



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIA**

### **CARRERA BIOFÍSICA**

#### **“EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN SUMINISTROS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES DE GUANO, CHAMBO Y PENIPE”**

##### **Trabajo de Titulación**

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

##### **BIOFÍSICA**

**AUTOR:** ANDREA GIOMARA CANDO VEINTIMILLA

**DIRECTORA:** DRA. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ.

Riobamba-Ecuador

2021

**©2021, Andrea Giomara Cando Veintimilla**

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

Yo, Andrea Giomara Cando Veintimilla, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 26 de julio de 2021

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn circle. The signature is stylized and appears to be the initials 'AG' followed by a flourish.

**Andrea Giomara Cando Veintimilla**  
**172239906-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BIOFÍSICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo Trabajo Experimental, **“EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN SUMINISTROS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES DE GUANO, CHAMBO Y PENIPE”**, realizado por la señorita: **ANDREA GIOMARA CANDO VEINTIMILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Richard Willians Pachacama Choca <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA</b>	2021/04/27
Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez Ph.D <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>JHENY DEL CARMEN ORBE ORDONEZ</b>	2021/04/27
Biof. Maria Fernanda Heredia <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>MARIA FERNANDA HEREDIA MOYANO</b>	2021/04/27

## **DEDICATORIA**

A mis padres Patricio, Rosy y a mi hermano Willian.

Andrea.

## **AGRADECIMIENTO**

No se puede enseñar nada a un hombre, solo se le puede ayudar a descubrirse a sí mismo.

Galileo Galilei  
(1564-1642)

Gracias ESPOCH, por un día abrirme tus puertas, permitirme iniciar un camino donde deja más que aprendizajes, recuerdos, ¡Son historias que quedan en mente y se dibuja una sonrisa con una expresión de GRACIAS!

Quiero agradecer a mis padres por el incomparable apoyo, por ser los primeros en levantarme en cada caída transcurrida en el camino, gracias al apoyo y motivación de mi hermano Willian, un ser tan único con un corazón tan noble, espero ser un incentivo de superación en tu vida, recuerda siempre, la gente opina según su recorrido en la vida.

A los amigos que me dio la ESPOCH, ¡Gracias!, más que el aprender de su variedad de cultura, es el compartir en las aulas y fuera de ellas, donde se formó una amistad inigualable, donde tuvimos momentos que son únicos al recordar. Chapulines.

Gracias al grupo de investigación GIDAC-IDI por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de requerir nuevos conocimientos, brindando un apoyo en el desarrollo de este proyecto, un peculiar agradecimiento hacia la docente PhD. Jheny Orbe, por su paciencia e incondicional enseñanza.

Andrea C.

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRAFICA .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO .....	3
1.1 Serie radiactiva.....	3
1.2 Serie Uranio-238.....	3
1.3 Propiedades físicas y químicas del radio.....	6
1.4 Efectos Biológicos del radio-226 .....	7
1.5 Normativa Internacional .....	7
1.6 Magnitudes físicas relacionadas.....	9
1.6.1 <i>Actividad</i> .....	9
1.6.2 <i>Concentración de actividad</i> .....	9
1.6.3 <i>Dosis efectiva anual</i> .....	9
1.7 Agua Subterránea .....	9
1.8 Descripción de los cantones objeto de la investigación .....	10

### CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de Estudio .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Fuentes de agua del cantón Guano</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2</b>	<b><i>Fuentes de agua del cantón Chambo</i> .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.3</b>	<b><i>Fuentes de agua del cantón Penipe</i> .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Protocolo de Muestreo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Técnica emanométrica para medir radón en agua con RAD7 .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Protocolo de medición de radio-226 en agua con RAD7 .....</b>	<b>22</b>

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Concentración de radón .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Concentración de radio-226 .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Dosis efectiva anual de radón-222 y radio-226 .....</b>	<b>29</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>32</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>33</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b> Propiedades del Radio .....	7
<b>Tabla 2-2</b> Fuentes de agua subterránea que abastecen la zona urbana del cantón Guano.....	12
<b>Tabla 3-2</b> Fuentes de agua subterránea y superficial que abastecen la zona urbana y rural del cantón Chambo.....	14
<b>Tabla 4-2</b> Fuentes de agua subterránea que abastecen la zona urbana y rural del cantón Penipe. ...	17
<b>Tabla 5-3</b> Media ponderada de la concentración de actividad de radón-222 D-1 y D-10.....	26
<b>Tabla 6-3</b> <i>Media ponderada de la concentración de actividad de radio-226</i> .....	28
<b>Tabla 7-3</b> Dosis efectiva anual por ingesta de radón-222 y radio-226.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b> Serie de Desintegración Uranio-238 .....	5
<b>Figura 2-2</b> Plano la red de agua de las vertientes Guayco1, Guayco2, Guayco3 y Guayco4 .....	13
<b>Figura 3-2</b> Red de distribución de agua potable proveniente de las vertientes Villagran .....	14
<b>Figura 4-2</b> Red de distribución de agua captada desde la vertiente Cubillines .....	15
<b>Figura 5-2</b> Red de distribución de agua potable proveniente de la vertiente Catequilla .....	16
<b>Figura 6-2</b> Diagrama ilustrativo del circuito cerrado: monitor RAD7 y Kit RAD H2O .....	21
<b>Figura 7-2</b> Sistema de detección de gas radón en agua usando un detector semiconductor de silicio (Método Emanométrico) .....	22

## ÍNDICE DE GRAFICA

<b>Gráfica 1-3</b> Concentración media de radón D-1 de las muestras de agua recolectadas en las fuentes de los cantones Guano, Chambo y Penipe, excepto el río La Y del cantón Chambo.....	27
<b>Gráfica 2-3</b> Concentración de actividad media de radio-226 de muestras recolectadas en las vertientes de agua subterránea de los cantones Guano, Chambo y Penipe.....	29
<b>Gráfica 3-3</b> Dosis efectiva anual por ingesta de radón-222.....	30
<b>Gráfica 4-3</b> Dosis efectiva anual por ingesta de radio-226.....	31

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó las concentraciones de radio-226, en fuentes de agua subterránea, superficial y en suministros de agua potable de los cantones Guano, Chambo y Penipe, pertenecientes a la provincia de Chimborazo. Se analizaron trece fuentes de agua, las cuales doce son subterráneas y una superficial (río La “Y”). Todas las muestras se recolectaron usando el mismo protocolo y analizadas con la técnica emanométrica, usando el monitor RAD7 y el sistema de desgasificación RAD H<sub>2</sub>O de la Durrige Company de Estados Unidos. El método consiste en cuantificar la concentración de actividad del radón-222 el mismo día del muestreo (D-1), dejar reposar las muestras de agua diez días en refrigeración y retornar a evaluar la concentración de radón-222 (D-10), siendo el último valor utilizado para calcular la concentración de radio-226. De las doce vertientes subterráneas estudiadas, Catequilla del cantón Chambo ( $14,52 \pm 0,25$  Bq/l), *presenta el nivel más alto de radón disuelto en el agua (D-1), pero no supera el nivel de referencia o paramétrico (100 Bq/l)*, recomendado en la Directiva 2013/51/EURATOM. La dosis efectiva anual por ingesta de radón-222 es baja respecto al valor de referencia de la Comunidad Europea (1 mSv/año), en consecuencia, *no representa un riesgo para la salud de la población*. La mayoría de la fuentes presentan concentración de actividad media de radio-226 bajas, excepto las vertientes Galten1 ( $0,54 \pm 0,04$  Bq/l) y Galten3 ( $0,49 \pm 0,04$  Bq/l) del cantón Chambo, con valores similares entre ellas (dentro de los errores experimentales) y que *superan la concentración derivada o paramétrica, mencionada en la Directiva 2013/51/EURATOM (0,5 Bq/l)*, en consecuencia superan la dosis por ingesta de radio-226 recomendada (0,1 mSv/año), *por lo que es necesario dar seguimiento a este parámetro a fin de demostrar que la concentración de este radionucleido es estable*. El río La Y presenta una concentración bajo el límite de detección (BLD) de la técnica.

**Palabras clave:** <BIOFÍSICA>, <RADIO>, <RADÓN>, <DOSIS>, <CONCENTRACIÓN DE RADIO>, <CONCENTRACIÓN DE RADÓN>



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS**



02-07-2021

1275-DBRA-UTP-2021

## ABSTRACT

The present research work evaluated the concentrations of radium-226 in groundwater and surface water sources and in drinking water supplies in the cantons of Guano, Chambo and Penipe, belonging to the province of Chimborazo. Thirteen water sources were analysed, twelve of which are groundwater sources and one surface water source (La "Y" river). All samples were collected using the same protocol and analysed with the emanometric technique, using the RAD7 monitor and the RAD H2O degassing system of the Durrige Company of the United States. The method consists of quantifying the radon-222 activity concentration on the day of sampling (D1), leaving the water samples to stand for ten days under refrigeration and returning to evaluate the radon-222 concentration (D-10), the latter value being used to calculate the radium-226 concentration. Of the twelve underground springs studied, Catequilla in the Chambo canton ( $14.52 \pm 0.25$  Bq/l), has the highest level of radon dissolved in water (D-1), but does not exceed the reference or parametric level (100 Bq/l), recommended in Directive 2013/51/EURATOM. The annual effective dose from the intake of radon-222 is low in relation to the European Community reference value (1 mSv/year), consequently, it does not represent a risk to the health of the population. to the health of the population. Most of the sources have low average radon-226 activity concentrations, except for the Galten1 ( $0.54 \pm 0.04$  Bq/l) and Galten3 ( $0.49 \pm 0.04$  Bq/l) of the Chambo canton, with similar values between them (within the experimental errors) and exceeding the derived or parametric concentration, mentioned in Directive 2013/51/EURATOM (0.5 Bq/l), thus exceeding the recommended dose from the intake of radium-226 intake dose (0.1 mSv/year), and it is therefore necessary to monitor this parameter in order to demonstrate that the concentration of this demonstrate that the concentration of this radionuclide is stable. The La Y river has a concentration below the limit of detection (LOD) of the technique.

Keywords: <BIOPHYSICS>, <RADIUM>, <RADON>, <DOSE>, <RADIUM CONCENTRATION>, <RADON CONCENTRATION>.

