaluando el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla N°5.24), notamos que entre la concentración de Radón 222 y la velocidad del viento existe una correlación lineal positiva baja (0.232); no significativa con un P-valor de $0.232 > \alpha (0.05)$.

En la siguiente figura 5.11, se presenta la variación estacional de la concentración de Radón 222 con el parámetro meteorológico presión atmosférica y en la figura 5.12, la correlación entre la concentración de Radón 222 y la presión atmosférica.

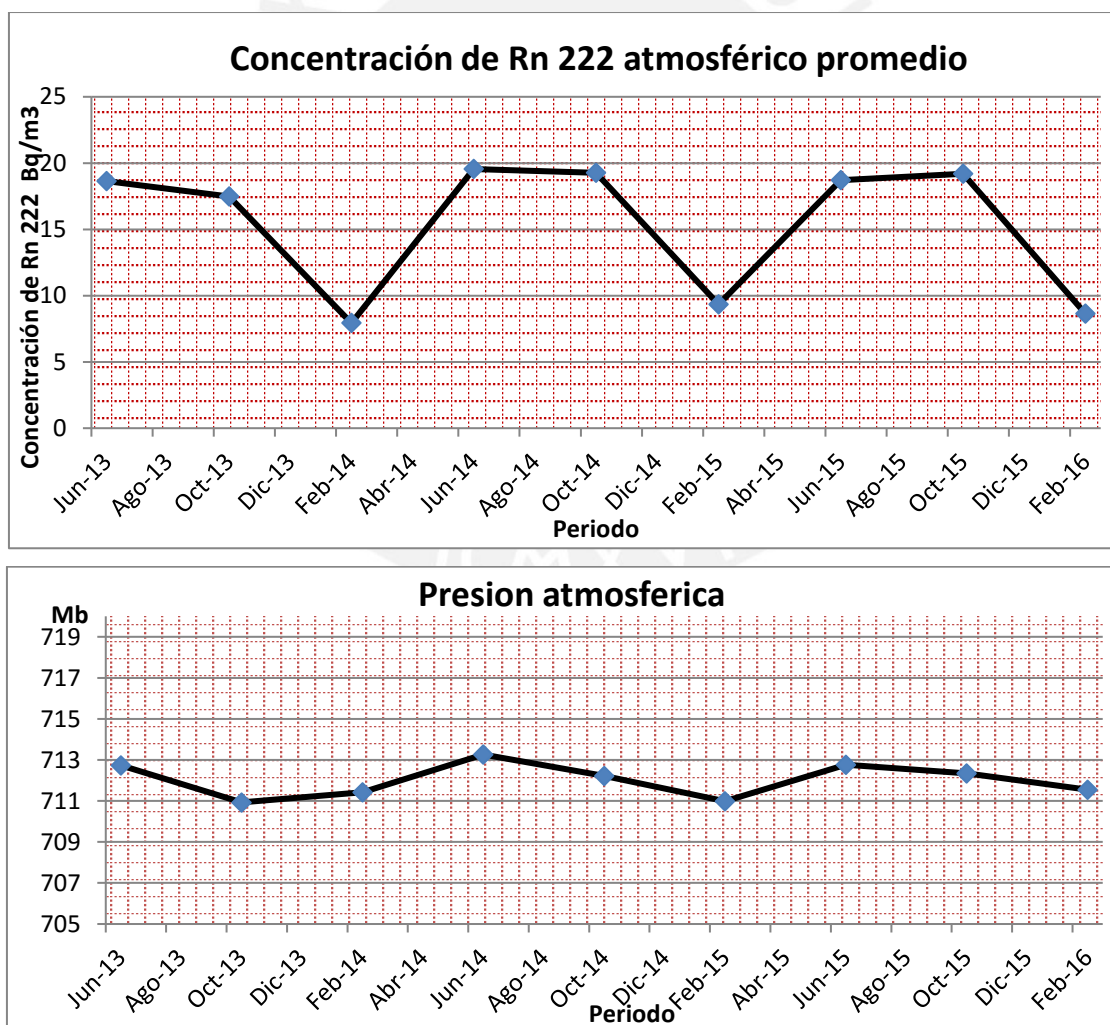


Figura 5.11: Variación estacional de la concentración de Radón 222 y el parámetro meteorológico presión atmosférica.

