



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOFÍSICA

**“MEDICIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE RADÓN 222 EN
MUESTRAS DE ORINA DE PERSONAS CON DIFERENTE EDAD,
GÉNERO Y ESTADO DE SALUD DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: GABY NOHELY TAPIA GUALLPA

DIRECTORA: Biof. MARÍA FERNANDA HEREDIA MOYANO Msc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Gaby Nohely Tapia Gualpa

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

Yo, GABY NOHELY TAPIA GUALLPA, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de septiembre del 2021



Gaby Nohely Tapia Gualpa

2200223960

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOFÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular: Tipo: Trabajo Experimental, “**MEDICIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE RADÓN 222 EN MUESTRAS DE ORINA DE PERSONAS CON DIFERENTE EDAD, GENERO Y ESTADO DE SALUD DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, realizado por la señorita: **GABY NOHELY TAPIA GUALLPA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

**LUIS
MARCELO
CORTEZ
BONILLA**
Firmado digitalmente por LUIS MARCELO CORTEZ BONILLA
Número de identificación: 0901
C.E. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICACION DE INTEGRACION CURRICULAR
Fecha: 2022.01.17 09:53:39 -05'00'

Mat. Marcelo Cortez Bonilla, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2021-09-15

**MARIA
FERNANDA
HEREDIA
MOYANO**
Firmado digitalmente por MARIA FERNANDA HEREDIA MOYANO
Fecha: 2022.01.17 09:53:39 -05'00'

Biof. María Fernanda Heredia Moyano, MSc.
**DIRECTOR DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2021-09-15


Firmado digitalmente por JHENY DEL CARMEN ORBE ORDONEZ
**JHENY DEL
CARMEN ORBE
ORDONEZ**

Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2021-09-15

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mis padres Gustavo Tapia y Gladys Guallpa que me han apoyado durante todo este largo trayecto de mi vida y son el pilar fundamental para lograr mis aspiraciones personales y académicas. A mis hermanos Jennifer y Luis que han estado junto a mí en todo ese viaje. A mis abuelitos que me han brindado su cariño y apoyo incondicional.

Gaby Nohely

AGRADECIMIENTO

A mi familia y sobre todo a mis padres, porque han sido una pieza fundamental en este largo viaje y han apoyado incondicionalmente todas mis decisiones y confiaron en mi capacidad académica impulsando así mis sueños. A mi hermana Jennifer, que con sus ocurrencias hizo mi vida de foránea no tan solitaria.

Un especial agradecimiento a mi tutora de tesis Biof. María Fernanda Heredia por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación impartiendo su tiempo, paciencia y conocimiento. A la Dra. Jheny Orbe por apoyarme en la etapa más difícil de mi carrera y guiarme con su conocimiento en el desarrollo y culminación de mi tesis.

A mis compañeros de clase en especial a Daniel que juntos empezamos esta aventura universitaria y juntos la culminamos e hizo mis horas de clase más divertidas.

Un profundo agradecimiento a los docentes de la ESPOCH, quienes durante este camino han contribuido formándome como profesional y abriendo sus puertas para brindarnos una educación de primera.

Gaby Nohely

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Radiactividad.....	5
1.2. Radiactividad Natural.....	5
1.3. Magnitudes que caracterizan la radiactividad.....	6
1.3.1. Actividad.....	6
1.3.2. Actividad Específica.....	6
1.3.3. Periodo de semidesintegración.....	7
1.4. Generalidades del Rn.....	7
1.4.1. Historia del Rn.....	7
1.4.2. Origen del ²²² Rn.....	11
1.4.3. Propiedades químicas y físicas del Rn.....	12
1.4.3.1. Propiedades físicas.....	12
1.4.3.2. Propiedades químicas.....	13
1.5. Niveles de referencia del ²²² Rn.....	13
1.6. Efectos que generan en la salud las concentraciones de ²²² Rn.....	14
1.7. Métodos de medición de partículas alfa.....	15
1.7.1. Cámaras de ionización integrada con ELECTRET (E-PERM).....	15
1.8. Dependencia de la concentración de radón con la salinidad del agua.....	16
1.8.1. Coeficiente de Oswald.....	16

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	17
----------------------------	----

2.1.	Área de estudio	17
2.1.1.	<i>Fuente de agua Catequilla Cantón Chambo</i>	17
2.1.2.	<i>Muestras biológicas de orina</i>	17
2.2.	Protocolo de Muestreo	17
2.2.1.	<i>Materiales utilizados en el muestreo</i>	18
2.2.2.	<i>Toma de muestras</i>	18
2.2.2.1.	<i>Recolección de agua</i>	18
2.2.2.2.	<i>Recolección de orina</i>	19
2.2.3.	<i>Etiquetado y transporte de muestras</i>	19
2.3.	Medición de radón-222 con el sistema E-PERM.....	20
2.4.	Protocolo de medición de ²²² Rn en agua y orina.....	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE Análisis E INTERPRETACIÓN DE resultados.....	26
3.1.	Concentración de radón en agua con diferente salinidad.....	26
3.2.	Concentraciones de radón en muestras de orina.....	27
	CONCLUSIONES.....	32
	RECOMENDACIONES.....	33
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Valores de dosis efectiva anuales de fuentes naturales.....	5
Tabla 2-1:	Isótopos artificiales del radón	8
Tabla 3-1:	Radios atómicos de los gases nobles.....	12
Tabla 4-1:	Propiedades químicas del radón.....	13
Tabla 1-3:	Concentracion de radón en muestras de agua con diferente salinidad de la vertiente Catequilla, Canton Chambo, provincia de Chimborazo	26
Tabla 2-3:	Concentraciones de radón en muestras biologicas de orina de personas con diferente edad, genero y estado de salud de la ESPOCH.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Cadena de desintegración del ^{238}U	9
Figura 2-1:	Cadena de desintegración del ^{235}U	10
Figura 3-1:	Cadena de desintegración del ^{232}Th	11
Figura 1-2:	A. Botellas de muestreo estándar B. Frascos no estándar para muestras de orina.	18
Figura 2-2:	Muestreo del agua con diferente salinidad	19
Figura 3-2:	Transporte de las muestras de agua.....	20
Figura 4-2:	A. Jarra de vidrio estándar (3.72 l). B. Jarra de vidrio no estándar (4.3 l).....	20
Figura 5-2:	Componentes de EIC para medición de radón. a. Cámara de ionización estándar S, b. Lector SPER, c. ELECTRET abierto	21
Figura 6-2:	Esquema del monitor de gas ^{222}Rn E-PERM. Cámara S (210ml). La imagen izquierda muestra el E-PERM en posición "OFF" y la imagen derecha en posición "ON"	22
Figura 7-2:	Esquema del arreglo para medir ^{222}Rn disuelto en agua usando un monitor de gas "E-PERM" Rn basado en ELECTRET.	23

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Variación de las propiedades físicas de los gases nobles con respecto al número atómico	12
Gráfico 1-3:	Concentración de radón en orina de personas sanas y personas enfermas (cáncer)	30
Gráfico 2-3:	Concentración de radón en muestras de orina corregido con el factor de correccion de salinidad	31

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** FICHA DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE AGUA CON E-PERM
- ANEXO B:** FICHA DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE ORINA CON E-PERM
- ANEXO C:** UBICACIÓN DEL LUGAR DONDE SE LLEVO A CABO LOS ANÁLISIS.
LABORATORIO DE TÉCNICAS NUCLEARES – ESPOCH
- ANEXO D:** MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN UTILIZANDO EL
EQUIPO E-PERM

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo como objetivo determinar la concentración de la actividad de radón 222 en muestras de orina recolectadas de personas con diferente edad, género y estado de salud de la ciudad de Riobamba usando electretes. La evaluación se la realizó en dos procesos (agua y orina) propuestos por la Guía Metodológica para la Determinación de la Concentración de radón en muestras de orina. Para ello, se recolectaron muestras de agua de una vertiente con diferentes cantidades de sal (0, 5g, 10g, 15g y 20g) para establecer una relación sobre la dependencia de la concentración del radón con la salinidad de la orina. Se aplicó un protocolo para el muestreo, transporte y almacenamiento de las muestras (agua y orina). Los valores que determinaron el uso de esta técnica fueron: para las muestras de agua sin sal un valor de 13,43 (Bq/l), las muestra con 20g un valor de 5,09 (Bq/l) y las muestras de orina van desde un Bajo Nivel de Detección (BND) hasta 26553 (Bq/m³); esta evaluación determinó que la salinidad afecta la exhalación de radón y es un efecto para tomar en cuenta en el análisis de muestra de orina. A partir de este estudio se obtuvo como resultado un factor de corrección en el cual la concentración corregida de radón es mayor que el valor medido en alrededor del 12% por lo tanto, la muestra de población estudiada presenta concentraciones mayores al nivel de referencia recomendado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). Partiendo de este análisis se recomienda hacer un análisis en lugares donde no exista métodos directos y de mayor precisión; además, continuar con los análisis de las concentraciones de radón en muestras biológicas y su relación con el cáncer.

Palabras clave: <BIOFÍSICA>, <RADIOACTIVIDAD>, <RADIACIÓN NATURAL>, < RADÓN (Rn)>, <DETECTORES E-PERM>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <SALINIDAD>, <ORINA>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION-
ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.01.06 16:01:06 -05'00'



0033-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the research project was to determine the concentration of radon 222 activity in urine samples collected from people of different age, gender, and health status in the city of Riobamba using electrets. The evaluation was carried out in two processes (water and urine) proposed by the Methodological Guide for the Determination of Radon Concentration in Urine Samples. For this purpose, water samples were collected from a spring with different amounts of salt (0, 5g, 10g, 15g and 20g) to establish a relationship on the dependence of radon concentration on urine salinity. A protocol for sampling, transport, and storage of the samples (water and urine) was applied. The values that determined the use of this technique were: for water samples without salt a value of 13.43 (Bq/l), samples with 20g a value of 5.09 (Bq/l) and urine samples ranging from Low Detection Level (LOD) to 26553 (Bq/m³); this evaluation determined that salinity affects radon exhalation and is an effect to be considered in the analysis of urine samples. The result of this study was a correction factor in which the corrected radon concentration is higher than the measured value by about 12%; therefore, the sample of the population studied shows concentrations higher than the reference level recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and the International Atomic Energy Agency (IAEA). Based on this analysis, it is recommended to carry out an analysis in places where direct and more precise methods do not exist; furthermore, to continue with the analysis of radon concentrations in biological samples and their relationship with cancer.

Keywords: <BIOPHYSICS>, <RADIACTIVITY>, <NATURAL RADIATION>, <RADON (Rn)>, <E-PERM DETECTORS>, <RIOBAMBA (CANTON)>, <SALINITY>, <URINE>.

CARMITA
EULALIA ROJAS
CASTRO

Digitally signed by
CARMITA EULALIA
ROJAS CASTRO
Date: 2022.01.10
21:16:04 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En la investigación denominada “*Measurement of Radon Concentration in Urine using PM-355 Detector*” de los investigadores Najeba, Mohammed & Amara en 2018, reporta las concentraciones de ^{222}Rn en muestras de orina de 30 pacientes entre 20 y 48 años con problemas de diabetes, utilizando PM-355. Los resultados obtenidos arrojaron un valor máximo de 0.8479 mSvy-1 en la muestra S19 y mínimo de 0.2591 mSvy-1 en la muestra S23 de dosis efectiva anual del ^{222}Rn en 30 ml de orina, esta dosis fue variando en cada muestra debido al tiempo de exposición a la radiación de los pacientes. Los valores promedios de la dosis efectiva anual fueron aproximadamente de 0.3963 mSvy-1, los cuales indicaron estar por debajo del rango de 3-10 mSvy-1 que me menciona la ICRP. Por lo tanto, no existe evidencias de problemas de salud en este caso (Salih, Sabri y Baker, 2018, pp.161-163).