## INTRODUCCIÓN

La protección de la salud de la población en relación con las sustancias radiactivas presentes en el agua destinada al consumo humano es un tema de interés de todos los países del mundo. Los radionúclidos de origen natural más comunes en el agua potable pertenecen a la serie del uranio-238 (radio-226, radón-222) generalmente en niveles muy bajos; sin embargo, algunos radionúclidos presentes en el agua doméstica provienen de actividades del hombre, como las plantas de energía nuclear activas o instalaciones que fabrican sustancias radiactivas (Mcfarland & Dozier, n.d.). El radio-226 emite partículas alfa y la dispersión de estas partículas lo convierte en carcinógeno, la acumulación continua de este radioisótopo en el tejido óseo es una causa conocida de cáncer de hueso (Le et al., 2015).

Una revisión de la literatura científica muestra estudios realizados en varios países para determinar las concentraciones de radio-226 en el agua, especial énfasis se pone en las fuentes de agua subterránea.

En Vietnam, en la región de Thu Duc en la ciudad de Ho Chi Minh, se realizó mediciones de  $^{226}\text{Ra}$  en suministros de agua potable. Las mediciones se realizaron utilizando un monitor de radón RAD 7, fabricado por Durrige. Company, Inc. Se encontró que el cincuenta por ciento de las muestras de agua subterránea analizadas presentan concentraciones de  $^{226}\text{Ra}$  superiores al nivel máximo recomendado por la USEPA (0.185 Bq/l) (Le et al., 2015).

En Turquía se llevó a cabo un estudio para determinar la concentración de radio-226 en aguas minerales disponibles comercialmente en la región de Mármara. El método utilizado para el análisis de la concentración de  $^{226}\text{Ra}$  se basa en la medición de radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) procedente del  $^{226}\text{Ra}$  disuelto en el agua. Las mediciones se realizaron utilizando RAD 7, un detector  $\alpha$  de estado sólido, con accesorio RAD H2O. Se encontró que la concentración de  $^{226}\text{Ra}$  en las aguas minerales varía de  $< 0.074$  a  $0.625$  Bq/l con un valor medio de  $0,267$  Bq/l. Las dosis efectivas debidas a la ingestión de  $^{226}\text{Ra}$  por el consumo de un año de estas aguas fueron estimadas en un rango de  $10,8$  a  $90$   $\mu\text{Sv/año}$ , de  $9$  a  $75$   $\mu\text{Sv/año}$  y de  $3,15$  a  $26.25$   $\mu\text{Sv/año}$ , para bebés, niños y adultos, respectivamente (Tabar & Yakut, 2014).

En Brasil se evaluó la actividad de radio-226 en muestras de agua mineral embotellada compradas en el mercado brasileño, usando el monitor RAD7. Los resultados obtenidos presentaron

concentraciones de radio-226 en el rango de  $0.007 \pm 0.061$  Bq/ l a  $0.145 \pm 0.049$  Bq/ l, que está por debajo del límite de 0,5 Bq/ l establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2011 para el agua potable (Kappke et al., 2013).

En Ecuador no se encontró publicaciones de estudios para determinar la concentración de radio-226, en pozos y manantiales de agua subterránea, suministro de agua potable de los cantones, en particular no existen datos en la provincia de Chimborazo.

El objetivo de esta investigación es evaluar las concentraciones de radio-226 en muestras de agua subterránea colectadas en los suministros de agua potable de los cantones de Guano, Chambo y Penipe, pertenecientes a la provincia de Chimborazo, usando un detector semiconductor de silicio, incorporado al monitor RAD7. Los resultados obtenidos permitirán tener una panorámica de la contaminación radiactiva del agua debida al radio-226 en los cantones antes mencionados y contribuirán a la base de datos del proyecto de investigación titulado: “Evaluación de elementos radiactivos de la serie del Uranio 238 en el ambiente en pacientes con cáncer”, ejecutado por el GIDAC, con el aval de Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Serie radiactiva

Los elementos radiactivos se pueden clasificar en grupos o en series, de tal manera que cualquier elemento del grupo está formado por la desintegración (Francisco 2007, pp. 11). La serie radiactiva o también conocida como familia radiactiva, es cuando un núcleo se desintegra, permitiendo la formación de otro que a la vez puede volver a desintegrarse. Este proceso sucede hasta que se obtiene un núcleo estable (Burcham 1974, pp. 286- 289).

La radiactividad es una desintegración espontánea de núcleos pesados inestables. En la desintegración radiactiva se emiten radiaciones alfa, beta y gamma. Este tipo de radiaciones se caracterizan por su poder de penetración en la materia y por ionizar el aire, es decir, las moléculas del aire son convertidas en iones. (Burcham, 1974). Considerando que Los rayos gamma son ondas electromagnéticas de frecuencia muy alta, los rayos alfa son núcleos de helio, mientras que los rayos beta están formados por electrones (Burcham 1974, pp. 286- 289).

Dando a conocer, que una de las series que se encuentran naturalmente (producido por la naturaleza), es la serie de uranio-radio, por el cual inicia con uranio-238 y finalizando con plomo-206 siendo su radioisótopo estable (Francisco 2007, p. 11).

### 1.2 Serie Uranio-238

Existen tres familias radiactivas naturales que son (Uranio)  $^{238}\text{U}$ , (Actinio)  $^{235}\text{U}$  y (Torio)  $^{232}\text{Th}$  que dan lugar, mediante diferentes mecanismos de desintegración  $\alpha$  o  $\beta$  (Desequilibrios, n.d., p. 16).

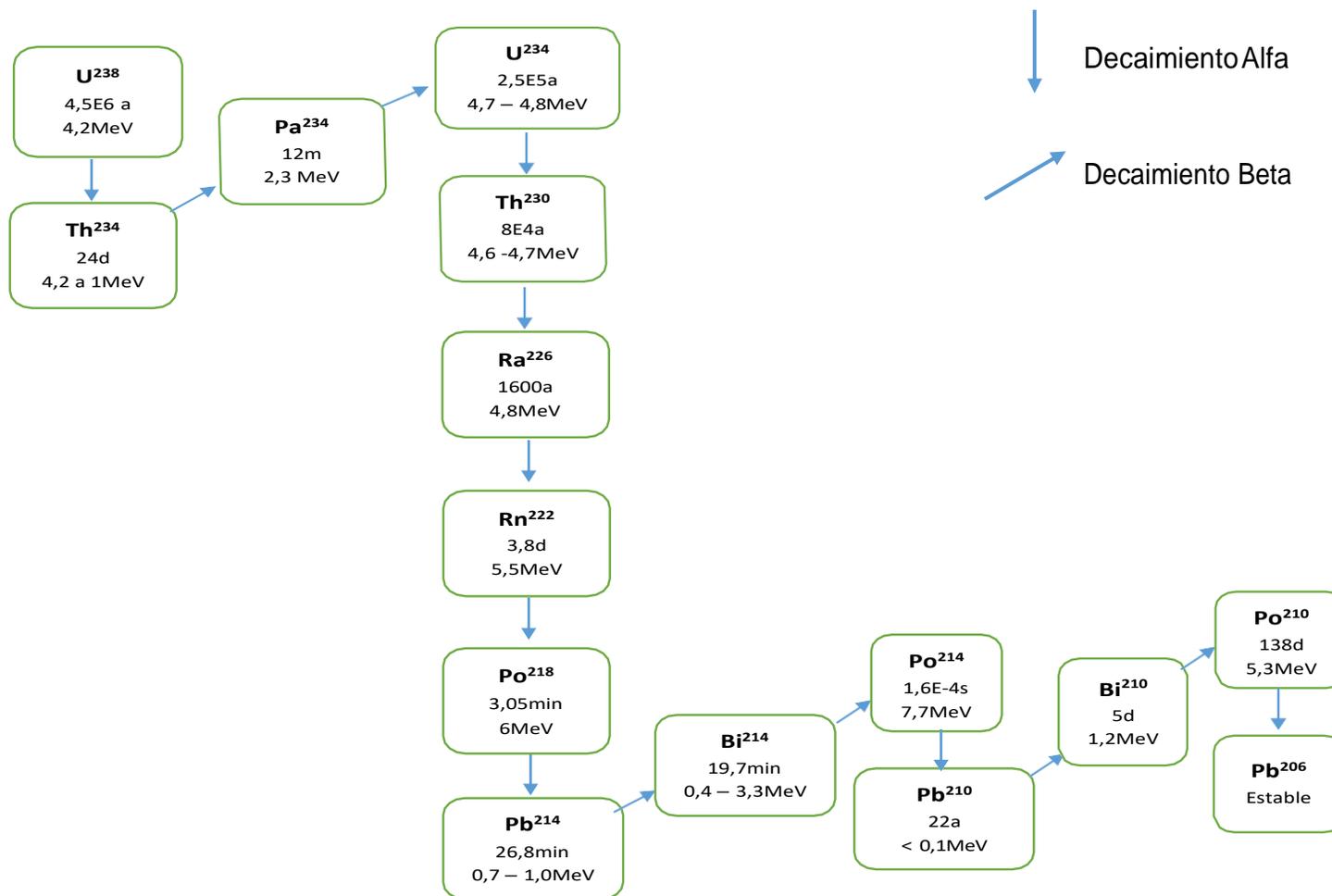
Uno de los isotopos que pertenece a la cadena del uranio-238 se denomina radio-226 con un periodo de semidesintegración de 1600 años, siendo un elemento de vida media larga, y uno de sus radioisótopos hijos es el radón-222, con un periodo de semidesintegración de 3.8 días (*Radiacion Ionizante Ambiental*, n.d., p. 15).

La serie de uranio ( $^{238}\text{U}$ ), conocida también como serie de radio, es una de las tres series radiactivas clásicas que comienzan con el uranio-238 natural. Esta cadena de desintegración radiactiva consiste en núcleos atómicos pesados inestables que se desintegran a través de una secuencia de desintegraciones alfa y beta hasta que se logra un núcleo estable. En el caso de las series de uranio, el núcleo estable es plomo-206, ocurriendo un equilibrio secular entre ellos. (Connor, 2020)

Al igual que el uranio, algunos de sus descendientes también estarán presentes en todos los tipos de rocas y suelos en proporciones variables, así como también en el agua y aire atmosférico (*Radiacion Ionizante Ambiental*, n.d., pp. 10–11).