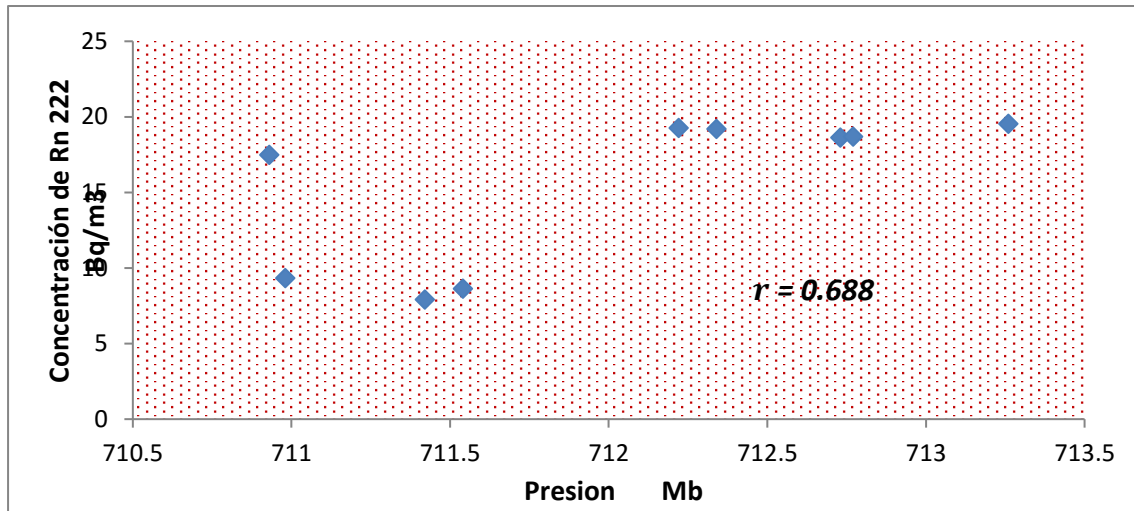


Figura 5.12: Correlación entre la concentración de Radón y la presión atmosférica

Tabla N°5.25: Correlación de la Concentración de Radón-222 (Bq/m³) con la presión atmosférica

Coefficiente de Correlación de Pearson	0.688
P-Valor ($\alpha = 0.05$)	0.02

Evaluando el coeficiente de correlación de Pearson (Tabla N°5.25), notamos que entre la concentración de Radón 222 y la presión atmosférica existe una correlación lineal positiva moderada (0.688) y significativa con un P-valor de $0.02 < \alpha (0.05)$.

6. DISCUSIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 DISCUSIONES

En este trabajo de tesis los 6 sitios de medición fueron seleccionados al azar, en diferentes áreas de la ciudad de Huancayo-Perú y la distancia entre cada sitio de medición es de aproximadamente de 2 a 4 kilómetros.

Se colocaron 8 detectores en cada uno de los 6 sitios de medición, pero solo se han considerado para el análisis de datos 5 detectores por sitio, debido a las condiciones climáticas de la ciudad de Huancayo que ocasionaron daños en algunos detectores y/o pérdidas debido a la alta radiación UV presente en la zona, finalmente se analizaron 30 detectores por periodo de medición.

Las concentraciones de Radón obtenidas, a partir de las densidades de huellas proporcionadas por los detectores LR 115 utilizados, se dan en Bq/m^3 .

Las tablas 5.1 presentan los resultados obtenidos de la primera medición de concentración de Radón ambiental correspondiente a junio del 2013 variando de un valor mínimo de $6.45 Bq/m^3$ a un valor máximo de $42.49 Bq/m^3$, posteriormente en la tabla 5.2 se presenta el promedio aritmético de la medición que es de $(18.63 \pm 0.39) Bq/m^3$, resultado que muestra que es un valor por encima de la concentración mundial promedio de Radón ambiental que es de $10 Bq/m^3$ [22].

Las tablas 5.3 muestran los resultados de la segunda medición, correspondiente a octubre del 2013 y en esta oportunidad la concentración de Radón muestra rangos de variación de $4.25 Bq/m^3$ a $36.12 Bq/m^3$, presentando el promedio aritmético de $(17.49 \pm 0.41) Bq/m^3$ como se muestra en la tabla 5.4.

Las tablas 5.5 presenta los resultados promedios de la tercera medición, correspondiente a la medición de febrero del 2014, registrando valores de 2.12 Bq/m^3 hasta 17.00 Bq/m^3 , con un promedio aritmético de acuerdo a la tabla 5.6 de $(7.93 \pm 0.25) \text{ Bq/m}^3$, por debajo de la media mundial de 10 Bq/m^3 .

De acuerdo a las tablas posteriores a la tabla 5.6, ya se muestra una tendencia de mayor concentración promedio en los meses de junio y octubre; y una menor concentración en los meses de febrero, registrándose en junio y octubre del 2014 valores promedios de $(19.55 \pm 0.44) \text{ Bq/m}^3$ y $(19.27 \pm 0.44) \text{ Bq/m}^3$ respectivamente.

Para el año 2015 los valores en las tres mediciones son: febrero 9.35 Bq/m^3 , junio 18.70 Bq/m^3 y octubre 19.20 Bq/m^3 , y finalmente para febrero del 2016, se encontró un valor de 8.64 Bq/m^3 .

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar una disminución significativa de concentración de Radón en los meses de febrero, temporada donde se registran intensas lluvias en la ciudad de Huancayo.