En el año 2016, Najeba & Zubir realizaron el estudio denominado “*Measurement of radón concentration in blood and urine samples collected from female cáncer patients using RAD7*” el cual reporta las concentraciones de radón en 8 pacientes con diferentes tipos de cáncer entre 18 y 40 años, utilizando RAD7. Las muestras para analizar fueron catalogadas en dos partes, antes de la irradiación (control) y después de la irradiación para diferentes valores de temperatura y humedad relativa. Los valores promedios de las concentraciones de radón en sangre varían entre 570.25 Bq/m³ antes de la irradiación y 734.50 Bq /m³ después de la irradiación, y en orina de 208.50 Bq/m³ antes de la irradiación y 1062.62 Bq/m³ después de la irradiación. Concluyendo una relación entre concentración de radón en sangre y orina con el cáncer (Salih, Jafri y Aswood, 2016, pp.332-336).

Por otra parte en 1993, Kotrappa y Jester en su artículo “*Electret ion chamber radon monitors measure dissolved ^{222}Rn in water*” reporta una manera simple y económica de medir las concentraciones de radón disueltas en agua, sellando un volumen conocido de una muestra de agua recolectada con uno de los monitores en un recipiente de exposición para determinar el equilibrio promedio de la concentración de gas ^{222}Rn en la fase de aire durante el período de tiempo de exposición haciendo una comparación, con un método estándar de centelleo de líquidos. Los resultados obtenidos dieron valores bajos en un 15% aproximadamente para la cámara de iones ELECTRET, el cual se atribuyó a la pérdida de radón durante el manejo de la muestra (Kotrappa y Jester, 1993, pp.397-405).

En el año 2015, los investigadores Ahmad, Suhaimi & Saad en la investigación denominada “*Study of radon concentration and toxic elements indrinking and irrigated water and its implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia*” reporta las concentraciones de radón y

elementos tóxicos en muestras recolectadas de pozos, arroyos y grifos, se utilizó el RAD7 para la medición de radón y espectrómetro de absorción atómica para el análisis de Cd, Cr, Ni, Pb y As. Los valores promedios para la concentración de radón en el agua del pozo fue de 14.7 ± 1.44 Bq / l, mientras que en el agua corriente y de grifo fue de 7.9 ± 0.86 Bq / l y 5.37 ± 0.58 Bq / l, respectivamente. No obstante, las concentraciones de radón en el agua de pozo fueron superiores al nivel de acción de la Environmental Protection Agency (EPA) de 11 Bq / l y un nivel de acción inferior a 100 Bq / l de la OMS, mientras que en el caso del agua corriente y del grifo, todas las muestras se encontraron por debajo del nivel de acción de las unidades reguladoras. El orden de distribución de los elementos tóxicos fue Ni > Pb > Cd > As > Cr ($5.63 > 5.18 > 2.81 > 2.51 > 2.19$ $\mu\text{g} / \text{l}$, respectivamente) y se encontraron dosis de concentración más altas para las corrientes de agua en comparación con los pozos y el agua del grifo, pero estaban dentro de los niveles recomendados. Sin embargo, se recomienda hervir el agua antes de usarla para reducir los niveles de concentración del radón (Ahmad, Jaafar y Alsaffar, 2015, pp.294-299).

Planteamiento del problema

Descripción del problema

La radiación ionizante puede originarse de manera natural como en materiales radiactivos presentes en el suelo, agua, aire y radiación cósmica, y pueden ser generados de manera artificial como los Rayos X usados como radiodiagnóstico. Cierta población puede estar expuesta a la ingesta o inhalación de radiación ionizante natural, de igual manera que estamos todos expuestos a la radiación de fondo que se encuentra en el medio ambiente.

La dosis de radiación que recibe una persona puede ser medida, su unidad es el Sievert (Sv) por año, y este valor va a depender de factores como el lugar de trabajo de la persona, lugar de residencia, hábitos alimenticios, de donde proviene el agua que inhiere y el agua que ha nutrido los alimentos que esa persona consume a diario, otro factor importante son los exámenes médicos que se ha realizado en un rango tiempo.

Un radionucleido natural que se encuentra presente en ciertos suelos es el ^{238}U , este radionucleido decae, dentro de su progenie se puede detectar el ^{222}Rn , la presencia de este radionucleido pueden estar presentes la orina y es un motivo de problemas en la salud (Salih, Jafri y Aswood, 2016: p.332), como el cáncer en pulmón, debido a la inhalación de radón residencial, siendo la causa principal de este carcinógeno humano, así lo considera la Environmental Protection Agency de Estados Unidos (USEPA) y la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC).

Los primeros estudios epidemiológicos realizados fueron en mineros y posteriormente en la población general que dio como resultado un exceso de riesgo de cáncer de pulmón a medida que aumentaba la concentración de radón (Ruano-Raviña et al., 2014, p.439).

En la actualidad se desconoce la concentración del ^{222}Rn en muestras biológicas de pacientes que presentan una patología acertada y este es un problema que puede ser estudiado mediante el monitoreo del radón en muestras biológicas usando la cámara de ion ELECTRET, siendo una motivación para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Elementos del problema

No existe protocolos de muestreo y medición de los niveles de ^{222}Rn en muestras de orina.

No se ha determinado una muestra representativa de personas sin cáncer, para poder establecer los niveles de referencia de la concentración de ^{222}Rn en orina.

No existe una base de datos que genere la concentración de ^{222}Rn en muestras de orina de personas con diferente edad, género y estado de salud que incluya datos personales.

Formulación del problema

¿Existe una concentración medible de ^{222}Rn en muestras biológicas de orina de personas con diferente edad, género y estado de salud?

Justificación

Esta investigación que se desarrollará dentro del Proyecto de Investigación GIDAC en base al ^{238}U , el cual tiene una relevancia social y pretende evaluar la concentración del ^{222}Rn en muestras biológicas de orina de personas con diferente edad, género y estado de salud, debido a que estudios en muestras biológicas presentan una relación entre la actividad de radionucleidos y diferentes enfermedades. Es un tema de investigación viable mediante la obtención de las muestras biológicas provenientes de las personas oriundas de la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, y serán analizadas en el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencia utilizando ELECTRETS que se encuentran en funcionamiento.

Los resultados de este estudio beneficiarán a la ESPOCH por ser un tema de interés al abordar una matriz de estudio adyacente a los estudios de ^{222}Rn en aire, suelo y materiales de construcción que se han llevado a cabo dentro de la Institución, deseando encontrar resultados que podamos discutir si existe o no la presencia de este radionucleido en las personas de la ciudad de Riobamba.

Además, se contribuirá con el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, enmarcado en el objetivo 1 que garantiza una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas, dentro del eje 1 sobre Derechos para todos durante toda la vida (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017, pp. 53-59).

Objetivos

Objetivo General

Determinar la concentración de la actividad de ^{222}Rn en muestras de orina recolectadas de personas con diferente edad, género y estado de salud de la ciudad de Riobamba usando electretes.

Objetivos Específicos

- Elaborar los protocolos de muestreo y medición de los niveles de ^{222}Rn en muestras de orina.
- Realizar las mediciones de concentración del gas radón ^{222}Rn en las muestras de orina.
- Generar una base de datos de la concentración de ^{222}Rn en muestras de orina de personas con diferente edad, género y estado de salud que incluya datos personales.
- Realizar un análisis de los niveles de radón de las muestras de orina de las personas muestreadas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Radiactividad

La materia está formada por moléculas, que a su vez están formadas por átomos cuyos núcleos contienen protones y neutrones, y electrones girando a su alrededor, en equilibrio, estas partículas se encuentran unidas. Cuando existe una falta o un exceso de neutrones, se produce un fenómeno físico natural en el cual el equilibrio se puede romper y los átomos se convierten en elementos inestables y al suceder esto, aumenta la tendencia de que dichos elementos inestables se transformen en otros elementos, a esto se le conoce como “radioactividad”. (Noverques, 2016a, p.9) Se denomina radiación a toda la energía que se propaga en forma de onda a través del espacio. (Real, 2012a, p.10). Algunos cuerpos emiten radiaciones con distintas propiedades: produciendo fluorescencia, ionizando gases, atravesando cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc. mediante ondas electromagnéticas (Noverques, 2016b, p.9).

1.2. Radiactividad Natural

Desde el origen de la tierra, el ser humano ha estado expuesto a la radiación ionizante natural que proviene del espacio (VER Tabla 1-1) en forma de rayos cósmicos, en alimentos (^{40}K), material radiactivo que forma la corteza terrestre y materiales de construcción que se utilizan para la elaboración de edificios, en los cuales las personas pasaran la mayor parte de su tiempo ya sea por el trabajo o en casa; otra fuente natural de radiación es la (^{14}C), que se encuentra dentro del ser humano. La exposición a la radiación ionizante no se puede evitar a través de fuentes naturales ya que se distribuye por todo el ecosistema e incluso en nuestro cuerpo. La dosis media anual efectiva es de 2,4 mSv por persona en todo el mundo, teniendo en cuenta que existe una incertidumbre según el lugar donde resida (PNUMA, 2016, p.28).

Tabla 1-1: Valores de dosis efectiva anuales de fuentes naturales

Dosis efectiva anual debido a fuentes naturales		
Exposición	Fuente	Dosis efectiva (mSv/año)
Externa	Rayos cósmicos	0.4
	Rayos gamma terrestre	0.5
Interna	Inhalación	1.2

	Ingestión	0.3
Total		2.4

Fuente: (Allauca, 2019).

Realizado por: Tapia, G. 2021.

1.3. Magnitudes que caracterizan la radiactividad

El propósito de las magnitudes es proporcionar una medida física que se relacione con los efectos reales o potenciales de la radiación.

1.3.1. Actividad

En un dt se desintegran dN partículas. El número de partículas desintegradas dN debe ser proporcional al número de partículas N y al tiempo considerando dt . Matemáticamente se puede expresar con la siguiente ecuación (1):

$$dN = -\lambda * N * dt \quad (1)$$

Donde λ es la **constante de desintegración** (cantidad de átomos que se desintegran por unidad de tiempo). El signo negativo expresa que la cantidad de átomos N , es cada vez menor

La magnitud $dN/dt = -\lambda * N * dt$ se llama **actividad**.

La **actividad** es:

- Velocidad de desintegración: $A = -dN/dt$.
- El producto de la constante de desintegración por el número de núcleos no desintegrados (Lucas Carrazoni y Román Vallejo, 2001):

$$A = \lambda * N$$

La unidad de actividad en el S.I. es el Becquerel (Bq). Un Bq es la actividad de una sustancia que se desintegra un núcleo por segundo (Quiroz, 2018a, p.18).

Integrando la ecuación (1) obtenemos la ecuación (2):

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Donde N son los núcleos no desintegrados en el tiempo t y N_0 son los núcleos no desintegrados en el instante inicial.