Torio ( $^{232}\text{Th}$ ), posee un periodo de semidesintegración de  $1.4050 \times 10^{10}$  años. Se desintegra por emisión alfa generando una cadena de descendientes que se pueden agrupar en 3 subseries, igual que en la cadena del uranio, cabe destacar el caso especial del descendiente radiactivo  $^{220}\text{Rn}$  denominado torón que en condiciones normales también es un gas, por lo que se analiza de forma análoga al radón (*Radiacion Ionizante Ambiental*, n.d., p. 13).

Actinio ( $^{235}\text{U}$ ), posee un periodo de semidesintegración de  $7.037 \times 10^8$  años. Sufre desintegraciones alfa y también puede sufrir fisión espontánea, aunque en una porción muy pequeña. Uno del componente de la serie es el  $^{219}\text{Rn}$ , que al igual que en la cadena del torio y uranio, en condiciones normales (*Radiacion Ionizante Ambiental*, n.d., p. 13).



**Figura 1-1** Serie de Desintegración Uranio-238

Realizado por: Cando, Andrea, 2021

Fuente: (Dialnet-CuantificacionDeLaConcentracionDeElementosNaturales-5678780.Pdf, n.d., p. 62)

En cada una de las series de decaimiento, como en la serie de uranio-238, existen 2 maneras de desintegración las cuales son:

- a) Decaimiento alfa:* La desintegración alfa representa la desintegración de un núcleo padre a una hija a través de la emisión del núcleo de un átomo de helio. Las partículas alfa consisten en dos protones y dos neutrones unidos en una partícula idéntica a un núcleo de helio, es uno de las partículas que ioniza mucho el material y tiene un rango muy corto (Connor, 2020).
- b) Decaimiento beta:* La desintegración beta representa la desintegración de un núcleo padre a una hija a través de la emisión de la partícula beta. Las partículas beta son electrones o positrones de alta energía y alta velocidad emitidos por ciertos tipos de núcleos radiactivos. Las partículas beta tienen un mayor rango de penetración que las partículas alfa, pero aún mucho menos que los rayos gamma (Connor, 2020).

### **1.3 Propiedades físicas y químicas del radio**

El radio es un elemento químico radiactivo, siendo un metal blanco plateado. Uno de los productos de la desintegración del radio es el radón, el gas noble más pesado; este proceso de descomposición es la fuente principal de ese elemento (Hanusa, 2019).

Se conocen varios tipos de isotopos de radio, los cuales todos son radiactivos, dando como un resultado de 4 los cuales se encuentra en la naturaleza y el resto se produce sintéticamente, el radio-226 es el más importante, ya que es un radioisótopo natural, este radioisótopo se encuentra en bajas cantidades en las rocas, suelo, agua y posible encontrarlo en el aire (Lenntech, 1998).

En el agua pueden existir grandes concentraciones de radio en algunas localizaciones, los niveles de radio-226 en agua potable pueden ser elevados, ya sea en la extracción de profundos pozos que se encuentran localizados cerca de un vertedero de residuos radiactivos o en aguas cercanas a las minas de uranio, dando como resultados efectos en la salud como es la fractura de dientes, anemia y cataratas, estos efectos pueden llevar años para desarrollarse (Lenntech, 1998).

**Tabla 1-1** Propiedades del Radio

<i>Nombre</i>	Radio
<i>Símbolo</i>	Ra
<i>Aspecto</i>	Plateado metálico blanquecino
<i>Numero atómico</i>	88
<i>Punto de fusión</i>	700,85°C
<i>Punto de ebullición</i>	1737,85°C
<i>Densidad</i>	5000kg/m <sup>3</sup>

Fuente: (Lenntech, 1998)  
Realizado por: Cando, A. 2021

#### 1.4 Efectos Biológicos del radio-226

El radio-226 es un elemento radiactivo es producido en el decaimiento de la serie del uranio-238 produciendo partículas alfa, se encuentra en todos los medios naturales que rodea al ser humano en cantidades pequeñas, este radioisótopo es transmitido por medio de agua subterránea, tierra, rocas, ya sea por emisión propio del lugar o porque se encuentren cerca de una minería de retransmisión radiactiva.

Este elemento puede ser consumido por el ser humano en alimentos o agua contaminada. la exposición a niveles más altos de radio, por períodos prolongados, puede causar efectos dañinos como anemia, cataratas, fractura de dientes, cáncer (especialmente en los huesos actuando como calcio). Algunos de estos efectos pueden tardarse años en aparecer (ATSDR, 1990, p. 3).

Cuando se ingiere el radio, ya sea a través del agua o comida, el cuerpo eliminará el 80% de esta sustancia química inmediatamente a través de las heces. El otro 20% entrará al torrente sanguíneo, a través del cual llegará a todas partes del cuerpo, especialmente a los huesos. Parte de este radio se excretará a diario por las heces y la orina (ATSDR, 1990, p. 3).

#### 1.5 Normativa Internacional

La Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM), es un organismo público europeo encargado de coordinar los programas de investigación de la energía nuclear (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2007). Establece diferentes directivas una de ellas es la Directiva 2013/51/EURATOM, la

cual establece requisitos para la protección en salud de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano (EURATOM, 2013).

En la directiva 2013/51/EURATOM, da a conocer valores de referencia de las concentraciones por radiactividad del agua derivadas al consumo humano, entre esos se encuentra el radio-226 dando un valor de  $0.5 \text{ Bq/l}$  ( $500 \text{ Bq/m}^3$ ), y una dosis efectiva de  $0.1 \text{ mSv}$  por ingesta anual (EURATOM, 2013, pp. 19–20).

2013/51/EURATOM, en el anexo 1 dispone los valores de parámetros para radón en agua destinada al consumo humano de  $100 \text{ Bq/l}$  y se considera una dosis efectiva de  $1 \text{ mSv}$  por año (EURATOM, 2013, p. 16).

La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU, (U. S EPA), trabaja para garantizar la calidad de aire, agua y tierra sean aptos para el consumo y utilización del humano, basándose en información científica para una reducción de riesgos ambientales

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Riesgo de Enfermedades (ATSDR), es una agencia de salud pública federal que forma parte del departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU. tiene la misión de proteger a las comunidades de los efectos dañinos para la salud relacionados con la exposición a sustancias peligrosas naturales o hechas por el hombre

La ATSDR hace referencia al estudio U. S EPA en el desarrollo de perfil toxicológico para radio en el año 1990. En el capítulo 5 en la sección (5.4) da a conocer que el contenido de radio del agua superficial suele ser bajo. El radio-226 generalmente varía de  $0.1$  a  $0.5 \text{ pCi/l}$  ( $0.004$ - $0.019 \text{ Bq/l}$ ) (Yusuf, 1990, p. 53).

El Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) tiene como objetivo estimar niveles y efectos de exposición a radiación ionizante. La UNSCEAR en el año 2006 en el capítulo seis en sección 475. Describe que para una ingesta media de  $0.6$  litros de agua de grifo contiene una concentración de radón de  $100 \text{ Bq/l}$  (Saunders, 1981, p. 295).

## **1.6 Magnitudes físicas relacionadas**

### ***1.6.1 Actividad***

Se mide en material radiactivo, donde se define como la desintegración de núcleos por segundo. Donde un gramo de radio-226 experimenta  $3,7 \times 10^{10}$  Bq desintegraciones por segundo (DPS), un nivel de actividad que definió el Curie (Ci), una unidad temprana de radiactividad (Hanusa, 2019).

### ***1.6.2 Concentración de actividad***

Da a conocer la cantidad de un elemento radiactivo que se encuentra presente en un medio como lo es en el volumen, siendo sus unidades de mediciones en Bq/m<sup>3</sup> (Attix, 2004, pp. 112-114).

### ***1.6.3 Dosis efectiva anual***

Es medida en mSv, se obtiene la cantidad que absorbe ciertos órganos del cuerpo humano en un tiempo determinado, cuando son expuestos a la radiación ionizante o por ingerir líquidos radiactivamente contaminados (Attix, 2004, pp. 112-114).

## **1.7 Agua Subterránea**

La mayor parte de lluvia, nieve o granizo se desliza por la superficie terrestre formando arroyos y ríos, lo que constituye la escorrentía superficial. Otra parte se infiltra en el terreno, rellenando poros y fisuras; cuando éstos se saturan, el agua fluye por gravedad hacia los manantiales, ríos o mares (Fuentes Yagüe, 2017, p. 2). Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas (Sataloff et al., 2015, p. 4).

El agua subterránea es aquella que se obtiene a grandes profundidades de la tierra, se llega a encontrar por medio de pozos ya creados por el ser humano o por medio de vertientes subterráneas, la cuales son creadas naturalmente con el pasar del tiempo, accediendo a una expulsión de agua desde la tierra por medio de poros o grietas de la tierra permitiendo así la obtención de agua para el consumo humano.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua que se encuentra presente en todos los continentes, con un volumen mucho más importante que el agua retenida en lagos o ríos y aunque menor al de los glaciares. Aproximadamente el 3% del agua total en la tierra es agua dulce, donde un 95% constituye aguas subterráneas; 3.5% corresponde a aguas superficiales y el 1.5% a la humedad acumulada en los suelos. De toda el agua dulce existente un 0.36% que está disponible para su consumo (Sataloff et al., 2015, pp. 4–5).

El grado de consumo de agua subterránea en el Ecuador es bajo, el escaso aprovechamiento del agua subterránea provoca a su vez escasez de información sobre usos reales y potenciales de este recurso (Galárraga Sánchez, 2000, p. 25). Una de las principales razones para el consumo de las aguas subterráneas radica en los costos de prospección, perforación, bombeo y mantenimiento, y en la regularidad de los caudales superficiales (Galárraga Sánchez, 2000, p. 25).

Ecuador contiene zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer poblaciones o para el mantenimiento de cultivos. Existen dos zonas acuíferas, la zona de montañas y las áreas bajas de valles. La zona de montaña con presencia de paramos, áreas cenagosas y pequeñas lagunas, la mayor parte proviene de los deshielos del Chimborazo y Carihuairazo, donde el agua subterránea es captada por canales, facilitando como servicio básico de consumo humano y favoreciendo la facilidad de obtención para la utilización del cultivo y ganado en las zonas rurales (Sataloff et al., 2015).