Todos los datos acumulados desde 2013 al 2016 se presentan en la tabla 5.21, que muestra los resultados de las medias anuales de concentración de Radón: el año 2014 registra una media anual de $(15.58 \pm 0.22) \text{ Bq/m}^3$ y el año 2015 registrar el valor es de $(15.75 \pm 0.23) \text{ Bq/m}^3$ y se muestra en esta tabla la media durante las 9 mediciones desde junio del 2013 hasta febrero del 2016, registrando un valor de $(15.42 \pm 0.24) \text{ Bq/m}^3$. Todo estos valores encontrados están por encima del promedio mundial de 10 Bq/m^3 y ligeramente superior al de Estados Unidos, cuyos promedios se estiman en 15 Bq/m^3 .

Los valores más altos se registraron en los meses de junio y octubre, meses sin lluvias; y los valores más bajos se registran en los meses de febrero, justamente en los meses de enero, febrero y marzo Huancayo presenta fuertes lluvias y por consiguiente elevada humedad.

En la figura 5.5 se muestra la variación estacional de la concentración de Radón ^{222}Rn y la lluvia, observando que es un factor importante en la variación de concentración de Radón atmosférico evaluado en un determinado lugar, puesto que en el mes donde se registra mayor

lluvia los valores de concentración de Radón son bajos, presentando en la figura 5.6 una correlación de Pearson entre la concentración de Radón y la lluvia ($r = -0.858$).

En la figura 5.7 se muestra la variación estacional de la concentración de Radón 222 y la Humedad, observando que es el factor más determinante en la variación de concentración de Radón atmosférico en un determinado lugar, puesto que en temporadas “secas” de baja humedad se registran altos valores de concentración de Radón, presentando en la figura 5.8 una correlación de Pearson entre la concentración de Radón y la humedad obteniendo el valor de coeficiente de correlación más alto ($r = -0.942$).

Durante las épocas de intensas lluvias, se registra un aumento en la humedad del suelo, que bloquea los poros del suelo creando una barrera en la difusión del Radón y por consiguiente una significativa reducción en la exhalación de este elemento contaminante, además teniendo en cuenta la alta solubilidad del Radón en el agua que impide la detección y la lluvia transportara al Radón a capas profundas del suelo [20].

En las figuras 5.9 y 5.11 se muestra la variación estacional de concentración de Radón con la velocidad del viento y la presión atmosférica, pero presentan una correlación más baja como es el caso del viento con ($r = 0.280$).

6.2 CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo principal de la tesis, medir la concentración de Radón 222 en la ciudad de Huancayo, utilizando detectores LR-115 tipo 2.

Se logró evaluar la concentración de este gas ambiental, durante 9 periodos, desde junio del 2013 hasta febrero del 2016, realizándose 3 mediciones por año, debido a que Huancayo presenta solo 3 estaciones bien marcadas, de enero a marzo temporada de fuertes lluvias, entre junio y agosto temporada seca con mucho sol y de setiembre a diciembre temporada seca, pero con ligeras lluvias.

Los resultados han permitido tener registros de concentración media anual de Radón 222, para el año 2014 de $(15.58 \pm 0.22) Bq/m^3$, para el año 2015 se reporta una media anual de

$(15.75 \pm 0.23) \text{ Bq/m}^3$, y la media durante las nueve mediciones desde junio del 2013 hasta febrero del 2016 un valor $(15.42 \pm 0.24) \text{ Bq/m}^3$.

Todos estos valores encontrados y reportados en esta investigación están por encima del promedio mundial de 10 Bq/m^3 y ligeramente superior al de Estados Unidos, cuyos promedios se estiman en 15 Bq/m^3 .

Los valores de concentración de Radón más alta fueron encontrados en el sitio de medición G4, corresponden a un valor promedio de $(17.66 \pm 0.34) \text{ Bq/m}^3$ y en el sitio de medición G2 se encontró un valor promedio de $(17.56 \pm 0.33) \text{ Bq/m}^3$; los valores de concentración más baja se encontraron en el sitio G6, reportando un valor promedio de $(13.27 \pm 0.31) \text{ Bq/m}^3$ y en el sitio de medición G1 donde reporta un valor promedio de $(13.41 \pm 0.27) \text{ Bq/m}^3$. Estos valores se indican en la tabla 5.19 y en el gráfico 5.3.

Se encontró un patrón estacional de concentración baja de Radón 222 en la ciudad de Huancayo, en los meses de febrero (alta humedad) y se reportó valores elevados en los meses de junio y octubre (temporada seca).

El parámetro meteorológico más importante en la variación de concentración de Radón 222 fue la humedad, presentando una correlación de Pearson inversa alta de $r = - 0.942$. El segundo parámetro meteorológico que influye en la variación de concentración de Radón 222 fue la lluvia, asociado a una correlación de Pearson inversa de $r = - 0.858$.

Debido a los altos valores de radiación UV en Huancayo el tiempo óptimo de exposición de los detectores fue de 20 días, este valor es el resultado de pruebas anteriores con mayor tiempo de exposición a la radiación UV y que permitieron verificar los daños en los detectores.

6.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer otros estudios sobre este gas radiactivo natural ambiental en la ciudad de Huancayo debido a que los promedios encontrados son relativamente más altos que la media mundial reportada. Igualmente hacer estudios en interiores y en centros de trabajo.