1.3.2. Actividad Específica

La actividad específica se define como la actividad por unidad de masa. Ver ecuación (3) (Nakwacki y Agüero, 2002, p.5 citado por (Quiroz, 2018b, p.18).

$$A_{esp} = \frac{A(t)}{m} \quad (3)$$

1.3.3. *Periodo de semidesintegración*

Es el intervalo de tiempo que tarda una cantidad de radionucleido de un determinado material reducirse a la mitad y es característico de cada materia (Bauer y Westfall, 2011a, pp. 1334-1335). También se denomina tiempo de vida media.

$$N(t_{1/2}) = \frac{1}{2}N_0 \quad (4)$$

Relacionando la constante de decaimiento λ con la vida media, da como resultado:

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

El tiempo de vida media τ , se define como el tiempo medio que le toma a un núcleo en decaer si cumple con la ley de decaimiento exponencial (Bauer y Westfall, 2011b, p. 1334). Se define como:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

1.4. Generalidades del Rn

1.4.1. *Historia del Rn*

A inicios del siglo XX en el año de 1900 el químico y profesor universitario Alemán Friedrich Ernest Dorn descubrió que el radón se emitía desde el radio, mientras trabajaba en la identificación de materiales radiactivos emitidos por el torio (Th), más adelante descubre que el radio y el torio emitían la misma sustancia radioactiva y a este fenómeno lo denominó como “emanación”, posteriormente Rutherford extiende el trabajo de Dorn sobre el torio y lo denominó “emanación del radio” (Santillán, 2018, p.7).

Ransay y Gray en 1908 lo llamaron nitón y en 1910, aislaron el elemento y midieron su densidad encontrando el gas más pesado. El radón es inerte y ocupa el último lugar del grupo de los gases nobles en la Tabla Periódica. A partir del año de 1923 empezó a llamarse *radón* y en la actualidad se conoce 16 isótopos del radón, de los cuales 3 son naturales y 13 fueron sintetizados en el laboratorio (Garzón, 2009a, p.17).

Los isótopos naturales del radón son radioactivos y ocasionalmente se les ha dado un nombre específico: El Actinón es el isótopo ^{219}Rn con una vida media de 3.92 segundos, producido en la

cadena de desintegración del ^{235}U , (Ver Figura 2-1.) pasando por el Actinio (^{227}Ac). El Torón es el isótopo ^{220}Rn con una vida media de 51.5 segundos, el cual viene de la desintegración del ^{232}Th (Ver Figura 3-1.). El Radón es el isótopo ^{222}Rn con una vida media de 3.82 días y es el resultado de la desintegración del ^{238}U , (Ver Figura 1-1.) pasando por el ^{226}Ra (Garzón, 2009b, p.17).

En la tabla 5-1 se puede observar los isótopos que han sido sintetizados en el laboratorio:

Tabla 2-1: Isótopos artificiales del radón

Elemento	Tiempo de vida media
^{204}Rn	3 minutos
^{206}Rn	6.2 minutos
^{207}Rn	11 minutos
^{208}Rn	23 minutos
^{209}Rn	30 minutos
^{210}Rn	2.7 horas
^{211}Rn	16 horas
^{212}Rn	23 minutos
^{215}Rn	10^{-6} segundos
^{216}Rn	10^{-4} segundos
^{217}Rn	10^{-3} segundos
^{218}Rn	0.019 segundos
^{221}Rn	25 minutos

Fuente: Garzón, 2009.

Realizado por: Tapia, G. 2021.

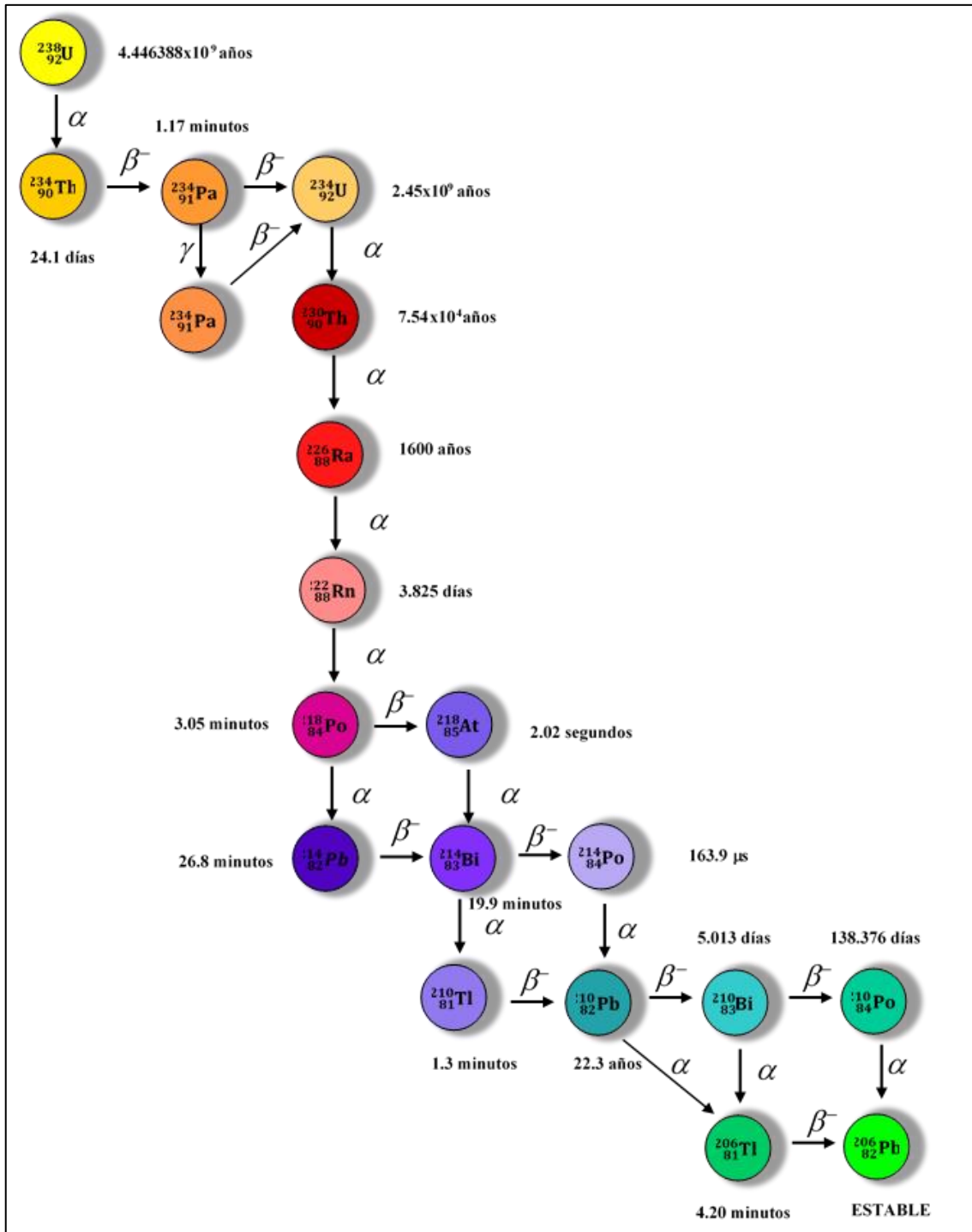


Figura 1-1: Cadena de desintegración del ^{238}U

Realizado por: Tapia, G. 2021.

El ^{222}Rn es el isótopo del radón más abundante en la naturaleza y el primero que fue estudiado. A este gas se le ha llamado de diversas maneras, tales como: emanación del radio, nitón, L-niteno, brillante y finalmente, radón (Garzón, 2009c, p.17).

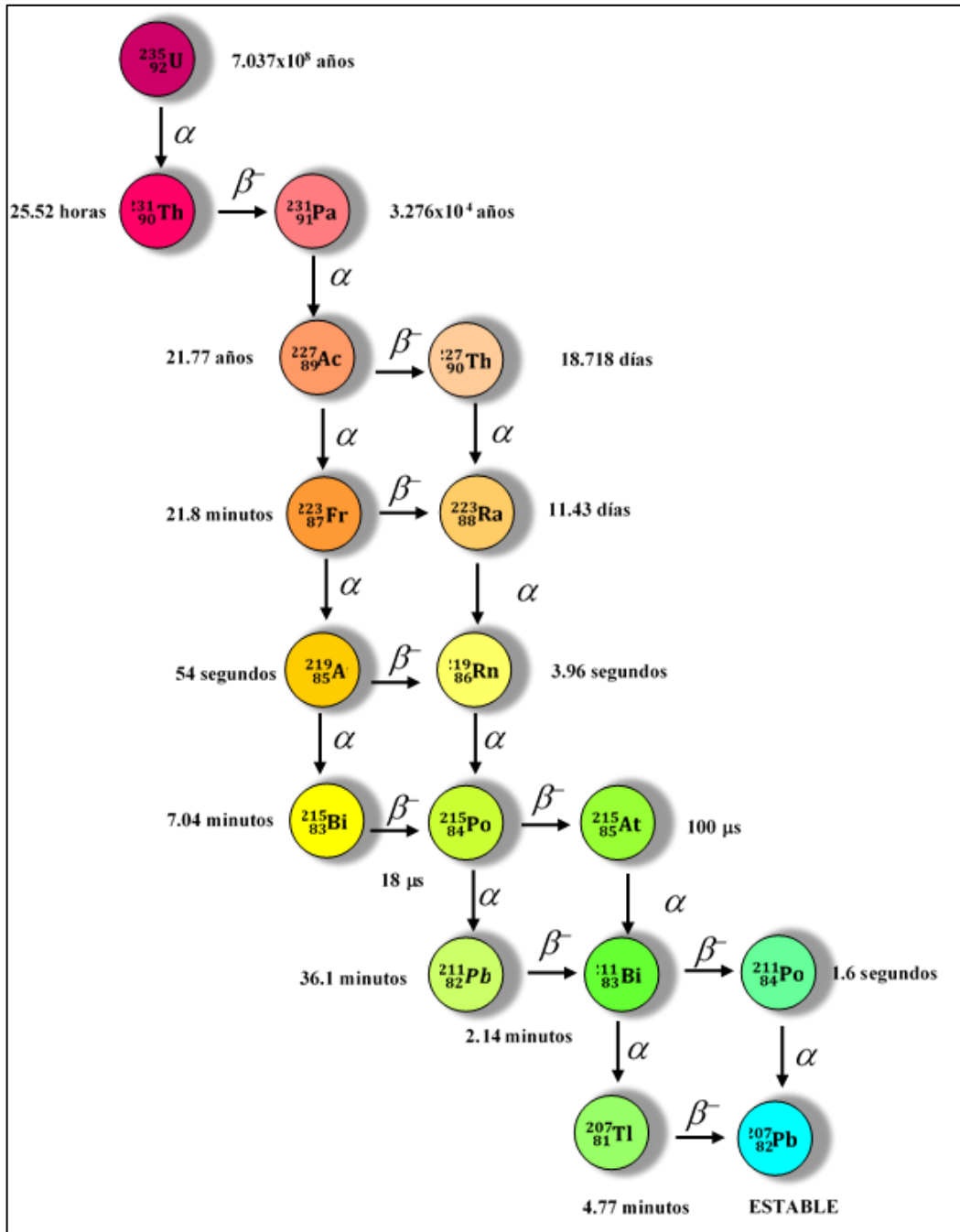


Figura 2-1: Cadena de desintegración del ^{235}U

Realizado por: Tapia, G. 2021.