## **1.8 Descripción de los cantones objeto de la investigación**

### ***GUANO***

Guano es un cantón de la provincia de Chimborazo cuenta un rango de altitud desde los 2000 hasta los 6310 *m.s.n.m.* Su temperatura promedio es de 17°C, cuenta con 473.3Km<sup>2</sup> de extensión. De acuerdo con el sistema integrado de indicadores sociales del Ecuador (SIISE), la pobreza por necesidades básicas insatisfechas alcanza el 83.44% del cantón (Wikipedia, 2021). Cuentan con acceso a la red de alcantarillado, el 23% de las viviendas, el porcentaje de hogares que cuentan con servicio higiénico exclusivo es del 28.7%. Donde los servicios básicos alcanzan una cobertura de; Agua entubada por red pública dentro de la vivienda (0.27%), Energía eléctrica (56.7%), servicio telefónico (13.93%). Dando como una conclusión del déficit de servicios básicos de 82.8% (Wikipedia, 2021).

## **CHAMBO**

Chambo este cantón está ubicado al noreste de la provincia del Chimborazo con una altitud de 2780m.s.n.m., cuenta con una variedad de clima y esta característica favorece para actividades agropecuarias. Chambo en años anteriores fue una parroquia rural de Riobamba (*Chambo – CHIMBORAZO, 2020*).

Asentada en los Montes Quilimás y Cubillines de la Cordillera Oriental, su altitud va desde los 2400 a 4730m.s.n.m, con temperaturas que fluctúan entre 0-15°C. Penipe cuenta con el cruce de 3 ríos y su cercanía con el Parque Nacional Sangay dotan a la “Señora del Agro” de grandes recursos turísticos naturales, lo que convierte a este cantón en un atractivo potencial (*Chambo – CHIMBORAZO, 2020*). Según con el Sistema de Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE), la pobreza por servicios básicos insatisfechos es de 71.83%, en lo cual tienen acceso a la red de alcantarillado el 39% de las viviendas, el 36% tienen agua entubada por red pública dentro de la vivienda, disponen de energía eléctrica el 89.44%, por ende, en general el cantón presenta un déficit de servicios básicos de 71.55% (*Wikipedia, 2021*).

## **PENIPE**

El cantón Penipe perteneciente a la provincia Chimborazo cuenta con una población de 7155 habitantes, la cual 4977 son habitantes de la parte rural, tiene una superficie de 386 Km<sup>2</sup>, presenta una latitud de 2488 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 13-15°C. una de sus parroquias principales son Bayushig, Bilbao, El Altar, Matus, Puela (*Penipe, 2016*). De acuerdo con el Sistema de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE), la pobreza por necesidades básicas, llega al 22.52% de habitantes del cantón, dando una cobertura beneficiaria de los servicios básicos como el agua entubada por red pública dentro de la vivienda de 0.28%, energía eléctrica de 99.34%, entre otros, dando como resultado general el déficit de servicios básicos es de 97.55% (*Wikipedia, 2021*).

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1 Área de Estudio

El área de estudio de esta investigación constituye los cantones Guano, Chambo y Penipe de la provincia del Chimborazo. Se analizaron 13 fuentes, suministros de agua potable, la información que se presenta a continuación, fue proporcionada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) de los cantones.

##### 2.1.1 Fuentes de agua del cantón Guano

La Tabla 2-2 presenta los nombres de las fuentes de agua de Guano que abastecen la parte urbana y del cantón, las cuales son administradas por el GAD Municipal.

**Tabla 2-2** Fuentes de agua subterránea que abastecen la zona urbana del cantón Guano.

Nombre de la fuente	Tipo	Coordenadas		pH	Temperatura	
		Latitud	Longitud		Agua	Aire
Guayco1	Subterránea	9824946	755312	6,4	13,6°C	15,4°C
Guayco 3	Subterránea	9824689	755928	6,6	13,6°C	18°C
Villagran 1	Subterránea	9821995	762126	-	18,3°C	20,5°C

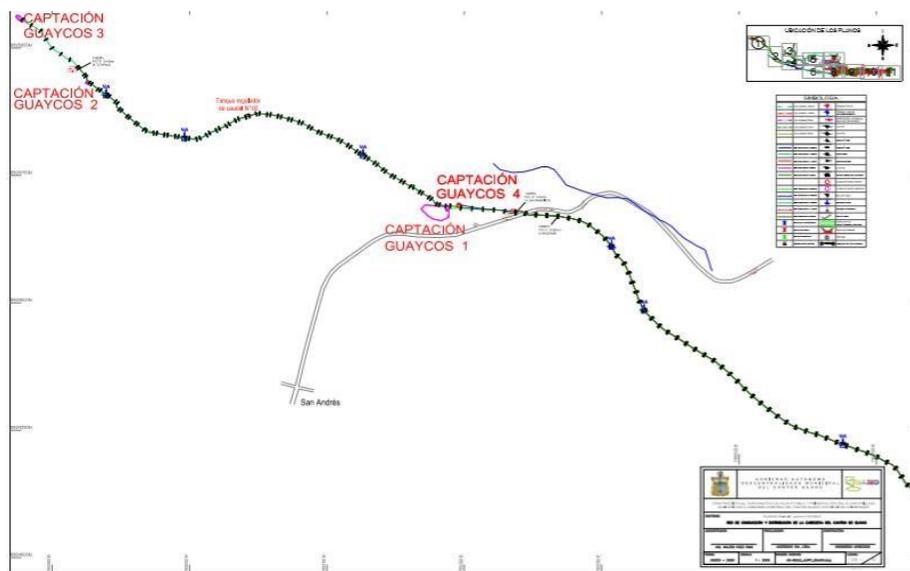
**Realizado por:** Cando A, 2021

**Fuente:** Autor

La Figura (2-2) muestra el plano de la red de captaciones Guayco 1, Guayco 2, Guayco 3 y Guayco 4, ubicadas en la parroquia San Andrés (3820 *m.s.n.m*). Debido a lo difícil del acceso no fue posible tomar muestras de Guayco 2 y 4.

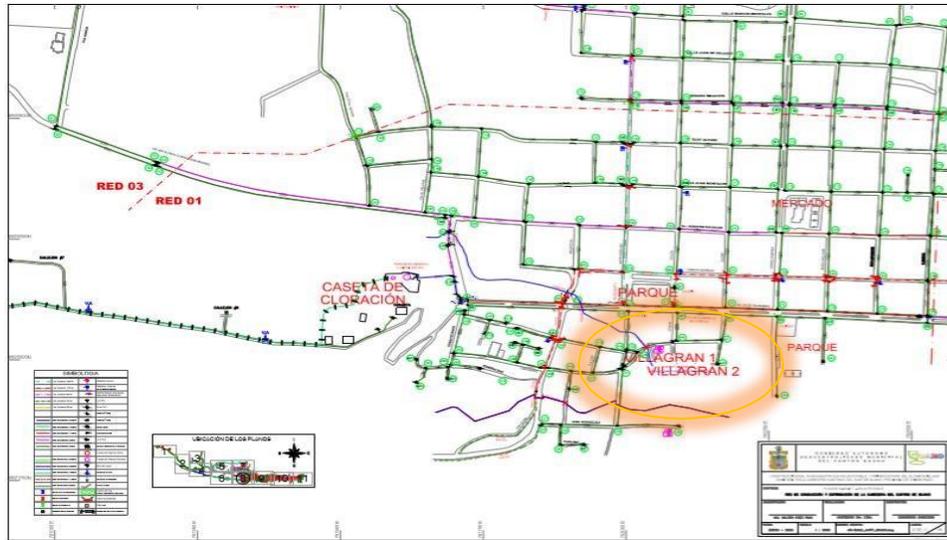
El sistema Balsayán – Lluishi – La Merced se alimenta del agua de todos los Guaycos, abastece a través de una nueva tubería instalada de PVC 250 *mm* desde las captaciones, con una dotación de

29,26 l/s (sumatoria de caudales de los Guaycos 1 al 4) hasta el Tanque de Reserva y distribución de Balzayán (350 m<sup>3</sup>) (GAD Guano, n.d., p. 7).



**Figura 2-2** Plano la red de agua de las vertientes Guayco1, Guayco2, Guayco3 y Guayco4  
Realizado por: Cando A, 2021  
Fuente: GAD Guano, n.d.

Las vertientes Villagran 1 y 2 sirven a la parte baja de la cabecera cantonal, entre ellos están los barrios Espíritu Santo, Dolorosa, Santa Teresita. El tanque colector y distribuidor de las dos vertientes está ubicado en el barrio la Inmaculada (GAD Guano, n.d., p. 22). La Figura (3-2) ilustra la red de distribución de agua potable proveniente de las vertientes Villagran. En este estudio no fue posible muestrear la vertiente Villagran 2 debido a la gran profundidad a la que se encontraba el agua.



**Figura 3-2** Red de distribución de agua potable proveniente de las vertientes Villagran  
 Realizado por: Cando A, 2021  
 Fuente: GAD Guano, n.d.

### 2.1.2 Fuentes de agua del cantón Chambo

La Tabla (3-2) presenta las fuentes de los suministros de agua potable de las áreas urbana y rural del cantón Chambo. La vertiente Cubillines, el río La “Y” y Catequilla abastecen a la zona urbana, mientras que las vertientes Galtén 1,2,3 y 4 sirven a la zona rural.

**Tabla 3-2** Fuentes de agua subterránea y superficial que abastecen la zona urbana y rural del cantón Chambo

Nombre de la fuente	Tipo	Coordenadas		pH	Temperatura	
		Latitud	Longitud		Agua	Aire
Cubillines	Subterránea	1°44'40"	78°35'27"	-	10°C	20,5°C
Rio La Y	Superficial	1°45'20"	78°30'38"	-	10,8°C	15,6°C
Catequilla	Subterránea	1°43'39"	78°34'50"	6,43	15,8°C	17,2°C
Galtén 1	Subterránea	1°41'54"	78°58'04"	6,91	16,3°C	18,1°C
Galtén 2	Subterránea	1°41'54"	78°58'04"	7,1	15,3°C	18,1°C
Galtén 3	Subterránea	1°41'54"	78°58'04"	6,9	16,5°C	20,6°C
Galtén 4	Subterránea	1°41'54"	78°58'04"	6,7	15,8°C	20,5°C

Realizado por: Cando A, 2021  
 Fuente: Autor

Cubillines abastece a la mayor parte de la población de Chambo, está ubicado a 3480 *m.s.n.m* tiene un caudal de un total de 9.7 *l/s* (Instituto Ecuatoriano De Recursos Hidráulicos-Agencia de Aguas De Riobamba, 2007). En este estudio, se recolectó muestras tanto de la vertiente como de la *plata de tratamiento* donde desembocan estas aguas. La Figura (4-2) ilustra la red de distribución de agua potable, captada desde la vertiente Cubillines.