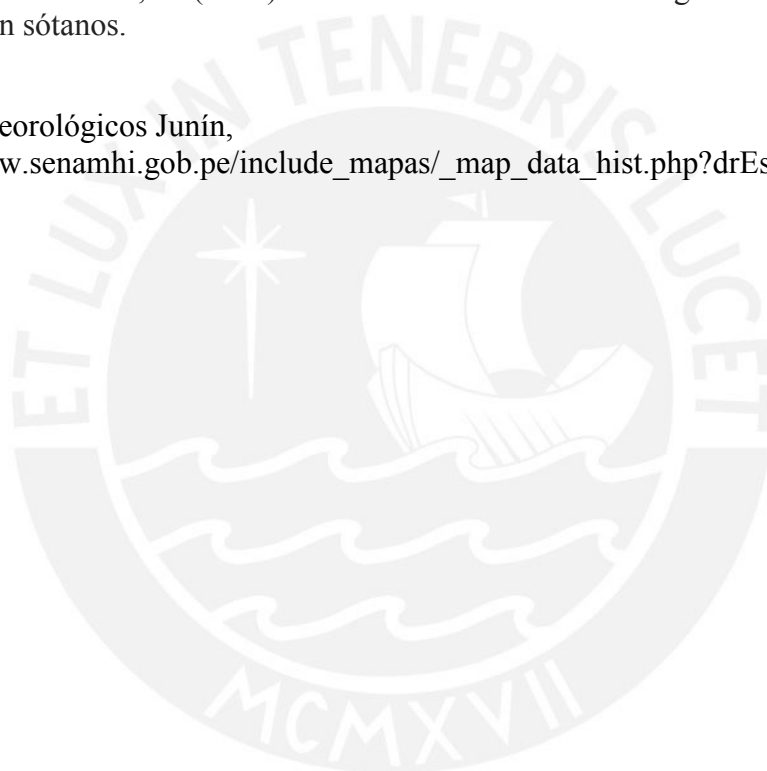
7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Garzón Valencia, G. (2013). El gas radón y la hormesis.
- [2] Alonso Hernández, H. *El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas subterráneas de las Islas Canarias Orientales* (Doctoral dissertation).
- [3] Organización mundial de la salud OMS. (30 de junio de 2016). *El radón y sus efectos en la salud*. Recuperado <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en>
- [4] Rodenas C. Gómez J. & Soto J. (2013) I. Condiciones meteorológicas y niveles de radiactividad en el aire en Cantabria.
- [5] ICRP. Protection against Radon-222 at Home and at Work.
- [6] Redacción, L.R. (2011, Mayo 08). Hallan 1,500 Millones de Toneladas de Fosfatos en el Valle del Mantaro. *La Republica*. Recuperado de <https://larepublica.pe/economia/539537-hallan-1-500-toneladas-de-fosfatos-en-el-valle-del-mantaro>.
- [7] S. A. Durrani and Radomir Ilic. (1997). Radon Measurements by Etched Track Detectors. Singapore: World Scientific Publishing Company.
- [8] Suárez Mahou, E., Fernández Amigot, J. A., Baeza Espasa, A., Moro Benito, M. C., García Pomar, D., & Moreno del Pozo, J. Lanaja del Busto, JM, 2000. *Proyecto Marna. Mapa de radiación gamma natural. Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid*.
- [9] Cancio Pérez, D. (2010). Impacto radiológico de las fuentes naturales y artificiales de radiación. El informe UNSCEAR 2008. *Nucleus*, (48), 3-9.
- [10] Ancaya, B. A. P., & Andrés, B. (2015). *Estudio de la contaminación ambiental debido a elementos radiactivos naturales* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Mención: Física).
- [11] Carlos, C. J. (2017). *Fundamentos de Física III*. (2014). Universidad Autónoma de Madrid (curso 2014-2015)
- [12] UNFV. Josué. Olórtegui Obregón, Físico Medico. Radiaciones ionizantes, interacción con la materia y principios dosimétricos.
- [13] Medicina Nuclear <http://tfmn.blogspot.pe/> Jun. 2016.
- [14] E. Cardenas. *Propuesta para Reducir los Niveles de Radón en Construcciones de Viviendas de la Parroquia Portete de Tarqui*. Tesis de Doctor de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010