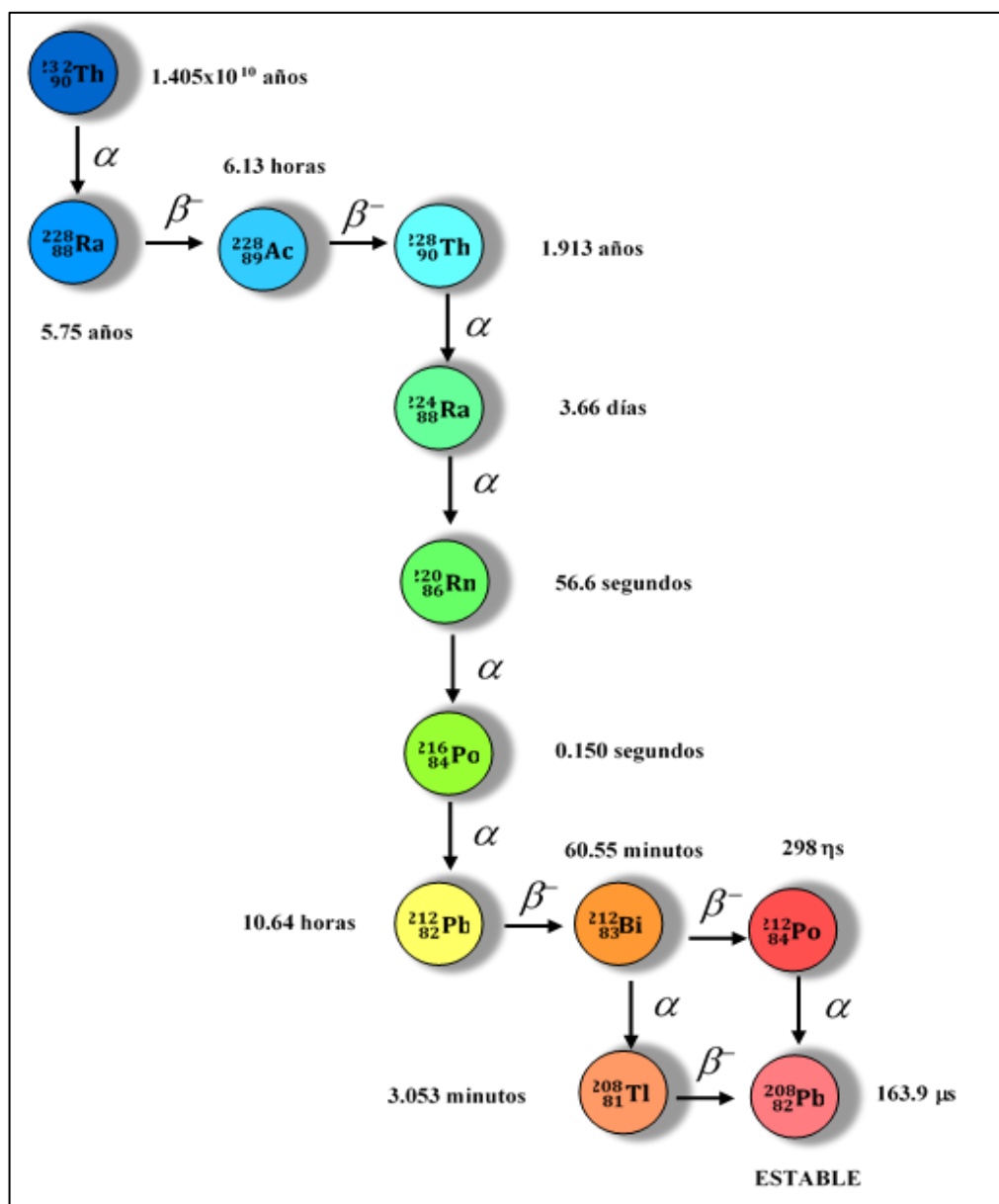


Figura 3-1: Cadena de desintegración del ^{232}Th

Realizado por: Tapia, G. 2021.

1.4.2. Origen del ^{222}Rn

El ^{222}Rn se produce en el suelo siendo esta su fuente principal, es un nucleido hijo del ^{226}Ra perteneciente a la cadena de desintegración del ^{238}U . El ^{220}Rn (Torón) se obtiene mediante la desintegración alfa del ^{224}Ra , perteneciente a la cadena de desintegración del ^{232}Th , tanto el radón como el torón son gases nobles que puede emigrar del suelo por medio de una difusión molecular o por convección y de esta manera entrar en la atmosfera. El desplazamiento del radón en el aire depende de las condiciones meteorológicas, los nucleidos hijos del radón como el torón son isotopos de materiales pesados y se pueden adherir de manera fácil a las partículas de aerosol que

están suspendidas en el aire por medio de emisiones alfa y/o beta gamma. Los procesos de precipitación eliminan del aire los aerosoles cargados con los nucleidos del radón y el torón (Ahmed, 1994, p.32).

Para la salud pública el elemento más problemático es el gas ^{222}Rn debido a que si se inhala la mayoría se exhala antes de que se descomponga, pero una pequeña parte del radón inhalado y su progenie podrían transferirse a los pulmones, a la sangre y transportarse a todo el cuerpo, donde pueden administrar una dosis a otros órganos (Salih et al, 2016, p.232).

1.4.3. Propiedades químicas y físicas del Rn

1.4.3.1. Propiedades físicas

El radón a temperatura ambiente es un gas incoloro, inodoro e insípido, en estado sólido puede presentar distintas coloraciones, cuando es sometido a temperaturas por debajo de su punto de congelación (-71°C), este gas muestra una brillantez fosforescente con tonos entre amarillo y rojo-naranja (Garzón, 2009d, p.19).

Las cadenas radiactivas del ^{238}U , ^{232}Th y ^{235}U respectivamente se encuentra en desequilibrio, por ende, tiende a desintegrarse hasta llegar a un elemento radiactivamente estable, como lo son ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb . La masa molecular sirve para determinar que este gas es monoatómico. Los valores de las temperaturas de ebullición y fusión varían de manera periódica en el grupo de los gases inertes, en el cual está incluido el radón, como se muestra en el gráfico 1-1.

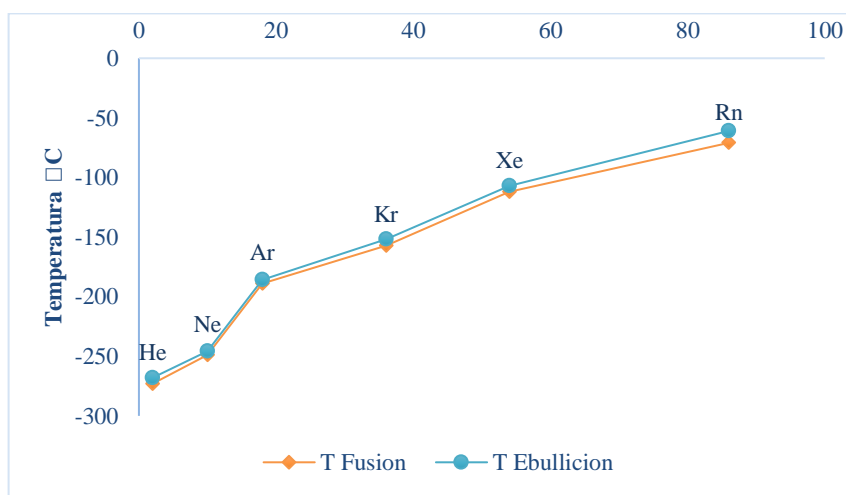


Gráfico 1-1: Variación de las propiedades físicas de los gases nobles con respecto al número atómico

Realizado por: Tapia, G. 2021.

Tabla 3-1: Radios atómicos de los gases nobles

Gas Noble	Helio	Neón	Argón	Kriptón	Xenón	Radón

Radio Atómico Å	1.22	1.60	1.92	1.98	2.18	1.82
--------------------	------	------	------	------	------	------

Fuente: (Garzón, 2009).

Realizado por: Tapia, G. 2021.

1.4.3.2. Propiedades químicas

El radón es un elemento gaseoso inerte radioactivo e inestable en todos sus isotopos, es soluble en agua y denso en aire. A pesar de ser catalogado como un gas noble presenta un comportamiento de “metaloide”, no reacciona con ningún elemento, es decir, químicamente inerte con un número atómico de 89. Su manipulación debe ser por expertos, debido a que la inhalación de los productos solidos de su desintegración puede afectar fuertemente los alveolos pulmonares (Garzón, 2009e, p.20).

Algunas propiedades químicas del radón de resumen en la tabla 4-1:

Tabla 4-1: Propiedades químicas del radón

Formula molecular	Rn
Numero atómico	89
Peso molecular	222
Configuración electrónica	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
Niveles electrónicos	2,8,18,32,18,8
Temperatura de fusión	-71°C
Temperatura de ebullición	-61°C
Densidad de estado gaseoso	9.73g/L
Compuestos complejos	Rn•6H ₂ O, Rn•2C ₆ H ₅ OH, Rn•2C ₆ H ₅ CH ₃
Compuestos inorgánicos	RnF ₂ , RnF ₄ , RnCl ₄

Fuente: (Garzón, 2009).

Realizado por: Tapia, G. 2021.

1.5. Niveles de referencia del ²²²Rn

Una respuesta precisa sobre los niveles de concentración de radón saludables es muy discutible, y la respuesta sería “cero”, excepto que el radón es un a gas radiactivo natural que se encuentra en el aire a nuestro alrededor y en niveles altos y durante largos periodos de tiempo puede ser peligroso puesto que se emana fácilmente y puede ser ingerido en agua potable y alimentos que contienen altas concentraciones de radón y por exposición dérmica, de ahí la necesidad de conocer los niveles de concentración de radón.

Las concentraciones medias aritméticas de radón en aire en los países europeos oscilan entre 30 y 140 Bq/m³; en Canadá y Argentina se han observado niveles alrededor de 35Bq/m³, en los países de Asia meridional y sudoriental los niveles de Rn²²² oscilan entre 16 y 60 Bq/m³. Según la composición geológica y las consideraciones socioeconómicas, los niveles de acción en interiores recomendados varían de un país a otro. Muchos países han establecido un nivel de acción de 200 Bq/m³ en el que se debe tomar medidas de mitigación para reducir los niveles de radón en el hogar (Schwela, 2014, pp. 1010-1011).

La exposición al radón en aire en el hogar probablemente aumenta permanentemente el riesgo de cáncer de pulmón en los no fumadores o en los fumadores. El exceso de riesgo relativo promedio, basado en 30 años de exposición promedio al radón de fumadores, exfumadores y no fumadores de por vida, es aproximadamente del 16% por aumento de 100 Bq/m³. Dado que el riesgo relativo de cáncer de pulmón a cualquier concentración de radón dada es aproximadamente 26 veces mayor en los fumadores actuales que en los no fumadores de toda la vida, el riesgo absoluto de cáncer de pulmón debido al radón es apreciablemente mayor para los fumadores actuales y exfumadores que para los no fumadores de toda la vida. La OMS estimó que el exceso de riesgos a lo largo de la vida (a la edad de 75 años) corresponde a una unidad de riesgo de $0,6 \times 10^{-5}$ por Bq/m³ para los no fumadores de por vida y 15×10^{-5} por Bq/m³ para los fumadores. En consecuencia, para la gestión del desafío del radón, el Proyecto Internacional de Radón de la OMS ha recomendado un nivel de referencia de 100 Bq/m³ para minimizar los peligros para la salud debido a la exposición al radón en interiores (Schwela, 2014, pp. 1010-1011).

1.6. Efectos que generan en la salud las concentraciones de ²²²Rn

El radón al ser un elemento radiactivo, genera radiaciones ionizantes que son absorbidas por las células y estas células al estar expuestas inicialmente a niveles elevados de radiación sufren lesiones y por consiguiente el desarrollo de un proceso cancerígeno en órganos y tejidos (Loayza, 2018, p.22).