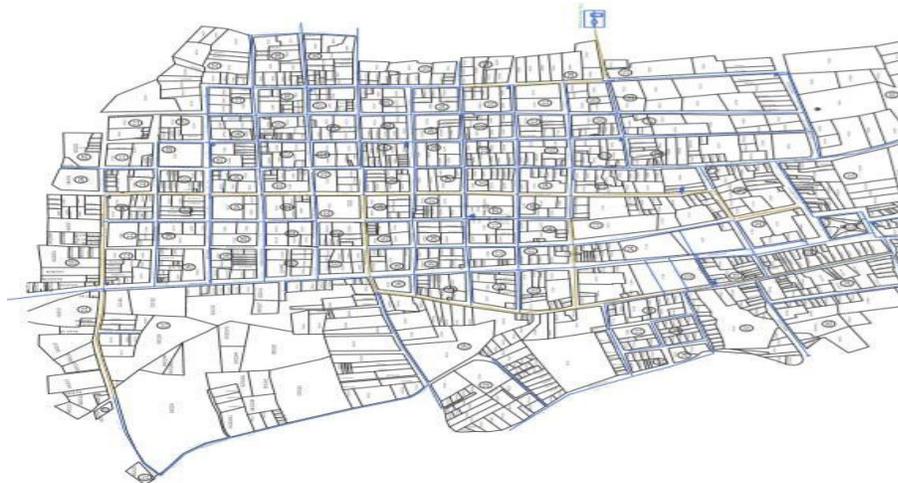
**Figura 4-2** Red de distribución de agua captada desde la vertiente Cubillines  
Realizado por: Cando A, 2021  
Fuente: Instituto Ecuatoriano De Recursos Hidráulicos-Agencia de Aguas De Riobamba, 2007

El agua del río La Y, se desplaza por tuberías hasta llegar al tanque de reserva, donde se realiza la potabilización del agua. El nombre del río debe a que se divide en dos, el un lado es utilizado para el cantón Chambo y el otro lado para la comunidad Titaicu (Instituto Ecuatoriano De Recursos Hidráulicos-Agencia de Aguas De Riobamba, 2007). La Foto (1-2) muestra el río La Y.



**Fotografía 1-2** Rio la Y

La vertiente Catequilla, está ubicada a 2920 *m.s.n.m.*, está provista de un tubo de dónde se recolectó las muestras, el caudal es de 8 *l/s.* El agua es transportada por medio de tuberías hasta el tanque recolector y distribuidor, ubicado en la parte inferior de la iglesia la Pampa. Figura (5-2) muestra la red de distribución de agua potable proveniente de la vertiente Catequilla.



**Figura 5-2** Red de distribución de agua potable proveniente de la vertiente Catequilla

Realizado por: Cando A, 2021

Fuente: Instituto Ecuatoriano De Recursos Hidráulicos-Agencia de Aguas De Riobamba, 2007

Las vertientes Galtén1, Galtén2, Galtén3 y Galtén 4, están ubicadas en la zona rural, una cerca a la otra, estas son utilizadas para consumo humano y también para los cultivos; además son una reserva

para percances que se pueda llegar a presentar en la obtención de agua de las otras vertientes de zona urbana. La Foto (2-2) muestra la vertiente Galtén 1.



**Fotografía 2-2** Vertiente Galten 1

### **2.1.3 Fuentes de agua del cantón Penipe.**

Las principales vertientes o manantiales que suministran de agua potable a la zona urbana y rural del cantón Penipe, se muestran en la Tabla (4-2).

**Tabla 4-2** Fuentes de agua subterránea que abastecen la zona urbana y rural del cantón Penipe.

Nombre de la fuente	Tipo de fuente	Coordenadas		pH	Temperatura	
		Latitud	Longitud		Agua	Aire
Matus Alto (Hacienda)	Subterránea	1°33'46"	78°30'26"	6,58	18,5°C	21,8°C
Matus Alto (El Bosque)	Subterránea	1°33'35"	78°30'32"	6,74	18,8°C	19,3°C
Moya	Subterránea	1°34'40"	78°31'17"	6,77	22,2°C	21,3°C

**Realizado por:** Cando A, 2021

**Fuente:** Autor

Matus alto (Hacienda), se caracteriza por la emanación del agua desde la superficie del suelo (ojos de agua). La Foto (3-2) muestra que la fuente tiene un tubo de donde las muestras de agua fueron colectadas.



**Fotografía 3-2** Vertiente Matus Alto (Hacienda)

Matus alto (El Bosque), suministra agua de uso doméstico y para los cultivos, esta vertiente se une a Matus alto (Hacienda). La Foto (4-2) muestra la fuente, misma que cuenta con un tubo desde donde se colectó el agua para el análisis.



**Fotografía 4-2** Manantial Matus Alto (El Bosque)

La Moya más conocida como *Penicucho*, suministra de agua potable a la zona urbana del cantón Penipe.

## **2.2 Protocolo de Muestreo**

El muestreo, transporte y almacenamiento de las muestras de agua tienen un impacto significativo en los resultados de la medición.

Como se explicará en la Sección (2.4), la técnica utilizada para evaluar la concentración de actividad de radio-226 en muestras de agua recolectadas en las fuentes detalladas en la Sección (2.1), se basa en la cuantificación del radón disuelto en el agua, usando el método emanométrico. En este contexto, es fundamental contar con un protocolo que garantice que durante el muestreo no se pierda una fracción considerable del gas.

Los ítems del protocolo se detallan a continuación:

**a) *Materiales de muestreo***

Para la recolección del agua las botellas deben ser de vidrio o plástico denso y tapas con un disco interno de teflón, caucho o plástico para garantizar baja permeabilidad del radón y alta hermeticidad. En esta investigación se utilizaron botellas de vidrio de dos tipos, estándar de la compañía *DurrIDGE* y no estándar, compradas en el mercado local, ambas de 250 ml. Las botellas fueron lavadas y secadas previamente.



**Fotografía 5-2** Botellas estándar de 250 ml de la compañía DurrIDGE de Estados Unidos

**b) *Toma de las muestras***

A la hora del muestreo, se recolectó el agua en un recipiente de 5 litros, con la mínima turbulencia posible, luego se sumergió la botella de 250ml y se cerró bajo el agua. La muestra sin presencia de burbujas de aire dentro de la botella, es considerada apta para el análisis. Se recolectó tres muestras de agua para considerar la variabilidad de los resultados. Todas las muestras fueron tomadas de manera independiente, pero bajo las mismas condiciones de muestreo.

**c) Etiquetado y transporte de muestras al laboratorio**

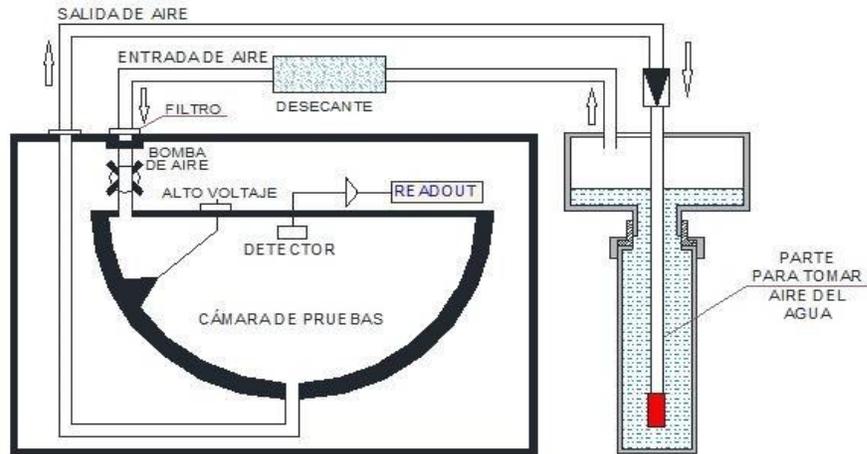
Cada muestra fue etiquetada con código único. Las botellas se transportaron boca abajo en un recipiente con aislamiento térmico para conservar fría el agua. En el laboratorio, las muestras se conservaron en el frigorífico hasta el momento de ser analizadas.



**Fotografía 6-2** Muestras de agua etiquetadas y listas para ser transportadas (botellas no estándar).

**2.3 Técnica emanométrica para medir radón en agua con RAD7**

La configuración experimental consta de 2 componentes, el monitor *RAD7* y el Kit *RAD H<sub>2</sub>O* (vial para el agua con aireador, una columna de desecante, sistema de tubos y un soporte). En conclusión, el *set-up* consiste en un detector y un sistema de desgasificación, formando un circuito cerrado. Durante los cinco minutos de aireación, más de 90% del radón disponible se elimina del agua. El sistema de detección permite medir el radón en el agua en un rango de concentración de 10 pCi/l (0.37 Bq/l) hasta 400,000 pCi/l ( $1,48 \times 10^4$  Bq/l) y permitiendo obtener el resultado de la medición en 30 minutos (DURRIDGE Company Inc., 2011). La Figura (6-2) muestra un diagrama de la configuración experimental.