-
- [15] Rábago Gómez, D. (2013). Aplicación de un sistema de monitorización de la concentración de gas radón en el agua de una instalación termal.
- [16] Elementos. <https://elementos.org.es/radon>
- [17] Rodríguez Carpio, J. R. (2013). *Cuantificación de la actividad de radón (^{222}Rn) y radio (^{226}Ra) aplicando la técnica de centelleo líquido en aguas termales del Cerro Pacho, lago de Coatepeque, departamento de Santa Ana* (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- [18] Arnedo Ayensa, M. Á. (2014). *Evaluación del fondo radiactivo natural de las Islas Canarias Orientales, implicaciones radiológicas sobre la población*.
- [19] Toribio Calero, J. B. Medición de la progenie del radón en muestras de polvo ambiental.
- [20] Magalhaes, M. H., Amaral, E. C. S., Sachett, I., & Rochedo, E. R. R. (2003). *Radon-222 in Brazil: an outline of indoor and outdoor measurements*. *Journal of environmental radioactivity*, 67(2), 131-143.
- [21] Damjanovic, A., Adrovic, J., Tresnjo, Z., & Adrovic, F. *Measurements of Environmental Radon Activity Concentration Outdoors in Bosnia and Hercegovina*.
- [22] United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation: sources* (Vol. 1). United Nations Publications.
- [23] Marcinowski, F., Lucas, R. M., & Yeager, W. M. (1994). National and regional distributions of airborne radon concentrations in US homes. *Health Physics*, 66(6), 699-706.
- [24] Gesell, T. F. (1983). Background atmospheric ^{222}Rn concentrations outdoors and indoors: a review. *Health Physics*, 45(2), 289-302.
- [25] Steck, D. J., Field, R. W., & Lynch, C. F. (1999). Exposure to atmospheric radon. *Environmental Health Perspectives*, 107(2), 123.
- [26] Oikawa, S., Kanno, N., Sanada, T., Ohashi, N., Uesugi, M., Sato, K. & Higuchi, H. (2003). A nationwide survey of outdoor radon concentration in Japan. *Journal of environmental radioactivity*, 65(2), 203-213.
- [27] Quindós, S. L., & Arteche García, J. L. (2006). Radón y meteorología.
- [28] Frutos Vázquez, B. (2009). *Estudio experimental sobre la efectividad y la viabilidad de distintas soluciones constructivas para reducir la concentración de gas radón en edificaciones* (Doctoral dissertation, Arquitectura).
- [29] Quindós Poncela, L. S. (2016). Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radón en suelos.
- [30] J. Mazur, Lecture: "Radon emanation and exhalation", Basic Training Course in Radon Metrology and Control, Ciudad Rodrigo (Salamanca, Spain) (Abril 2016)

-
- [31] García Díaz, V.A (2016). Parámetros geométricos de trazas reveladas en detectores LR-115 irradiados con partículas alfa. Tesis de Licenciatura de la Universidad Simón Bolívar.
- [32] Espinosa, G. (1994). *Trazas Nucleares en Sólidos*, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN-968-36-4219-5.
- [33] Saint Martín, M. L. G. (1999). *Evaluación de la sensibilidad en detectores de trazas nucleares* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires).
- [34] López Herrera M.E (2016). Aplicaciones de trazas nucleares en el estudio del medioambiente. http://www.soperfi.org/web/spf2016/presenta/ME_Lopez.pdf.
- [35] Dosirad. [Online]. Kodak LR115 Films. (2008). Página de DOSIRAD < <http://dosirad.pagespro-orange.fr/Notice%20LR115-A.htm> >. [2014].
- [36] Gt analytic-kodalalpha radon-dosimeters and lr155 ssntd specifications. http://www.gt-analytic.at/downloads_en/Kod_tech_det.pdf. Accessed: 2015-01-14.
- [37] Nikezić, D., & Jančićjević, A. (2002). Bulk etching rate of LR115 detectors. *Applied radiation and isotopes*, 57(2), 275-278
- [38] Alvarado R. Díaz, V.A (2008). Aplicación de detectores pasivos y activación neutrónica en la detección de neutrones térmicos y epitérmicos. Tesis de Licenciatura de la Universidad Simón Bolívar
- [39] Muvdi Amaya, J.A (2016). Determinación y análisis de trazas alfas empleando detectores pasivos a distintos ángulos de incidencia. Tesis de grado, universidad centroccidental “Lisandro Alvarado”
- [40] R. L. Fleischer, P. B. Price, and R. M. Walker, *Nuclear Tracks in Solids*, University of California Press, Berkeley, 1975.
- [41] Nikezic, D., & Yu, K. N. (2006). Computer program TRACK_TEST for calculating Parameters and plotting profiles for etch pits in nuclear track materials. *Computer Physics Communications*, 174(2), 160-165.
- [42] Huancayo. (nd). *En Wikipedia*. Consultado en enero 16, 2016, desde <https://es.wikipedia.org/wiki/Huancayo>
- [43] Mapa de peligros, plan de usos del suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Huancayo. 2011. Sitio [web:http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/4406_mapa-de-peligros-plan-de-usos-del-suelo-ante-desastres-y-medidas-de-mitigacion-de-la-ciudad-de-huancayo.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/4406_mapa-de-peligros-plan-de-usos-del-suelo-ante-desastres-y-medidas-de-mitigacion-de-la-ciudad-de-huancayo.pdf)