El radón se emana fácilmente y puede ser ingerido en agua potable y alimentos que contienen altas concentraciones de radón y por exposición dérmica. Las dosis de radiación recibidas más altas por exposición al radón se producen en los órganos en el punto de ingreso; sin embargo, una fracción del radón consumido y sus descendientes en descomposición pueden absorberse en el torrente sanguíneo y disiparse a otros órganos, cuando se disuelve el radón en el agua potable y alimentos permite la entrada oral de radón y se cree que la mayor parte del radón ingerido del agua es absorbido por el estómago y el intestino delgado y una pequeña parte por el colon. Se cree que el 90% del radón ingerido se exhala en 10 min, aproximadamente el 10% del radón

absorbido y retenido en el cuerpo se distribuye al hígado, mientras que una pequeña fracción termina en el tejido renal y pulmonar. La exposición dérmica ocurre al bañarse en spas de radón; sin embargo, determinar la importancia de exposición del radón en baños de spa es complicado, debido que el radón se escapa de estas aguas y puede inhalarse.

La gran mayoría de la dosis que se encuentra en los tejidos pulmonares proviene de las hijas de vida corta del Rn222, principalmente del Po²¹⁸ y Po²¹⁴, esta progenie de radón que queda atrapada en las superficies internas del tracto respiratorio emiten partículas de alta LET (Transferencia Lineal de Energía) que pueden atravesar las células del epitelio circundante, causando daño en el ADN celular (Thompson, 2014, pp. 46-47).

En 1986, el radón fue catalogado como agente cancerígeno del Grupo 1 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en 1988, por la International Agency for Research on Cancer (IARC). La International Commission of Radiological Protection, (ICRP) posee la principal fuente de información sobre los riesgos de cáncer de pulmón inducido por el radón, que surgieron a partir de los estudios epidemiológicos realizados a partir de 1993 en mineros subterráneos. Estudios más recientes han proporcionado datos sobre los riesgos de padecer cáncer de pulmón incluso a partir de niveles bajos de exposición y en EE. UU. Se estima que la exposición a este agente radiactivo constituye la segunda causa para desarrollar cáncer de pulmón que figura entre las principales causas de muerte del país (Zeeb et al., 2014).

La probabilidad de que el radón provoque cáncer de pulmón es mayor en personas que fuman y se estima que el riesgo asociado al radón que se expone un fumador es 25 veces superior que en el caso de los no fumadores. Hasta la fecha, no se ha determinado que haya riesgo de otro tipo de cáncer (World Health Organization, 2016).

1.7. Métodos de medición de partículas alfa

1.7.1. Cámaras de ionización integrada con ELECTRET (E-PERM)

En este estudio se utilizó las cámaras de ionización integrada con ELECTRET que es un dispositivo pasivo que funciona como detector integrador para medir la concentración media de gas radón durante el periodo de cálculo. (OMS, 2015a, pp.25-26), presentes en los suelos, agua termales y fumarolas de los volcanes activos; así como en suelos ubicados dentro y fuera de zonas sismogénicas y de fallamiento activo.

Cuando se instala un ELECTRET en una cámara conductora de electricidad, se convierte en una cámara de ionización integrada con el ELECTRET, que sirve no solo como fuente del campo eléctrico, sino también como el sensor ²²²Rn. El ELECTRET funciona al mismo tiempo como generador de un campo eléctrico y como sensor en la cámara iónica (OMS, 2015b, pp.25-26).

La caída en el voltaje superficial del ELECTRET durante un período de tiempo, es una medida de ionización integrada en el tiempo durante ese período, ésta a su vez se relaciona con la concentración de radón. Las CIE para periodos cortos miden el radón durante 2 a 15 días a concentraciones de 150 Bq/m³ y para periodos prolongados miden el radón durante 3-12 meses a concentraciones de 150 Bq/m³. (Organización Mundial de la Salud, 2015).

El proceso de recolección de iones en los detectores E-PERM, es independiente de la humedad hasta un potencial de superficie de 100V (Allauca, 2019a, p.16).

Los valores se cuantifican mediante la medición de las ionizaciones producidas dentro de la cámara E-PERM, por el gas radón y sus progenies, la lectura de los detectores se lo realiza de manera inmediata, también se puede medir repetidamente el proceso de lectura sin que se produzca un daño en la señal del ELECTRET (Allauca, 2019b, p.16).

1.8. Dependencia de la concentración de radón con la salinidad del agua

La solubilidad de un gas (radón) en un solvente (agua) siempre disminuye si el solvente no es puro, un efecto que puede denominarse “salting out”.

La detección de radón en agua de manera inmediata in situ se basa en un equilibrio de concentración de radón entre agua y aire recirculante. Para transformar la concentración de equilibrio de radón detectada en el aire (C_{air}) en la concentración de radón en agua (C_w), es necesario conocer el coeficiente de partición agua/aire de radón (K_w/K_{air}), este coeficiente depende tanto de la salinidad como de la temperatura, tiene valores posibles en aguas naturales en un rango de magnitud de aproximadamente de 0,5 (agua dulce fría) y 0,05 (agua salina caliente) (Schubert et al., 2012 pp. 3505-3506).

1.8.1. Coeficiente de Oswald

El gas radón tiene una solubilidad relativamente baja en agua, la partición de este gas en condiciones de equilibrio entre la fase líquida y la gaseosa se caracteriza por el coeficiente de Oswald (OC) el cual define la relación entre la concentración de ²²²Rn entre estas dos fases. (Clever, 1979) referenciado por (Kotrappa y Jester, 1993, p.400). La siguiente ecuación permite encontrar el coeficiente de Oswald. (Ongori et al, 2015, p.4).

$$\alpha = 0,105 + 0,405e^{0,0502T} \quad (7)$$

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

Esta investigación se realizó en dos fases, la primera que consistió en estudiar el efecto de la salinidad sobre la tasa de exhalación de radón-222, usando muestras de agua subterránea y una segunda fase de análisis de muestras de orina con la correspondiente determinación de un factor de corrección debido a la salinidad. El área de estudio está constituida por los cantones Riobamba y Chambo, ubicados en la provincia de Chimborazo. Las muestras de orina se obtuvieron de personas con diferente edad, género y estado de salud de la ciudad de Riobamba, mientras que las muestras de agua se recolectaron de la vertiente Catequilla, ubicada en el cantón Chambo.

2.1.1. *Fuente de agua Catequilla Cantón Chambo*

La vertiente Catequilla está ubicada a 2882 m.s.n.m con una latitud de 14339 y una longitud de 783038. Las muestras recolectadas fueron del tanque de captación y distribución, ubicado en la parte inferior de la iglesia la Pampa. El agua es transportada por medio de tuberías desde la vertiente hasta el tanque de captación, el cual abastece a la zona urbana.

2.1.2. *Muestras biológicas de orina*

La mayoría de las muestras se recolectaron del personal docente, administrativo, estudiantil y de servicio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, universidad pública, ubicada en la ciudad de Riobamba a 2816 m.s.n.m.

2.2. Protocolo de Muestreo

El muestreo, transporte y almacenamiento de las muestras de agua y muestras biológicas tiene un efecto importante en los resultados de la medición. El protocolo que se presenta a continuación garantiza que una parte considerable del gas no se pierda durante muestreo.

2.2.1. *Materiales utilizados en el muestreo*

Se utilizaron dos tipos de botellas, una estándar de la Compañía RadElec Inc., para la recolección del agua con un volumen de 68 ml, y otra no estándar para la recolección de orina, contenedores tradicionales de plástico con tapa rosca, con un volumen de 150 ml (Ver Figura 1-2).



Figura 1-2: A. Botellas de muestreo estándar B. Frascos no estándar para muestras de orina.

Realizado por: Tapia, G. 2021.

2.2.2. *Toma de muestras*

2.2.2.1. *Recolección de agua*

Se procedió a recolectar el agua de la vertiente Catequilla en un recipiente de 4 litros, con mínima turbulencia, se sumergió la botella estándar de 68 ml y se cerró bajo el agua. En total se tomaron 6 botellas del mismo recipiente.

Para el caso de las muestras de agua con 5g, 10g, 15g o 20g de NaCl, se recolectó 1 litro de agua en un recipiente de vidrio, se disolvió el NaCl, se sumergieron dos botellas de 68 ml y se cerraron bajo el agua. Se elaboraron 3 soluciones para cada dosificación; es decir, se recolectaron en total 24 botellas, cuidando que no existan burbujas de aire dentro la botella.



Figura 2-2: Muestreo del agua con diferente salinidad

Realizado por: Tapia, G. 2021.

2.2.2.2. Recolección de orina

Se recolectaron las muestras de orina directamente de las personas, registrando su condición de salud, edad y sexo.

2.2.3. Etiquetado y transporte de muestras

Las muestras de agua y orina fueron etiquetadas de manera independiente, con un código único. La letra “E” para estudiantes, la letra “T” para técnicos de laboratorio, la letra “D” para docentes y la letra “P” para pacientes con cáncer.

Las botellas de agua fueron transportadas boca abajo en un recipiente con aislamiento térmico para conservar su temperatura. Los contenedores de orina fueron transportados boca arriba en un recipiente plástico.



Figura 3-2: Transporte de las muestras de agua

Realizado por: Tapia, G. 2021

Una vez que las muestras llegaron al laboratorio fueron analizadas de manera inmediata.

2.3. Medición de radón-222 con el sistema E-PERM

La configuración experimental *estándar* consta de un contenedor de vidrio de 3.72 litros, 2 botellas de vidrio de 68 ml, un detector (ELECTRET) una cámara modelo S y un lector de voltaje SPER1 (Ver Figura 4-2).



Figura 4-2: A. Jarra de vidrio estándar (3.72 l). B. Jarra de vidrio no estándar (4.3 l)

Realizado por: Tapia, G. 2021

Para el análisis de las muestras de orina se utilizó una configuración *no estándar* que constó de un contenedor de vidrio de 4.3 litros, el recipiente de 150 ml, un detector (ELECTRET) una cámara modelo S y un lector de voltaje SPER. La Figura (5-2) muestra el contenedor o jarra de vidrio estándar y no estándar.

El sistema E-PERM (Kotrappa y Jester, 1993, p.397) se compone de:

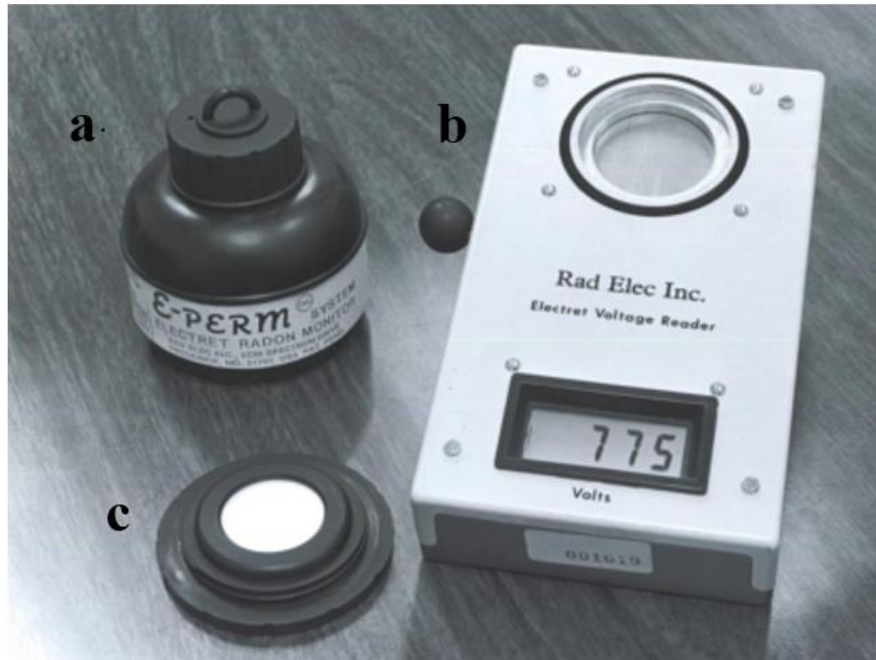


Figura 5-2: Componentes de EIC para medición de radón. a. Cámara de ionización estándar S, b. Lector SPER, c. ELECTRET abierto

Fuente: (Zeeb et al., 2014)(Kotrappa, 2015).

1. Una cámara de ionización fabricada con material electro conductor de polipropileno, dentro de la cual un ELECTRET puede ser descargado. La cámara estándar o S es una cámara de volumen de 210 ml con un mecanismo de *encendido y apagado*. Cuando se carga un electret de corto plazo (ST) en la cámara S, la configuración de E-PERM se denomina E-PERM "SST". Cuando se carga un electret a largo plazo (LT) en la cámara S, la configuración del E-PERM se denomina E-PERM "SLT".

La configuración "SST" E-PERM se utiliza para realizar mediciones a corto plazo, normalmente de 2 a 7 días. La configuración "SLT" E-PERM se utiliza para realizar mediciones más largas, aproximadamente de 30 a 120 días (Rad Elec Inc., 1991, p.10).

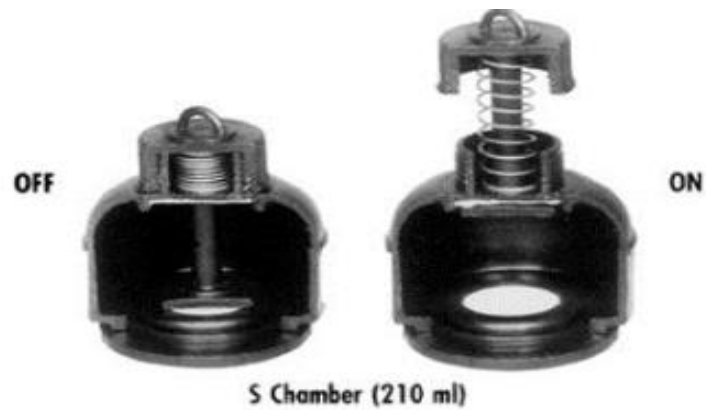


Figura 6-2: Esquema del monitor de gas ^{222}Rn E-PERM. Cámara S (210ml). La imagen izquierda muestra el E-PERM en posición "OFF" y la imagen derecha en posición "ON"

Fuente: (Rad Elec Inc., 1991).

2. Un lector del potencial de superficie χ del ELECTRET. Los lectores SPER se utilizan para medir el voltaje de un electret. Son voltímetros sin contacto de alta precisión, el cambio de voltaje de superficie del electret durante un periodo de exposición conocido es una medida de la concentración de radón integrada en el tiempo en la cámara durante ese periodo; los lectores SPER deben ser manipulados con cuidado y cada lector viene con un estuche de transporte acolchado (Rad Elec Inc., 1991, p.14).
3. Un ELECTRET es un disco de teflón cargado, descrito por una tensión superficial cuantificable. Cuando se introduce un ELECTRET en la cámara se convierte en sistema de detección de radón-222 ELECTRET Ion Chamber (EIC). La Figura (2-2) ilustra el sistema EIC en su posición apagado y prendido. La caída de voltaje superficial del ELECTRET a lo largo de un período de tiempo es una proporción de la ionización incorporada en el tiempo que ocurre durante ese período (Kotrappa y Jester, 1993a, p.398).

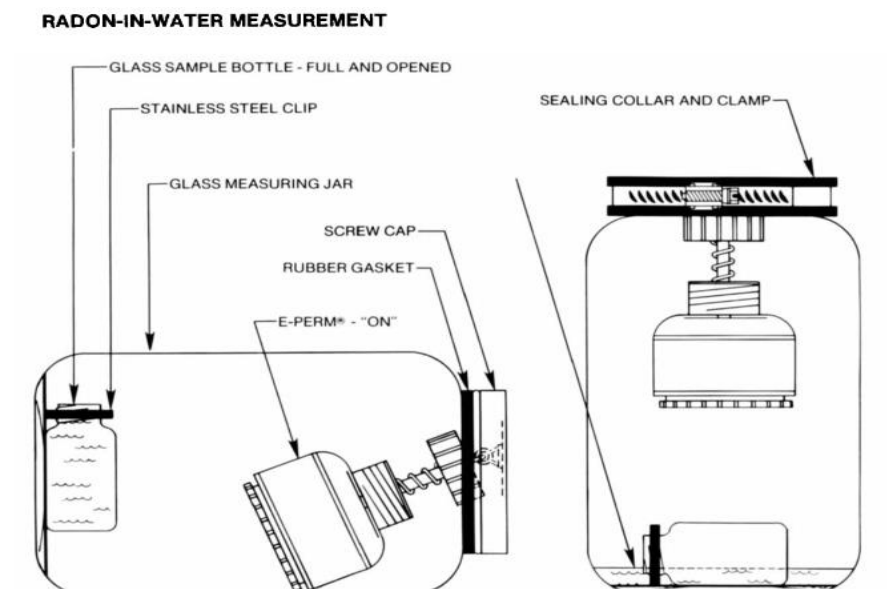


Figura 7-2: Esquema del arreglo para medir ^{222}Rn disuelto en agua usando un monitor de gas “E-PERM” Rn basado en ELECTRET.

Fuente: (Kotrappa y Jester, 1993).

En la figura (7-2) se indica la técnica en la cual consiste en sellar en el contenedor de vidrio, un volumen conocido de agua u orina y un sistema EIC, determinar la concentración de gas ^{222}Rn en el aire durante el período de tiempo de exposición. Esta concentración promedio se puede usar para calcular la concentración de ^{222}Rn en la muestra de agua u orina.

Los E-PERMs miden concentraciones de gas ^{222}Rn en el aire tan bajas como 0.37 Bq l^{-1} (10 pCi l^{-1}) con un error $<10\%$ cuando se miden sobre 1d. (Kotrappa y Jester, 1993b, p.398).

2.4. Protocolo de medición de ^{222}Rn en agua y orina

A continuación, se indica la metodología para evaluar la concentración de la actividad del ^{222}Rn en muestras de agua y orina.

- a. Preparar el sistema E-PERM, midiendo el voltaje inicial del ELECTRET y atornillándolo en la parte inferior de la Cámara S.
- b. Colocar el contenedor de vidrio (estándar o no estándar) horizontalmente e insertar la botella o frasco que contiene la muestra (abierto) en el fondo. Para cada persona, el volumen de orina variaba entre 30 ml y 150 ml. (Observar la Figura 7-2, Posición 1).
- c. Colgar el sistema EIC abierto en el "gancho" del interior de la tapa del contenedor de vidrio (Ver Figura 2-2, ventana izquierda) y cerrar herméticamente. Llevar con cuidado el contenedor a la posición vertical, agitando suavemente para permitir que el agua u orina se derrame. (Observar la Figura 2-2, ventana derecha). Registrar la fecha y hora de inicio de la prueba.

- d. Guardar el contenedor en posición vertical durante el período de exposición (2 días)
- e. Abrir el contenedor y retirar el sistema de detección, una vez concluido el periodo de exposición, registrado fecha y hora de finalización de la prueba.
- f. Medir el voltaje final del ELECTRET.
- g. Retirar la botella de la muestra y desechar el agua u orina del contenedor. Enjuagar con agua con bajo contenido de radón y dejar secar. En el caso de la orina lavar la jarra con abundante jabón y agua destilada
- h. Calcular la concentración de ^{222}Rn de las muestras de agua u orina usando la Ecuación (8) ((Rad Elec Inc., 1991)):

$$CRn \left(\frac{Bq}{m^3} \right) = \frac{CRnA * \lambda * TA * \left(\frac{VA}{VW} + OC \right)}{e^{-\lambda TD} * (1 - e^{-\lambda TA})} \quad (8)$$

Donde:

CRn: concentración de radón de agua u orina, *Bq/l*

CRnA: concentración de radón en aire, *Bq/l*

TD: Periodo de exposición en *días*

TD: Tiempo transcurrido entre el inicio y fin de la prueba en *días*

TA: Periodo de análisis en *días*

λ : Constante de decaimiento de radón en *días*

VA: Volumen de aire, dentro del contenedor en *litros*

VW: Volumen de agua u orina, *litros*

OC: Coeficiente de Oswald

El cálculo de **CRnA** se realizó usando la Ecuación (8) (Rad Elec Inc., 1991):

$$CRnA \left(\frac{Bq}{m^3} \right) = \left(\left(\frac{(Vi - Vf) - (IVD * TA)}{FC * TA} \right) - (BG * G) \right) * H \quad (9)$$

Donde:

FC: Factor de calibración

A y B: Constantes de configuración específica

Vi: Voltaje inicial

Vf: Voltaje final

ln: logaritmo natural

IVD: Descarga de voltaje inherente del ELECTRET. Este valor es 0.066667 para ELECTRET a corto plazo.

BG: Nivel de fondo gamma (pCi / L), se puede usar la corrección de BG que se expresan en $\eta\text{G/h}$ o $\mu\text{R/h}$ dividiendo el valor de $\eta\text{G/h}$ por 8. (Rad Elec Inc., 1991, pp. 21-22)

H: Factor de corrección de elevación de la cámara S

El cálculo de **H** se realizó utilizando la ecuación () (Rad Elec Inc., 1991):

$$H = 0,79 + \left(\frac{6 * \text{elevacion (pies)}}{100.000} \right) \quad (10)$$

Donde:

Si la elevación es ≤ 4000 , $H = 1$

Si la elevación es > 4000 se utiliza la ecuación (9)

El cálculo de **FC** se realizó utilizando la ecuación (10) (Rad Elec Inc., 1991):

$$FC = A + \left(B * \ln \left(\frac{V_i + V_f}{2} \right) \right) \quad (11)$$

Donde:

A y B: Constantes de calibración para la cámara SST. $A = 0.314473$ y $B = 0.260619$.

G: Conversión gamma para la cámara SST, 0.087

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las mediciones de la concentración de actividad del gas radón en muestras de agua con diferente salinidad y además los resultados de muestras de orina.

Dentro del análisis de realizar pruebas en muestras de agua es para observar la dependencia de la salinidad con la exhalación de radón puesto que está relacionado de manera íntima con la salinidad de la orina.

3.1. Concentración de radón en agua con diferente salinidad

En la Tabla (1-3) se detallan los resultados de la concentración de radón en muestras de agua de la vertiente Catequilla del Cantón Chambo con diferente salinidad y las respectivas incertidumbres absolutas. Se observa que en las muestras de agua sin sal presentan las concentraciones más altas de radón ($13,43 \pm 2,91$ Bq/l) y como se estima a partir del incremento en la salinidad del agua hay una reducción de la concentración de radón. Las muestras de agua con 20 g de sal presentan las concentraciones más bajas ($5,09 \pm 1,11$ Bq/l).

La concentración radón en agua sin sal es el 62% más que la concentración de radón en agua con 20 g de sal.

Ninguna muestra estudiada presenta supera el límite de referencia recomendado de 100 Bq/l por la OMS y la Directiva 2013/51/EURATOM

Tabla 1-3: Concentración de radón en muestras de agua con diferente salinidad de la vertiente Catequilla, Canton Chambo, provincia de Chimborazo

Muestra	Volumen (ml)	Concentración de radón en agua (Bq/l)	Incertidumbre absoluta
Agua sin sal	136	13,43	2,91
Agua con 5 g de sal	136	11,85	2,57
Agua con 10 g de sal	136	8,89	1,93
Agua con 15 g de sal	136	7,21	1,56
Agua con 20 g de sal	136	5,09	1,11

Realizado por: Tapia, G. 2021.

Los resultados experimentales de la Tabla (1-3) permiten hacer una relación de la salinidad del agua dulce y la orina, teniendo en cuenta que la salinidad del agua dulce es 5g/l, por lo tanto, se puede suponer que la salinidad de la orina es el doble (10 g/l). Esta relación da como resultado un factor de corrección de salinidad (1.13).

3.2. Concentraciones de radón en muestras de orina

En la Tabla (2-3) se detallan el tipo de muestra (orina), el género, volumen, color, estado de salud y los resultados de las concentraciones de ^{222}Rn con las respectivas incertidumbres absolutas. El cálculo se lo realizó utilizando la Ecuación (2-7) de la Sección (2-4).

El Gráfico (1-3) ilustra las concentraciones de radón obtenidas de las muestras de la Tabla (2-3), cabe señalar que los valores bajo el nivel de detección de la técnica (BND) no se consideraron en el histograma de frecuencias absolutas. Se puede observar que el 27 de las muestras están entre 12 y 5320 Bq/m³, mientras que 4 muestras están en el rango de 5320 a 26552 Bq/m³ y las 19 muestras restantes se encuentran bajo el BND.

Tabla 2-3: Concentraciones de radón en muestras biológicas de orina de personas con diferente edad, género y estado de salud de la ESPOCH.

N	Muestra	Género	Edad	Volumen (ml)	Color	Estado de salud
1	E1	M	20	130	Amarillo oscuro	Sano
2	E2	M	25	120	Amarillo oscuro	Sano
3	T1	F	27	120	Amarillo claro	Sano
4	E3	M	25	90	Ámbar	Sano
5	T2	M	34	120	Amarillo oscuro	Sano
6	T3-	M	28	135	Amarillo oscuro	Sano
7	E4	M	25	75	Ámbar	Sano
8	E5	M	25	110	Ámbar	Sano
9	E6	F	25	165	Amarillo claro	Sano
10	C	M	47	135	Amarillo oscuro	Sano
11	T3-	M	28	130	Amarillo claro	Sano
12	T4-	F	29	105	Amarillo claro	Sano
13	T4	F	27	50	Amarillo claro	Sano

14	T6	F	28	165	Amarillo oscuro	Sano
15	T4*	F	29	110	Amarillo oscuro	Sano
16	T3-	M	28	140	Amarillo oscuro	Sano
17	T7	F	30	150	Amarillo claro	Sano
18	T8	F	34	135	Amarillo claro	Sano
19	T9	F	40	45	Amarillo claro	Sano
20	E7	M	30	125	Amarillo oscuro	Sano
21	T10	F	34	90	Amarillo claro	Sano
22	T11	M	35	75	Amarillo oscuro	Sano
23	E8	F	23	85	Amarillo claro	Sano
24	E9	M	23	118	Amarillo oscuro	Sano
25	T12	F	29	130	Amarillo claro	Sano
26	T13	M	30	75	Amarillo oscuro	Sano
27	E10	M	25	85	Amarillo oscuro	Sano
28	T14	M	25	150	Amarillo oscuro	Sano
29	P1	F	44	70	Amarillo oscuro	C. Tiroides
30	P2	F	47	60	Amarillo oscuro	C. Tiroides
31	P3	F	50	88	Amarillo oscuro	C. Útero
32	P4	M	80	78	Amarillo oscuro	C. Próstata
33	P5	F	44	105	Amarillo oscuro	C. Tiroides
34	P6	F	50	70	Amarillo oscuro	Metástasis
35	P7	F	42	60	Amarillo oscuro	C. Tiroides
36	D1	F	45	100	Amarillo claro	Sano

37	D2	F	43	80	Amarillo oscuro	Sano
38	D3	F	40	60	Naranja	Sano
39	D4	F	43	50	Naranja	Sano
40	E11	F	25	40	Amarillo oscuro	Sano
41	E12	F	40	50	Amarillo oscuro	Sano
42	E13	M	28	50	Amarillo oscuro	Sano
43	E14	F	30	70	Amarillo oscuro	Sano
44	E15	F	28	105	Amarillo oscuro	Sano
45	E16	M	25	150	Amarillo oscuro	Sano
46	E17	F	24	75	Amarillo oscuro	Sano
47	E18	F	23	50	Naranja	Sano
48	E19	M	28	80	Amarillo oscuro	Sano
49	E20	F	27	90	Amarillo oscuro	Sano
50	E21	F	26	130	Amarillo claro	Sano

Realizado por: Tapia, G. 2021.

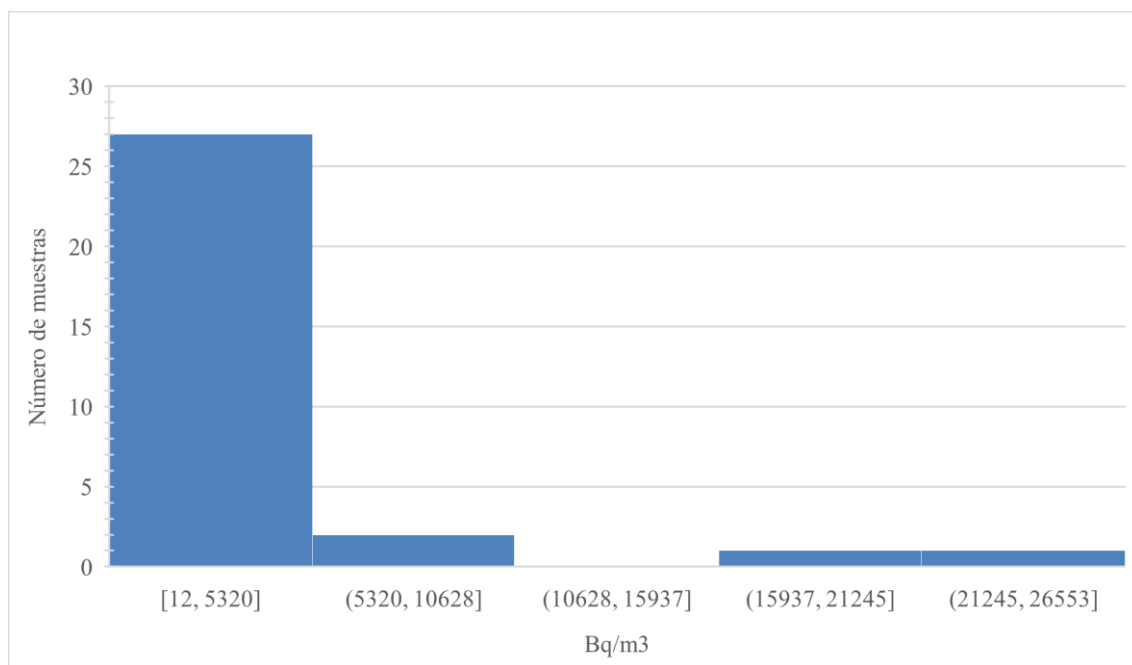


Gráfico 1-3: Concentración de radón en orina de personas sanas y personas enfermas (cáncer)

Realizado por: Tapia, G. 2021.

Un análisis de las observaciones individuales muestra que la concentración de radón en las muestras de orina varía desde el BND hasta 17719 Bq/m³ en personas sanas y en personas enfermas (cáncer) van desde BND hasta 26553 Bq/m³. Los resultados del estudio mostraron que el 54% de las muestras analizadas presentaban niveles de radón superiores a los límites aceptables de la ICRP y del OIEA (200 Bq/m³).

En el gráfico (2-2) se puede observar la concentración de radón en orina utilizando el factor de corrección de salinidad. Los resultados muestran que la concentración de radón en orina corregida es mayor que el valor medido, alrededor del 12%.

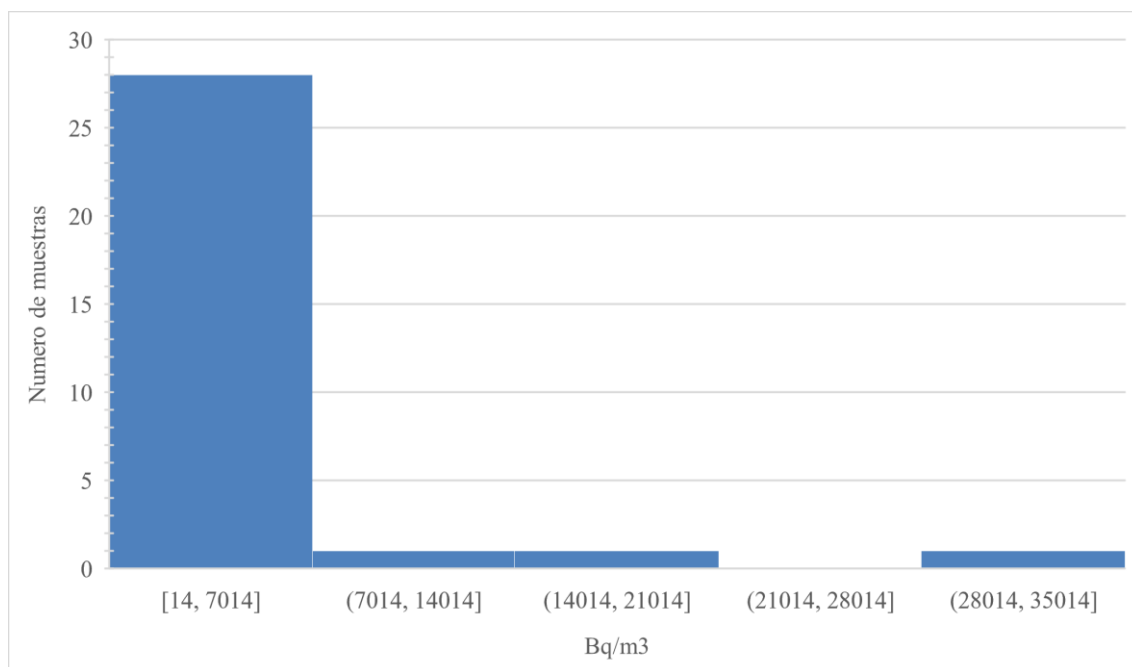


Gráfico 2-3: Concentración de radón en muestras de orina corregido con el factor de corrección de salinidad.

Realizado por: Tapia, G. 2021

CONCLUSIONES

- Se elaboró el protocolo de muestreo y medición de ^{222}Rn en muestras de orina, en base a las publicaciones y manuales del sistema de detección E-PERM ST, con algunas recomendaciones apoyadas en la experiencia de los expertos, ***los valores obtenidos, aplicando el protocolo, en muestras de orina de personas con diferente edad, género y estado de salud, garantizan la repetibilidad de las mediciones y alta calidad de los resultados.***
- Se determinó las concentraciones de actividad de ^{222}Rn de muestras de agua subterránea con diferente salinidad (5g, 10g, 15g y 20g de sal disuelto en 1000 ml de agua), recolectadas de la vertiente Catequilla del cantón Chambo, se observó que el agua con 20 g de sal presentó una concentración de radón alrededor del 40% menor respecto al agua sin sal, por lo que se concluye que ***la salinidad afecta la exhalación de radón del agua y es un efecto a tomar en cuenta en el análisis de muestra de orina a través de la determinación de un factor de corrección.***
- Se evaluó el factor de corrección por salinidad, para determinar la concentración de la actividad de ^{222}Rn en muestras de orina, considerando que la salinidad del agua dulce es 5g/l y suponiendo que la salinidad de la orina es el doble del agua dulce, el factor obtenido fue 1.13, por lo que se puede deducir ***que la concentración corregida de radón es mayor que el valor medido en alrededor del 12%.***
- Se calculó las concentraciones de actividad de ^{222}Rn de cincuenta muestras de orina, cuarenta y tres de personas sanas y siete de enfermos de cáncer, los resultados en el primer grupo varían desde bajo el nivel detectable de la técnica hasta 17719 Bqm^{-3} , en el segundo van desde bajo el nivel detectable hasta 26553 Bqm^{-3} (cáncer de próstata), en este contexto se puede inferir que ***la presencia de cáncer en las personas no es un indicativo de la presencia de elementos radiactivos (radio-226 y su progenie) en el organismo.***
- Se observó que el valor más alto de la concentración de la actividad de radón en las muestras de orina fue de 26553 Bqm^{-3} ; y, además, que el 56% de los resultados presentan un valor superior a 200 Bqm^{-3} con lo que se puede concluir que ***la muestra de población estudiada presenta concentraciones mayores al nivel de referencia recomendado por la (ICRP) Comisión Internacional de Protección Radiológica y del (OIEA) Organización Internacional de Energía Atómica.***

RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar el método de este trabajo de integración curricular para estimar la concentración de radón en orina, especialmente en lugares donde no exista alguno directo y de mayor precisión como la técnica emanométrica. Además, se recomienda continuar con los análisis de ^{222}Rn en muestras de orina de personas con cáncer para establecer una relación con el mismo.
- Se recomienda socializar los efectos del radón y sus descendientes en la salud humana a las personas que forman parte del muestreo.
- Se recomienda iniciar el análisis lo antes posible después de recibir la muestra y no exceder el periodo de exposición de las muestras. Así como cumplir con la metodología expuesta para evitar errores considerables y fuera de rango.

GLOSARIO

Detectores de radiación: Dispositivo móvil usado para rastrear e identificar partículas de alta energía, como las producidas por la desintegración radiactiva. (Valtierra, 2016).

Orina: Secreción líquida de color amarillo que es secretada por los riñones como resultado de la depuración y el filtrado de la sangre; se acumula en la vejiga y se expulsa por la uretra. (Gómez, 2019).

Radiactividad: Fenómeno físico que presentan ciertos cuerpos, consistente en la emisión de partículas o radiaciones, o de ambas a la vez, procedentes de la desintegración espontánea del átomo. (Quizizz, 2017).

Radón: Gas noble radiactivo, incoloro e inodoro, el más pesado de los gases nobles, que se origina en la desintegración radiactiva del radio; se usa principalmente en el tratamiento de tumores malignos. (Lexico, 2017).

Salinidad: Cualidad de salino. (Buscapalabra, 2013).

BIBLIOGRAFÍA

AHMAD, N.; et al. "Study of radon concentration and toxic elements in drinking and irrigated water and its implications in Sungai Petani, Kedah, Malaysia". *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* [online], 2015, (Pulau Pinang, Malaysia) 8(3), pp. 294-299. [Query: 18 march 2021]. ISSN 1687-8507. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850715000564>

ALLAUCA, Gisell. Comparación de la dosis efectiva debido a la inhalación de gas radón (^{222}Rn) en las unidades educativas de los distritos de educación 16D01 Pastaza-Mera-Santa Clara y 05D01 Latacunga. [en línea], (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Biofísica. Riobamba – Ecuador. 2019. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13248>.

BUSCAPALABRA. "Definición de salinidad". Buscapalabra. [en línea] 2013. [Consulta: 16 octubre 2021] Disponible en: <https://www.buscapalabra.com/definiciones.html?palabra=salinidad#resultados>

FERRER, G. *El Radón. Tratamiento jurídico de un enemigo invisible*. Alicante: Club Universitario, Editorial (ECU), 2009, pp. 41.

GARZON, G. *El Radón - Manual Teórico Práctico*. Colombia: Technical Report, 2009

GOMEZ, R. "Infección Urinaria". Laboratorio Inmunoclinico. [en línea] 2019. [Consulta: 12 octubre 2021] Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/CTDLab/Publicaciones/2019/Infeccion_urinaria.pdf

KOTRAPPA, P. *Electret ion chambers for characterizing indoor, outdoor, geologic and other sources of radon*. [online], Nova Science Publisher, Inc., 2015 [Query: 7 may 2021]. Available at: https://www.radelec.com/publications/Kotrappa_ElectretIonChambersForCharacterizingRadon.pdf

KOTRAPPA, P., & JESTER, W. "Electret ion chamber radon monitors measure dissolved ^{222}Rn in water". *Health Physics*, [online], 1993. 64(4), pp. 397-405. [Query: 18 march 2021]. ISSN 15385159. Available at: https://www.radelec.com/publications/Kotrappa_EICRadonMonitorsMeasureDissolvedRadonInWater.pdf

LEXICO. "Radón". Lexico. [en línea] 2017. [Consulta: 16 octubre 2021] Disponible en: <https://www.lexico.com/es/definicion/radon>

LOAYZA, M. Elaboración de un mapa radiológico de los niveles de radón presentes en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca-Ecuador en el periodo 2017-2018. [en línea]. Universidad Politécnica salesiana, Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca - Ecuador. 2018 [Consulta: 16 mayo 2021] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15421/1/UPS-CT007579.pdf>

LUCAS, J. & ROMÁN, C. *Física : pruebas de acceso a la universidad (selectividad)* [en línea]. Tébar, 2001, [Consulta: 27 agosto 2021]. ISBN 8495447312. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=09IxuWUOnMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

MD, Frederick. "E-Perm ® System User ' S Manual". Rad Elec Inc. [online], 1991, 3(3), pp. 1-45. [Query: 5 october 2021]. Available at: https://www.radelec.com/manuals/Manual-E-PERM_v3_3_1.pdf

NOVUSMED, "Acerca De La Radiacion". [en línea], 2005, [Consulta: 5 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.novusmed.cl/acerca-de-la-radiacion/>.

ONGORI, J.; et al. "Radon transfer velocity at the water-air interface". *Applied Radiation and Isotopes* [online], 2015, 105, pp. 144-149. [Query: 5 october 2021]. ISSN 18729800. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.07.058>.

QUIROZ, B. Caracterización de radionucleidos presentes en fuentes termales de la Provincia de Chimborazo y estimación de la tasa de dosis equivalente para la población. [en línea], (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemáticas. Riobamba – Ecuador. 2018. [Consulta: 8 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8972/1/86T00068.pdf>

QUIZIZZ. "Radioactividad". Quizizz. 2017. [Consulta: 16 octubre 2021] Disponible en: <https://quizizz.com/admin/quiz/5c3da7f63cdf3c001a35fe73/radioactividad>

RUANO, A.; et al. "Radón interior y salud pública en España. Tiempo para la acción". *Gaceta Sanitaria* [en línea], 2014, (Barcelona) 28(6), pp. 439-441. [Consulta: 5 octubre 2021]. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112014000600001

SALIH, N.; et al. "Measurement of Radon Concentration in Urine using PM-355 Detector". International Conference on Pure and Applied Sciences (ICPAS 2018), [online], 2018, pp. 161-164. [Query: 15 july 2021]. Available at: <https://conferences.koyauniversity.org/index.php/pas/2018/paper/viewFile/46/35>

SALIH, N.; et al. "Measurement of radon concentration in blood and urine samples collected from female cancer patients using RAD7". Journal of Radiation Research and Applied Sciences [online], 2016. 9(3), pp. 332-336. [Query: 22 july 2021]. ISSN 1687-8507. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S168785071600011X>.

SCHUBERT, M.; et al. "Air-water partitioning of ^{222}Rn and its dependence on water temperature and salinity". Environmental Science and Technology, [online], 2012. 46(7), pp. 3905-3911. [Query: 5 august 2021]. ISSN 0013936X. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22385122/>

SCHWELA, D. "Pollution, Indoor Air". Encyclopedia of Toxicology (Third Edition) [online]. 2014, pp. 1003-1017, [Query: 17 august 2021]. ISBN 9780123864543. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01028-9>.

THOMPSON, R. "Radon". *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 2014, 3, pp. 46-50. ISSN 0007-9235.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, "El Radón y sus efectos en la salud". [en línea]. 2016. [Consulta: 13 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>.

VALTIERRA, S. "Tor de Partículas". 2016. [en línea] [Consulta: 16 octubre 2021] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/535345245/tor-de-particulas>

ZEEB, Ha.; et al. Radon concentrations in Spa water taken from hot and cold springs in Taiwan. *Applied Radiation and Isotopes* [online], 2014, 2009(2), pp. 3956-3960. ISSN 09698043. [Query: 5 october 2021]. Available at: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_440.pdf.

ANEXOS

ANEXO A: FICHA DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE AGUA CON E-PERM



FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Lugar	
Fecha y hora de recolección	
Voltaje inicial	
Hora de inicio de la medida	
Fecha y hora de finalización de la medida	
Voltaje final	
Hora de inicio de la medida	
Temperatura	

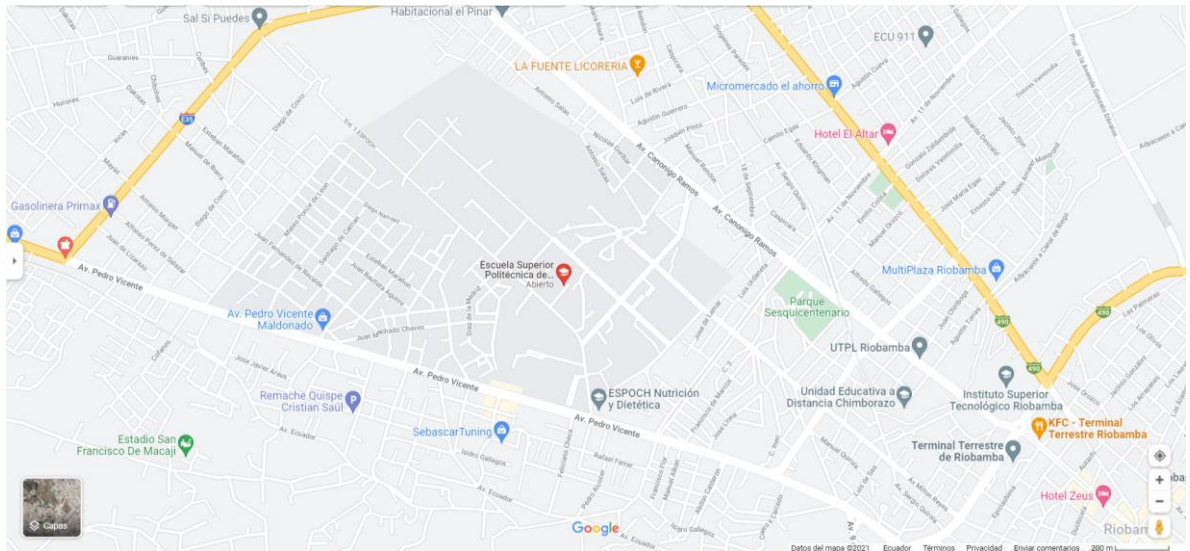
ANEXO B: FICHA DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE ORINA CON E-PERM



FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Actividad laboral	
Edad	
Estado de salud	
Volumen de la muestra	
Color de la muestra	
Fecha y hora de recolección	
Voltaje inicial	
Hora de inicio de la medida	
Fecha y hora de finalización de la medida	
Voltaje final	
Temperatura	

**ANEXO C: UBICACIÓN DEL LUGAR DONDE SE LLEVO A CABO LOS ANÁLISIS.
LABORATORIO DE TÉCNICAS NUCLEARES – ESPOCH**



**ANEXO D: MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN UTILIZANDO EL EQUIPO
E-PERM**





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 17 / 01 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Gaby Nohely Tapia Guallpa</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Biofísica</i>
Título a optar: <i>Biofísica</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, I=QUITO,
serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.01.27 13:59:59 -05'00'



0033-DBRA-UTP-2022