**Figura 6-2** Diagrama ilustrativo del circuito cerrado: monitor RAD7 y Kit RAD H2O

*Realizado por:* Cando A, 2021

**Fuente:** Marzon, 2012, p. 7

El *RAD7* internamente está compuesto de un hemisferio de 0,7 litros, recubierto internamente con un conductor eléctrico. En el centro del hemisferio, se encuentra un *detector de partículas alfa de silicio*. El circuito de alimentación de alta tensión carga el conductor interno, con un potencial de 2.000 a 2.500 V, en relación con el detector, creando un campo eléctrico en todo el volumen de la celda. El campo eléctrico impulsa a las partículas cargadas positivamente a ubicarse sobre el detector (DURRIDGE Company Inc., 2014, p. 36)

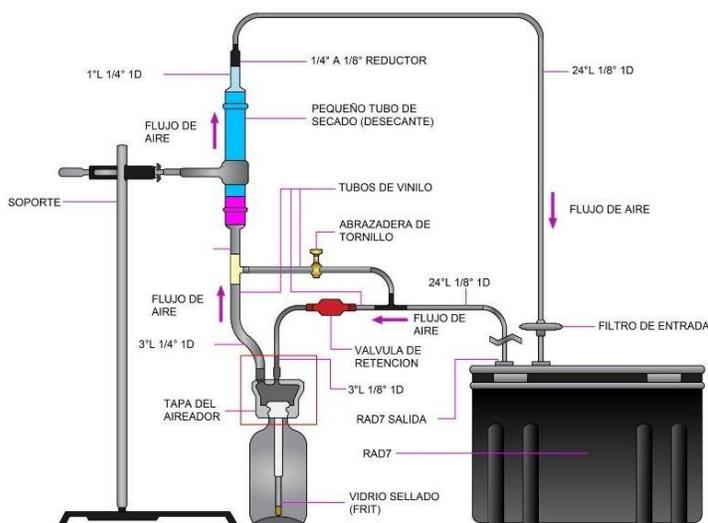
Un núcleo de radón-222 que se desintegra dentro de la celda deja su núcleo transformado (polonio-218) como un ion cargado positivamente. El campo eléctrico que existe en el interior de la celda impulsa este ion cargado positivamente hacia el detector. Cuando el núcleo del polonio-218 (de corta vida) se desintegra sobre la superficie activa del detector, su partícula alfa tiene una probabilidad del 50% de entrar en el detector y de producir una señal eléctrica, proporcional a la energía de la partícula alfa. Las desintegraciones posteriores del mismo núcleo producen partículas beta, que no son detectadas, o partículas alfa de energía diferente. Los diferentes isotopos tienen diferentes energías alfa, y producen diferentes señales en el detector (DURRIDGE Company Inc., 2014, p. 36).

El *RAD7* amplifica, filtra y ordena las señales. En el modo RASTREO, el *RAD7* solo utiliza la señal del polonio-218 para determinar la concentración de radón, y la señal del polonio-216 para determinar la concentración del torón, ignorando las descendientes del radón, posteriores y con vida más larga. De esta manera, el *RAD7* logra una respuesta rápida ante los cambios de la concentración de radón, y una rápida recuperación después de las altas concentraciones (DURRIDGE Company Inc., 2014, pp. 36–37).

## 2.4 Protocolo de medición de radio-226 en agua con RAD7

El procedimiento experimental para evaluar la concentración de actividad de radio-226, basado en la cuantificación del radón disuelto en agua, de las muestras recolectadas de las fuentes de agua subterránea y superficial de los cantones Guano Chambo y Penipe se especifica a continuación:

- a) Una vez que las muestras de agua se encuentran en el laboratorio, se ensambla el sistema de detección como se ilustra en la en la Figura (7-2).



**Figura 7-2** Sistema de detección de gas radón en agua usando un detector semiconductor de silicio (Método Emanométrico)

**Realizado por:** Cando A,2021

**Fuente:** Marzon, 2012 p. 9

- b) El monitor *RAD7* debe estar libre de radón y con una humedad menor al 6%. Para un correcto secado del equipo, este debe ser purgado de 10 a 30 *min*, usando la unidad de secado del laboratorio en la entrada del *RAD7*.
- c) Después de purgar el *RAD7*, se programa el protocolo para 250 *ml*, empleando el menú del panel frontal y se procede a correr el test.

- d)* La bomba interna del monitor funcionará durante cinco minutos para airear la muestra y entregar el radón al *RAD7*. El sistema esperará otros cinco minutos y entonces empezará a contar. Después de cinco minutos, imprima un informe breve. Lo mismo volverá a suceder cinco minutos después, y durante dos más períodos de cinco minutos. Al final de la carrera (30 minutos después del inicio), el *RAD7* imprime un resumen, que muestra la lectura promedio de radón de los cuatro ciclos contados, un gráfico de barras de los cuatro lecturas y un espectro acumulativo. El nivel de radón del agua es calculado automáticamente por el *RAD7*. Todos los datos y el espectro son almacenados en la memoria, y pueden imprimirse o descargarse a una computadora en cualquier momento, usando el software Capture. Este resultado se registra como *concentración de radón día 1 (D-1)*.
- e)* Luego de ser analizadas se cierran herméticamente las muestras y se conserva en refrigeración. Luego de 10 días se mide nuevamente los niveles de radón en agua, a este resultado se registra como *concentración de radón día 10 (D-10)*.
- f)* La concentración de radio-226 en las muestras de agua se calculan a partir de la Ecuación(1) (Le et al., 2015, p. 6).

$$C_{Ra} = \frac{K}{1 - e^{-\lambda_{Rn} * t}} C_{Rn} \quad (1)$$

Donde:

$C_{Rn}$  Concentración media del radon-222 del día diez (Bq/l).

$\lambda_{Rn}$  Constante del decaimiento de radón-222 ( $\ln 2/T_{1/2}$ ), vida media del radón ( $T_{1/2}=3.81d$ ).

$Kc$  Factor de corrección debido a la fuga como por eficacia de conteo, siendo una constante de 1.

$C_{Ra}$  Concentración de radio-226 (Bq/l).

- g)** La dosis efectiva anual como resultado de la ingesta de radón-222 o radio-226, se calcula sobre la base de la concentración de actividad media de radio-226 o concentración de actividad media del *D-I* radón, utilizando la Ecuación (2) (Le et al., 2015, p. 7).

$$E_w = \varepsilon * V_w * C_w \quad (2)$$

Donde:

$\varepsilon$  Factor de conversión de dosis por ingestión de radón-222 ( $10^{-8}$  Sv/Bq) y de radio-226 ( $2.8 \times 10^{-7}$  Sv/Bq).

$V_w$  Es la tasa de consumo de agua 730 *litros/año* para un adulto estándar, ingiriendo la misma agua directamente de la fuente.

$C_w$  Concentración de radón-222 o radio-226 en el agua (Bq/l).

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presenta los resultados de las mediciones de la concentración de actividad del gas radón al día 1 y al día 10, en las muestras de agua de las trece fuentes estudiadas, se pone énfasis en las concentraciones de actividad de radio-226, objetivo de este trabajo de investigación. Además, se presenta la dosis efectiva anual como resultado de la ingesta de radón-222 o radio-226, datos importantes desde el punto de vista de la protección radiológica de la población de los cantones Guano, Chambo y Penipe.

#### 3.1 Concentración de radón

La Tabla (5-3) presenta el nombre de las fuentes de agua, el cantón en donde se encuentran localizadas y los resultados de las concentraciones medias de radón-222 al día 1 y día 10, junto con las respectivas incertidumbres absolutas. El *nivel de radón disuelto en las muestras de agua* es medido el día 1, el mismo día en el que las muestras fueron colectadas.

La Gráfica (1-3) ilustra los resultados de la Tabla (5-3) excepto el río La Y del cantón Chambo, se observa que en el *cantón Guano*, la vertiente Guayco1 presenta la concentración más alta ( $3,37 \pm 0,07$  Bq/l), mientras que Guayco3 y Villagran tienen valores compatibles dentro de los errores experimentales. En el *cantón Chambo*, la vertiente Catequilla muestra la mayor concentración de actividad de radón ( $14,52 \pm 0,25$  Bq/l) mientras que las muestras del río La Y, presentan una concentración *bajo el límite de detección de la técnica (BLD)*. En el *cantón Penipe*, las fuentes de agua muestran resultados completamente diferentes una con respecto a la otra, dando la más alta concentración en la vertiente Matus Alto (La Hacienda) ( $12,18 \pm 0,14$  Bq/l), seguida de Matus Alto (El Bosque) ( $7,91 \pm 0,07$  Bq/l) y con la más baja concentración La Moya (Penicucho) ( $1,60 \pm 0,05$  Bq/l). De todas las vertientes estudiadas, Catequilla presenta el nivel más alto de radón disuelto en el agua.

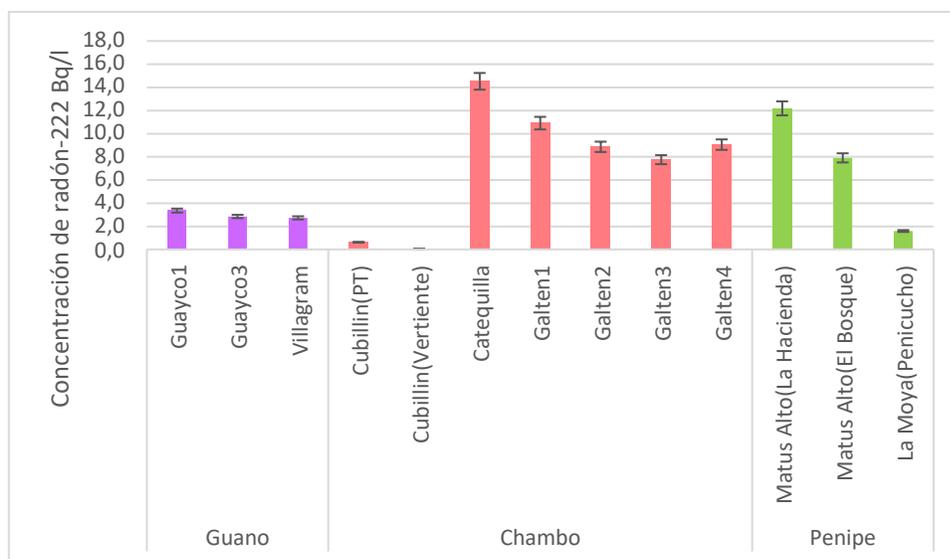
Ninguna vertiente estudiada supera el nivel de referencia o paramétrico (100 Bq/l), recomendado por la Comunidad Europea en la Directiva 2013/51/EURATOM, Anexo I.