-
- [44] Huancayo Perú - La mayor información de la ciudad incontrastable – www.dehuancayo.com/ciudad-incontrastable.html. (2010).
- [45] Suárez-Salas, L., Álvarez Tolentino, D., Bendezú, Y., & Pomalaya, J. (2017). Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(2), 187-199.
- [46] Pereyra, P., López, M. E., Pérez, B., Rojas, J., Martínez, J., & León, K. (2016). Characterization of LR-115 Type 2 Detectors for Monitoring Indoor Radon 222: Determination of the Calibration Factor.
- [47] Rojas, G., & Yuliana, V. (2018). Medición de Radón 222 en lugares de trabajo ubicados en sótanos.
- [48] Datos meteorológicos Junín, https://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_map_data_hist.php?drEsta=12



ANEXOS:

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A JUNIO DEL 2013

Día/mes/año	Temperatura	Temperatura	Precipitación (mm)		Velocidad del	Presión (mb)	Humedad (%)
	Max (°c)	Min (°c)	7	19	Viento 13h (m/s)		
08-Jun-13	15.6	6	0	0.6	3	712.37	84.83
09-Jun-13	19.6	6	0.2	0	2	712.15	82.04
10-Jun-13	18.3	1	0	0	3	712.17	81.58
11-Jun-13	18.4	3.2	0	0	3	712.44	83.33
12-Jun-13	18.6	6.2	0	0	1	711.80	74.42
13-Jun-13	20.4	6	0	0	3	711.78	68.33
14-Jun-13	20.8	7	0	0	2	712.00	79.25
15-Jun-13	21.8	2.7	0	0	3	711.68	76.63
16-Jun-13	21.2	4.8	0	0	2	712.82	77.25
17-Jun-13	20.7	2.7	0	0	5	714.1	75.61
18-Jun-13	21.6	4.4	0	1	2	715.16	82.38
19-Jun-13	20	1.4	0	0	3	714.36	82.46
20-Jun-13	20.5	0.4	0	0	3	713.63	86.79
21-Jun-13	20.2	1	0	0	1	713.29	73.33
22-Jun-13	19.4	7	0	0	2	713.24	66.25
23-Jun-13	19.8	4.8	0	0	6	712.97	67.29
24-Jun-13	20.6	-0.2	0	0	3	711.89	50
25-Jun-13	21.8	4.3	0	0	3	712.35	36.46
26-Jun-13	21.6	1.8	0	0	2	712.36	41.33
27-Jun-13	21.2	0.8	0	0	2	711.93	45.67
PROMEDIO	20.105	3.565	0.01	0.08	2.7	712.73	70.76

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A OCTUBRE DEL 2013

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Precipitación (mm)	Velocidad del	Presión (mb)	Humedad (%)
-------------	----------------------	----------------------	--------------------	---------------	--------------	-------------

			7	19	Viento 13h (m/s)		
11-Oct-13	22.8	5	0	0	2	710.19	69
12-Oct-13	21.2	4.9	0	0	4	711.43	83.17
13-Oct-13	19.1	7.5	0.7	0	2	711.12	61.69
14-Oct-13	19.3	6.9	4.2	1.2	2	711.18	62.67
15-Oct-13	18.7	7	5.3	0.3	2	710.62	62
16-Oct-13	22.4	7.1	0.6	2.2	3	710.42	62.58
17-Oct-13	20.6	4.1	0	0	9	711.76	83
18-Oct-13	24.3	2.3	0	0	2	711.8	78.21
19-Oct-13	19.4	5	0	0	2	710.21	72.67
20-Oct-13	24.1	2.3	0	0	3	710.19	71.46
21-Oct-13	22.3	3.6	0	0	2	709.81	66.79
22-Oct-13	21.9	2.1	0	0	4	709.26	67.88
23-Oct-13	22.3	4.9	0	0.1	2	708.92	69.58
24-Oct-13	20.2	9.5	0	0.6	2	710.6	71.42
25-Oct-13	21.7	8.8	0.8	0	4	711.67	78.96
26-Oct-13	19.4	8	3.4	0	7	711.81	80.96
27-Oct-13	18.2	9.3	0.4	0	4	711.66	68.46
28-Oct-13	18.9	8.1	3.6	0	7	711.55	68.14
29-Oct-13	23	4.5	0	0	3	712.24	78.04
30-Oct-13	23.1	5	0	0	6	712.21	81.08
PROMEDIO	21.15	5.79	0.95	0.22	3.6	710.93	71.89

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A FEBRERO DEL 2014

Día/mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)	Velocidad del	Presión (mb)	Humedad (%)
-------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------	------------------	-----------------	----------------

			7	19	Viento 13h (m/s)		
02-Feb-14	19.2	8.7	0	3.74	2	711.22	78.83
03-Feb-14	21.4	4.3	8.6	0.6	2	711.41	79.67
04-Feb-14	21.4	6	0.3	0	2	712.22	88.63
05-Feb-14	20.6	7	0	0	3	711.84	84.79
06-Feb-14	19	8.5	2.1	14.9	2	711.6	81.57
07-Feb-14	18.4	7.9	6.2	3.1	2	711	79.71
08-Feb-14	20.4	6.9	1.7	3.2	3	711.08	76.54
09-Feb-14	21.4	7.7	0	0	3	712.28	82.88
10-Feb-14	17.7	8.2	5.6	0	3	712.36	76.21
11-Feb-14	18.6	9.3	0.7	0	6	711.93	77.29
12-Feb-14	20.5	7.9	0	0	3	711.47	72.96
13-Feb-14	19.4	8.1	0.6	0	2	711.18	76.67
14-Feb-14	18.4	8.5	0	0.8	4	711.12	70.54
15-Feb-14	18.7	7.2	0	0.7	3	711.55	64.42
16-Feb-14	20.7	5.5	0.2	5	2	711.43	71.29
17-Feb-14	19.6	5.9	0	0.3	4	710.91	70.04
18-Feb-14	20.8	4.5	0	0	4	711.32	79.33
19-Feb-14	20.7	7	0.4	0	1	710.77	78.13
20-Feb-14	18.4	8	0	0	3	710.18	75.79
21-Feb-14	21.2	8.1	0	0.8	2	711.58	85.17
PROMEDIO	19.83	7.26	1.32	1.66	2.8	711.42	77.52

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A JUNIO DEL 2014

Día/mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)	Velocidad del	Presión (mb)	Humedad (%)
-------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------	------------------	-----------------	----------------

			7	19	Viento 13h (m/s)		
10-Jun-14	22	4.2	0	0	1	712.85	69.92
11-Jun-14	22.4	4.8	0	0	3	712.44	69.58
12-Jun-14	21.8	0.2	0	6.3	2	712.76	66.58
13-Jun-14	20.2	1.1	2.2	0	1	714.06	65.88
14-Jun-14	19.4	2	0	0	1	714.9	57.29
15-Jun-14	20.2	4.9	0	0	3	714.44	48.08
16-Jun-14	20.8	5.3	0	0	3	714.53	55.13
17-Jun-14	18.4	7.2	0	0	1	714.69	64.25
18-Jun-14	20.5	-1.1	0	0	2	714.54	70.29
19-Jun-14	20.2	-3	0	0	2	713.98	79.46
20-Jun-14	21.2	-3	0	0	1	713.6	76.33
21-Jun-14	22.1	-0.6	0	0	2	712.72	76.21
22-Jun-14	22	-0.8	0	0	2	712.08	74.25
23-Jun-14	22.2	-1.6	0	0	2	711.96	70.71
24-Jun-14	19.4	-1	0	0	1	711.9	71.79
25-Jun-14	20.6	-0.8	0	0	2	711.88	77.83
26-Jun-14	22.3	1.5	0	0	3	711.87	70.25
27-Jun-14	22	0.5	0	0	1	712.63	80.25
28-Jun-14	21	-0.3	0	0	2	714.02	83.83
29-Jun-14	22.1	5.5	0	0	2	714.34	75
PROMEDIO	21.04	1.25	0.11	0.32	1.85	713.26	70.15

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A OCTUBRE DEL 2014

Día/mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm)	Velocidad del	Presión (mb)	Humedad (%)
-------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------	------------------	-----------------	----------------

09-Feb-15	19.6	8	3	0	2	710.12	80.54
10-Feb-15	19.4	6.5	6.2	0.7	3	710.28	85.58
11-Feb-15	19.7	5.5	21	0	1	711.73	75.17
12-Feb-15	19.4	6.6	6.3	0	2	712.26	77.75
13-Feb-15	16.9	9.5	1	2.8	2	712.63	80.04
14-Feb-15	20	8.5	1.9	0	7	712.19	77.67
15-Feb-15	16.9	6.5	4.7	4.4	1	711.75	87.25
16-Feb-15	20.4	6.8	0.5	0	2	711.03	79.67
17-Feb-15	20.8	7.1	0	0.5	2	711.16	86.08
18-Feb-15	22.7	4.2	0	4.8	2	709.81	77
19-Feb-15	22	2.6	0	0	1	709.13	70.3
20-Feb-15	21.4	5	0	0	1	709	76.75
21-Feb-15	20.2	7	0	7	1	710.11	76.39
22-Feb-15	19.9	7.4	6.9	0	3	710.86	77.52
23-Feb-15	20.3	9.4	0	7.6	3	710.93	71.42
24-Feb-15	17.9	8.3	8	2.3	1	711.2	88.96
25-Feb-15	19.9	6.6	7.3	0	3	711.46	80.88
26-Feb-15	16.7	7.5	1.5	0.3	5	711.7	90.13
27-Feb-15	20	6.4	0	0	7	711.3	76.13
28-Feb-15	19.9	4.6	6.5	4.6	2	710.93	74.17
PROMEDIO	19.7	6.7	3.74	1.75	2.55	710.98	79.47

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A JUNIO DEL 2015

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Precipitación (mm)		Velocidad del Viento 13h (m/s)	Presión (mb)	Humedad (%)
			7	19			

02-Jun-15	21.8	4.5	0	9.5	2	712.74	73.04
03-Jun-15	17.8	1.2	3.3	7.1	1	712.95	65.71
04-Jun-15	16.5	4.4	3.3	0	2	714.05	72.58
05-Jun-15	20.2	4.5	0	0	1	714.14	74.63
06-Jun-15	19.7	0.5	0	0	1	713.01	72.92
07-Jun-15	19.9	-1.9	0	0	3	712.89	67.75
08-Jun-15	21	-2.6	0	0	2	712.95	63.25
09-Jun-15	21.7	0.5	0	0	3	711.84	62.79
10-Jun-15	22.2	-0.5	0	0	2	711.85	72.96
11-Jun-15	20.8	1	0	0	2	712.58	73.79
12-Jun-15	20	3.5	0	0	2	712.92	66.92
13-Jun-15	22.2	0.5	0	0	2	711.87	74.96
14-Jun-15	22.6	0.5	0	0	2	711.2	71
15-Jun-15	20.4	5	0	0	5	712.36	77.67
16-Jun-15	20.7	3	0	0	2	712.56	73.79
17-Jun-15	22.8	4.4	0	0	3	712.13	74.17
18-Jun-15	19.2	2	0	0	3	712.82	80.25
19-Jun-15	18	5	0	0.4	3	713.39	84.42
20-Jun-15	20.4	5.1	0.4	0	2	713.21	77.75
21-Jun-15	21	-1	0	0	3	713.96	72.17
PROMEDIO	20.45	1.98	0.35	0.85	2.3	712.77	72.63

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A OCTUBRE DEL 2015

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Precipitación (mm)		Velocidad del Viento 13h (m/s)	Presión (mb)	Humedad (%)
			7	19			
09-Oct-15	24	3	0.5	0	3	711.23	67.04

10-Oct-15	24.4	3.5	0	0	1	711.58	64.25
11-Oct-15	24.2	3.4	0	0	3	711.23	71.21
12-Oct-15	24.5	7.7	0	0	2	711.46	68.92
13-Oct-15	24.8	3.5	0	1.1	3	711.57	68.42
14-Oct-15	24.6	2.6	0	0	2	711.29	65.13
15-Oct-15	23.4	4.5	0	0	4	711.36	58.88
16-Oct-15	21.4	6.4	0	0	2	711.95	63.25
17-Oct-15	15.8	9.5	0	0	4	713.98	83.38
18-Oct-15	15.2	5.3	0	0	5	715.28	80.42
19-Oct-15	20.4	6.1	0	0	1	713.65	66.17
20-Oct-15	24.6	7.9	0	0	4	712.55	66.13
21-Oct-15	23.3	3.5	0	5.8	1	712.1	73
22-Oct-15	22.8	7.4	2.7	0	1	711.68	65.63
23-Oct-15	21	7.1	2.8	0.9	2	712.19	65.92
24-Oct-15	23.2	4	0.2	0	1	712.54	64.13
25-Oct-15	20.6	7	0	0	6	713.1	69.42
26-Oct-15	21.6	7	13.8	0	1	712.3	67.92
27-Oct-15	19.7	7.2	0	0	5	713.1	74.5
28-Oct-15	21.7	8.9	0	9.1	5	712.73	72.83
PROMEDIO	22.06	5.78	0.98	0.845	2.80	712.34	68.83

DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES A OCTUBRE DEL 2015

Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Precipitación (mm)	Velocidad del Viento 13h (m/s)	Presión (mb)	Humedad (%)
	07-Feb-16	19.5	10.2	7.08	1.28	712.19
08-Feb-16	20	10.5	7.57	1.18	712.23	76.57
09-Feb-16	19.3	10.6	76 4.03	1.59	713.04	81.58

10-Feb-16	17.5	9.9	1.76	1.28	713.74	91.48
11-Feb-16	20.4	10.8	11.39	1.12	712.48	79
12-Feb-16	20.8	9.8	3.79	2.01	712.16	77.47
13-Feb-16	19.9	11.4	4.29	1.67	710.51	74.14
14-Feb-16	21	10.5	0.25	2.98	710.67	75.94
15-Feb-16	19.7	9.7	0.5	1.23	710.59	87.92
16-Feb-16	20.3	9.3	1.76	1.27	710.26	69.88
17-Feb-16	19.9	6.9	6.07	1.06	711.48	78.91
18-Feb-16	20.6	10	6.31	0.95	712.1	81.54
19-Feb-16	22	10.2	11.62	1.27	711.57	72
20-Feb-16	22.6	11.6	17.99	1.03	710.5	80.58
21-Feb-16	21.4	10.2	11.89	1.53	709.85	82.17
22-Feb-16	20.6	9.4	1	1.88	709.67	77.38
23-Feb-16	20.7	10.3	9.34	1.33	711.35	80.79
24-Feb-16	20.9	10.4	6.06	1.01	711.9	77.21
25-Feb-16	21.1	11.4	11.62	1.55	711.54	81.17
26-Feb-16	21.8	10.8	12.13	1.42	713.04	80.71
PROMEDIO	20.5	10	6.82	1.43	711.54	79.43