**Tabla 5-3** Media ponderada de la concentración de actividad de radón-222 D-1 y D-10.

<b>Cantones</b>	<b>Vertientes</b>	<b>Concentración media de radón-222 D-1 (Bq/l)</b>	<b>Incertidumbre absoluta D-1 (Bq/l)</b>	<b>Concentración media de radón-222 D-10 (Bq/l)</b>	<b>Incertidumbre absoluta D-10 (Bq/l)</b>
<b>Guano</b>	<i>Guayco1</i>	3,37	0,07	0,30	0,04
	<i>Guayco3</i>	2,85	0,11	0,13	0,02
	<i>Villagran</i>	2,74	0,05	0,06	0,01
<b>Chambo</b>	<i>Cubillines (Planta de tratamiento)</i>	0,63	0,02	0,06	0,01
	<i>Cubillines (Vertiente)</i>	0,05	0,01	0,11	0,03
	<i>Catequilla</i>	14,52	0,25	0,13	0,01
	<i>Galten1</i>	10,91	0,24	0,45	0,04
	<i>Galten2</i>	8,86	0,17	0,27	0,01
	<i>Galten3</i>	7,75	0,17	0,41	0,03
	<i>Galten4</i>	9,06	0,13	0,25	0,02
	<i>Rio la "Y"</i>	BLD	BLD	BLD	BLD
<b>Penipe</b>	<i>Matus Alto (La Hacienda)</i>	12,18	0,14	0,18	0,02
	<i>Matus Alto (El Bosque)</i>	7,91	0,07	0,19	0,02
	<i>La Moya (Penicucho)</i>	1,60	0,05	0,04	0,01

Realizado por: Cando A, 2021

Fuente: Autor



**Gráfica 1-3** Concentración media de radón D-1 de las muestras de agua recolectadas en las fuentes de los cantones Guano, Chambo y Penipe, excepto el río La Y del cantón Chambo.

Realizado por: Cando A, 2021

Fuente: Autor

### 3.2 Concentración de radio-226

La Tabla (6-3) presenta las *concentraciones medias* de radio-226 de las muestras recolectadas en las fuentes de agua de los cantones Guano, Chambo y Penipe y que son destinadas para consumo humano. El cálculo individual se realizó usando la Ecuación (1) de la Sección (2.4) y posteriormente se obtuvo la media ponderada de los tres resultados de las mediciones de las tres muestras recolectadas en cada fuente, acorde al protocolo de muestreo detallado en la Sección (2.2) literal b).

El Gráfico (2-3) ilustra los resultados de la Tabla (6-3), como se puede observar, las concentraciones de radio-226 varían entre 0,54 y 0,04 Bq/l, valores correspondientes a las fuentes Galten 1 del cantón Chambo y La Moya del cantón Penipe respectivamente.

La Directiva 2013/51/EURATOM, Anexo III, incluye una tabla para los radionucleidos naturales y artificiales más comunes; se trata de valores precisos, calculados para una dosis de 0,1 mSv, una ingesta anual de 730 litros y utilizando los coeficientes de dosis establecidos en el cuadro A del anexo III de la Directiva 96/29 / EURATOM. Para el caso del radio-226 este valor es de 0,5 Bq/l, conocido también *como concentración derivada*.

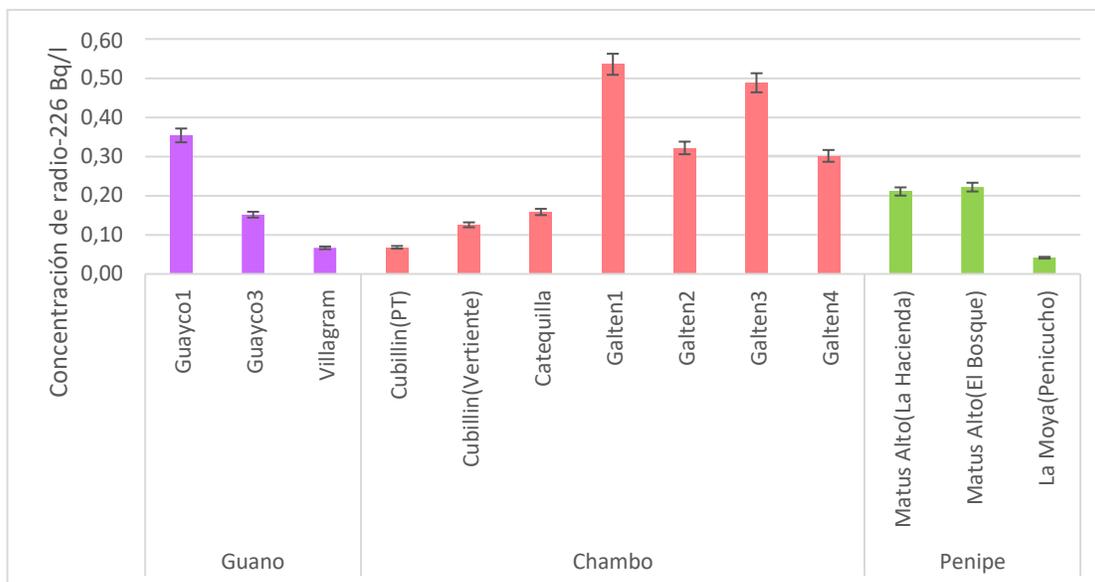
**Tabla 6-3** Media ponderada de la concentración de actividad de radio-226

<b>Cantones</b>	<b>Vertientes</b>	<b>Concentración de radio-226 (Bq/l)</b>	<b>Incertidumbre absoluta (Bq/l)</b>
<b>Guano</b>	<i>Guayco1</i>	0,35	0,05
	<i>Guayco3</i>	0,15	0,02
	<i>Villagram</i>	0,07	0,02
<b>Chambo</b>	<i>Cubillin (Planta de Tratamiento)</i>	0,07	0,01
	<i>Cubillin (Vertiente)</i>	0,13	0,04
	<i>Catequilla</i>	0,16	0,02
	<i>Galten1</i>	0,54	0,04
	<i>Galten2</i>	0,32	0,02
	<i>Galten3</i>	0,49	0,04
	<i>Galten4</i>	0,30	0,03
<b>Penipe</b>	<i>Matus Alto (La Hacienda)</i>	0,21	0,03
	<i>Matus Alto (El Bosque)</i>	0,22	0,02
	<i>La Moya (Penicucho)</i>	0,04	0,01

Realizado por: Cando A, 2021

Fuente: Autor

La mayoría de las vertientes presentan bajas concentraciones de radio-226, excepto las vertientes Galten1 y Galten3, con valores similares entre ellas (dentro de los errores experimentales) y que superan la concentración derivada, mencionada en la Directiva 2013/51/EURATOM.



**Gráfica 2-3** Concentración de actividad media de radio-226 de muestras recolectadas en las vertientes de agua subterránea de los cantones Guano, Chambo y Penipe.

**Realizado por:** Cando A, 2021

**Fuente:** Autor

### 3.3 Dosis efectiva anual de radón-222 y radio-226

Las dosis efectivas anuales por ingesta de radón-222 y radio-226 en el agua de consumo las poblaciones de Guano, Colta y Penipe, calculadas mediante la Ecuación (2) de la Sección (2.4) se muestran en la Tabla (7-3).

Para el caso particular del radón-222, usando la Ecuación (2) y el valor referencial EURATOM 100 Bq/l, la dosis efectiva anual es de 0,7 mSv/año. La Figura (3-3) visualiza la dosis efectiva anual por ingesta de radón-222 y se puede evidenciar que el valor más alto corresponde a la vertiente Catequilla del cantón Chambo (0,1 mSv/año), es decir todas las fuentes de agua analizadas presentan dosis pequeñas respecto al valor de referencia.

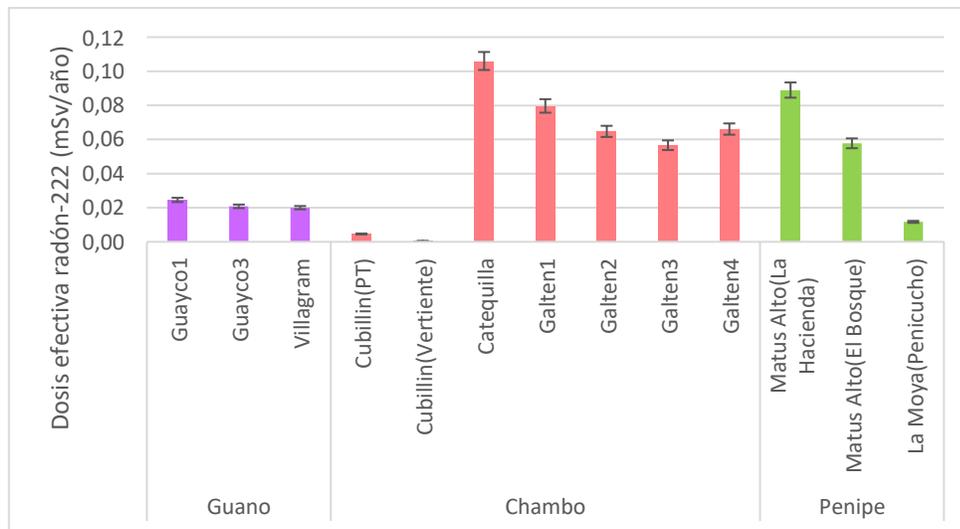
Por otro lado, la Figura (4-3) muestra que la mayoría de las vertientes presentan dosis pequeñas por ingesta de radio-226, excepto Galten1 y Galten3 que superan el valor de referencia de la Comunidad Europea (0,1 mSv/año). Es recomendable dar seguimiento a este parámetro en los suministros de agua potable antes mencionados, realizando al menos dos muestreos al año, en época seca y lluviosa, a fin de demostrar que la concentración de este radionucleido es estable.

**Tabla 7-3** Dosis efectiva anual por ingesta de radón-222 y radio-226

Cantones	Vertientes	Dosis efectiva anual radón-222 (mSv/año)	Dosis efectiva anual radio-226 (mSv/año)
Guano	<i>Guayco1</i>	0,0246±0,0005	0,0723±0,0086
	<i>Guayco3</i>	0,0208±0,0008	0,0309±0,0031
	<i>Villagram</i>	0,0200±0,0004	0,0137±0,0026
Chambo	<i>Cubillines (Planta de tratamiento)</i>	0,0046±0,0002	0,0140±0,0022
	<i>Cubillines(Vertiente)</i>	0,0004±0,0001	0,0256±0,0068
	<i>Catequilla</i>	0,1060±0,0018	0,0324±0,0030
	<i>Galten1</i>	0,0796±0,0017	0,1095±0,0075
	<i>Galten2</i>	0,0647±0,0012	0,0658±0,0030
	<i>Galten3</i>	0,0566±0,0012	0,0998±0,0068
	<i>Galten4</i>	0,0661±0,0009	0,0617±0,0043
Penipe	<i>Matus Alto (La Hacienda)</i>	0,0889±0,0010	0,0431±0,0048
	<i>Matus Alto (El Bosque)</i>	0,0577±0,0005	0,0454±0,0031
	<i>La Moya (Penicucho)</i>	0,0117±0,0004	0,0085±0,0025

Realizado por: Cando A, 2021

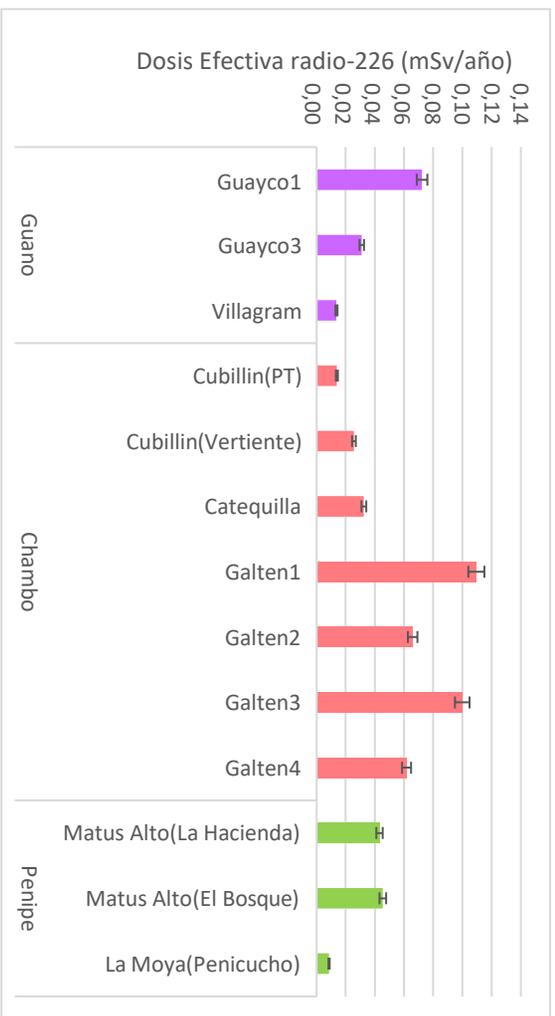
Fuente: Autor



**Gráfica 3-3** Dosis efectiva anual por ingesta de radón-222.

Realizado por: Cando A, 2021

Fuente: Autor



**Gráfica 4-3** Dosis efectiva anual por ingesta de radio-226

Realizado por: Cando A, 2021

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES

- Las concentraciones de actividad medias de radio-226 de las muestras recolectadas en las fuentes de agua de los cantones Guano, Chambo y Penipe y que son destinadas para consumo humano, presentan bajas concentraciones de radio-226, excepto las vertientes Galten1 ( $0,54 \pm 0,04$  Bq/l ) y Galten3 ( $0,49 \pm 0,04$  Bq/l) del cantón Chambo, con valores similares entre ellas (dentro de los errores experimentales) y que *superan la concentración derivada, mencionada en la Directiva 2013/51/EURATOM (0,5 Bq/l)*.
- Los resultados de las mediciones de la concentración de actividad de radón-222, muestran que los valores medios más altos por cantón corresponden a la vertiente Guayco1 ( $3,37 \pm 0,07$  Bq/l) del cantón Guano, la vertiente Catequilla ( $14,52 \pm 0,25$  Bq/l) del cantón Chambo y la vertiente Matus Alto (La Hacienda) ( $12,18 \pm 0,14$  Bq/l) del cantón Penipe, El río La Y presenta una concentración bajo el límite de detección de la técnica. *De todas las vertientes estudiadas, Catequilla presenta el nivel más alto de radón disuelto en el agua, pero no supera el nivel de referencia o paramétrico (100 Bq/l), recomendado en la Directiva 2013/51/EURATOM.*
- La mayoría de las vertientes presentan bajas dosis por ingesta de radio-226, excepto Galten1 y Galten3 que superan el valor de referencia de la Comunidad Europea ( $0,1$  mSv/año), *por lo que es necesario dar seguimiento a este parámetro a fin de demostrar que la concentración de este radionucleido es estable.*
- En todos los suministros de agua potable de los cantones Guano, Chambo y Penipe, la dosis efectiva anual por ingesta de radón-222 es baja respecto al valor de referencia de la Comunidad Europea ( $1$  mSv/año), el valor más alto se observó en la vertiente Catequilla del cantón Chambo ( $0,1$  mSv/año), en consecuencia, *no representa un riesgo para la salud de la población.*

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda mantener la humedad relativa del RAD7 bajo el 6% al inicio de cada medida para asegurar resultados confiables y precisos.
- Al momento de la recolección del agua, se sugiere utilizar botellas estándar, para una mejor manipulación y evitar pérdidas de gas radón durante el transporte de las muestras.
- Se recomienda seguir rigurosamente los ítems del protocolo de muestreo, para asegurar la precisión y repetibilidad de las mediciones.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

**ATSDR.** *RADIO.* vol.4. 1990. [Consulta: 25 febrero 2021] Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs144.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs144.pdf)

**ATTIX, F. H.** Introduction To Radiological Physics and. *John Wiley & Sons, Inc*, 607. 2004. pp. 112-114.

**BURCHAM, W. E.** *Física nuclear.* 1974. pp.286–289. [Consulta: 27 febrero 2021]. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=UCCqhTGyxJQC&pgis=1>

**CONNOR, N.** *Uranio-238.* Radiation Dosimetry. 15 marzo 2020. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-la-serie-de-uranio-definicion/>

**CHAMBO – CHIMBORAZO.** Prefectura de Chimborazo. 2020. [Consulta: 25 marzo 2021]. Disponible en: <https://chimborazo.gob.ec/chambo/>

**DESEQUILIBRIOS, E. D. E.** (n.d.). *Publicación técnica num. 10/94.* p.145.

**DIALNET-CuantificacionDeLaConcentracionDeElementosNaturale-5678780.pdf.** (n.d.). vol. 11. no. 4, 1992. pp.61-62.

**DURRIDGE COMPANY INC.** *RAD H 2 0 User Manual.* 978, 2011 pp.1–29.

**DURRIDGE COMPANY INC.** *DETECTOR DE RADÓN RAD7 Manual del Usuario.* 978, 2014. pp.10–12. [Consulta: 19 marzo 2021]. Disponible en: [www.durridge.com](http://www.durridge.com)

**EURATOM.** *Directive 2013/51/Euratom Del Consiglio.* 2013. pp.16–21.

**FRANCISCO, C.** *Física Nuclear y Partículas Dataci o Índice general.* 2007. pp. 1-50.

**FUENTES YAGÜE, J. L.** Aguas Subterráneas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 110. no. 9, 2017, pp.1689–1699.

**GAD GUANO. ET AL.** (n.d.). *GAD MUNICIPAL DEL CANTON GUANO ESTUDIO TARIFARIO DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PRESTADOS POR EL GAD MUNICIPAL DEL CANTON GUANO , PROVINCIA DE.* [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: [aguapotable@municipiodeguano.gob.ec](mailto:aguapotable@municipiodeguano.gob.ec)

**GALÁRRAGA SÁNCHEZ, R. H.** Agua para el siglo XXI para America del Sur: Informe Ecuador. *Cepal*, 2000. p. 88.[ Consulta: 16 enero 2021]. Disponible en: <https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23346/InEc00100.23346.pdf>

**G. CORTES.** *Radiacion Ionizante Ambiental.* 2002, . Cap.2 pp. 1-60 [Consultado: 18 enero 2021]. Recuperado de: <file:///C:/Users/ANDREA/Desktop/04Gcr04de11.pdf>

**HANUSA, T. P.** *Radium / description, properties, symbol, uses, & facts.* Encyclopedia Britannica. 14 marzo 2019. [Consulta: 5 abril 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/radium#ref1046360>

**KAPPKE, J., ET AL.** Measurements of Radon and Radium Activity in Bottled Mineral Water. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2013*, pp. 7–8.

**LE, C. H., ET AL.** Radon and radium concentrations in drinkable water supplies of the Thu Duc region in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Applied Radiation and Isotopes*, 2015. vol. 105, pp. 219–224.[Consulta: 21 enero 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.08.033>

**LENNTECH.** *Radio (Ra) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente.* Efectos del radio. 1998. [Consulta: 17 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ra.htm>

**MCFARLAND, M. L. & DOZIER, M. C.** *Problemas del agua potable : el plomo.* pp.4–7. *radiacion ionizante ambiental.* (n.d.).

**MARZON, M. R.** *RAD H2O*. DURRIDGE. 2012. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: <https://durrige.com/documentation/RAD%20H2O%20Manual.pdf>

**PENIPE.** GAD PENIPE. vol. 11. 2016 pp:1-14 [Consulta: 2 abril 2021]. Disponible en: <https://penipe.gob.ec/index.php/canton/informacion-general>

**SATALOFF, R. T., JOHNS, M. M. & KOST, K. M.** INAMHI, Instituto Nacional De Meteorologia e Hidrologia. *Introduccion a La Hidrologia Del Ecuador*. 2015.

**SAUNDERS, P. A. H.** Genetic effects of ionizing radiation. In *Nuclear Energy*, 1981. (Vol. 20, Issue 3). [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/y60-040>

**TABAR, E. & YAKUT, H.** Determination of <sup>226</sup>Ra concentration in bottled mineral water and assessment of effective doses, a survey in Turkey. *International Journal of Radiation Research*, vol. 12. 2014 issue.3.pp. 193-201.

**THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA.** *European Atomic Energy Community*. SEA. 2007. [Consulta: 18 enero 2021]. Disponible en: <https://www.britannica.com/topic/European-Atomic-Energy-Community>

**WIKIPEDIA.** *Cantón Guano*. 16 abril 2021. [Consulta: 4 abril 2021]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n\\_Guano](https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Guano)

**WIKIPEDIA.** *Cantón Penipe.*, 24 marzo 2021 [Consulta: 4 abril 2021]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n\\_Penipe](https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Penipe)

**WIKIPEDIA..** *Cantón Chambo*. Wikipedia. 19 abril 2021 [Consulta:4 abril 2021]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n\\_Chambo](https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Chambo)

**YUSUF.** Toxicological profile for radium. *U.S. Environmental Proteccion Agency*, 4(1),1990. 東京 : 音楽之友社 : pp. 56-79.



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS**