



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

“EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COLECTADAS EN LOS SUMINISTROS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES COLTA, PALLATANGA Y CUMANDÁ”

Trabajo de titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR:

JONATAN MOISES TELENCHANO ILBAY

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

“EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COLECTADAS EN LOS SUMINISTROS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES COLTA, PALLATANGA Y CUMANDÁ”

Trabajo de titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: JONATAN MOISES TELENCHANO ILBAY

DIRECTORA: Dra. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Jonatan Moises Telenchano Ilbay**

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 de Autor.

Yo, Jonatan Moises Telenchano Ilbay, 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 autor 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, 19 de marzo de 2021

Jonatan Moises Telenchano Ilbay

060334919-2

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 LAS CONCENTRACIONES DE RADIO-226 EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COLECTADAS EN LOS SUMINISTROS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES COLTA, PALLATANGA Y CUMANDÁ**, realizado por el señor: **JONATAN MOISES TELENCHANO ILBAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Mgs. Vilma Nohemi Yanchapanta Bastidas PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por VILMA NOHEMI YANCHAPANTA BASTIDAS Fecha: 2021.04.21 16:41:53 -05'00'	2021-03-19
Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por JHENY DEL CARMEN ORBE ORDONEZ Fecha: 2021.04.21 16:12:40 -05'00'	2021-03-19
Biof. María Fernanda Heredia Moyano MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MARIA FERNANDA HEREDIA MOYANO	2021-03-19

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios porque ha cuidado mis pasos durante toda mi vida y ha permitido encontrarme ahora en este lugar. A mis padres, Jose Telenchano y Rosa Ilbay que han sido la parte fundamental en mi desarrollo académico y como persona. A mi hermano Franklin Telenchano Ilbay, por su apoyo incondicional frente a toda circunstancia. A mi esposa Cinthya Nuñez que, con su paciencia, amor y dedicación vamos a salir adelante. En especial a mi hija Juliette Danae que con su llegada llenó mi vida de ganas y motivación. A mis estimados amigos de la infancia y los conocidos a lo largo de estos años.

¡Dios los bendiga Siempre!

Jonatan

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por la gracia de tenerme con vida.

A mi padre y madre por apoyarme siempre en mi formación personal, por sus consejos, motivación y gran esfuerzo para brindarme los recursos necesarios a pesar de todo.

A mi hermano Franklin por su ejemplo de lucha para proponerme metas y cumplirlas.

A mi hogar Cinthya y Juliette, por su apoyo, amor y paciencia.

A las autoridades, en especial al Dr. Edmundo Caluña decano de la Facultad de Ciencias, al director de la Escuela de Física y Matemática Mat. Marcelo Cortez, por la autorización y el uso de los equipos necesarios.

A la Dra. Jheny Orbe, por sus enormes aportes para el desarrollo de la presente investigación, por tomarse el tiempo en responder cada mensaje e inquietudes. Sobre todo, por la confianza y plena libertad en el laboratorio, para realizar las pruebas que yo considerara necesarias.

A la técnico de laboratorio Biof. Gabriela Ureña, por la apertura del Laboratorio de Técnicas Nucleares en momentos de pandemia.

A los docentes que impartieron su conocimiento a lo largo de la carrera de biofísica, junto a mis compañeros que hicieron de la universidad momentos agradables.

A Alexandra Elbakyan por desarrollar el primer sitio web del mundo en proporcionar acceso masivo y público a artículos de investigación.

A los Gobiernos Autónomos Descentralizados de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá, por la gestión y colaboración para el desarrollo de esta investigación.

A todos,

¡MUCHAS GRACIAS!

Jonatan

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Material radiactivo de origen natural.....	6
1.2 Distribución geológica de los generadores de radio-226.....	9
1.3 Propiedades químicas y físicas del radio-226	13
1.4 Mecanismo de producción y liberación de radio-226	15
1.5 Efectos Biológicos.....	21
1.6 Normativa.....	24
1.7 Agua subterránea alrededor del mundo	26
1.8 Agua subterránea en Ecuador	30

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	33
2.1 Área de estudio.....	33
2.2 Protocolo utilizado para el muestreo de las fuentes de agua potable	38
2.3 Descripción de la técnica emanométrica para medir radón en agua	40
2.4 Procedimiento experimental para evaluar radio-226 usando la técnica emanométrica con RAD 7.....	45

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	48
3.1 Concentración de actividad media de radio-226, radón-222 y la dosis efectiva anual	52
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Lista de depósitos geológicos de uranio-238.....	10
Tabla 2-1: Propiedades químicas del radio-226.....	14
Tabla 3-1: Propiedades físicas del radio-226.....	14
Tabla 4-1: Valores de radio-226 para distintos tipos de roca.....	15
Tabla 5-1: Niveles de orientación para radionúclidos naturales y artificiales para el público.	17
Tabla 6-1: Estudios de radio-226 en agua potable alrededor de todo el mundo	19
Tabla 7-1: Agua subterránea producida internamente: Flujos anuales medios estimados por país.....	28
Tabla 1-2: Suministros de agua potable del área urbana del cantón Colta	35
Tabla 2-2: Suministros de agua potable del cantón Pallatanga.....	36
Tabla 3-2: Suministros de agua potable del cantón Cumandá	37
Tabla 4-2: Autoconfiguración de funcionamiento para el Protocolo Wat-250.....	42
Tabla 5-2: La desintegración alfa de radón-222 y sus progenies.....	42
Tabla 6-2: Especificaciones generales del monitor RAD 7	43
Tabla 7-2: Especificaciones técnicas	43
Tabla 1-3: Parámetros fisicoquímicos evaluados en los puntos de muestreo.	48
Tabla 2-3: Concentración de actividad de radón-222 (día uno) y dosis efectiva anual por inhalación de radón-222 presente en el agua.....	49
Tabla 3-3: Concentración de actividad de radón-222 (día diez), radio-226 y dosis efectiva anual como resultado de la ingestión de radio-226 presente en el agua.....	50
Tabla 4-3: Concentración de actividad media de radio-226 y radón-222 y la dosis efectiva anual	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Cadenas radiactivas del Uranio-238, Torio-232 y Uranio-235	8
Figura 2-1:	Desintegración de radio-226	13
Figura 3-1:	Ilustración esquemática que muestra los isótopos y la influencia de la geoquímica junto a la desintegración alfa en sus actividades de agua subterránea	16
Figura 4-1:	Migración de radón-222 del grano	21
Figura 5-1:	El ciclo del agua y algunos ejemplos de sus detalles relacionados con las aguas subterráneas.....	28
Figura 6-1:	Clasificación de los países según su flujo interno medio anual de agua subterránea por área unitaria (1 mm/año = 1000 m ³ /año por Km ²).....	30
Figura 7-1:	Mapa hidrográfico del Ecuador (1983).....	32
Figura 1-2:	Puntos de monitoreo (triángulos negros) de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá	34
Figura 2-2:	Arriba: Villa la Unión vista con Google Earth. Abajo: Puntos monitoreados (triángulos negros) en Villa la Unión- cantón Colta	35
Figura 3-2:	Arriba: Pallatanga vista con Google Earth. Abajo: Puntos monitoreados (triángulos negros) en el cantón Pallatanga.....	37
Figura 4-2:	Arriba: Cumandá vista con Google Earth Abajo: Puntos monitoreados (triángulos negros) en el cantón Cumandá	38
Figura 5-2:	Protocolo de muestreo de agua superficial y subterránea para posterior análisis de radio-226 con la técnica emanométrica.	40
Figura 6-2:	Configuración experimental para la medición de la concentración de actividad de gas radón en muestras de agua	41
Figura 7-2:	Monitor RAD 7 (Durrige Company Inc.)	43
Figura 8-2:	a) Ventanas para la espectrometría alfa del radón y su progenie. b) Estructura interna del RAD 7 (la cúpula en el centro de la imagen es el hemisferio interno).....	44
Figura 9-2:	Medición de la concentración de radón de la muestra de agua subterránea CPC01 del cantón Colta.	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1-3:** Arriba: Concentraciones medias de radio-226 de las catorce fuentes estudiadas.
Abajo: Concentraciones medias de radón-222..... 53
- Gráfico 2-3:** Arriba: Dosis efectiva anual por ingestión de radio-226 presente en el agua. Abajo:
Dosis efectiva anual por inhalación de radón-222 procedente del agua 55
- Gráfico 3-3:** pH de las muestras colectadas en las diferentes fuentes de agua en función de las
concentraciones de radio-226. 55

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Catálogo de las fuentes de agua suministros de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá

LISTA DE ABREVIATURAS

US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés)
OMS	Organización Mundial de la Salud
IARC	Agencia Internacional para Investigación del Cáncer (por sus siglas en inglés)
IAEA	Organización Internacional de Energía Atómica (por sus siglas en inglés)
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica (por sus siglas en inglés)
EURATOM	Comunidad Europea de la Energía Atómica (por sus siglas en inglés)
UNSCEAR	Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (por sus siglas en inglés)
ATSDR	Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry por sus siglas en inglés)
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
NORM	Presencia Natural de Materiales Radiactivos (por sus siglas en inglés)
AQUASTAT	Sistema Mundial de Información de la FAO sobre agua y Agricultura (por sus siglas en inglés)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (por sus siglas en inglés)
Ra-226	radio 226
μSv/h	microsievert por hora
μSv/año	microsievert por año
mSv/h	milisievert por hora
eV	electronvoltio
MeV	Megaelectronvoltio
T1/2	Tiempo de vida media

C_{Rn}	Concentración media de radón-222 al día diez
λ_{Rn}	Decadencia constante de radón-222
C_F	Factor de corrección para el escape o fuga y la eficiencia de conteo
ω	Factor de conversión de dosis por ingestión de radio-226
V_w	Es la tasa de consumo de agua para un adulto estándar
C_{Ra}	Es la concentración de radio-226 en el agua
DFC	Factor de conversión de dosis de radón-222 para inhalación de radón
C_{Rn}	Concentración promedio de radón-222 al día uno
T	Coefficiente de transferencia de radón del agua al aire para un adulto estándar
t	Factor de ocupación interior anual media
F	Es el radón interior: factor de equilibrio entre hijas

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio de la radiactividad natural, específicamente en la cuantificación de las concentraciones de actividad de radio-226 y radón-222 en muestras de agua, recolectadas de los suministros de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá, pertenecientes a la provincia de Chimborazo-Ecuador. Todas las fuentes de agua fueron muestreadas utilizando el mismo protocolo y las muestras se analizaron con la técnica emanométrica, cuya configuración experimental consistió en un detector semiconductor de silicio, incorporado al monitor RAD 7 y el Kit RAD-H2O de DurrIDGE Company de Estados Unidos. Los resultados de cuarenta y dos mediciones de la concentración de actividad de radio-226, mostraron que *el valor medio más alto corresponde a la fuente superficial de Guacona del cantón Colta ($209.10 \pm 23.22 \text{ Bq/m}^3$) y un valor bajo el límite de detección al río Chilicay del cantón Cumandá*. El nivel medio más alto de gas radón-222, se observó en el pozo subterráneo Cunupogyo del cantón Colta ($11361.92 \pm 120.20 \text{ Bq/ m}^3$), mientras que la concentración bajo el nivel de detección en el río Chilicay, por lo que se pudo inferir que *las concentraciones de radón-222 en el agua subterránea son mucho mayores que en el agua superficial*. Todas las muestras presentaron *concentraciones medias de radio-226 y radón-222 inferiores al nivel establecido en la Directiva 2013/51/EURATOM (0.5 Bq/l) y (100 Bq/l) respectivamente*. En correspondencia a los bajos niveles de radón-222 y radio-226 encontrados en las 14 fuentes de agua potable, la dosis efectiva anual *por inhalación de radón-222* y dosis efectiva anual *por ingestión de radio-226* son relativamente pequeñas respecto a los valores recomendados por la Comunidad Europea, por lo que se concluye que *el uso del agua no presenta un riesgo para la salud de la población de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá*.

Palabras clave: <RADIATIVIDAD NATURAL>, <CONCENTRACIÓN DE RADIO-226>, <CONCENTRACIÓN DE RADÓN-222>, <AGUA>, <TÉCNICA EMANOMÉTRICA>, <DOSIS EFECTIVA ANUAL>, <COLTA (CANTÓN)>, <PALLATANGA (CANTÓN)>, <CUMANDÁ (CANTÓN)>



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



1037-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

This work focuses on the study of natural radioactivity, specifically on the quantification of radium-226 and radon-222 activity concentrations in water samples, collected from drinking water supplies in the cantons of Colta, Pallatanga and Cumandá, belonging to the province of Chimborazo-Ecuador. All water sources were sampled using the same protocol and the samples were analysed using the emanometric technique, whose experimental setup consisted of a silicon semiconductor detector, incorporated into the RAD 7 monitor detector and the RAD-H2O kit from the Durrige Company of the United States. The results of forty-two measurements of radium-226 activity concentration showed that the highest average value corresponds to the Guacona surface source in Colta (209.10 ± 23.22 Bq/m³) and a value below the limit of detection at the Chilicay river in the canton Cumandá. The highest average level of radon-222 gas was observed in the underground borehole at Cunupogyo underground well in Colta canton (11361.92 ± 120.20 Bq/m³), while the concentration below the level of detection in the Chilicay river, so it could be inferred that radon-222 concentrations in groundwater are much higher than in surface water. All samples had average radium-226 and radon-222 concentrations lower than the level established by Directive 2013/51/EURATOM (0.5 Bq/l) and (100 Bq/l) respectively. Corresponding to the low levels of radon-222 and radium-226 found in the 14 drinking water sources, the annual effective dose from inhalation of radon-222 and annual effective dose from ingestion of radium-226 are relatively small with respect to the recommended values by the European Community therefore it is concluded that the use of water does not present a risk to the health of the population from cantons of Colta, Pallatanga and Cumandá.

Key words: <NATURAL RADIOACTIVITY>, <RADIO-226 CONCENTRATION>, <RADON-222 CONCENTRATION>, <WATER>, <EMANOMETRIC TECHNIQUE>, <ANNUAL EFFECTIVE DOSE>, <COLTA (CANTON)>, <PALLATANGA (CANTON)>, <CUMANDA (CANTON)>.

INTRODUCCIÓN

La concentración de radionúclidos en la hidrósfera se ha vuelto cada vez más importante en el contexto del énfasis en la medición de la calidad e impacto de los recursos hídricos actuales. El estudio del comportamiento acuoso natural de los materiales que NORM (Materiales Radiactivos de Origen Natural) incluye principalmente los radionúclidos como el uranio-238, uranio-235, torio-232 y potasio-40 son las principales series de desintegración que causan una exposición significativa generando un daño directo a la salud humana (World Nuclear Association, 2020: pp. 3-4).

Los productos de vida más corta sirven como base para los estudios de la contaminación por radiactividad y también como un método de rastreo de amplia aplicación. Las nuevas técnicas de medición sensibles han permitido que este enfoque sea más aplicable a diversos entornos hidrológicos, y el resultado ha sido una mejor comprensión de los mecanismos del fraccionamiento isotópico (Osmond y Cowart, 2000: pp. 145-147). De estos, la alta movilidad del radio-226, en el medio ambiente bajo una serie de condiciones ambientales y el comportamiento similar a los elementos alcalinotérreos (IIA). Por lo que, la tendencia a acumularse en los huesos después de la absorción en el organismo en particular es de importancia (IAEA, Radium, Environmental, 2014: pp. 44-45). El agua es uno de los principales recursos importantes para el equilibrio entre la vida y el medio ambiente, y es la principal razón detrás de los países en desarrollo en el mundo. El agua debe estar libre de contaminación porque es un recurso natural necesario y valioso para la vida del ser vivo. El monitoreo de la radiactividad natural en nuestro entorno físico indica la cantidad de contaminación causada por la exposición a la radiación. Las actividades humanas cotidianas son una de las principales razones de la contaminación del agua, como los fertilizantes agrícolas. Estos radioisótopos existen en casi todas partes de la superficie terrestre. Estos están presentes en el aire, el suelo y el agua dependiendo de las características geológicas y geográficas de una región (Alaboodi et al., 2020: pp. 1-3).

Se puede encontrar escasos registros de estudios realizados en Ecuador con respecto a la radiactividad natural presente en los suministros de agua subterránea suministros de agua potable para la población y debido a que puede afectar a la cadena trófica causando un daño a las personas y el medio ambiente.

La presente investigación se basa en diversos trabajos teóricos y experimentales realizados alrededor del mundo, los cuales utilizan diferentes técnicas para el cálculo de la concentración de radio-226 en agua. A continuación, se presenta un compendio de algunas investigaciones:

En los años noventa, la Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service In collaboration with: U.S. Environmental Protection Agency, en su publicación

Toxicological Profile for Radium, nos dice que, el radio es radiactivo, por ende, la población puede estar expuesta a este elemento por el agua potable proveniente de una fuente natural. Los niveles de radio-226 pueden causar cáncer, anemia, problemas con la sangre; dientes fracturados y caries, así como un crecimiento en los ojos llamado cataratas. El radio-226 al tener una larga vida de 1600 años que se comporta como calcio, trazando la ruta del calcio en el cuerpo parcialmente depositando en el tejido óseo y debido a la emisión de partículas alfa lo convierte en un carcinógeno, por lo que, la exposición a niveles superiores a 5 pCi/l (0.185 Bq/l) de este elemento puede conducir a desarrollar con mayor probabilidad cáncer de huesos, hígado y mama (Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, 1990: pp. 8-11).

G. Wallner y G. Steininger en su publicación Radium isotopes and ^{222}Rn in Austrian drinking Waters, identificó que, en los suministros de agua potable, la medición de los radionucleidos provenientes de la desintegración radiactiva del uranio-238, mediante recuento de centelleo líquido usando análisis de forma de pulso para separación de partículas alfa (α) y beta (β) por coprecipitación y filtración. Con respecto al radio-226 todas las muestras proporcionaron dosis para adultos claramente por debajo del límite recomendado de 0.1 mSv/año. Pero, al calcular la dosis respectiva para bebés, se encontró una muestra que excedía este valor máximo permitido (Wallner y Steininger, 2007: pp. 511-516).

S. S. Althoyaib y A. El- Taher en su publicación Natural radioactivity measurements in groundwater from Al- Jawa, Saudi Arabia realizaron mediciones de la concentración de radón-222, radio-226 y radio-228 en un total de 19 muestras diferentes de agua de pozo recolectadas de Al- Jawa, Arabia Saudita. Para ello, utilizaron la técnica del monitor RAD 7 – W para determinar las concentraciones de radón-222. Las concentraciones de radio-226 y radio-228 fueron medido usando espectrometría gamma precedida por iones y separación por cromatografía de intercambio. Encontrando que la concentración de radón-222 oscila entre valores por debajo de 11 Bq/l que es el nivel máximo de contaminación (MCL) recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA). El resultado de un total de 19 muestras de agua de pozos recolectadas de Al- Jawa, muestran que la concentración de radón-222 en el agua está por debajo del nivel máximo de contaminación. La concentración total de radio-226 para todas las muestras supera el MCL recomendado para el riesgo de por vida de cáncer asociado con el agua potable de la US EPA (Althoyaib y El-Taher, 2015: pp. 1-5). Como resultado, el agua de los pozos no es segura para el consumo humano.

Le Cong Hao, Huyunh Nguyen Phong Thu, Nguyen Van Thang, Le Quoc Bao, en su investigación Radon and Radium Concentrations in Drinkable Water Supplies of the Thu Duc Region in Ho Chi Minh City, Vietnam, en 2015 mencionan que, los resultados de las mediciones

de la actividad de radón-222 y radio-226 en los suministros de agua potable de la región de Thu Duc en la ciudad de Ho Chi Minh, Vietnam, mediante el uso de un detector de radón RAD 7 fabricado por Durrige Company, Inc. Encontraron que las concentraciones de estos elementos en las 20 muestras de agua subterránea de este estudio es inferior al nivel recomendado por la Organización Mundial de Salud (OMS) de 100 Bq/l. En las muestras de agua subterránea analizadas el cincuenta por ciento tienen niveles de radio-226 superiores al nivel máximo de contaminante recomendado por la US EPA de 0.185 Bq/l. Factores como el pH y las condiciones alcalinas explican la aparición de concentraciones elevadas de este radionucleido (Le et al., 2015: pp. 6-10).

Recientemente, con base en el trabajo de R. Pesántez en su Evaluación de los niveles de Ra-226 en agua, en el tejido muscular y órganos de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris), macroinvertebrados de los ríos Irquis y Portete, Azuay - Ecuador, destacar es que, cualquier actividad que involucre minerales, tiene un potencial de incrementar la concentración de radioisótopos según el International Atomic Energy Agency (IAEA), razón por la cual, estas industrias deben tener un control a la exposición de fuentes naturales. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) afirma que el aumento de radionucleidos causa un desequilibrio ecológico, debido a que los sistemas biológicos son capaces de bioacumularlos e introducirlos a la cadena trófica. Se evaluaron los niveles de concentración de radio-226 en la trucha arcoíris, macroinvertebrados y agua de los ríos Irquis y Portete en la concesión minera Loma Larga. Para ello el estudio se fundamentó en dos técnicas, centelleo de celda Lucas a través de Pylon AB6-A y "Can Technique". Mediante las cuales se obtuvieron que la trucha bioacumuló el 95.21% en los huesos y órganos; finalmente las concentraciones diferían debido a los componentes de la litología específica de los puntos de muestreo a lo largo del cauce del río Irquis (Pesántez, 2019: pp. 78-97).

El radio-226 es un material blanco plateado natural que puede encontrarse en varias formas conocidas como isótopos, cuando el uranio-238 y torio-232 (también sustancias radiactivas naturales) decaen en el medio ambiente. La exposición a niveles altos de radio-226 produce un aumento en la tasa de cáncer de los huesos, el hígado y los senos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999: pp. 1-2). Se ha determinado que el radio-226 se encuentra en bajas concentraciones en el suelo, agua, rocas, carbón, plantas y alimentos. Es de interés por lo que al liberar la mitad de su radiación al entorno en unos 1600 años hasta llegar a plomo-206 su elemento estable, emite partículas nocivas para los seres vivos (IAEA, 1990: pp. 11-15). La población está expuesta a este elemento de muchas formas, si se vive en un área donde se está liberando al aire productos de la quema de carbón u otros combustibles, o por su agua potable proveniente de una fuente natural, como un pozo profundo, o una fuente cercana a sitios donde se trata residuos

radiactivos. El radio-226 al descomponerse emite partículas alfa, beta y gamma. Las partículas más pesadas (alfa) pueden viajar distancias cortas y a través de la piel. Las partículas beta pueden atravesar el tejido de la piel, pero no el cuerpo. Mientras que, la radiación gamma puede atravesar todo el cuerpo. Al ingresar cuando bebemos agua puede ser transportado a todas las partes del cuerpo, especialmente a los huesos. Aproximadamente el 80% abandonará el cuerpo en las heces, el otro 20% ingresará al torrente sanguíneo para distribuirse por todo el organismo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, 1990: pp. 1-23).

En relación con este tema, las aguas subterráneas componen el 30% del agua dulce disponible en el planeta. Un 69% está atrapada en los casquetes polares, mientras que los lagos y los ríos representan únicamente el 1%. Con frecuencia, el agua subterránea está escondida en las profundidades de rocas permeables, acuíferos y sedimentos. Mediante técnicas isotópicas, se puede determinar el origen y las tasas de recarga del agua subterránea, información que se obtiene a partir de los isótopos estables y radiactivos presentes en esas aguas. La contaminación del agua subterránea es una cuestión muy compleja de resolver porque es extremadamente difícil remediar la contaminación de acuíferos. La apreciación científica del origen y la tasa de recarga de los acuíferos es clave para que estos puedan desempeñar su función como fuentes de suministros fiables de agua potable a largo plazo (IAEA, 2010: pp. 7-11). El límite recomendado en la primera regulación a cerca del radio-226 presente en agua potable es de 20 pCi/l (0.74 Bq/l) (Federal Register, 2000: pp. 76711-76723). Mientras que, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta niveles de referencia para este radionucleido de la actividad alfa bruta de 0.5 Bq/l, para la actividad beta bruta de 1 Bq/l y 0.1 mSv/año para el nivel de exposición a causa de la ingesta de agua (Sayato, 1989: pp. 198-206).

Debido al desconocimiento de la concentración de radio-226 presente en el agua subterránea destinada al consumo humano, en los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá. La población puede estar comprometida a la exposición interna a la radiación ionizante alfa, beta o gamma, proveniente de este elemento (Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, 1990: pp. 8-20). De acuerdo a la literatura puede tener incidencia con el cáncer de huesos, por lo que es un problema de interés para la salud pública.

La concentración de radiación natural proveniente de la corteza terrestre se encuentra en función de la clase de roca existente en los suelos de la región. En el caso de Ecuador en base a estudios y análisis previos se afirma que la presencia de Uranio y Torio es considerable (NEA & IAEA, 2016: pp. 45-47).

La presente investigación cumple el rol social de la ciencia, procura evaluar el riesgo radiológico de la población de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá, debido a la radiación ionizante proveniente del radio-226 y sus productos de la desintegración, mediante un monitoreo de las fuentes de agua subterránea, destinada al consumo humano. La importancia de la investigación radica en el hecho de que la radiación ionizante, es una causa conocida de cáncer en los seres humanos. En el caso particular del radio-226 se conocen los efectos a la salud potencialmente perjudiciales cuando es ingerido en el agua, el cáncer de huesos y los cánceres totales de la exposición de todo el cuerpo a la radiación gamma externa proveniente del Bi-214 y Pb-214 (Lochard et al., 2009: pp. 24-41)

El Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) cuenta con el recurso humano, equipo y la infraestructura necesaria para determinar las concentraciones de radio-226. Las muestras provenientes de los acuíferos serán analizadas aplicando la técnica emanométrica (Set- up experimental compuesto de un detector semiconductor de silicio y un sistema de desgasificación Durridge de EE.UU).

Los beneficiarios del proyecto son las personas e instituciones participantes. La ESPOCH al constituirse en la universidad líder en Ecuador en generar conocimiento en el área de radiactividad natural en el centro del país. La población de Colta, Pallatanga y Cumandá se beneficiará de forma directa de los resultados de la investigación, ya que este trabajo de investigación permitirá conocer los peligros asociados a la radiación ionizante, satisfaciendo uno de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir “DERECHOS DEL BUEN VIVIR”, Art.12. El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (Constitución, 2008: pp. 24). Para la ejecución de esta investigación se cuenta con el permiso de los Gobiernos Autónomos Descentralizados de los cantones que utilizan el agua en estudio. La realización del proyecto contribuirá a la base de datos mundial sobre el tema de radiactividad natural en el Ecuador, considerando la escasa producción científica en este ámbito.

El objetivo general de la presente investigación es evaluar las concentraciones de radio-226 en muestras de agua subterránea colectadas en los suministros de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá. Para esto se elaborará un protocolo de muestreo y medición de radio-226; además se estimará la dosis anual que recibe una persona por ingesta del agua potable y la dosis debida a la inhalación de radón-222 proveniente de la misma agua.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Material radiactivo de origen natural

Los principales elementos radiactivos en la naturaleza se encuentran distribuidos en tres cadenas radiactivas denominadas por el primer isótopo de la cadena (ver Figura 1-1), las mismas que son: Uranio 238, Uranio 235 y Torio 232 (Mendoza, Cristancho y Mejía, 2009: pp. 1-9), es decir el uranio-238 con un tiempo de vida media de ($T_{1/2} = 4.46 \times 10^9$ años), el uranio-235 ($T_{1/2} = 7.04 \times 10^8$ años), y el torio-232 ($T_{1/2} = 14.2 \times 10^9$ años) (Nucléide - Lara, 2017: pp. 1-2). En la formación de la Tierra hace miles de millones de años. Estas cadenas son una sucesión de transformaciones de cada uno de los cuales se forma por la desintegración del anterior y a su vez, éstos se desintegran dando lugar a otros, hasta llegar al último elemento de la cadena que será estable plomo-206, plomo-207 y plomo-208 respectivamente.

La corteza terrestre se encuentra constituida por varios minerales los cuales contiene elementos radiactivos de origen natural y están presentes libremente en el medio ambiente, donde su concentración dependerá del tipo de suelo y de las rocas (IAEA, 2015: pp. 192-197). Dentro de las actividades laborales que involucren la explotación, perforación, actividades mineras. Los materiales radiactivos que se producen de forma natural y donde las actividades humanas aumentan la exposición de las personas a las radiaciones ionizantes se conoce con el acrónimo NORM (Materiales Radiactivos de Origen Natural). La serie de decaimiento de los radionúclidos uranio-238, torio-232 y potasio-40 son las principales cadenas de desintegración que causan una exposición significativa generando un daño directo a la salud humana (World Nuclear Association, 2020). La exposición a la radiación de origen natural tiende a ser elevada, por lo que, es necesario un análisis profundo de protección radiológica.

En los últimos años, residuos de minería y la molienda de minerales de uranio-238, se deben gestionar de forma segura, incluidas las aguas residuales, los relaves y las reservas de rocas residuales. Varias industrias producen residuos que contienen uranio-238 o radionucleidos de la serie del torio-232 o ambos. Por ejemplo, fosfoyesos y residuos del procesamiento de arenas minerales, así como industrias de gas, carbón y petróleo. Por ello las evaluaciones del impacto radiológico tienen cada vez más importancia. Los radionucleidos que NORM incluyen principalmente como isótopos de interés son: uranio-238, torio-232, radio-226, radón-222, plomo-210 y polonio-210. De estos, la alta movilidad del radio-226 y 228, en el medio ambiente bajo una serie de condiciones ambientales y la tendencia a acumularse en los huesos después de

la absorción en el organismo en particular es de importancia (IAEA, Radium, Environmental, 2014: pp. 44-48).

La cadena de desintegración de interés para el presente trabajo de investigación, es el uranio de número másico 238 que es el isótopo más abundante (99,2830 %) en el uranio natural, es un emisor alfa, de periodo muy largo 4.5×10^9 años. Se trata de un elemento químico que forma parte de numerosos minerales, entre ellos, las rocas graníticas. No es fisionable por los neutrones térmicos, pero sí por los rápidos, aunque con pequeña sección eficaz (Socienda Nuclear Española, 2010). Mediante la emisión de una partícula alfa (dos protones y dos neutrones) se obtiene el torio-234 de periodo de semidesintegración de 24.10 días, luego de una desintegración beta (electrón y positrón) se obtiene el paladio-234 con vida media de 6.75 horas, tras otra desintegración beta el uranio-234 de periodo muy largo 2.45×10^5 años. Después de una desintegración alfa se obtiene el torio-230 de periodo de desintegración 8.00×10^4 años, el cual emite una partícula alfa transformándose en radio-226 de vida media 1600 años, luego decae en radón-222 con periodo de vida media 3.824 días. Sus descendientes de vida media corta son: polonio-218, plomo-214, bismuto-214 y polonio 214, hasta que después de varias desintegraciones alfa y beta se estabiliza en plomo-206 (Barros, 2016: pp. 27-30).

Cada isótopo de radio-226 da lugar a una serie de productos radiactivos secundarios hasta que conducen a un isótopo estable. Además de la radiación primaria (alfa y/o beta) también se emite rayos X, rayos gamma, electrones de conversión interna y electrones Auger. En cada una de las cadenas de desintegración, se presentan una serie de radioisótopos intermedios con tiempos de vida media que van desde los microsegundos hasta miles de años. En este proceso las series experimentan un desequilibrio, que se refiere al fraccionamiento de los elementos presentes en la cadena que generan un estado no estacionario (Volchok y Kulp, 1957: pp. 220-223), es decir, en equilibrio secular.

Todos los miembros de la serie radiactiva del uranio-238, desde éste hasta el radio-226, generalmente se encuentran muy cerca del equilibrio secular. Una vez que el radón-222 es formado (Treviño-Díaz, 1993: pp. 48-49).

En la Figura (1-1) vemos representados la emisión beta en los procesos diagonales (líneas rojas) y los procesos verticales (líneas azules) son la emisión de núcleos de helio (desintegración alfa). En cada cadena de decaimiento los isótopos de radón-222 resultan de una emisión alfa del radio-226; por lo tanto, la producción de radón-222 es proporcional al radio-226 presente en la tierra.

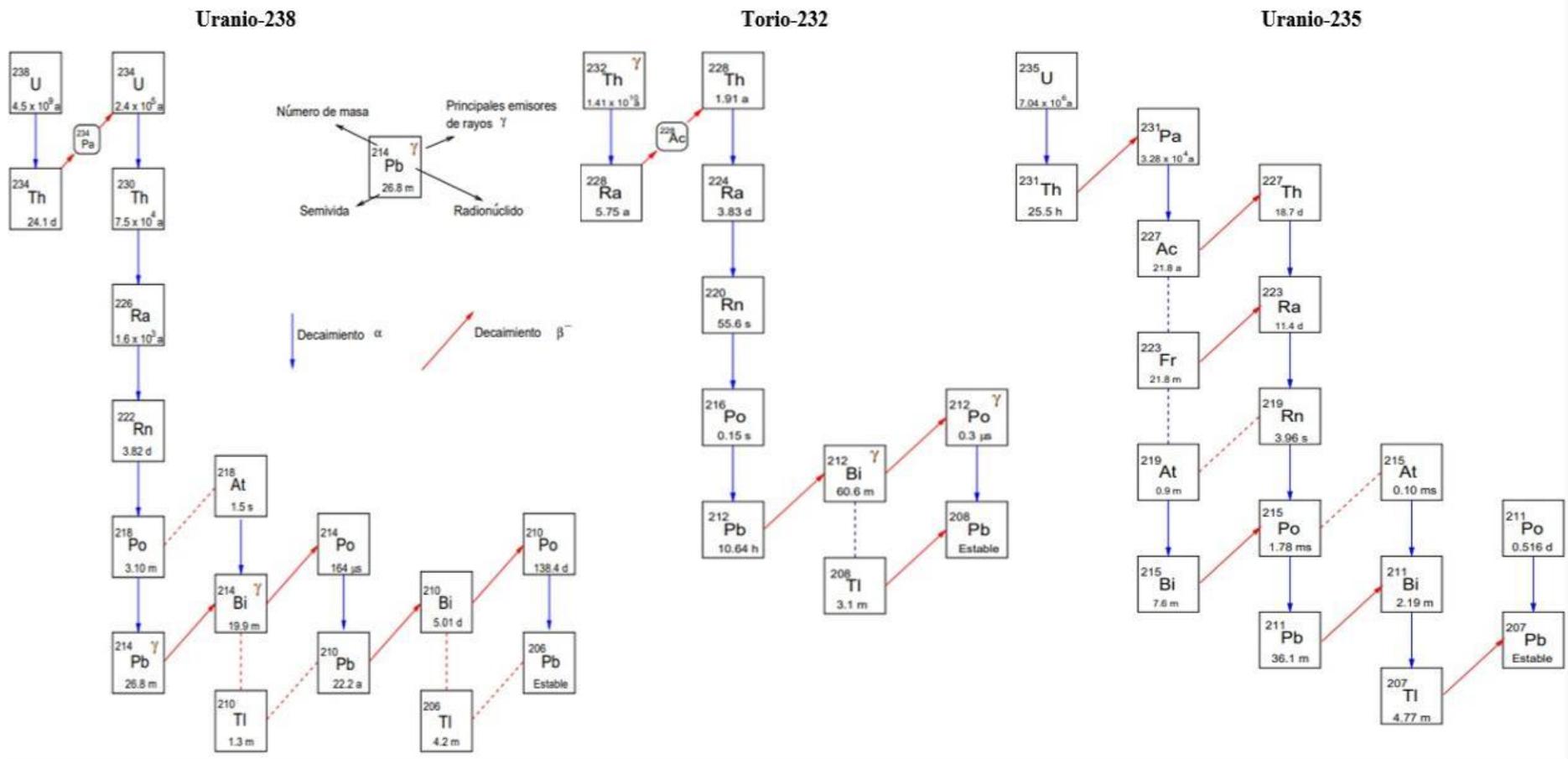


Figura 1-1. Cadenas radiactivas del Uranio-238, Torio-232 y Uranio-235

Fuente: (Mendoza, Cristancho y Mejía, 2009)

1.2 Distribución geológica de los generadores de radio-226

El radio-226 se crea, en gran parte, donde se encuentra presente el uranio-238; en las rocas, el suelo o los acuíferos (Offield, 1980: pp. 13-22). Así que, para entender la generación de radio-226, es necesario conocer la geología de su antecesor el uranio-238.

En recientes publicaciones sobre el riesgo en minerales derivados del uranio-238, se dice que está en todas las rocas en diferentes porcentajes (UNSCEAR, 2006: pp. 309-310). El ciclo geoquímico del uranio-238 comienza con los procesos de intemperización en la superficie de la tierra, y continúa con la movilización a través de agua subterránea o superficial, y por transporte como componente de partículas que se puede sedimentar. La concentración de uranio-238 en agua natural varía desde 0.01 a 100 µg/g (Marusia Rentería Villalobos, 2007: pp. 20-26). Con el tiempo, si se acumula suficiente uranio-238, puede formar un mineral económicamente valioso, que puede ser extraído como sólido o en solución. La clasificación en función de su situación geológica alrededor del mundo (ver Tabla 1-1) (International Atomic Energy Agency, 2016: pp. 10-19) reportada por el Organismo Internacional de Energía Atómica presenta el tipo de depósito, rocas asociadas y los países en los que se encuentran.

Existen varios mecanismos que permiten la distribución de uranio-238 en el medio ambiente. A través de rocas típicas que incluyen rocas calientes o volcánicas de color claro, ricas en sílice, como granitos o cenizas volcánicas, areniscas que contienen material orgánico o cemento de sílice, lutitas negras con altos contenidos orgánicos y carbón (Survey, 1988: pp. 3-8). En el océano, las aguas marinas profundas y anóxicas están saturadas de fosfato, que naturalmente se combina y concentra con uranio-238.

Sin importar donde se encuentre concentrado el uranio-238, su decaimiento lleva a la formación del radio-226 y su progenie. El radio-226 se puede localizar en suelos derivados de rocas carbonatadas, como la piedra caliza, que normalmente no se enriquece con uranio. Durante el proceso de formación del suelo, el carbonato en la piedra caliza se lixivia dejando arcilla detrás que se enriquece con los materiales residuales, que incluyen el uranio. Además, a diferencia del uranio, el radio es soluble en agua ácida o rica en cloruros (Crawley, Holen y Chenoweth, 1985: pp. 11-16).

Tabla 1-1: Lista de depósitos geológicos de uranio-238

	Depósito	Rocas asociadas	Países de abundancia
1	Depósito Intrusivo	Alaskita, granito, pegmatita y monzonitas	Namibia, Groenlandia, Canadá y Sudáfrica
2	Depósito relacionado con granito	Uranita	República Checa, Europa, Canadá y Australia
3	Depósitos de complejo de brechas polimetálicas de óxido de hierro	Granito rico en hematites	Australia
4	Depósitos volcánicos	Rocas volcánicas ácidas a intermedias, y están relacionados con fallas y zonas de cizallamiento	China, Kazajstan, Perú, México y Australia
5	Depósitos de metaseatita	Rocas estructuralmente deformadas que fueron afectadas por metasomatismo de sodio y/o potasio	Rusia, Brasil, Ucrania, Australia, Canadá y China
6	Depósito de metamorfita	Metasedimentos y/o metavolcánicos no relacionados con el granito	Austria, República Democrática del Congo, República Checa, India, Kazajstán, Canadá, Australia y Brasil
7	Depósitos de disconformidad proterozoica	Rocas metasedimentarias falladas	Canadá y Australia
8	Depósitos de tubería de brecha	Uraninita	Gran Cañón (EE.UU), especialmente en la Franja de Arizona
9	Depósitos de arenisca	Areniscas de grano medio a grueso	Kazajastán, Uzbekistán, Estados Unidos y Níger

10	Depósitos conglomerados de Paleocuarzo-guijarro	Conglomerados de cuarzo-pétalo arcaico-paleoproterozoico primitivo	Canadá
11	Depósito superficial	Turbera, valle fluvial, Lacustrine - playa, relleno pedogénico y de fracturas	Estados Unidos, Australia, Langer Heinrich, Namibia, Bulgaria
12	Depósitos de esquisto negro	Esquisto (lutitas ricas en arcilla marina o pizarra piramidal rica en carbón)	Suecia, Uzbekistán, Estados Unidos, China y Alemania
13	Carbonato	Cataclástico	India, Mailuu.Suu, Kirguistán, Distrito Todilto, Estados Unidos, China
14	Fosfato	Fosforita orgánica, Fosforita mineroquímica, Fosfato continental	Kazajastán, Federación Rusa, Florida, Estados Unidos, Marruecos, Distrito de Bakouma, República Centroafricana
15	Esquisto negro	Fracturas controladas	Suecia, Estados Unidos, Distrito de Ronneburg, Alemania, Uzbekistán

Fuente: (International Atomic Energy Agency, 2016)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

El agua subterránea está contenida en fisuras de roca y suelos que contienen trazas de uranio-238 y radio-226. La fuente de radón en el agua subterránea puede ser el agua misma o en la formación rocosa en contacto con el agua subterránea (Cothem y Rebers, 1991: pp. 6-16). El contenido de minerales disueltos en el agua subterránea aumenta con el tiempo que el agua pasa en contacto con esos minerales.

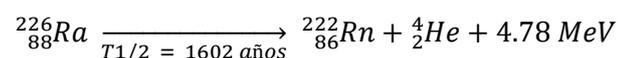
La precipitación infiltrante de los productos químicos en el suelo por ejemplo las sales se depositan en el agua subterránea. La afluencia de estas sustancias químicas mejora la disolución del radio-226 y su generación (Gainon, Goldscheider y Surbeck, 2007: pp. 557-560). Además, el radón permanece confinado con menor probabilidad de escape en acuíferos profundos. Es por esto que las aguas subterráneas tienen concentraciones más elevadas de radón que las aguas superficiales.

Isótopo radio-226

El radio es un elemento radiactivo natural, todos los isótopos desde el radio-206 a radio-230 son radiactivos dado que la mayoría de los desechos que contienen radio son producidos por moliendas de minerales de uranio-238, el isótopo más significativo es el radio-226. Este se forma cuando el torio-230 emite una partícula alfa y decae para formar gas radón-222. La posición de radio-226 en el esquema de desintegración uranio-238 se muestra en la Figura (1-1) por lo tanto, el radio-226 presentan riesgos radiológicos por su capacidad para reemplazar calcio en la estructura ósea y el radón-222 por retención en los pulmones en forma de plomo-210 y polonio-210 (IAEA, 1990: pp. 17-19).

Se puede observar la transformación de radio-226 en la Figura (2-1) que decae por emisión alfa principalmente hacia el nivel excitado de 186 keV y el nivel fundamental de radón-222 (COMMISSARIAT À ÉNERGIE ATOMIQUE, 2008, p. 68-72).

La desintegración alfa se produce principalmente en núcleos pesados. Un ejemplo importante es la desintegración del radio-226 en radón-222, a continuación, se representa el balance de masa-energía (Attix, 1986: pp. 86-88).



Donde $T_{1/2}$, es el tiempo de vida media, o el tiempo necesario para que la mitad del número original de los átomos “padres” de radio-226 decaigan en “productos hijos” de radón-222. Se puede observar que cuando la partícula de helio es emitida por el átomo de radio-226, su número atómico disminuye en 2 y, en consecuencia, arroja dos electrones atómicos de su capa más externa, para convertirse en un átomo neutro de radón.

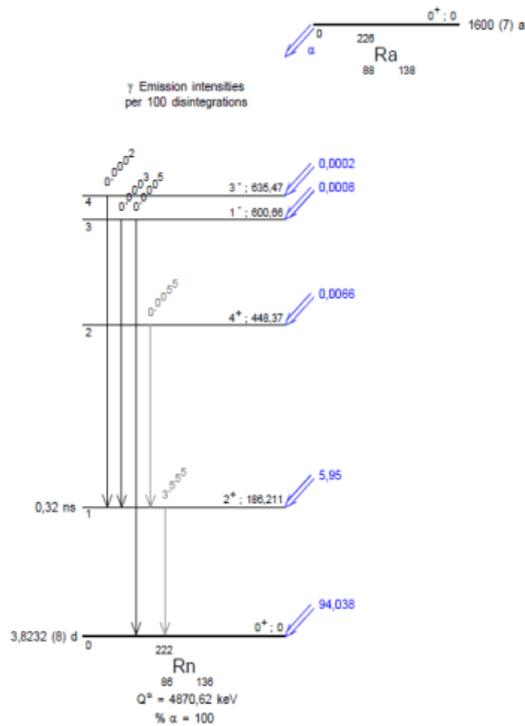


Figura 2-1. Desintegración de radio-226

Fuente: (LNE-LNHB/CEA, 2007)

Después de que la partícula de radio-226 se ralentiza, captura dos electrones de su entorno. Los 4.78 MeV es la energía equivalente a la disminución de la masa en reposo, al transformar un átomo neutro de radio-226 en átomos neutros de radón + helio. Casi todo aparece como cinética de partículas (Attix, 1986: pp. 86-88).

1.3 Propiedades químicas y físicas del radio-226

Propiedades Químicas

El radio es el más pesado de los metales alcalinotérreos y se asemeja al bario en comportamiento químico, el radio tiene el símbolo Ra y el número atómico 88. El radio puro es casi incoloro, pero se combina fácilmente con nitrógeno (en lugar de oxígeno) en la exposición al aire, formando una capa negra de nitruro de radio (Tabla Periódica 0.2. 108, 2016). Por estas propiedades (ver Tabla 2-1) es muy reactivo y como resultado, las preparaciones de radio son generalmente a una temperatura más alta que su entorno (Uranium Plutonium and Radium, 1913: pp. 432-434). Existe 25 isótopos conocidos diferentes que se encuentran en la naturaleza, el isótopo más estable y común, el radio-226, es un producto de la desintegración del uranio-238.

Tabla 2-1: Propiedades químicas del radio-226

Símbolo	Punto de ebullición (°C)	Punto de fusión (°C)	Número atómico	Configuración electrónica	Estado	Aspecto	Masa atómica (u.m.a)
Ra	1737.0	696.0	88	[Rn]7s2 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 3d10 4s2 4p6 4d10 5s2 5p6 4f14 5d10 6s2 6p6 7s2	Sólido	Casi incoloro	226.05

Fuente: (Tabla Periódica 0.2. 108, 2016)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

Propiedades Físicas

El radio fue descubierto en 1898 por Pierre Curie, Marie Skłodowska Curie y un asistente, G. Bémont, después que Marie Curie observó que la radiactividad de pitchblende (UO_2) era cuatro o cinco veces mayor que la del uranio que contenía y no se explicó completamente sobre la base del polonio radiactivo. La nueva sustancia poderosamente radiactiva podría concentrarse con bario, pero, debido a que su cloruro era ligeramente más soluble, podría precipitarse por cristalización fraccionada. La separación fue seguida por el aumento en la intensidad de nuevas líneas en el espectro ultravioleta y por un aumento constante en el peso atómico aparente del material hasta obtener un valor de 225.2, notablemente cercano al valor actualmente aceptado de 226.03 (Hanusa, 2019). En 1902, prepararon 0.1 gramos de cloruro de radio puro mediante el refinado de varias toneladas de residuos de (UO_2), y en 1910 Marie Curie y André-Louis Debierne habían aislado el metal. El radio de símbolo Ra y número atómico 88, el más pesado de los metales alcalinotérreos del grupo 2 (IIA) de la tabla periódica, entre sus propiedades destacan las siguientes que se presentan en la Tabla (3-1).

Tabla 3-1: Propiedades físicas del radio-226

Peso atómico (Masa atómica relativa)	226.0254 g/mol
Densidad	5.5 g/cm ³
Punto de fusión	696.0 °C = 1284.8°F = 969.15 K
Punto de ebullición	1737.0 °C = 3158.6°F = 2010.15 K
Fase	Sólido
Estado de oxidación	+2
Potencial de ionización de un átomo	5.4 eV

Radio atómico	215 pm
Radio de Van der Waals	283 pm
Electronegatividad	0.9
Afinidad electrónica	2 kJ/mol
Conductividad eléctrica	$1 * 10^6$ S/m
Tipo eléctrico	Conductor
Resistividad	$1 * 10^6$ mΩ
Estructura cristalina	Cúbica centrada en el cuerpo

Fuente: (Tabla Periódica 0.2. 108, 2016)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

1.4 Mecanismo de producción y liberación de radio-226

De acuerdo con Kigoshi, el radio-226 se encuentra naturalmente en el suelo, el agua, las plantas, los alimentos (en bajas concentraciones), en rocas (roca fosfórica, lutitas, rocas ígneas, metamórficas como: granito y esquistos, y en rocas comunes como la piedra caliza) y en minerales de uranio-238 (Kigoshi, 1971: pp. 47-48).

En la Tabla (4-1) se encuentra detallado las fuentes potenciales donde se acumulan contenidos de radio-226, surgen en la fabricación y utilización de compuestos de torio, dióxido de titanio (de uso en pigmentos industriales), extracción de petróleo y gas, industrias de fosfato, minería de carbón y combustión, plantas de tratamiento de aguas residuales, erupciones volcánicas y muchos tipos de rocas (Rodríguez, 2013: pp. 35-40). Todos ellos constituyen medios naturales de contenido de radio-226, catalogadas como fuentes NORM:

Tabla 4-1: Valores de radio-226 para distintos tipos de roca

Tipo de roca	Ra²²⁶ (Bq/kg)
Granitos	78
Basalto	11
Cal	45
Arcillas, arenas	60
Metamórficas	40

Fuente: (Rodríguez, 2013)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

Las aguas naturales contienen cuatro isótopos de radio que son: el radio-228 y el radio-224 de la serie del torio-232. Además, el radio-223 y radio-226 de las series del uranio-235 y uranio-238, respectivamente como se presenta en la Figura (3-1) (Krall et al., 2020: pp. 1-3). Después de la descomposición de los padres, los sólidos suministran al acuífero los productos de radio-226 al agua subterránea a través de disolución, desorción, y retroceso alfa, es decir, la expulsión física de un núcleo de retroceso después de la desintegración alfa de su progenitor.

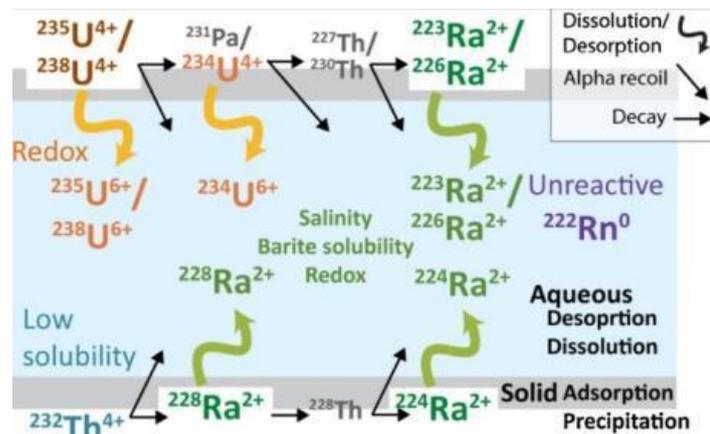


Figura 3-1. Ilustración esquemática que muestra los isótopos y la influencia de la geoquímica junto a la desintegración alfa en sus actividades de agua subterránea

Fuente: (Krall et al., 2020)

Debido a la reactividad del radio-226, relacionada al grupo (IIA) de los elementos alcalinotérreos, su transporte en el medio acuoso se lleva a cabo en condiciones de formación de sales (Bolton, 2000: pp. 11-16). Bolton, en su estudio de distribución de radio en agua Maryland (USA) en 2000, reportó que la actividad de radio-226 y radio-228 y la actividad alfa-beta total tienden a aumentar con la disminución de pH (≤ 4.5). Así mismo, tienden a aumentar con el incremento del contenido de sólidos totales disueltos (TDS), en particular con el aumento de sodio y concentración de cloruros.

El radio-226 en el agua subterránea puede provenir de fuentes naturales como resultado de la interacción con materiales que contengan radio-226, como rocas, suelo, cuerpos minerales, etc. También puede surgir indirectamente de la explotación de los radiactivos minerales de uranio-238 por el hombre o como parte del ciclo del combustible nuclear. Existe una considerable cantidad de radiactividad importante en otros minerales convencionales de uso comercial, como los minerales fosfatados – apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F, Cl, OH}$) – cobre, oro, lignito, carbón y otros minerales, debido a la presencia de uranio-238 y sus productos secundarios de larga duración (Ra-226, Th-230, Pb-210, Po-210) (IAEA, 1990: pp. 71-85).

Aparentemente el radio-226 se puede movilizar en las aguas subterráneas en condiciones de alto TDS, pH bajo, o una combinación de ambas. Además, puede correlacionarse con la concentración de elementos alcalinotérreos y con la presencia de iones sulfatos de hierro en aguas débilmente ácidas, estas condiciones que también lixivian y movilizan al plomo. Ciertas sales de radio-226 como los cloruros son muy solubles y pueden acompañar a las aguas de formación en su recorrido a la superficie. Las anomalías en el contenido de radio-226 de las aguas subterráneas de alta salinidad pueden deberse al hecho que su solubilidad varía con los gases y su alta presión parcial (fenómeno de partición). Estudios geoquímicos han determinado que es más alta la concentración de radio-226 en aguas cloro-cálcicas que bicarbonatadas-sódicas (Sturchio et al., 1999: pp. 110-119).

El proceso de concentración de los nucleídos padres se ven afectados por disponibilidad y solubilidad de los nucleídos en las rocas a través de las cuales se filtran al agua subterránea, así como por la permeabilidad de la roca, la presencia de materiales iónicos, la acidez del medio. Todos estos parámetros son muy variables y explican las concentraciones de radio-226 y radio-228 en aguas subterráneas con lo que pueden diferir en tres a cinco órdenes de magnitud (IAEA, Radium, Environmental, 2014: pp. 44-48).

La exposición a la radiación por ingesta de agua potable, es debido a los radionucleidos naturales que pueden incluir el potasio-40, los del torio y el uranio, series de desintegración, en particular radio-226, radio-228, uranio-234, uranio-238 y plomo-210, encontrándose como resultado de procesos naturales (por ejemplo, absorción del suelo) o procesos tecnológicos que involucran la ocurrencia natural de materiales radiactivos (por ejemplo, la minería y el procesamiento de arenas minerales o producción de fosfato para fertilizantes) (World Health Organization, 2011: pp. 209-211). En la Tabla (5-1) se describe los niveles de orientación para radionúclidos naturales y artificiales para el público:

Tabla 5-1: Niveles de orientación para radionúclidos naturales y artificiales para el público

Categoría	Radionucleido	Dosis coeficiente (Sv/Bq)	Guía nivel (Bq/l)
Isótopo radiactivo natural que comienza la serie de descomposición de uranio ^c	Uranio-238	$4.5 * 10^{-8}$	10
Isótopo radiactivo natural que pertenecen a la serie de descomposición de uranio	Uranio-234	$4.9 * 10^{-8}$	1
	Uranio-230	$2.1 * 10^{-7}$	1
	Radio-226	$2.8 * 10^{-7}$	1

	Plomo-210	$6.9 * 10^{-7}$	0.1
	Polonio-210	$1.2 * 10^{-6}$	0.1
Isótopo radiactivo natural que comienza la serie de descomposición del torio	Torio-232	$2.3 * 10^{-7}$	1
Isótopos radiactivos naturales que pertenecen a la serie de descomposición del torio	Radio-228	$6.9 * 10^{-7}$	0.1
	Torio-228	$7.2 * 10^{-8}$	1
Radionucleidos artificiales que pueden liberarse al medio ambiente como parte de los productos de fisión que se encuentran en las emisiones de los reactores o en las pruebas de armas nucleares	Cesio-134 ^d	$1.9 * 10^{-8}$	10
	Cesio-137 ^d	$1.3 * 10^{-8}$	10
	Estroncio-90 ^d	$2.8 * 10^{-8}$	10
Radionucleidos artificial que puede liberarse al medio ambiente como producto de fisión (ver arriba). También es utilizado en procedimiento de medicina nuclear y por lo tanto puede ser liberado en cuerpos de agua a través de aguas residuales	Iodino-131 ^{d,e}	$2.2 * 10^{-8}$	10
Isótopo radiactivo del hidrogeno producido artificialmente tritio como producto de fisión de reactores de energía nuclear y pruebas de armas nucleares. Puede estar naturalmente presente en el ambiente en una cantidad muy pequeña. Su presencia en una fuente de agua sugiere contaminación industrial potencial	Tritio ^e	$1.8 * 10^{-11}$	10000
Isótopo radiactivo natural distribuido en la naturaleza y presente en compuestos orgánicos y en el cuerpo humano	Carbón-14	$5.8 * 10^{-10}$	100
Isótopo artificial formado en reactores nucleares que también existe en pequeñas cantidades en minerales de uranio natural	Plutonio -239 ^d	$2.5 * 10^{-7}$	1
Subproducto isotópico artificial formado en reactores nucleares	Americio-141 ^d	$2.0 * 10^{-7}$	1

^aEsta lista no es exhaustiva. En ciertas circunstancias se deben investigar otros radionucleidos.

^mLos niveles de orientación se redondean al orden de magnitud más cercana

^eSe proporciona niveles de guía separados para los radioisótopos de uranio individuales en términos de radiactividad (es decir, expresados como Bq/l). El valor de referencia provisional para el contenido total de uranio en el agua potable es de 30 µg/l basado en su toxicidad química, que es predominante en comparación con su toxicidad radiológica.

^dEs posible que estos radionucleidos no se presenten en el agua potable en situaciones normales o que se encuentren en dosis demasiado bajas para ser importantes para la salud pública. Por lo tanto, son de menor prioridad para la investigación después de una superación de un nivel de detección.

^eAunque el yodo y el tritio no serán detectados por las mediciones estándar de actividad bruta y el análisis de rutina para estos radionucleidos no es necesario, si hay alguna razón para creer que pueden estar presentes, se deben usar técnicas de muestreo y medición específica de radionucleidos. Esta es la razón para incluirlos en esta tabla.

Fuente: (World Health Organization, 2011)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

En la Tabla (6-1) se presenta un resumen de trabajos donde se han evaluado las concentraciones de radio-226 en diferentes partes del mundo:

Tabla 6-1: Estudios de radio-226 en agua potable alrededor de todo el mundo

País	Ra²²⁶ (Bq/l) media	Ra²²⁶ (Bq/l) máximo	Referencias
España	0.84	9.36	(Fernández, Lozano y Gómez, 1992)
Suecia	0.26	4.90	(Isam Salih, Pettersson y Lund, 2002)
Brasil	0.02	0.94	(Lauria, Almeida y Sracek, 2004)
Alemania	0.15	6.29	(Vesterbacka et al., 2006)
Brasil	0.08	0.14	(Kappke et al., 2013)
Líbano	0.15	0.56	(Hashim, Safaay y Fulyful, 2014)
Vietnam	0.10	0.54	(Le et al., 2015)
Egipto	0.21	0.49	(El-Gamal, Sefelnasr y Salaheldin, 2019)
Arabia Saudita	0.33	2.08	(Shabana et al., 2019)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

El primer hijo del radio-226 es el radón-222, es uno de los elementos más responsable de los peligros por inhalación. El radón-222 y sus productos a causa de la desintegración emiten radiación alfa ionizante. Aunque el riesgo es muy bajo cuando el radón-222 se diluye en concentraciones extremadamente bajas; mientras que el radón-222 abierto en el aire ambiente suele contribuir hasta en un 36% a la radiación de fondo (WHO, 2002: pp. 409-413). El radón se puede concentrar en ciertos tipos de geología, como suelos graníticos y volcánicos, así como lutitas

aluminosas. Por otro lado, el radón también puede encontrarse en el agua potable y esto a veces puede representar un peligro. Dado que el radón-222 llega transportándose desde el acuífero donde está el “padre” radio-226 o que el material (radio-226) venga en el agua.

El fenómeno básico que permite que un átomo radón-222 se libera y escapa de un grano mineral que se conoce como el movimiento de retroceso (recoil), que empuja la emisión de la partícula alfa emitida por el átomo de radio-226 en el proceso de desintegración (ver Figura 4-1). En un grano mineral, el rango de movimiento por retroceso de un átomo de radón, con energía de retroceso de 85 keV, es el orden de 20 a 70 nm, en el agua es de 100 nm y en el aire de 63 μm (Llerena, 2006: pp. 7-13). Por lo tanto, sólo los átomos de radio-226 localizados a una distancia al borde de grano inferior pueden producir átomos de radón-222 susceptibles a escapar hacia el espacio (Rodríguez, 2013: pp. 30-32).

La concentración de radón en aguas subterráneas se caracteriza en un mayor valor de las rocas volcánicas ácidas. La disolución del gas radón-222 está en base a las propiedades de la roca madre de cada zona geográfica y además de la distribución de radio-226 con relación a la superficie de los poros y fisuras donde se realiza el intercambio con el agua (Alonso, 2015: pp. 8-10). La vida media del gas radón-222 es aproximadamente 4 días con un rango que al día 38 desaparecería por desintegración radiactiva.

La disolución del gas se produce por la interacción electrostática entre dipolo del átomo gaseoso de radón-222 y la molécula polar de agua, que se repite constantemente generando el fenómeno de disolución. En resumen, el radón-222 presenta una gran solubilidad en el agua, lo que le permite transportarse y movilizarse a lo largo de grandes distancias en los cuerpos de agua como en las formaciones geológicas. El traspaso de fase líquida a fase gaseosa se produce por un cambio de presión, turbulencias presentes en los acuíferos y fisuras subterráneas que desarrollaran la transferencia a la fase gaseosa (Appleton, 2013: pp. 17-19).

Se le denomina coeficiente de emanación o poder emanador de una roca o mineral, a la fracción de la actividad del radio-226 que es efectiva en la incorporación de radón al aire intersticial. Los valores típicos dados en la literatura varían entre fracciones al 0.01% y próximos al 70%, dependiendo de diversos factores como la composición, granulometría, temperatura y grado de humedad en el caso de los suelos. Por ejemplo, el rango de retroceso para rocas silicatadas y similares es de 0.036 μm , pudiéndose calcular que, para partículas de 1 μm , el 4.9% del radón generado puede escapar por el mecanismo de retroceso. Si no existiera salida de radón-222 de los poros al exterior, se establecería un equilibrio entre las concentraciones de radio-226 en la roca y la de radón-222 en los poros (Alonso, 2015: pp. 61-93).

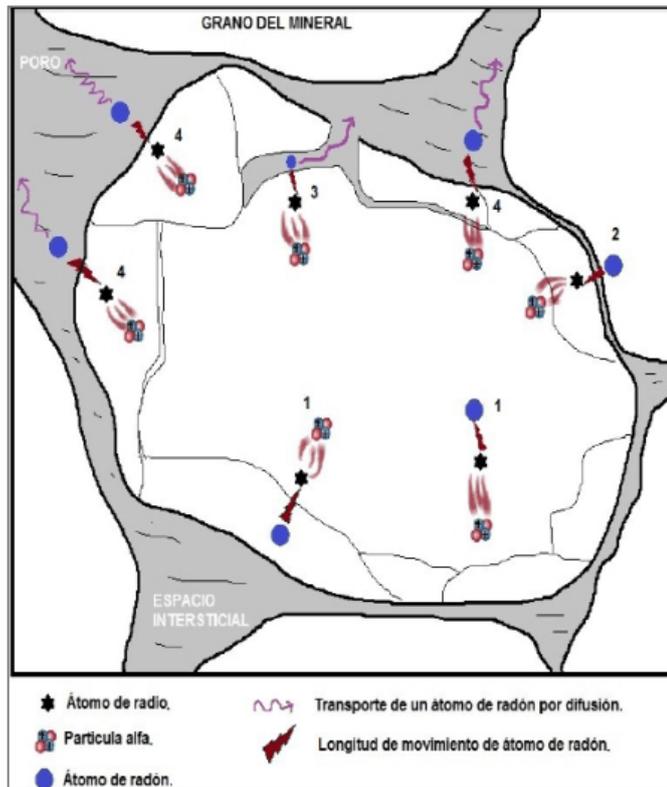


Figura 4-1. Migración de radón-222 del grano

Fuente: (Rodríguez, 2013)

Se puede apreciar: 1) átomos de radón liberados viajando cortas distancias y atrapados en el mismo grano. 2) átomos liberados del grano original, pero se incrusta en un grano adyacente. 3) átomos liberados que escapan a través de las microfisuras del poro. 4) átomos liberados que escapan a través de la superficie del grano y se mezcla con los fluidos intergranulares (aire, agua, gases).

1.5 Efectos Biológicos

Es conveniente recordar que una exposición interna se presenta cuando se agrega al cuerpo un material radiactivo mediante la inhalación, ingestión o por la absorción a través de una herida abierta en la piel, causando de esta forma una irradiación a los tejidos y órganos en su interior (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 2003: pp. 4-10). La dosis que recibe un organismo se encuentra en función de las propiedades del radionúclido, su energía, tiempo de exposición, tiempo de vida media y del mecanismo de reparación del organismo.

Se considera el radio-226 por ser emisor que decae emitiendo partículas alfa, es la causa principal de daño al organismo, esto se debe a la alta transferencia lineal de energía (LET) asociada con las partículas alfa, en comparación con las partículas beta u otra radiación, y la mayor efectividad de

las radiaciones de alta LET para inducir el cáncer, mutaciones, transformación y la muerte celular (Miles, 1988: pp. 176-184).

El radio-226 está considerado como cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de acuerdo con la Agencia Internacional para la investigación del Cáncer (IARC). La ingestión de este radioelemento puede provocar la exposición de los tejidos blandos, incluido el estómago, páncreas, pulmón, hígado y colon (International Agency for Research on Cancer, 2001: pp. 256-259).

La vía principal para la transferencia de radio-226 a los seres humanos es a través de la ingestión de alimentos y la ingesta de agua. Se comporta de manera similar a otros elementos alcalinotérreos como calcio, estroncio y bario. Por lo que se acumula principalmente en los huesos (IAEA, Radium, Environmental, 2014: pp. 128-132).

Los efectos nocivos de radio-226 en los últimos 62 años desde los primeros informes, se ha acumulado una cantidad considerable de información sobre su efecto en el organismo. Sarcomas óseos, carcinomas de cabeza que se originan en el paranasal, los senos paranasales o mastoides, y el deterioro del tejido esquelético (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990: pp. 300-315).

En otras palabras, el radio-226 puede ingresar al cuerpo cuando se inhala o por la ingesta. Si se inhala radio-226 se deposita en los pulmones, algunos pueden permanecer allí durante meses; pero ingresará gradualmente en el torrente sanguíneo y será transportado a todas las partes del cuerpo, especialmente a los huesos. Si el radio-226 se ingiere en agua o con alimentos, la mayoría dejará rápidamente el cuerpo a través de la deposición. Alrededor del 20% ingresará al torrente sanguíneo para ser transportado a todas las partes del cuerpo, principalmente a los huesos. Se ha demostrado que el radio-226 causa efectos adversos para la salud, como: anemia, cataratas, dientes fracturados, cáncer y muerte (ATSDR, 1990: pp. 1-4).

Los seres humanos estamos expuestos a este elemento de muchas formas, debido a que cuando bebemos agua potable proveniente de una fuente natural, como un pozo profundo proveniente de acuíferos. El radio-226 puede descomponerse emitiendo partículas alfa, beta y gamma, siendo las primeras las más nocivas para el organismo, convirtiéndose en un agente carcinógeno. Después de la ingestión, el radio se comporta como el calcio, lo que podría desarrollar osteosarcomas, cánceres sinusales y osteonecrosis. Por lo tanto, la EPA ha establecido un límite de concentración para radio-226 y radio-228 presente en el agua potable que a niveles superiores 0.185 Bq/l, desencadenaría a desarrollar con mayor probabilidad cáncer de huesos, hígado y mama (Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, 1990: pp. 19-37).

El radio-226 es un potente carcinógeno humano. Se sabe que este elemento, a través de la exposición oral, causa tumores en los huesos, la cabeza (células aéreas mastoides) y los conductos nasales. Los estudios en mineros de uranio han demostrado un aumento en el cáncer de pulmón y los tumores de los vasos linfáticos y tejidos hematopoyéticos por exposición e inhalación. Sin embargo, no se sabe si el riesgo de cáncer se debe al uranio en sí, o del radón u otros factores de confusión. La EPA no ha clasificado el radio-226, el radón-222 o el uranio-238 por su carcinogenicidad (Sistema Integrado de Información de Riesgos, 2000: pp. 1-5).

La exposición a radio-226 durante un período de muchos años puede resultar riesgo de algunos tipos de cáncer, particularmente cáncer de pulmón y de huesos. Se han administrado dosis más altas de radio-226, demostrando que causa efectos en la sangre (anemia), ojos (cataratas), dientes rotos y huesos (reducción del crecimiento óseo) (Massachusetts Department of Public Health, 2017: pp. 1-2). El potencial de efectos sobre la salud depende de varios factores, incluyendo la cantidad de radio-226 presente, cantidad de tiempo pasado cerca de la contaminación, proximidad a la fuente de radiación, y si existe algún tipo de blindaje.

Los isótopos radio 226 y 228 también han recibido atención reciente como contaminantes en la escala de tuberías. Se ha encontrado que los niveles elevados de radón en los suministros de agua son el resultado de escamas en tuberías que contienen radio-226 en las tuberías y depósitos de agua. Dicha escama depositada gradualmente a lo largo del tiempo en las superficies internas de las tuberías subterráneas, generalmente consiste en sólidos inorgánicos con trazas de materiales radiactivos naturales (Uranium Plutonium and Radium, 1913: pp. 433).

El radón-222 y sus productos de desintegración son clasificados como agentes carcinógenos para el ser humano del grupo 1 (International Agency for Research on Cancer, 2001: pp. 51-52) por La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC). Por su potencialidad para destruir el revestimiento del estómago y migrar hasta la zona de intercambio de gases para finalmente depositar su progenie (metales pesados) provocando grandes afectaciones en los pulmones.

En muchas situaciones como ducharse, lavar ropa o hervir agua el radón-222 puede ser liberado del agua al aire interior. Por lo tanto, el radón-222 presente en el agua, además de su peligro para la salud por vía directa de ingestión, también puede contribuir al riesgo total de inhalación asociado con su transferencia al aire interior (Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, 1990: pp. 8-10).

Los estudios epidemiológicos han demostrado claramente que la exposición prolongada a niveles altos de concentración de radón-222 disuelto en el agua y que contribuyen al aire en interiores

aumenta el riesgo de cáncer de pulmón cuando los productos de la desintegración son inhalados (Commission on Life Sciences National Research Council, 1999; Cothorn y Rebers, 1991).

La ingestión de radón-222 a base de agua podría, en la primera etapa, exponer de manera similar las células del revestimiento del estómago. Sin embargo, después de la ingestión, el radón-222 viaja como moléculas de gas con alta movilidad a través de las membranas celulares, y las células pueden recibir una exposición más uniforme. Desde ese punto de vista, el estómago podría estar en mayor riesgo de exposición por radón-222 acuoso ingerido. La transferencia del radón-222 disuelto del agua al aire y su posterior inhalación constituyen otra ruta por la cual los pulmones pueden estar en riesgo (Hidrovo, 2019: pp. 11-14).

1.6 Normativa

El presente trabajo de investigación se sustenta en las diferentes guidelines vigentes Nacionales e Internacionales.

El Ecuador como país no posee leyes o normativas rigurosamente para radionucleidos de origen natural. Entre ellos el radio-226 el cual puede estar presente en rocas, ríos, fuentes de agua subterránea, pozos y/o acuíferos, en los cuales se necesitaría un control y seguimiento dentro del país. Por el Decreto Supremo 3640, el reglamento de Seguridad Radiológica es el documento que menciona la protección radiológica contra los efectos nocivos de la radiación ionizante sobre la salud, el cual fue publicado en el año de 1979 como registro Oficial N° 891 (Presidencia de la República del Ecuador, 1979: pp. 6-12).

La institución a cargo de la regulación y control de las fuentes y respectivamente las exposiciones a radiación ionizante, es la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) que pertenece al nuevo Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables consolidado mediante Decreto Ejecutivo N° 399 el 15 de mayo del 2018, dicha subsecretaría brinda servicios adicionales con relación a fuentes, equipos, análisis de muestras e inspección de fugas (Presidencia de la República del Ecuador, 2018: pp. 5-7).

Acuerdo Ministerial N° 238

La norma técnica para la gestión segura de los desechos radiactivos y fuentes radiactivas selladas en desuso posee un apartado donde se hace referencia a los procesos en cuales existen desechos de carácter radiactivo específicamente de origen natural (NORM) y en su artículo 20 y 31 se pronuncia acerca del procedimiento de manejo de desechos radiactivos y la correcta gestión que se debe cumplir (MEER, 2007: pp. 26-37).

Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)

Las recomendaciones por parte de la Comisión Internacional de Protección Radiológica apuntan que los principales contribuyentes a tendencias altas del nivel de contaminación radiactiva de origen natural han sido los productos de la cadena de desintegración del uranio-238. Sugiere un promedio anual de dosis efectiva equivalente por ingestión de 0.14 mSv (Sowby, 1983: pp. 2-3).

Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM)

La directiva 51 de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM), establece como límite máximo permisible de la concentración de radio-226 derivada con la radiactividad en el agua destinada al consumo humano es de 0.5 Bq/l. De la misma forma, considera permisible la concentración de la actividad alfa total y beta total en el agua destinada al consumo humano que sea inferior a 0.1 Bq/l y 1.0 Bq/l respectivamente, ya que se puede considerar que la dosis anual efectiva recibida es inferior al valor del parámetro 0.1 mSv/año (EURATOM, 2013: pp. 16-20). Estos valores permitidos se consideran extremadamente amplios, es utilizado para análisis y discusión de estudio en todo el mundo.

La Agencia de Protección Ambiental (US EPA)

La Agencia de Protección Ambiental (US EPA) establece una guidance más estricta para establecer el límite para radio-226 y radio-228 combinados por litro de agua potable es de 5 pCi/l (0.185 Bq/l) (Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, 1990: pp. 8-10).

Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica

En base a la dosis efectiva proveniente de la inhalación del gas radón y que el padre es el radio-226, se estima la presencia de este elemento en las muestras para ser analizadas. En el informe de la UNSCEAR en el Anexo B se establece una dosis anual estimada por inhalación al aire libre de radón no debe superar 1.1 mSv/año (UNSCEAR, 2000: pp. 110-124).

Organización Mundial de la Salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS), crea como límite para isótopos radiactivos naturales que pertenecen a la serie de descomposición de uranio. Cuando la exposición a la radiación por ingesta de agua potable, en particular radio-226, radio-228, uranio-234, uranio-238 y plomo-210,

encontrándose como resultado de procesos naturales un nivel máximo de 1 Bq/l y el criterio de dosis individual (IDC) de 0.1 mSv/año que representa un nivel de riesgo muy bajo que no se espera que dé lugar a efectos adversos detectables para la salud humana (World Health Organization, 2011: pp. 206-211).

Por último, es importante señalar la regulación para radón-222 ya que al ser un producto de la desintegración de radio-226 puede contribuir a los efectos totales en contra de la salud de las personas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, es más estricta al establecer un límite en relación con la concentración de radón-222 en agua. Esta agencia estadounidense considera específicamente un máximo nivel de contaminación por radón-222 disuelto de 300 pCi/L (11.1 Bq/l) (US EPA ARCHIVE DOCUMENT, 1999: pp. 2-4), en aguas destinadas al consumo humano (Commission et al., 2011: pp. 8-10). Mientras que, el Comunidad Europea de la Energía Atómica sugiere el valor de 100 Bq/l que se estima una dosis efectiva anual inferior a 1 mSv/año (EURATOM, 2013: pp. 16-17) que es adoptado por la Organización Mundial de la Salud. Por otro lado, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas establece que la dosis por inhalación no debe superar de 1.1 mSv por año para no presentar detrimentos sobre la salud de las personas (UNSCEAR, 2000: pp. 5-6).

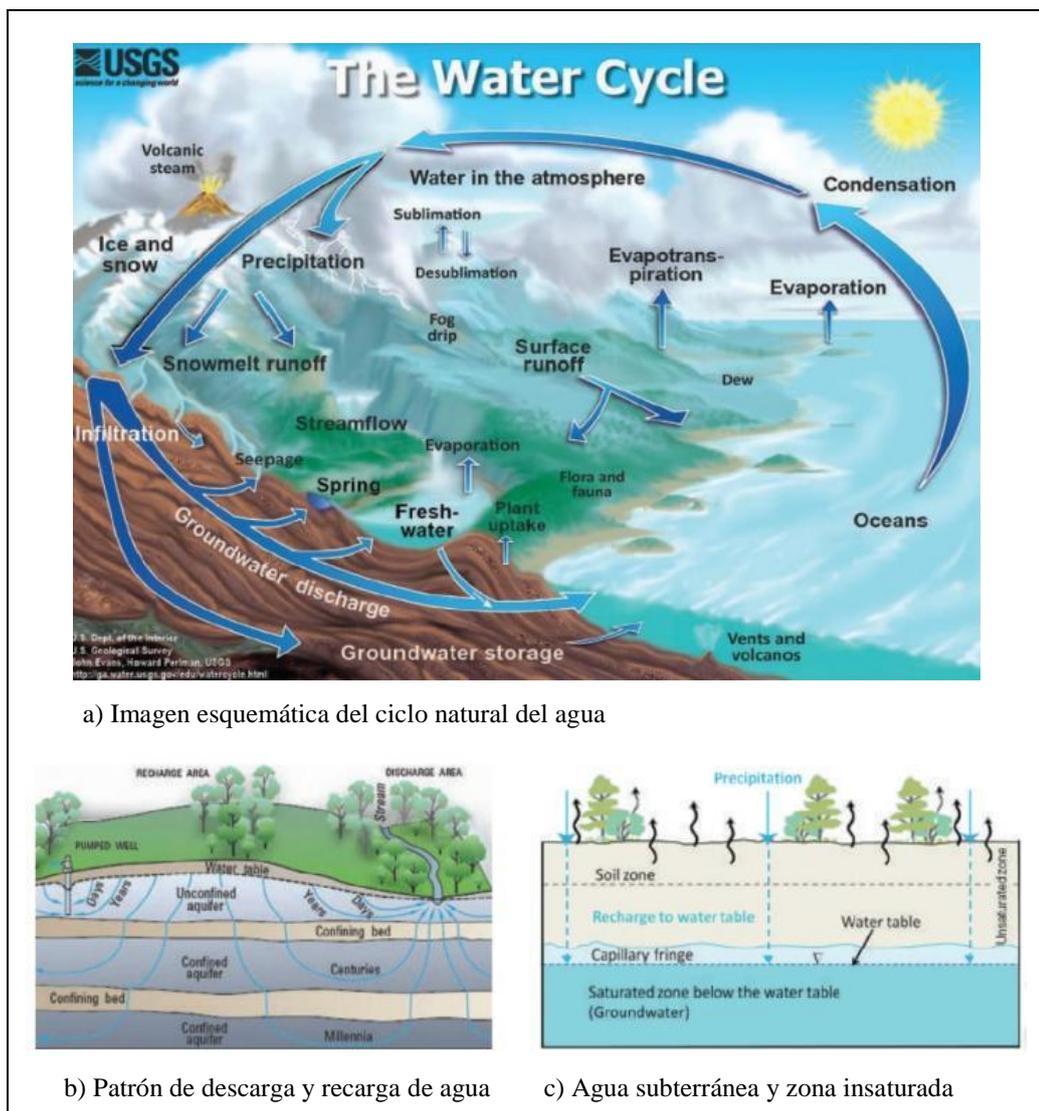
1.7 Agua subterránea alrededor del mundo

La distribución del agua no solo cubre las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra, sino que también está presente casi en todas partes debajo de la corteza terrestre hasta profundidades considerables y en continuo movimiento; es el agua subterránea como podemos referirnos a la gran mayoría de este recurso.

Es un componente invisible en la hidrosfera que representa una parte oculta del ciclo del agua. Desde tiempos inmemorables las personas de todo el mundo han podido explotar el agua del subsuelo para abastecerse, o han logrado drenar el agua del subsuelo para facilitar las actividades mineras y el uso del a tierra. Con el tiempo, han inventado técnicas para capturar el agua subterránea y llevarla a la superficie (Margat y Van der Gun, 2013: pp. 1-30). Es a menudo la principal fuente de agua potable (abastece a la mitad de la población mundial) y contribuye significativamente al riego y, por tanto, a la seguridad alimentaria en las diferentes regiones.

Numerosas imágenes esquemáticas sobre el ciclo del agua, a menudo en un entorno paisajístico, existen y se han difundido en muchas publicaciones. Sin embargo, con frecuencia destacan la salida de aguas subterráneas al mar, aunque esta no es la forma más importante de descarga de agua subterránea a nivel mundial. Además, a menudo no muestran los vínculos entre arroyos y

acuíferos. Debido a que es difícil combinar características locales y regionales del ciclo del agua en una sola imagen, se muestran por separado en la Figura (5-1) el agua subterránea no está estancada, aunque su movimiento es muy lento en comparación con el del agua en los arroyos. Según las condiciones específicas del acuífero, o el tiempo que tarda el agua subterránea para recorrer un kilómetro puede variar de un día a cinco siglos o más (Margat y Van der Gun, 2013: pp. 1-30). Sin embargo, grandes volúmenes de agua que se mueven lentamente a través de un acuífero pueden producir un flujo total equivalente al de una corriente, en la que el agua fluye a velocidades mucho más altas, pero a través de secciones transversales mucho más pequeñas perpendiculares a la dirección del flujo.



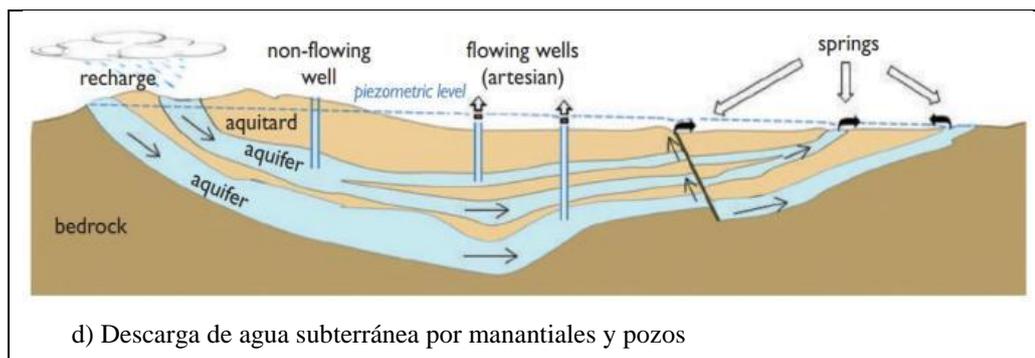


Figura 5-1. El ciclo del agua y algunos ejemplos de sus detalles relacionados con las aguas subterráneas

Fuente: (Margat y Van der Gun, 2013)

Ahora bien, con base en el Sistema Mundial de Información sobre agua y Agricultura (AQUASTAT) que presenta datos para 2013 del flujo de agua subterránea interna compilados para 101 países que juntos cubren el 92% de la masa terrestre del planeta, excluyendo la Antártida. Se especifican tanto el flujo como la densidad de flujo; el último para comparación entre países independiente de su tamaño. Podemos encontrar en la Tabla (7-1) que para el caso de nuestro país Ecuador el Flujo de agua subterránea es de 134 Km³/año y una densidad de 473 mm/año.

Tabla 7-1: Agua subterránea producida internamente: Flujos anuales medios estimados por país

Flujo de agua subterránea			Flujo de agua subterránea		
País	Km ³ /año	mm/año	País	Km ³ /año	mm/año
AFRICA			Ucrania	20	33
Argelia	1.5	0.6	Reino Unido	9.8	40
Angola	50	47	ASIA		
Botsuana	1.7	2.8	Armenia	4.3	145
Burkina Faso	9.5	35	Azerbaiyán	6.5	75
Camerún	100	210	Bangladesh	21	147
Central	56	90	China	829	86
Rep. Africana			India	432	131
Chad	11.5	9.0	Indonesia	457	238
Congo	122	357	Irán	49	30
Rep. Dem. Congo	421	180	Irak	3.2	7.3
Etiopía	20	18	Israel	0.5	24
Gabón	62	232	Japón	27	71
Costa de Marfil	38	120	Kazajistán	6.1	2.2
Kenia	3.5	6.0	RDP Lao	38	160
Liberia	45	404	Líbano	3.2	308
Libia	0.5	0.3	Malasia	64	194
Madagascar	55	94	Mongolia	6.1	3.9
Malí	20	16	Myanmar	454	669

Marruecos	10	22	Omán	1.3	6.2
Mozambique	17	21	Pakistán	55	68
Namibia	2.1	2.5	Filipinas	180	600
Níger	2.5	2.0	Arabia Saudita	2.2	1.1
Nigeria	87	94	Siria	4.8	26
Senegal	3.5	18	Tailandia	42	82
Somalia	3.3	5.1	Turquía	69	88
Sudáfrica	4.8	3.9	Turkmenistán	0.4	0.7
Sudán	7.0	2.8	Emiratos Árabes Unidos	0.1	1.5
Zambia	47	62.5			
Zimbabwe	6.0	15.4	Uzbekistán	8.8	20
EUROPA			Vietnam	71	217
Albania	6.2	216	Yemen	1.5	2.8
Austria	6.0	71	AMERICA		
Bielorrusia	18	87	Argentina	128	46
Croacia	11	195	Bolivia	131	119
Rep. Checa	1.4	18	Brasil	1874	220
Dinamarca	4.3	100	Canadá	370	37
Finlandia	2.2	6.5	Chile	140	185
Francia	120	219	Colombia	510	448
Alemania	46	128	Cuba	6.5	59
Grecia	10	78	Ecuador	134	473
Hungría	6.0	64	Guayana	103	479
Islandia	24	233	Haití	2.2	78
Irlanda	11	154	Honduras	39	348
Italia	43	143	México	139	71
Países Bajos	4.5	108	Nicaragua	59	456
Noruega	96	296	Paraguay	41	101
Polonia	12	40	Perú	303	236
Portugal	4.0	43	Surinam	80	490
Rumania	8.3	35	Uruguay	23	130
Rusia	788	46	USA	1384	144
España	30	59	Venezuela	227	249
Suecia	20	44	OCEANÍA		
Suiza	2.5	61	Australia	72	9.4

Fuente: (Margat y Van der Gun, 2013)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

Por otro lado, la Figura (6-1) muestra el patrón global de estas densidades de flujo de agua subterránea por país enumerados en la Tabla (7-1) y extrapolando esta suma al 100% de la superficie de los continentes arroja un total mundial de unos 12000 Km³/año que está cerca de la

estimación de la recarga de agua subterránea difusa global de 12700 Km³/año (Margat y Van der Gun, 2013: pp. 1-30).

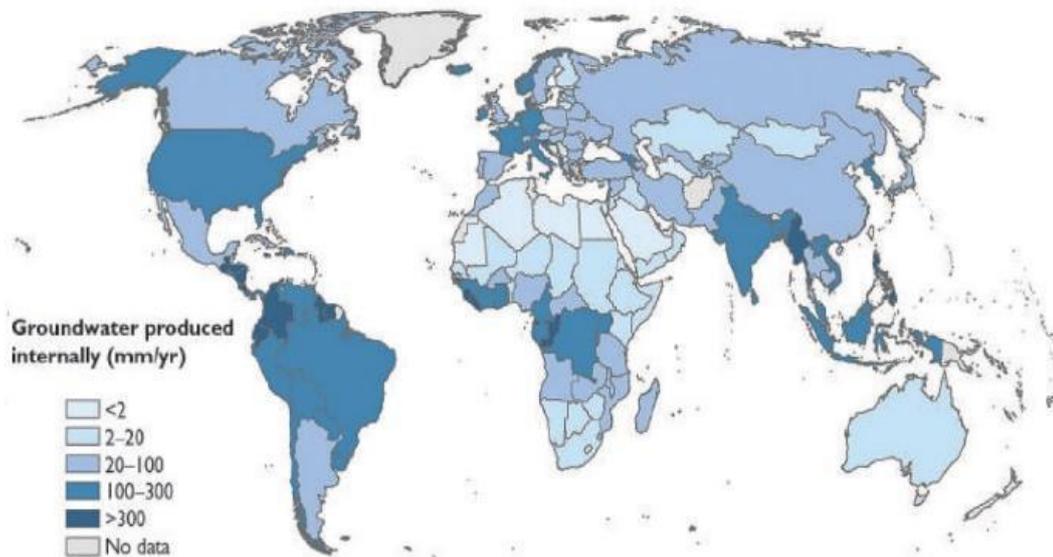


Figura 6-1. Clasificación de los países según su flujo interno medio anual de agua subterránea por área unitaria (1 mm/año = 1000 m³/año por Km²)

Fuente: (Margat y Van der Gun, 2013)

1.8 Agua subterránea en Ecuador

Aproximadamente el 3% del agua total en la tierra es agua dulce, de esta 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 existe un 0.36 % que se encuentra disponible para el consumo humano (Leopold, 1976: pp. 557-562).

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie terrestre y ocupa los poros y las fisuras de las rocas más sólidas. En general, es la mayor reserva de agua potable para nuestra civilización la que proviene de esta fuente, porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos (Burbano et al., 2014: pp. 4-11). La mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica, que se precipita en forma de lluvia o nieve. Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas, el agua se infiltra en el terreno.

Actualmente, la región de la Costa cubre alrededor del 26% del Ecuador, posee agua dulce provenientes de acuíferos aluviales locales. La región de la Sierra cubre alrededor del 34% del país, posee agua dulce resultantes de acuíferos locales no continuados que se encuentran en rocas consolidadas, no consolidadas y fracturadas de las montañas de los Andes. La región del Oriente cubre alrededor del 38% del país, posee agua dulce en rocas sedimentarias y volcánicas

permeables a semipermeables. La región de las islas galápagos comprende alrededor del 2% del país, el agua dulce está disponible en zonas fracturadas aisladas en los depósitos volcánicos en las elevaciones de las islas más grandes, sin embargo, la intrusión del agua salada es peligrosa (IAEA, 2016: pp. 5-11).

El uso de agua proveniente de las diferentes formaciones geológicas viene de la existencia de 1275 puntos de agua en Ecuador, de los cuales 800 son pozos excavados, que proporcionan datos de profundidad de nivel freático y en ciertos casos de calidad. Sin embargo, cabe destacar que el grado de uso del agua subterránea es bajo, a excepción de la hoya de Latacunga. El uso de los acuíferos de la hoya de Quito, en la década de los 80 fue extensivo, pero en los últimos años ha sido reemplazado por agua proveniente de fuentes superficiales; la recarga natural de estos acuíferos ha provocado una elevación del nivel freático, lo cual ha causado la inundación de subsuelos y afectando cimientos de edificios, de la ciudad (Galárraga Sánchez, 2000: pp. 33-37). El escaso aprovechamiento del agua subterránea, provoca a su vez una escasez de información sobre usos reales y potenciales de este recurso. La razón fundamental para el no uso de las aguas subterráneas radica en los altos costos de prospección, perforación, bombeo, mantenimiento, y en la relativa “regularidad” de los caudales superficiales y de la estacionalidad de las precipitaciones.

El mapa hidrológico básico del Ecuador, elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y la Exdirección General de Geología y Minas (DGGM) y publicado en el año de 1983, ofrece una visión general y sintética de la distribución del recurso hídrico subterráneo en el país (Burbano et al., 2014: pp. 19-23). Aborda en términos generales la ocurrencia de aguas subterráneas en el territorio nacional, considerándose tres grandes grupos de rocas diferenciadas por sus características litológicas y su importancia hidrológica., la importancia hidrogeológica relativa indica que las rocas porosas (a) y las rocas fisuradas (b) encierran las mejores posibilidades desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas del grupo (c) tienen menor importancia hidrogeológica como se observa en la Figura (7-1).

- a) Color azul para unidades litológicas permeables por porosidad intergranular
- b) Color verde para unidades litológicas permeables por fisuración
- c) Color marrón para unidades litológicas prácticamente sin agua subterránea explotable

Debido a la gran demanda que depende el incremento poblacional de agua dulce, ha inducido el uso excesivo y la contaminación de los suministros de agua, también están provocando serios daños al ambiente y presentan riesgos a numerosas especies biológicas. El escenario actual de una alta presión sobre el recurso hídrico ha llevado a los Municipios a la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, es ahí en donde las fuentes de agua subterránea se vuelven de gran importancia para el abastecimiento de estas nuevas demandas (Reino Moyón, 2013: pp. 103-105). Las aguas

subterráneas son la posibilidad más rentable puesto que son aguas con una condición de menor o exentas de contaminación, estables que requieren escaso tratamiento y por lo general son de amplia disponibilidad en algunos sectores.



Figura 7-1. Mapa hidrográfico del Ecuador (1983)

Fuente: (Burbano et al., 2014)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Área de estudio

El área de estudio de esta investigación es la provincia de Chimborazo - Ecuador en particular los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá. El Anexo A presenta un catálogo de las fuentes, suministros de agua potable que fueron monitoreadas; además, el anexo muestra la geológica y geográfica, tipo de fuente y tipo de estructura, información tomada del inventario de aguas subterráneas y superficiales elaborado por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en el año 2014 y aquella proporcionada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados los cantones estudiados.

El monitoreo de las fuentes se realizó en los meses de noviembre y diciembre del año 2020, a inicio del mes de noviembre se recolecto las muestras del cantón Colta, entre noviembre diciembre las muestras de Pallatanga y a finales del mes de diciembre se culminó con las fuentes de Cumandá. La población constituye catorce fuentes, tres pertenecientes al cantón Colta, nueve al cantón Pallatanga y dos al cantón Cumandá.

Las fuentes de agua, suministros de agua potable en el área de estudio, son de origen superficial y pozos subterráneos. Las muestras de agua se recolectaron directamente de los suministros subterráneos o de las redes de distribución de agua potable de los diferentes cantones. La Figura (1-2) presenta los puntos muestreados ubicados en cada cantón, siguiendo el protocolo de muestreo que se presenta en la sección 2.2.

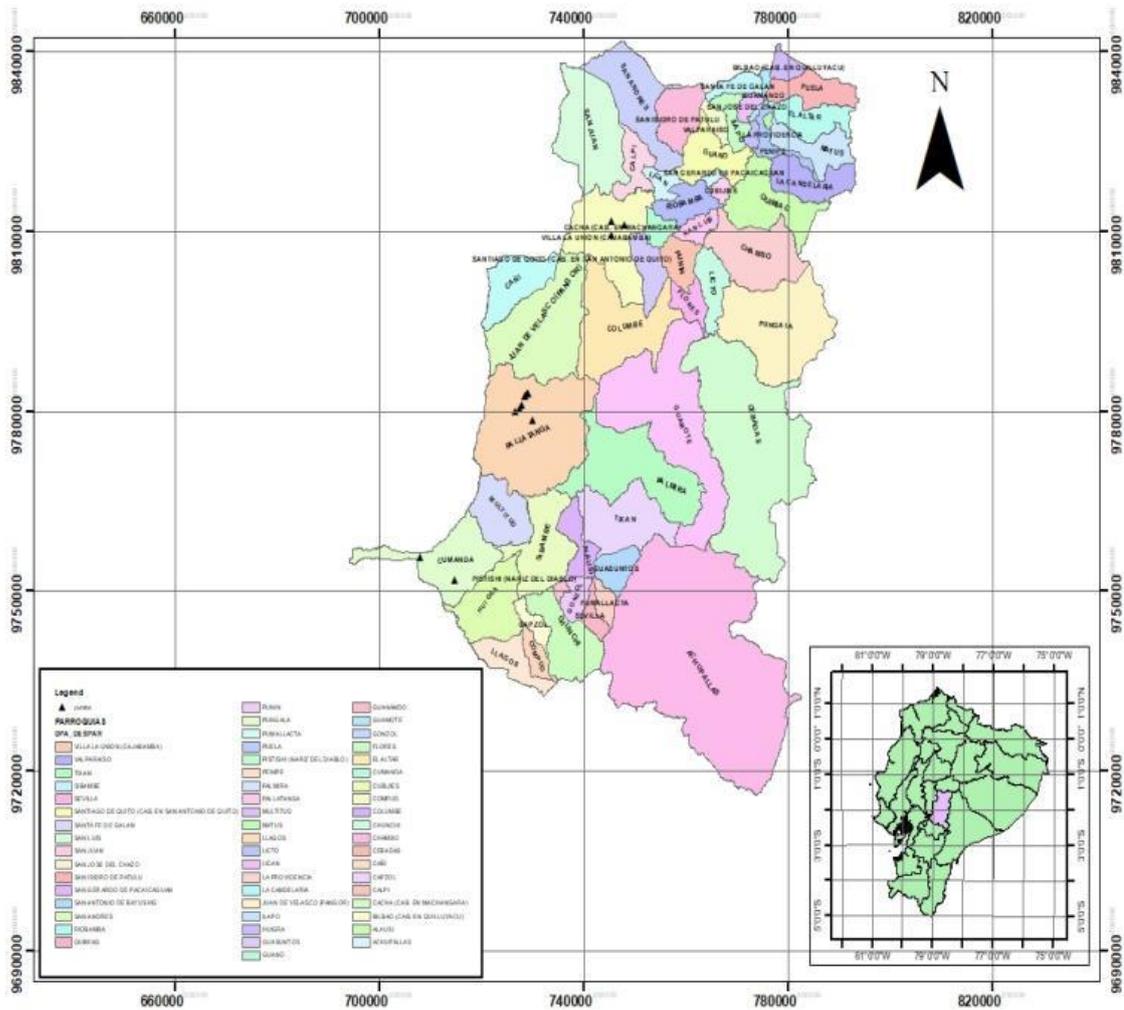


Figura 1-2. Puntos de monitoreo (triángulos negros) de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá

Fuente: (ArcGIS Desktop, 2021)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

A continuación, se presenta el detalle del área de estudio en los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá.

COLTA

El cantón Colta es eminentemente agrícola, sus principales cultivos son las papas, cebada, trigo, habas, chochos, arveja, toda clase de hortalizas (ROMERO, 2013: pp. 11-13). En este cantón, hay buenos criaderos de ganado bovino, ovino, aves de corral y variedad de animales silvestres.

Colta tiene como cabecera cantonal la ciudad de Cajabamba, está formada por dos parroquias urbanas Cajabamba y Cicalpa, denominadas Villa la Unión, que constituye el área de estudio (Ver Figura 2-2). Un pozo subterráneo y dos vertientes suministran agua de beber a la población urbana del cantón Colta, como se ilustra en la Tabla (1-2).

Tabla 1-2: Suministros de agua potable del área urbana del cantón Colta

No.	Fuente	Cantón	Tipo	Coordenadas		Fecha muestreo
				Latitud	Longitud	
1	Cunupogyo	COLTA	Subterráneo	1°42'29"S	78°46'9"W	10/11/2020
2	Guacona		Superficial	1°43'22"S	78°47'31"W	16/12/2020
3	La Compañía - El Mexicano		Superficial	1°42'12"S	78°47'32"W	16/12/2020

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

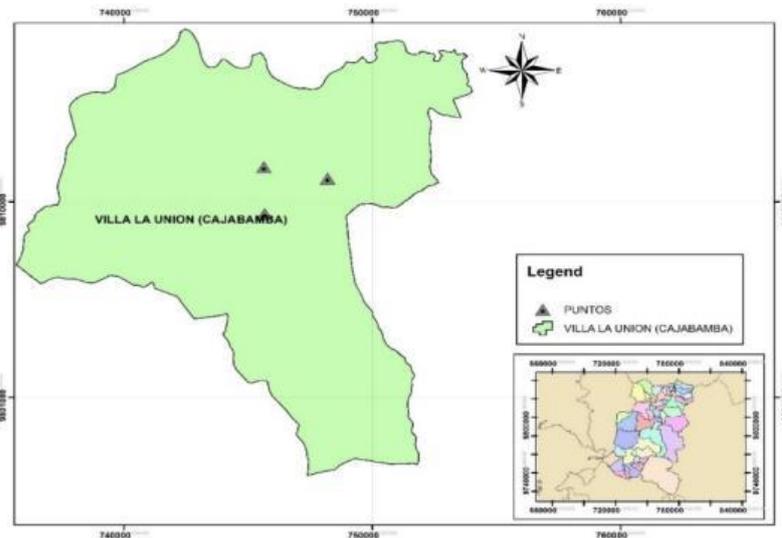
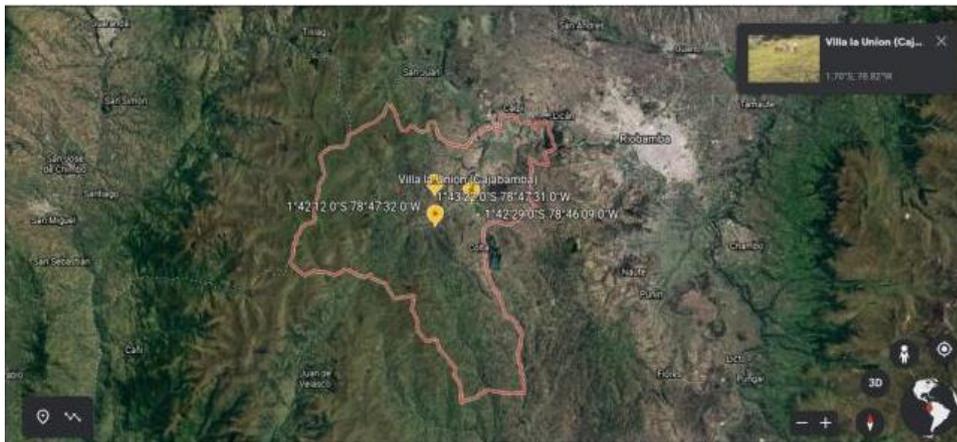


Figura 2-2. Arriba: Villa la Unión vista con Google Earth Abajo: Puntos monitoreados (triángulos negros) en Villa la Unión- cantón Colta

Fuente: (Google Earth, 2001), (ArcGIS Desktop, 2021)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

PALLATANGA

El cantón Pallatanga por su ubicación geográfica tiene un clima agradable con una temperatura promedio de 20° C, que la ha convertido en un punto de atracción turística, donde existen fincas vacacionales que permiten disfrutar de sus paisajes, así como también es uno de los principales cantones productores agrícolas de la provincia (Alarcón, 2013, p. 12-13). Como podemos ver en la Tabla (2-2) nueve fuentes, todas de tipo superficial, suministran el agua de beber y el agua para el riego de los cultivos, sus principales productos son las papas, habas, fréjol, tomate, maíz y frutas menores como la frutilla.

Tabla 2-2: Suministros de agua potable del cantón Pallatanga

No.	Fuente	Cantón	Tipo	Coordenadas		Fecha muestreo
				Latitud	Longitud	
1	El Sagrario 1	PALLATANGA	Superficial	1°57'44"S	78°56'16"W	30/11/2020
2	El Sagrario 2		Superficial	1°57'47"S	78°56'25"W	
3	El Sagrario 3		Superficial	1°57'50"S	78°56'26"W	
4	Milliguayco 1		Superficial	1°58'0"S	78°56'40"W	2/12/2020
5	Milliguayco 2		Superficial	1°58'0"S	78°56'39"W	
6	Las Palmas		Superficial	1°58'49"S	78°57'1"W	
7	La Morera		Superficial	1°59'27"S	78°57'41"W	
8	Guaro		Superficial	2°0'13"S	78°55'49"W	4/12/2020
9	Lugmapata		Superficial	1°59'8"S	78°57'16"W	

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

La Figura (3-2) muestra los nueve puntos monitoreados, donde se encuentran las fuentes de agua que suministran el agua de beber a todo el perímetro urbano del cantón Pallatanga.



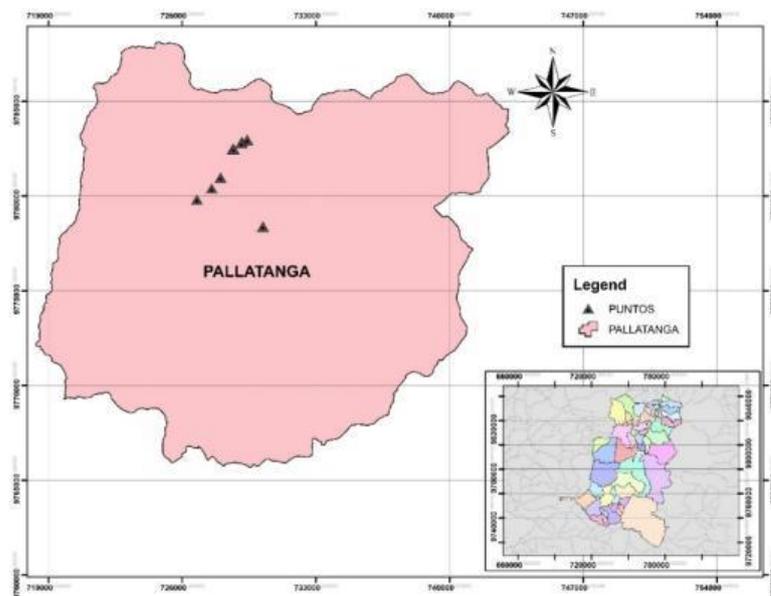


Figura 3-2. Arriba: Pallatanga vista con Google Earth Abajo: Puntos monitoreados (triángulos negros) en el cantón Pallatanga.

Fuente: (Google Earth, 2001), (ArcGIS Desktop, 2021)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

CUMANDÁ

El cantón Cumandá se sitúa en una altitud que varía de 300 hasta 1900 msnm aproximadamente, esta situación permite que sea una de las zonas con mayor biodiversidad de la provincia (GOBIERNO AUNTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CUMANDÁ, 2014: pp. 21-23). En la zona se puede encontrar diversos cultivos tales como: caña de azúcar, papa china, plátano y diversos cítricos.

El cantón utiliza como suministro principal de agua potable el río Chilicay. La Tabla (3-2) muestra además del río, la planta de tratamiento como otra fuente, esto debido a que según los técnicos del GAD del cantón Cumandá, en la periferia afloran pequeños manantiales que se unen al río antes de llegar a la planta. La Figura (4-2) muestra los puntos monitoreados en el cantón Cumandá.

Tabla 3-2: Suministros de agua potable del cantón Cumandá

No.	Fuente	Cantón	Tipo	Coordenadas		Fecha muestreo
				Latitud	Longitud	
1	Planta de tratamiento	CUMANDÁ	Superficial	2°12'36"S	79°7'46"W	15/12/2020
2	Río Chilicay		Superficial	2°14'39"S	79°4'4"W	

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

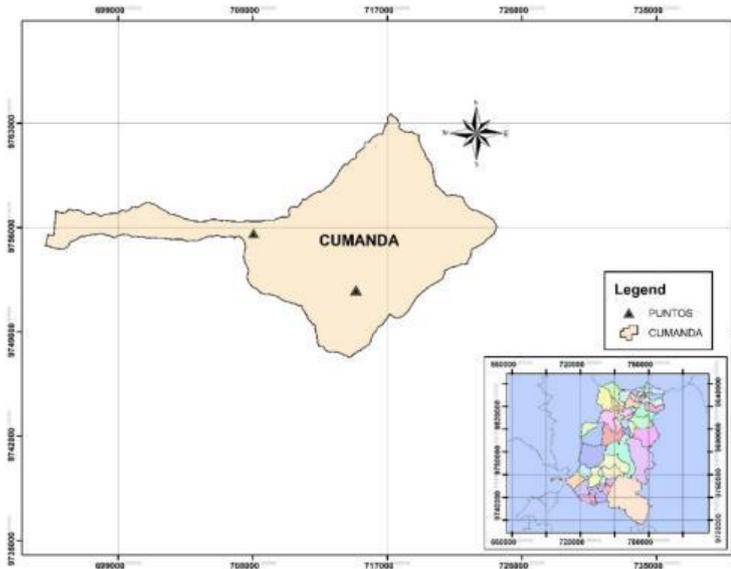
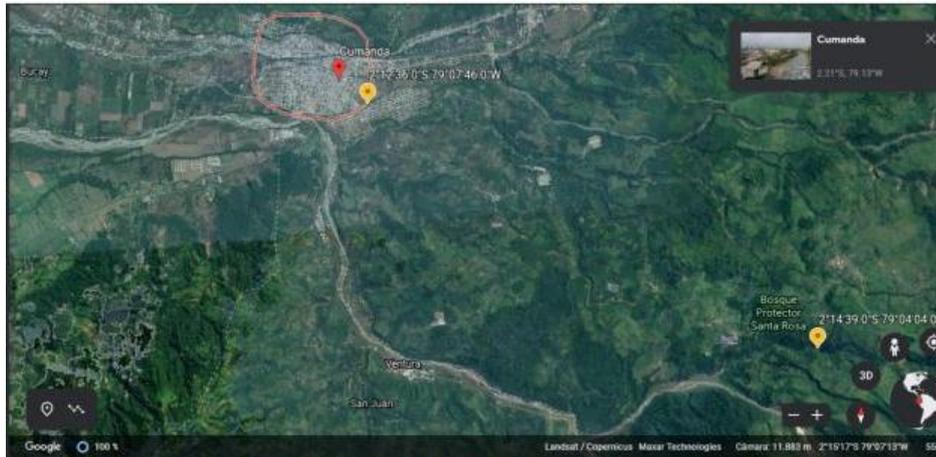


Figura 4-2. Arriba: Cumandá vista con Google Earth **Abajo:** Puntos monitoreados (triángulos negros) en el cantón Cumandá.

Fuente: (Google Earth, 2001), (ArcGIS Desktop, 2021)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

2.2 Protocolo utilizado para el muestreo de las fuentes de agua potable

El protocolo de muestreo se basa en las normas ISO 13164-3: 2013, a las que se han sumado algunas recomendaciones respaldadas por la experiencia, con el fin de obtener resultados fiables, comparables y garantizar la repetibilidad de la medida. El procedimiento es aplicable a fuentes agua subterránea y superficial, para un posterior análisis de radio-226, usando la técnica emanométrica. Los elementos del protocolo de muestreo se detallan a continuación:

a) Información general sobre las fuentes de agua

Este ítem incluye la identificación y registro de las características geológicas del lugar donde se ubica la fuente de agua, las características estructurales del manantial, las coordenadas

geográficas, radiación gamma de fondo del lugar donde se encuentra la fuente, edad de la fuente, temperatura del agua, temperatura del aire y pH del agua.

La ubicación de los puntos de muestreo y las coordenadas de georreferenciación se determinó utilizando GeoPosicion app creada por OrbitalMotion que está disponible en la Play Store para teléfonos celulares.

Para la medición de los parámetros físicos y químicos se utilizó los equipos que fueron proporcionados por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y previamente calibrados mediante las metodologías, protocolos y procedimientos internos del laboratorio de Técnicas Nucleares de la Facultad de Ciencias.

La radiación de fondo gamma se midió con un Gamma-Scout, detector tipo Geiger Müller, distingue la radiación alfa, beta y gamma, mediante un filtro de láminas de aluminio, posee una pantalla de 4 dígitos que indica $\mu\text{Sv/h}$. Para determinar los valores de pH, temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y oxígeno disuelto (%) se utilizó el equipo 86031 AZ Waterproof IP67 Combo Water Quaity Tester.

b) Botellas y tapas utilizados para el muestreo

Para determinar la concentración de radio-226 en muestras de agua potable provenientes de fuentes subterráneas y superficiales, se utilizó botellas (viales) de 250 ml estándar de la DurrIDGE Company de EE.UU. Las botellas estándar son forjadas con material de vidrio borosilicatado (DURRIDGE Company Inc., 2014: pp. 10-12) y poseen tapas con un disco interno de caucho que garantizan baja permeabilidad del radón-222 y alta hermeticidad. Las botellas deben lavarse y secarse previamente.

c) Toma de las muestras de agua

Al momento del muestreo se llenó (sin turbulencia) con el agua de la fuente un recipiente de plástico de 4 litros, luego se sumergió completamente las botellas de vidrio de 250 ml y se colocó la tapa debajo del agua. La muestra no debe existir burbujas.

d) Número de muestras y frecuencias de muestreo

En este estudio se recolectó tres muestras de agua en cada punto de monitoreo, con el propósito de observar la variabilidad de los resultados de la concentración de radio-226. Todas las muestras se tomaron en un periodo corto de tiempo y en las mismas condiciones. Se sugiere monitorear los manantiales dos veces al año, durante la época seca y lluviosa.

e) Etiqueta de muestra

Las muestras se etiquetaron asignándoles un código único.

f) Transporte de las muestras

Las botellas debidamente selladas se transportaron boca abajo en un ice box container. En el laboratorio, las muestras se conservaron en el frigorífico hasta que el inicio de la medición. El tiempo entre el muestreo y el análisis no debe exceder algunas horas.

La Figura (5-2) presenta un esquema del protocolo para la recolección de todas las muestras en los diferentes puntos de monitoreo.

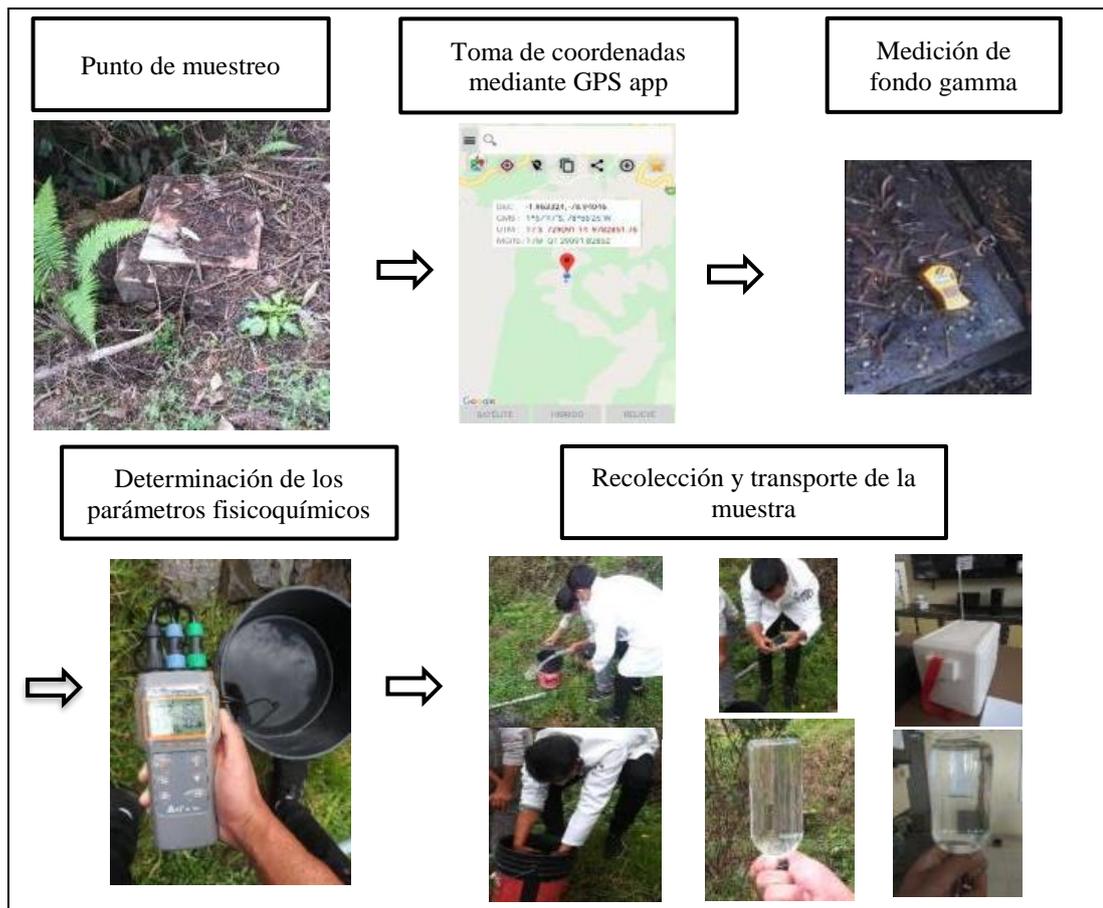


Figura 5-2. Protocolo de muestreo de agua superficial y subterránea para posterior análisis de radio-226 con la técnica emanométrica.

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

2.3 Descripción de la técnica emanométrica para medir radón en agua

El método para determinar la concentración de radio-226 en muestras de agua, se basa en la evaluación del gas radón-222 (hijo del radio-226) disuelto en el agua, en este trabajo de titulación, para medir la concentración de actividad del radón se utilizó la técnica emanométrica.

La técnica emanométrica se fundamenta en el proceso de desgasificación de la muestra de agua seguida de la detección de las partículas alfa mediante un sistema de monitoreo, para determinar la concentración del radón en la fase gaseosa.

La configuración experimental consiste en el Kit RAD H₂O (botellas de vidrio de 40 ml y 250 ml con un aireador, un tubo desecante, un soporte y un sistema de tubos) y el monitor RAD 7 formando un circuito cerrado.

La Figura (6-2) muestra una ilustración esquemática del monitor de radón-222 con su accesorio para medir las concentraciones de radón en muestras de agua. Este sistema de detección permite medir en un rango de concentración desde menos de 10 pCi/l (0.37 Bq/l) hasta más de 400 000 pCi/l (14 800 Bq/l), con una sensibilidad que iguala o sobrepasa a los métodos de centelleo líquido (DURRIDGE Company Inc., 2011: pp. 8-11).

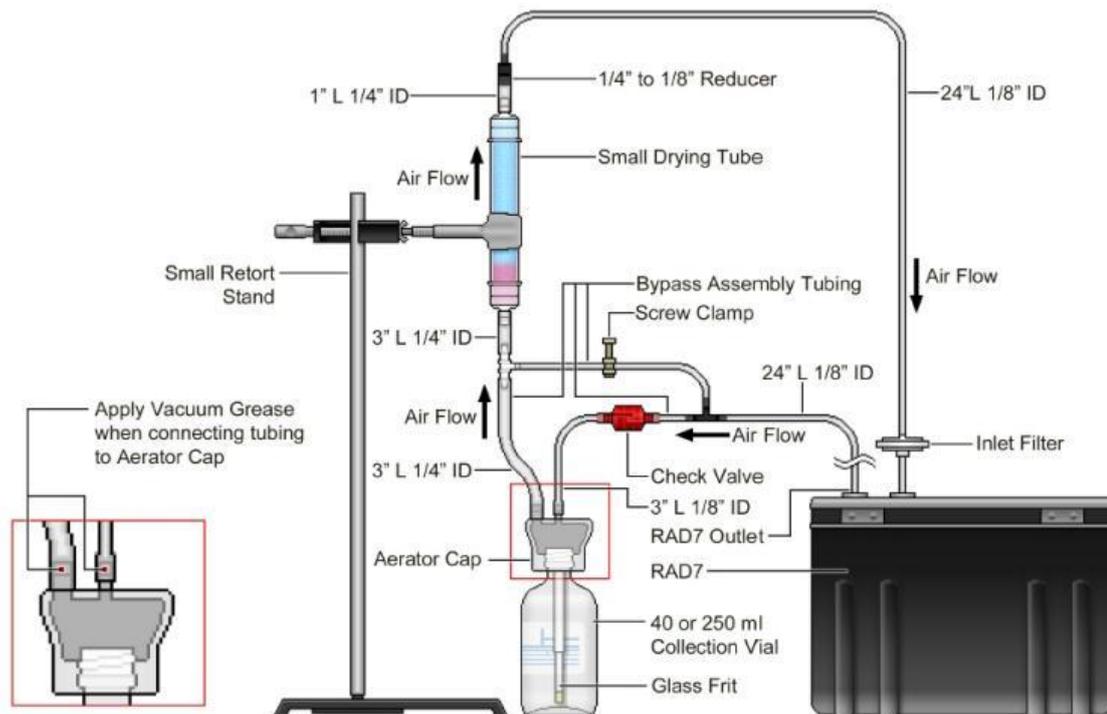


Figura 6-2. Configuración experimental para la medición de la concentración de actividad de gas radón en muestras de agua.

Fuente: (DURRIDGE Company Inc., 2011)

El monitor RAD 7 establece una configuración predeterminada para el volumen de agua a analizar, en el caso Wat-250 que se puede observar en la Tabla (4-2).

Tabla 4-2: Autoconfiguración de funcionamiento para el Protocolo Wat-250

Ciclo	Reciclo	Método	Torón	Bomba	Tono	Formato	Unidades
00:05	04	Wat250	Off	Auto	Off	Corto	Bq/m ³

Fuente: (DurrIDGE, 2018)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

El aire recircula a través del agua y continuamente extrae el radón hasta que el sistema alcanza un estado de equilibrio en aproximadamente 5 minutos, después de los cual no se puede extraer más radón del agua. La eficiencia de extracción del sistema de desgasificación es del 99% para muestras de 40 ml y 94% para muestras de 250 ml (DurrIDGE, 2018).

La Tabla (5-2) enumera la información de desintegración alfa de radón-222 y sus productos de desintegración con su respectiva energía, en cual se basa el detector de silicio semiconductor y los canales de detección para las diferentes ventanas, logrando determinar la concentración de radón-222 en las muestras de agua.

Tabla 5-2: La desintegración alfa de radón-222 y sus progenies

Radionúclido	Vida Media	Energía de la partícula alfa emitida
Rn ²²²	3.82 d	5.5 MeV
Po ²¹⁸	3.05 m	6.00 MeV
Po ²¹⁴	164 μs	7.69 MeV

Fuente: (DurrIDGE, 2018)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

Monitor RAD 7

El monitor RAD 7 fabricado por DurrIDGE Company Inc. (ver Figura 7-2), es un detector de radón portátil, que tiene incorporado un detector de estado sólido de silicio, una cámara de electrodeposición y una bomba interna.

Al paso de una partícula ionizante por la zona activa del detector genera pares de electrón-hueco por la ionización de los átomos, desplazándose estos portadores en direcciones opuestas según el campo eléctrico en el semiconductor, generando un pulso eléctrico. El tamaño del pulso generado depende de la energía de las partículas detectadas.

La principal ventaja de este detector es su capacidad espectrométrica, que permite distinguir entre los distintos isótopos del radón y su progenie. Es robusto frente a golpes y vibraciones. También

es destacable su rapidez de recuperación tras una medida. En las Tabla (6-2) y Tabla (7-2) se detallan las especificaciones consideradas relevantes por el fabricante.



Figura 7-2. Monitor RAD 7 (DurrIDGE Company Inc.)

Fuente: (DurrIDGE, 2018)

Tabla 6-2: Especificaciones generales del monitor RAD 7

Modos de operación	<ul style="list-style-type: none"> • SNIFF Medición de radón de recuperación rápida. • AUTO Cambio de SNIFF a NORMAL después de tres horas. • THORON Radón y torón son medidos simultánea e independiente. • Análisis de GRAB del aire “tomado” de una muestra discreta. • Análisis automático WAT de muestras de agua con el accesorio opcional RAD-H₂O.
Mediciones	Medición de radón y torón en el aire, agua, materiales, suelo y superficies duras con los accesorios opcionales: RAD-H ₂ O y Big Bottle RAD-H ₂ O, RAD AQUA, Water Probe y DRYSTIK.
Almacenamiento de datos	1000 registros, cada uno con 23 campos de datos. El registro de salida de la impresora también se almacena, incluidos los promedios y el espectro.
Bombeo de muestra	Bomba incorporada, tasa de flujo típicamente 800 ml/min

Fuente: (DurrIDGE, 2018)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

Tabla 7-2: Especificaciones técnicas

Principio de funcionamiento	<p>Colección electrostática de emisiones alfa con análisis espectral.</p> <p>Detector de silicio plano implantado de iones pasivos.</p> <p>El modo sniff y normal cuenta las desintegraciones de Po-218 y Po-214</p>
Bomba de aire incorporada	<p>Caudal nominal de 1 l/min</p> <p>Conectores de entrada y salida</p>

Sensibilidad nominal	Modo SNIFF, 0.25 cpm/(pCi/L), 0.0067 cpm/(Bq/m ³) Modo NORMAL, 0.5 cpm/(pCi/L), 0.013 cpm/(Bq/m ³)
Rango de concentración de radón	0.1 – 20.000 pCi/L (4.0 – 750.000 Bq/m ³)
Rango de funcionamiento	Temperatura: 32° - 113 °F (0° - 45 °C) Humedad: recomendable <10% para medidas más precisas
Radiación de fondo intrínseca	0.005 pCi/L (0.2 Bq/m ³) o menos, durante la vida útil del instrumento

Fuente: (DurrIDGE, 2018)

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

La capacidad de convertir la energía de la radiación alfa del radón y sus descendientes en una señal eléctrica directamente proporcional a su energía permite hacer espectrometría con este detector. El rango de energía que abarca el espectro del RAD 7 es de 2 a 10 MeV. Dispone de ocho ventanas para distinguir entre los diferentes hijos del radón y torón, por tanto, distinguir entre las concentraciones de estos isótopos. Para ello divide la escala en 200 canales de 0.05 MeV de anchura (Tan y Xiao, 2014: pp. 1-3). En la Figura (8-2) izquierda se muestra un ejemplo de espectro alfa proporcionado por el equipo, y a la derecha una imagen de la estructura interna del monitor.

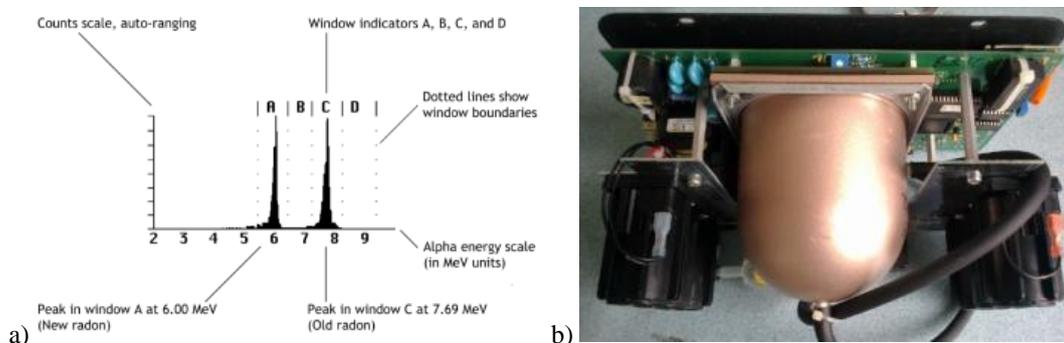


Figura 8-2. a) Ventanas para la espectrometría alfa del radón y su progenie. b) Estructura interna del RAD 7 (la cúpula en el centro de la imagen es el hemisferio interno).

Fuente: a) (DurrIDGE, 2018), b) (Tan y Xiao, 2014)

La impresora infrarroja que DurrIDGE provee junto al RAD 7, imprime automáticamente los valores de concentración y el espectro resumido que el equipo da como salida. El equipo puede funcionar alimentado por la red eléctrica o con baterías internas que le proporcionan una autonomía de 72 horas. La empresa además proporciona un software llamado CAPTURE para la comunicación y análisis de los resultados que, a través de una conexión USB, permite el acceso a los datos adquiridos por el equipo.

2.4 Procedimiento experimental para evaluar radio-226 usando la técnica emanométrica con RAD 7

Mediante la técnica emanométrica se evaluó las concentraciones de radón-222 de las muestras de agua el mismo día que se realizó el muestreo, luego se sellaron y guardaron las muestras en el frigorífico para una nueva medición trascurrido 10 días de la primera, en base a este resultado se calculó la concentración de radio-226 de las muestras de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá. El procedimiento experimental consta de las siguientes etapas:

- a) Se ensambla el kit RAD-H₂O al monitor RAD 7 formando un circuito cerrado, como se muestra en la Figura (6-2).
- b) Antes de realizar una medición, el RAD 7 debe estar libre de radón y seco. Para lograr esto, se debe purgar durante unos 10 minutos. Encendemos el RAD 7 y pulsamos [MENÚ], [ENTER], luego [→] cuatro veces, en este momento se debería apreciar en la pantalla LCD: Test Purge, pulsamos [ENTER] y la bomba iniciará el secado. Concluido los 10 minutos, presione el botón de [MENÚ], presione [ENTER] dos veces para ir a la ventana de estado y presione el botón [→] dos veces para ver la humedad relativa. Si aún no es menor al 10%, inicie de nuevo el procedimiento de purga. Para conservar el desecante, después de los primeros 10 minutos, puede conectar la salida del RAD 7 a la entrada de la unidad de secado del laboratorio, formando así un circuito cerrado.
- c) Colocar la impresora entre las líneas verdes, ubicadas en la placa frontal del RAD 7, revisando que cuente con todos los recursos (baterías y papel) o a su vez se puede esperar para un análisis posterior en la PC mediante el cable VGA.
- d) Pulsamos [MENÚ], y [←] dos veces, y se verá: *Setup* en la pantalla. Pulse [ENTER] dos veces y aparece *Protocol*, a continuación, pulse repetidamente cualquiera de las teclas de flecha, hasta que vea, en la pantalla: Wat-40 o Wat-250 que depende del vial que se va a utilizar. Pulse [ENTER]. Con *Setup* en la pantalla, pulse [ENTER], luego [→] siete veces, para visualizar *Setup Format* en la pantalla. Pulse [ENTER] y luego use las teclas de flecha para seleccionar *Format: Short*. Pulse [ENTER].
- e) Con *Setup* en la pantalla, [ENTER], y pulse repetidamente cualquier tecla de flecha, hasta que vea en la pantalla: *Units* y elija entre Bq/m³ o pCi/m³. Pulse [ENTER]

- f) Una vez establecidos todos los parámetros y con la impresora encendida. Apagamos el equipo y lo volvemos a encender, la impresora debería imprimir el Setup establecido.
- g) Finalmente, pulse [MENÚ], [ENTER], luego [→] para visualizar *Start Test*, pulse [ENTER] y el equipo iniciará la medición. La bomba funcionará durante cinco minutos para airear la muestra y entregar el radón al RAD 7. 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 RAD 7 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 RAD 7. Todos los datos y el espectro son almacenados en la memoria, y pueden imprimirse o descargarse a una PC en cualquier momento, usando el software Capture.

A manera de ejemplo, la Figura (9-2) muestra el análisis de la muestra CPC01 del pozo subterráneo del cantón Colta, el 10 de noviembre de 2020.



Figura 9-2. Medición de la concentración de radón de la muestra de agua subterránea CPC01 del cantón Colta.

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

- h) El cálculo de la concentración de radio -226 en las muestras de agua se realizó usando la Ecuación (1) (Le et al., 2015: pp. 2-8):

$$C_{Ra} = \frac{C_F}{[1 - e^{-(\lambda_{Rn})(t)}]} C_{Rn} \quad (1)$$

Donde:

C_{Rn} (Bq/m³): Concentración media de actividad de radón-222, determinada transcurrido diez días de la recolección del agua (equilibrio secular).

λ_{Rn} (d^{-1}): Constante de decaimiento del radón-222

C_F : Factor de corrección de fuga y la eficiencia de conteo

C_{Ra} (Bq/m^3): Concentración de actividad de los compuestos de radio-226 que son solubles en el agua y que podría considerarse constante durante el intervalo de tiempo (10 días)

- i) La dosis efectiva anual como resultado de la ingestión de radio-226, se calculó por medio de la Ecuación (2) (Le et al., 2015: pp. 2-8):

$$E_{Ra} = \omega * V_w * C_{Ra} \quad (2)$$

Donde:

E_{Ra} : Dosis efectiva anual ($\mu Sv/año$)

ω : Factor de conversión de dosis por ingestión de radio-226 ($2.8 * 10^{-7} Sv/Bq$)

V_w : Es la tasa de consumo de agua (730 l/año) para un adulto estándar, tomando la misma agua directamente de la fuente

C_{Ra} : Es la concentración media de radio-226 en agua (Bq/l)

- j) La dosis efectiva anual por inhalación de radón-222 en el agua puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación (Bem et al., 2014: pp. 1311):

$$E_{inh} = DFC * C_{Rn} * T * F * t \quad (3)$$

donde:

DFC: Factor de conversión de dosis de radón-222 para inhalación de radón ($22 \times 10^{-9} Sv/Bq h m^{-3}$)

C_{Rn} : Concentración media de radón-222 al día uno (Bq/m^3)

T: Coeficiente de transferencia de radón del agua al aire ($0.1 dm^3/m^3$)

t: Media anual de permanencia indoor (7,000 horas)

F: Factor de equilibrio de los hijos del radón indoor (0.4).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Cuarenta y dos muestras provenientes de las 14 fuentes de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá se analizaron para evaluar la concentración de radón-222 y radio-226, usando la técnica emanométrica con un detector semiconductor de silicio incorporado al monitor RAD 7.

La Tabla (1-3) muestra información sugerida por el literal a) del protocolo de muestreo: temperatura del agua, temperatura ambiente y el fondo gamma del lugar donde se encuentra la fuente, el pH y el oxígeno disuelto en la muestra.

Tabla 1-3: Parámetros fisicoquímicos evaluados en los puntos de muestreo.

No.	FUENTE	Cantón	Temperatura aire °C	Temperatura agua °C	pH	Fondo gamma (μ Sv/h)	Oxígeno disuelto (%)
1	CUNUPOGYO	COLTA	25.10	21.40	7.61	0.163	25.70
2	GUACONA		16.20	14.30	7.57	0.171	-
3	LA COMPAÑÍA - EL MEXICANO		21.50	15.20	7.49	0.166	-
4	EL SAGRARIO 1	PALLATANGA	16.50	14.30	6.72	0.136	82.70
5	EL SAGRARIO 2		20.70	16.50	7.25	0.134	72.40
6	EL SAGRARIO 3		16.80	15.20	7.25	0.135	56.70
7	MILLIGUAYCO 1		15.20	16.50	7.49	0.138	-
8	MILLIGUAYCO 2		15.20	16.50	7.50	0.118	-
9	LAS PALMAS		17.10	16.20	6.80	0.108	-
10	LA MORERA		16.60	18.10	7.30	0.111	-
11	GUARO		17.20	16.30	7.49	0.210	-
12	LUGMAPATA	17.20	16.10	7.20	0.121	-	
13	PLANTA DE TRATAMIENTO	CUMANDÁ	20.80	20.60	7.55	0.091	100.00
14	CHILICAY		20.80	18.70	8.32	0.068	89.00

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

En la Tabla (2-3) se presenta los resultados de la concentración de radón-222 de las muestras tomadas en las 14 fuentes de agua (clasificadas por cantón), medidas pocas horas después del

muestreo, que desde ahora llamaremos *mediciones del día uno*; además se muestra la dosis efectiva anual por inhalación de radón-222 disuelto en el agua, calculada mediante la Ecuación (3). Los valores de concentración de radón-222 están corregidos por un factor que considera el periodo de tiempo transcurrido entre el muestreo y el inicio de la fase de desgasificación.

Tabla 2-3: Concentración de actividad de radón-222 (día uno) y dosis efectiva anual por inhalación de radón-222 presente en el agua.

No.	Fuente	Tipo	Cantón	Código	Concentración de Rn ²²² al día uno (Bq/m ³)	Dosis efectiva anual por inhalación de Rn ²²² (μSv/año)
1	Cunupogyo	subterráneo	COLTA	CPC01	12213.08 ± 209.75	73.92 ± 1,29
				CPC02	11474.91 ± 402.50	68.99 ± 2.48
				CPC03	10864.71 ± 157.50	64.68 ± 0.97
2	Guacona	superficial	COLTA	CVG01	2434.09 ± 144.25	14.72 ± 0.89
				CVG02	2694.76 ± 184.50	16.20 ± 1.14
				CVG03	2629.58 ± 206.50	15.77 ± 1.27
3	La Compañía – El Mexicano	superficial	COLTA	CVC01	2391.53 ± 142.75	14.29 ± 0.88
				CVC02	1964.21 ± 73.50	11.70 ± 0.45
				CVC03	2047.84 ± 110.25	12.14 ± 0.68
4	El Sagrario 1	superficial	PALLATANGA	PVS101	1085.89 ± 34.30	6.48 ± 0.21
				PVS102	811.22 ± 39.71	4.81 ± 0.24
				PVS103	1095.21 ± 19.88	6.47 ± 0.12
5	El Sagrario 2	superficial	PALLATANGA	PVS201	4157.43 ± 390.00	24.64 ± 2.40
				PVS202	4243.32 ± 197.25	24.89 ± 1.22
				PVS203	3866.04 ± 152.00	22.55 ± 0.94
6	El Sagrario 3	superficial	PALLATANGA	PVS301	2477.53 ± 40.83	14.41 ± 0.25
				PVS302	1964.98 ± 43.30	11.37 ± 0.27
				PVS303	2136.16 ± 37.50	12.29 ± 0.23
7	Milliguayco 1	superficial	PALLATANGA	PVM101	1609.33 ± 42.70	9.52 ± 0.26
				PVM102	1781.50 ± 43.30	10.4 ± 0.27
				PVM103	1481.63 ± 165.25	8.69 ± 1.02
8	Milliguayco 2	superficial	PALLATANGA	PVM201	1638.00 ± 118.25	9.55 ± 0.73
				PVM202	1904.87 ± 68.00	11.70 ± 0.42
				PVM203	1801.26 ± 28.75	10.41 ± 0.18
9	Las Palmas	superficial	PALLATANGA	PVP01	7260.35 ± 287.50	44.60 ± 1.77
				PVP02	7582.84 ± 347,50	46.57 ± 2.14
				PVP03	6952.10 ± 78.00	42.69 ± 0.48

10	Morera	superficial	PALLATANGA	MVMR01	2819.21 ± 86.25	17.31 ± 0.53
				MVMR02	3100.70 ± 160.25	19.03 ± 0.99
				MVMR03	3312,09 ± 157.25	20.33 ± 0.97
11	Guaro	superficial	PALLATANGA	PCG01	1301.86 ± 92.75	8.01 ± 0.57
				PCG02	1021.69 ± 77.75	6.28 ± 0.48
				PCG03	1162.14 ± 11.50	7.15 ± 0.74
12	Lugmapata	superficial	PALLATANGA	PVL01	1302.34 ± 92.75	8.01 ± 0.57
				PVL02	1022.02 ± 77.75	6.28 ± 0.48
				PVL03	1162.50 ± 119.75	7.15 ± 0.74
13	Planta de tratamiento	superficial	CUMANDÁ	CuPT01	182.53 ± 53.00	1.08 ± 0.33
				CuPT02	184.80 ± 52.75	1.08 ± 0.32
				CuPT03	184.81 ± 33.50	1.08 ± 0.21
14	Chilicay	superficial	CUMANDÁ	CuR01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
				CuR02	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
				CuR03	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

La Tabla (3-3) ilustra los resultados de la concentración de radón-222 de las muestras de agua, evaluadas diez días después de la primera medición, que desde ahora llamaremos *mediciones del día diez*; además se presenta la *concentración de actividad de radio-226* de cada muestra y la dosis efectiva anual como resultado de la ingesta de radio-226, para un adulto estándar, tomando la misma agua directamente de la fuente.

Tabla 3-3: Concentración de actividad de radón-222 (día diez), radio-226 y dosis efectiva anual como resultado de la ingestión de radio-226 presente en el agua.

CANTÓN (Fuente)	Muestra	Concentración de Rn ²²² al día diez (Bq/m ³)	Concentración de Ra ²²⁶ (Bq/m ³)	DOSIS efectiva anual Ra ²²⁶ (µSv/año)
COLTA Cunupogyo	CPC01	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
	CPC02	245.00 ± 44.00	292.77 ± 52.58	59.84 ± 8.99
	CPC03	175.00 ± 33.50	209.12 ± 40.03	42.74 ± 6.85
COLTA Guacona	CVG01	245.00 ± 33.75	292.77 ± 40.33	59.84 ± 6.90
	CVG02	176.00 ± 33.75	210.32 ± 40.33	42.99 ± 6.90
	CVG03	105.00 ± 33.50	125.47 ± 40.03	25.65 ± 6.85
COLTA La Compañía - El Mexicano	CVC01	105.00 ± 33.75	125.47 ± 40.03	25.65 ± 6.85
	CVC02	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
	CVC03	105.00 ± 17.53	125.47 ± 20.94	25.65 ± 3.58
PALLATANGA El Sagrario 1	PVS101	35.00 ± 0.00	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
	PVS102	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57

	PVS103	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
PALLATANGA El Sagrario 2	PVS201	69.90 ± 20.20	83.53 ± 24.14	17.07 ± 4.13
	PVS202	69.90 ± 35.00	83.53 ± 41.82	17.07 ± 7.15
	PVS203	105.00 ± 33.75	125.47 ± 40.33	25.65 ± 6.90
PALLATANGA El Sagrario 3	PVS301	35.20 ± 17.58	42.06 ± 21.00	8.60 ± 3.59
	PVS302	35.10 ± 17.48	41.94 ± 20.88	8.57 ± 3.57
	PVS303	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
PALLATANGA Milliguayco 1	PVM101	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
	PVM102	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
	PVM103	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
PALLATANGA Milliguayco 2	PVM201	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
	PVM202	105.00 ± 33.50	125.47 ± 40.03	25.65 ± 6.85
	PVM203	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
PALLATANGA Las Palmas	PVP01	141.00 ± 70.25	168.49 ± 83.95	34.44 ± 14.36
	PVP02	211.00 ± 35.25	252.14 ± 42.12	51.54 ± 7.21
	PVP03	105.00 ± 17.55	125.47 ± 20.97	25.65 ± 3.59
PALLATANGA Morera	MVMR01	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
	MVMR02	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
	MVMR03	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
PALLATANGA Guaro	PVG01	210.00 ± 20.13	250.95 ± 24.05	51.29 ± 4.11
	PVG02	157.50 ± 17.48	188.21 ± 20.88	38.47 ± 3.57
	PVG03	105.00 ± 17.48	125.47 ± 20.88	25.65 ± 3.57
PALLATANGA Lugmapata	PVL01	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
	PVL02	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
	PVL03	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
CUMANDÁ Planta de tratamiento	CuPT01	69.90 ± 20.20	83.53 ± 24.14	17.07 ± 4.13
	CuPT02	35.00 ± 17.48	41.82 ± 20.88	8.55 ± 3.57
	CuPT03	52.45 ± 17.48	62.68 ± 20.88	12.81 ± 3.57
CUMANDÁ Chilicay	CuR01	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	CuR02	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
	CuR03	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

3.1 Concentración de actividad media de radio-226, radón-222 y la dosis efectiva anual

Con el propósito de reportar un valor representativo de las tres mediciones de la concentración de radón-222 y radio-226, para cada fuente de agua, se calculó *la media ponderada* de los valores presentados en las Tablas (2-3) (3-3). La Tabla (4-3) muestra la concentración de radón al día uno y la dosis efectiva anual *por inhalación de radón*, en la tercera y quinta columna respectivamente; además, la concentración de radio y dosis efectiva anual *por ingestión de radio*, en la cuarta y sexta columna respectivamente.

Tabla 4-3: Concentración de actividad media de radio-226 y radón-222 y la dosis efectiva anual

No.	CANTÓN (fuente)	Concentración Rn ²²² al día uno (Bq/m ³)	Concentración de Ra ²²⁶ (Bq/m ³)	Dosis efectiva anual (μSv/año)	
				Rn ²²²	Ra ²²⁶
1	COLTA Cunupogyo	11361.92 ± 120.20	159.84 ± 17.46	68.10 ± 0.74	32.67 ± 2.98
2	COLTA Guacona	2555.44 ± 99.56	209.10 ± 23.22	15.40 ± 0.61	42.74 ± 3.97
3	COLTA La Compañía - El Mexicano	2052.22 ± 56.21	125.47 ± 13,87	12.22 ± 0.34	25.65 ± 2.37
4	PALLATANGA El Sagrario 1	1048.38 ± 15.78	41.82 ± 12.05	6.21 ± 0.10	8.55 ± 2.06
5	PALLATANGA El Sagrario 2	4019.73 ± 115.04	92.41 ± 18.56	23.52 ± 0.71	18.88 ± 3.17
6	PALLATANGA El Sagrario 3	2197.70 ± 23.28	41.94 ± 12.07	12.71 ± 0.14	8.57 ± 2.06
7	PALLATANGA Milliguayco 1	1687.25 ± 29.90	41.82 ± 12.06	9.94 ± 0.18	8.54 ± 2.06
8	PALLATANGA Milliguayco 2	1808.43 ± 25.84	88.65 ± 13.85	10.56 ± 0.16	25.64 ± 2.36
9	PALLATANGA Las Palmas	7000.56 ± 73.57	151.48 ± 18.32	42.92 ± 0.45	30.96 ± 3.13
10	PALLATANGA Morera	2963.70 ± 68.39	125.47 ± 12.05	18.19 ± 0.42	25.64 ± 2.06
11	PALLATANGA Guaro	2252.71 ± 68.18	182.60 ± 12.58	13.85 ± 0.42	37.32 ± 2.15
12	PALLATANGA Lugmapata	1142.63 ± 53.34	41.82 ± 12.05	7.02 ± 0.32	8.54 ± 2.06
13	CUMANDÁ Planta de tratamiento	184.30 ± 24.94	60.76 ± 12.59	1.08 ± 0.15	12.42 ± 2.15
14	CUMANDÁ Chilicay	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

En el Gráfico (1-3) se muestra las concentraciones medias de radio-226 y radón-222, detalladas en la Tabla (4-3). El valor más alto de la concentración media de radio-226 correspondió a la

fuente superficial de Guacona del cantón Colta ($209.10 \pm 23.22 \text{ Bq/m}^3$) y el valor bajo el nivel de detección al río Chilicay del cantón Cumandá. En lo que corresponde a los niveles de radón-222 disuelto en el agua, la concentración media más alta se encontró en el pozo subterráneo Cunupogyo del cantón Colta ($11361.92 \pm 120.20 \text{ Bq/m}^3$), mientras que la concentración más baja es cero Bq/m^3 en el río Chilicay, resultados esperados y consistentes con la literatura científica para fuentes subterráneas y superficiales.

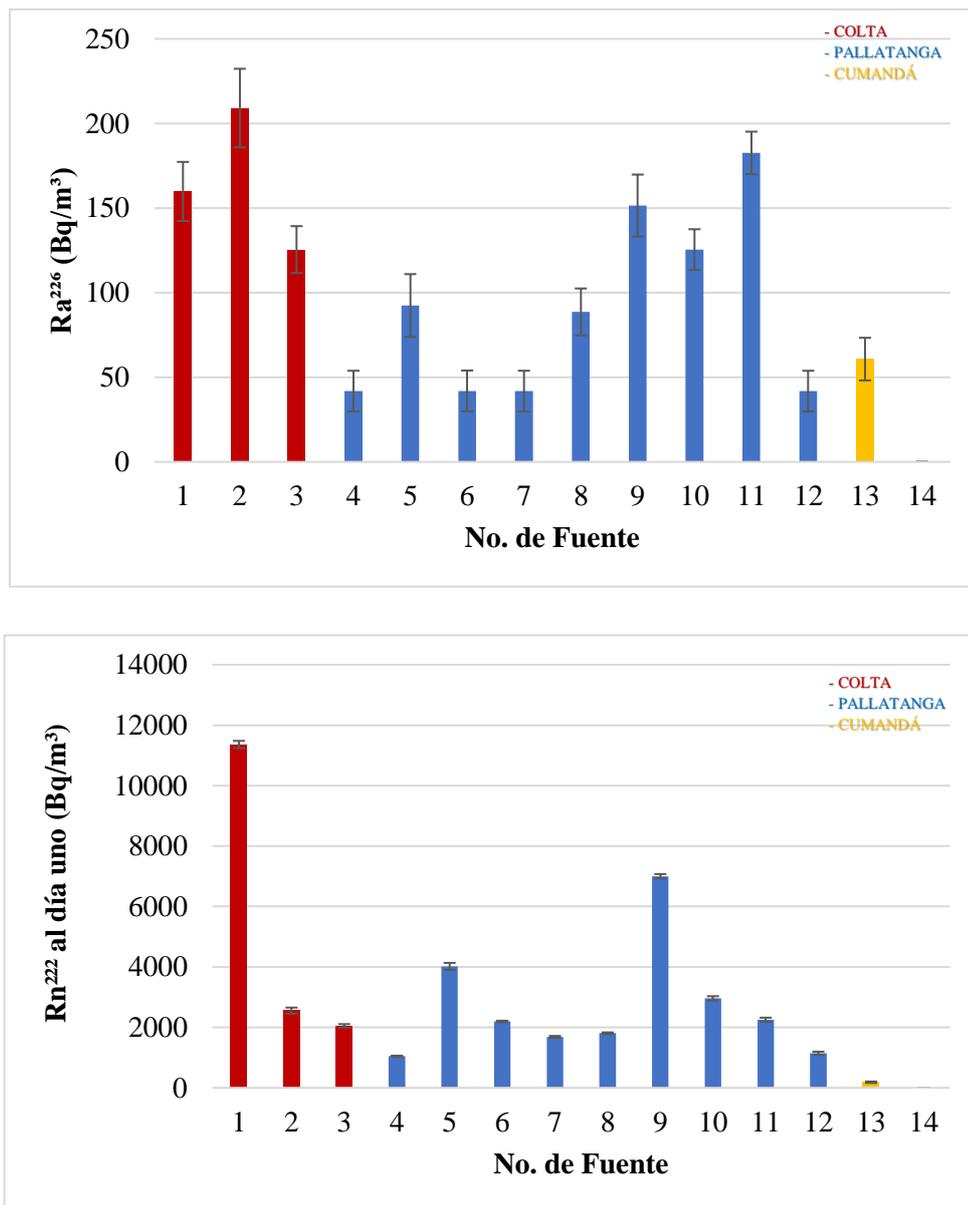


Gráfico 1-3. Arriba: Concentraciones medias de radio-226 de las catorce fuentes estudiadas. **Abajo:** Concentraciones medias de radón-222.

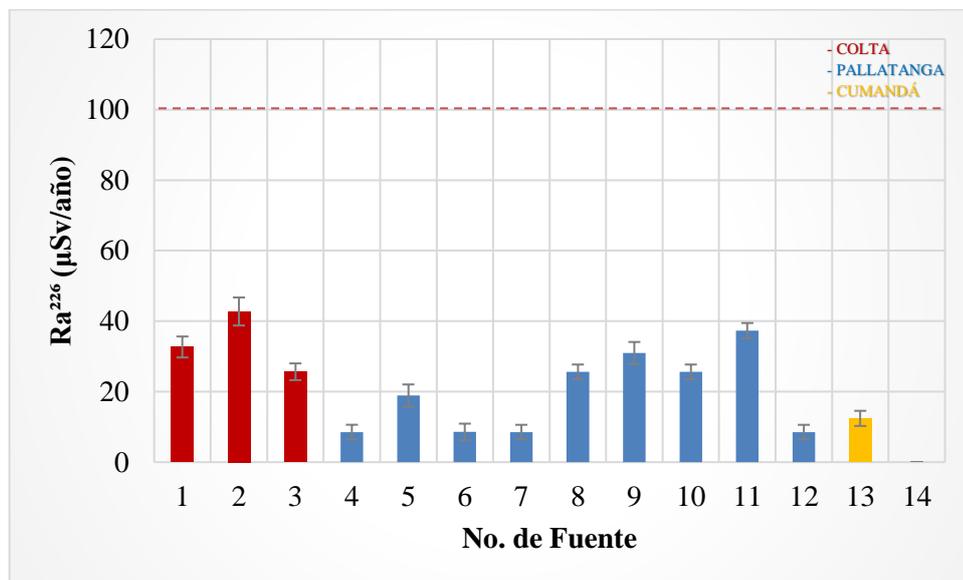
Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

Todas las fuentes estudiadas presentan concentraciones medias de radio-226 inferiores al nivel establecido por la Comunidad Europea (500 Bq/ m³), en la Directiva 2013/51/EURATOM, Anexo III, valor calculado para una dosis de 0.1 mSv, una ingesta anual de 730 litros de agua.

Los resultados de las concentraciones medias de radio-226, obtenidas en la presente investigación para el agua destinada al consumo humano, son similares a los presentados en las publicaciones científicas de países como España, Suecia, Brasil, Alemania, Egipto, entre otros (ver Tabla 6-1).

Para el caso del radón-222 disuelto en el agua, ninguna fuente supera el valor de referencia establecido en la Directiva 2013/51/EURATOM (100 Bq/l).

En correspondencia a los bajos niveles de radón-222 y radio-226 encontrados en las 14 fuentes de agua potable, la dosis efectiva anual *por inhalación de radón* y dosis efectiva anual *por ingestión de radio* son relativamente pequeñas respecto a los valores recomendados por la Comunidad Europea, 1 mSv/año (1000 µSv/año) y 0.1mSv/año (100 µSv/año) respectivamente. Lo antes mencionado se evidencia el Gráfico (2-3); por lo tanto, el uso del agua no presenta un riesgo para la salud de la población de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá.



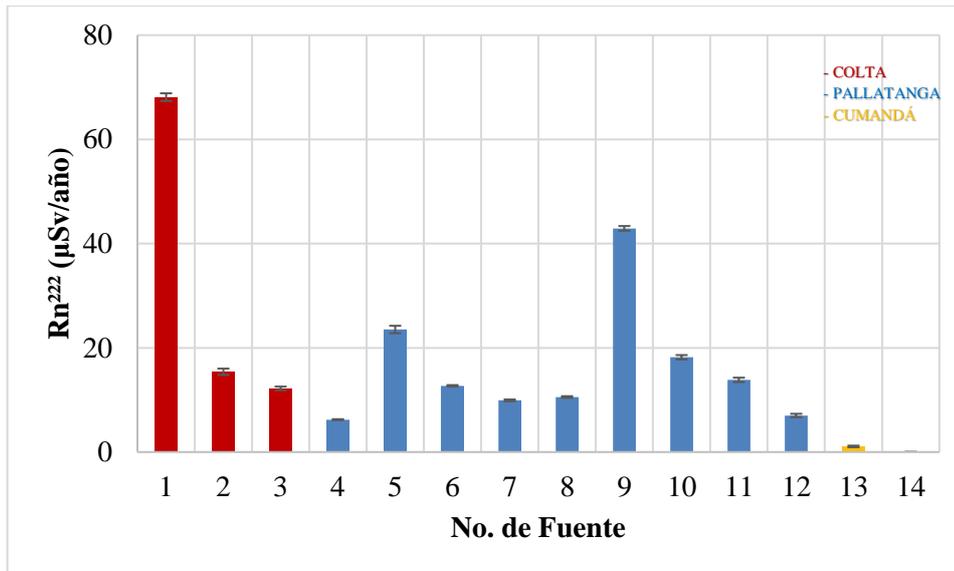


Gráfico 2-3. Arriba: Dosis efectiva anual por ingestión de radio-226 presente en el agua. La línea roja entrecortada representa el MCL de 100 µSv/año.

Abajo: Dosis efectiva anual por inhalación de radón-222 procedente del agua. El MCL es de 1000 µSv/año, sugeridos por la EURATOM.

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

La Gráfica (3-3) muestra el pH de las muestras de agua (ver Tabla 1-3) en función de las concentraciones de radio-226. El pH varía entre 6.72 y 8.32; sin embargo, no se evidencia una relación entre este parámetro y la concentración de radio-226 disuelto en el agua.

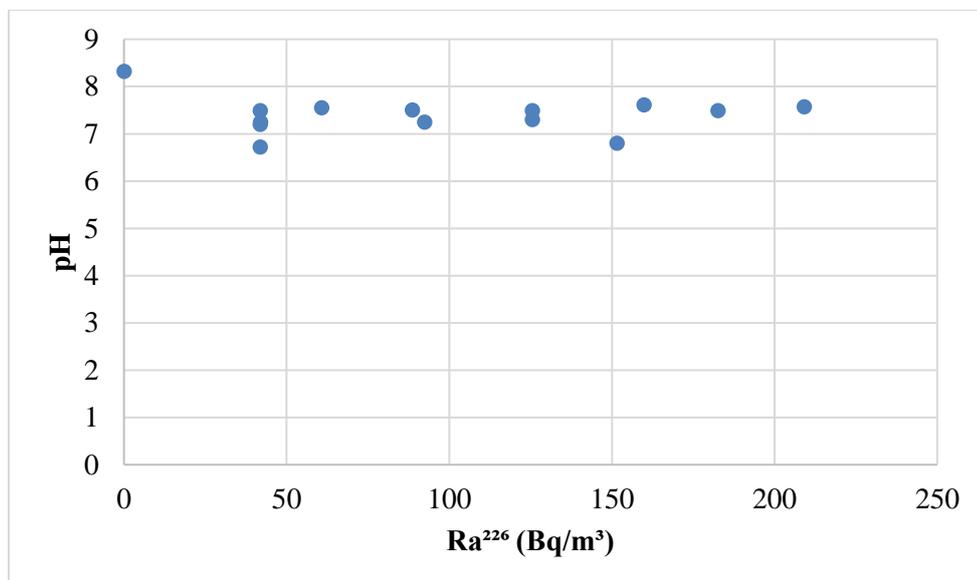


Gráfico 3-3. pH de las muestras colectadas en las diferentes fuentes de agua en función de las concentraciones de radio-226.

Realizado por: Telenchano, Jonatan, 2021

CONCLUSIONES

Antes de empezar este estudio, se reconocía la naturaleza de las fuentes que son suministro de agua potable de los cantones de Colta, Pallatanga y Cumandá, luego de la informada por los GADs, a través de sus técnicos y la exploración en campo, se puede concluir que *el 93 % son de tipo superficial y solo el 7% de origen subterráneo y presentan un pH entre 6.7 y 8.3.*

Los resultados de las mediciones de la concentración de actividad de radio-226, usando la técnica emanométrica con un detector semiconductor de silicio, incorporado al monitor RAD 7, mostraron que *el valor medio más alto corresponde a la fuente superficial de Guacona del cantón Colta ($209.10 \pm 23.22 \text{ Bq/m}^3$) y un valor bajo el límite de detección al río Chiclay del cantón Cumandá.*

El nivel medio más alto de gas radón, evaluado con la técnica emanométrica (RAD 7) se observó en el pozo subterráneo Cunupogyo del cantón Colta ($11361.92 \pm 120.20 \text{ Bq/m}^3$), mientras que la concentración media en el río Chiclay está por debajo del límite de detección, por lo que se puede inferir que *las concentraciones de radón en el agua subterránea son mucho mayores que en el agua superficial.*

El análisis de todos los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, evidencia que *todas las fuentes de agua, destinadas al consumo humano, presentan concentraciones medias de radio-226 y radón-222 inferiores al nivel establecido por la Comunidad Europea, Directiva 2013/51/EURATOM (500 Bq/m^3) y (100 Bq/l) respectivamente.*

En correspondencia a los bajos niveles de radón 222 y radio-226 encontrados en las 14 fuentes de agua potable, la dosis efectiva anual *por inhalación de radón* y dosis efectiva anual *por ingestión* de radio son relativamente pequeñas respecto a los valores recomendados por la Comunidad Europea, 1 mSv/año y 0.1 mSv/año respectivamente, por lo que se concluye que *el uso del agua no presenta un riesgo para la salud de la población de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá.*

RECOMENDACIONES

Lo más importante es no tener la mínima presencia de oxígeno (burbujas) al interior de las botellas para un buen muestreo. Ya que, el monitor RAD 7 se basa en la detección de radón-222 y éste al ser un gas se encapsula en las moléculas de aire del ambiente o las presentes en el agua de la muestra, generando pérdidas de la actividad.

Tener el equipamiento adecuado para los diferentes climas y geologías en donde se realizará el monitoreo, por lo que en ocasiones el acceso a las fuentes fue dificultoso.

Tratar de ser rápidos al momento de acoplar las muestras al sistema de desgasificación para reducir la fuga del gas radiactivo. Manteniendo concordancia en los análisis posteriores, para la determinación de radio-226. Al igual que los parámetros de operación importantes como son la humedad relativa, la temperatura del equipo y de las muestras.

Siempre verificar que los tubos de vinilo que conducen el circuito de aireación no presenten agujeros o fugas. Que estén correctamente conectados, por lo que el monitor contiene en su interior el detector semiconductor de silicio y si tiene contacto con el agua podría producir averías en el equipo.

Se recomienda realizar la evaluación de la concentración de actividad de radio-226 de las 14 fuentes de agua potable los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá con otra técnica a fin de confrontar los resultados obtenidos en este trabajo de titulación.

Se recomienda extender el estudio a otros cantones del Ecuador, especialmente de la Zona 3 que es volcánica y la Zona 7 que es minera.

GLOSARIO

Agua subterránea

Es la porción de agua lluvia que mediante procesos de precipitación se infiltra por la porosidad del terreno hasta encontrar grandes cámaras naturales donde se acumula para poder ser aprovechada como recurso hídrico mediante la perforación de pozos.

Agua superficial

Es el agua resultante de la escorrentía del deshielo de los nevados, afloramiento de aguas subterráneas y los efectos de la precipitación que circula sobre la superficie del suelo.

Dosis efectiva anual

Es la cantidad de radiación que recibe una persona en función de parámetros físicos de la radiación ionizante como el tipo de partícula, el factor de ponderación de la sensibilidad de los órganos y tejidos frente a la radiación, además, de los factores de consumo o permanencia anuales en sitios que puedan incrementar la exposición a fuentes radiactivas.

Radiactividad natural

Es la radiación existen desde la creación del universo, en especial la que se encuentra en materiales bajo el subsuelo y pueden contribuir niveles altos de radiación cuando sufren los procesos de transformación (desintegración) a sus radioisótopos “hijos”.

Radio-226

Es un isótopo radiactivo natural de la cadena de desintegración del uranio-238. Es un emisor alfa puro, beta y gamma que surgen en otros decaimientos. Su importancia recae que al ser ingerido se comporta como material alcalinotérreo depositando su energía alfa sobre el tejido óseo.

Radón-222

Es el gas radiactivo que ha generado atención en la actualidad, ya que al ser inhalado se deposita en los pulmones y sus productos alfa de la desintegración tienen suficiente energía para producir ionización en los tejidos.

Técnica emanométrica

Esta técnica se basa en la desgasificación de radón-222 de la muestra por un flujo de gas inerte o por circulación de aire o vacío, seguida de la detección de partículas alfa mediante varios sistemas de medición.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR).** *Reseña Toxicológica del Radio (en inglés)*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública, 1999, pp. 1-2.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE. IN COLLABORATION WITH: U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR RADIUM*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry U.S. Public Health Service. In collaboration With: U.S. Environmental Protection Agency, no. December, 1990, pp. 8-23.
- ALABOODI, A.; et al.** "Radiological hazards due to natural radioactivity and radon concentrations in water samples at Al-Hurrah city, Iraq". *International Journal of Radiation Research*, vol. 18, no. 1 ISSN 23454229. DOI 10.18869/acadpub.ijrr.18.1.1. (2020), (Iraq) pp. 1-3.
- ALARCÓN, Paula; et al.** "Perfil Territorial del Cantón Pallatanga". [en línea], 2013, pp. 12-14. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/853/1/PerfilterritorialPALLATANGA.pdf>.
- ALHARBI, Wedad; et al.** "Radon Concentrations Measurement for groundwater Using Active Detecting Method". *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* [en línea], 2015, (Saudi Arabia) pp. 2313-4410. [Consulta: 18 octubre 2020]. ISSN (Print) 2313-4410. Disponible en: <http://asrjetsjournal.org/>.
- ALONSO HERNÁNDEZ, Héctor Eulogio.** El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas subterráneas de las Islas Canarias Orientales (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas - España. 2015. pp. 8-10.
- ALTHOYAIB, S.S.; & EL-TAHER, A.** "Natural radioactivity measurements in groundwater from Al-Jawa, Saudi Arabia". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 304, no. 2 (2015), (Saudi Arabia) pp. 1-5. ISSN 15882780. DOI 10.1007/s10967-014-3874-7.
- APPLETON, Donald.** *Chapter 11: Radon in Air and Water*. Geological Survey Contents. S.I.: s.n., 2013. pp. 17-19.
- ARCGIS DESKTOP.** *ArcGIS Desktop | Documentation*, [en línea], [Consulta: 17 febrero 2021]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/>.
- ASHOKKUMAR, P.; et al.** "An improved silicon PIN diode based portable radon monitor". *Indian Journal of Physics* [en línea], 2013, (India) vol. 87, no. 5, pp. 471-477. [Consulta: 24 septiembre 2020] ISSN 09731458. DOI 10.1007/s12648-012-0243-7.

- ATSDR.** "Public Health Statement Radium". Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry [en línea], 1990, (United State of America), pp. 1-4. [Consulta: 30 octubre 2020]. CAS#: 7440-14-4. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/.
- ATTIX, Frank.** *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry* [en línea]. Printed in the Federal Republic of Germany, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 1986. pp.1-3. [Consulta: 3 septiembre 2020]. DOI 10.1002/9783527617135
- BARROS, J.M.** "El radón: ¿riesgo para la salud?", *X Congreso Español y I Iberoamericano de Sanidad Ambiental*, (2016), (España) pp. 27-30.
- BEM, Henryk; et al.** "Radon (222Rn) in underground drinking water supplies of the Southern Greater Poland Region". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 299, no. 3 (2014), (Poland) pp. 1307-1312. ISSN 15882780. DOI 10.1007/s10967-013-2912-1.
- BOLTON, David.** "REPORT OF INVESTIGATIONS NO . 70 OCCURRENCE AND DISTRIBUTION OF RADIUM , GROSS ALPHA-PARTICLE ACTIVITY , AND GROSS BETA-PARTICLE ACTIVITY IN GROUND WATER IN THE MAGOTHY FORMATION AND POTOMAC GROUP AQUIFERS , UPPER CHESAPEAKE BAY AREA , MARYLAND", *Department of Natural Resources MARYLAND GEOLOGICAL SURVEY*, no. 70 (2000), (Maryland) pp. 11-16.
- BURBANO, Napoleón; et al.** "Introducción a la hidrogeología del Ecuador". *Journal of Petrology* [en línea], 2014, (Ecuador), pp. 68-72. [Consulta: 5 noviembre 2020]. ISSN 00223530. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003> <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001> <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.018> <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005> <http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.902757> <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005>
- COMMISSARIAT À ÉNERGIE ATOMIQUE.** "NUCLÉIDE-LARA BIBLIOTHÈQUE DES ÉMISSIONS ALPHA, X ET GAMMA". DIRECTION DE LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE [en línea], 2008, (France), pp. 68-72. [Consulta: 2 octubre 2020]. ISSN 0429-3460 Disponible en: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.
- COMMISSION, I.; et al.** "8. REGULATIONS, ADVISORIES, AND GUIDELINES" , no. IRIS 2012, (2011), (United State of America) pp. 159-164.
- COMMISSION ON LIFE SCIENCES NATIONAL RESEARCH COUNCIL.** "Risk Assessment of Radon in Drinking Water". National Academy of Sciences [en línea], 1999, (Washington, D.C.) pp. 50-59. [Consulta: 13 octubre 2020]. ISBN 0309524741. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/6287.html>
- CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR.** *Constitución del Ecuador Registro Oficial*, no. 20 de Octubre, Ecuador, 2008. ISSN 1098-6596, pp. 24.

- COTHERN, Richard; & REBERS, Paul.** *Radon, Radium and Uranium in Drinking Water*. no.2. Michigan 48118, United State of America: LEWIS PUBLISHERS, 1991. ISBN 9788578110796. pp. 527-560.
- CRAWLEY, R.; et al.** "GEOLOGICAL ENVIRONMENTS OF SANDSTONE-TYPE URANIUM DEPOSITS", *International Atomic Energy Agency*, (1985), (Vienna) pp. 11-16.
- DURRIDGE.** "Electronic Radon Detector" [en línea], 2018, (United State of America) vol. 37, pp. 95. [Consulta: 15 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.durridge.com/documentation/RAD7 Manual.pdf>.
- DURRIDGE COMPANY INC.** "RAD H 2 0 User Manual", no. 978 (2011), (United State of America) pp. 1-29.
- DURRIDGE COMPANY INC.** *DETECTOR DE RADÓN RAD7 Manual del Usuario* [en línea]. United State of America, 2014. [Consulta: 8 septiembre 2020]. Disponible en: www.durridge.com.
- DURRIDGE RADON CAPTURE & ANALYTICS.** *CAPTURE® - DURRIDGE | Raw Radon and Thoron Measurements* [en línea]. United State of America, 2014. [Consulta: 1 marzo 2021]. Disponible en: <https://durridge.com/software/capture/>.
- EL-GAMAL, Hany; et al.** "Determination of natural radionuclides for water resources on the west bank of the Nile river, Assiut governorate, Egypt". *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 2 (2019), (Egypt) pp. 5-7. ISSN 20734441. DOI 10.3390/w11020311.
- EL-TAHER, Atef.** "An overview of instrumentation for measuring environmental radon and radon progeny". *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 37, no. 2 (2018), (Egypt) pp. 40-42. ISSN 15581578. DOI 10.1109/23.106733.
- EURATOM.** "DIRETTIVE 2013/51/EURATOM DEL CONSIGLIO". *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, (2013), pp. 16-21.
- FAKHRI, Yadolah; et al.** "Effective Dose Radon 222 of the Tap Water in Children and Adults People; Minab City, Iran". *Global Journal of Health Science*, vol. 8, no. 4 (2016), (Iran) pp. 234-240. DOI 10.5539/gjhs.v8n4p234.
- FEDERAL REGISTER.** "FEDERAL REGISTER". vol. 65, no. 236 (2000), (United State of America) pp. 76711-76723.
- FERNÁNDEZ, F.; et al.** "NATURAL RADIONUCLIDES IN GROUND WATER IN WESTERN SPAIN". *Radiation protection dosimetry*, vol. 45, no. 1/4 (1992), (Spain) pp. 227-228.
- GAINON, François; et al.** "Conceptual model for the origin of high radon levels in spring waters - The example of the St. Placidus spring, Grisons, Swiss Alps". *Swiss Journal of Geosciences*, vol. 100, no. 2 (2007), (Switzerland) pp. 251-262. ISSN 16618726. DOI 10.1007/s00015-007-1220-6.

- GALÁN LÓPEZ, M.; et al.** "ESTIMATES OF THE DOSE DUE TO 222RN CONCENTRATIONS IN WATER". *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 111, no. 1 (2004), (Spain) pp. 3-7. DOI 10.1093/rpd/nch350.
- GALÁRRAGA SÁNCHEZ, Remigio.** "INFORME NACIONAL SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA EN EL ECUADOR". *Gestion* [en línea]. 2000, (Ecuador), pp. 33-37. [Consulta: 14 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/InEc00100.pdf%0A%0A>.
- GOBIERNO AUNTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CUMANDÁ.** "ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CUMANDÁ" [en línea], 2014, (Ecuador), pp. 21-23. Disponible en: <http://www.nobol.gob.ec/planflotante.html>.
- GOOGLE EARTH.** *Google Earth* [en línea], 2001. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: https://earth.google.com/web/search/1°42%2712%27%27S,+78°47%2732%27%27W/@-1.71201111,-78.77776883,3408.48980545a,5244.9657615d,35y,-167.50580681h,59.99376855t,0r/data=CigiJgokCQMYW3hHNfu_Ed5yl_Fpr_u_GSSI4APmsFPAl edypzoDs1PAMicKJQojCiExMWJJbm9SOGZVVEtTa1oz.
- GORDO-PACHECO, A.S.** "RADIATIVIDAD NATURAL DE LAS AGUAS DE SUMINISTROS PÚBLICOS DE ESPAÑA". *CIEMAT 636*, (1989), (España) pp. 40-43. ISBN 8478340238.
- HANUSA, T.P.** *Radium / Description, Properties, Symbol, Uses, & Facts / Britannica* [en línea], 2019. [Consulta: 17 julio 2020]. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/radium>.
- HASHIM, Abdalsattar; et al.** "Study of Radon and Radium Concentration in Water Samples in Some Regions of Lebanon" نانبل يف قطانملا ضعيف هايملا تانبع يف مويدارلا و نودارلا زيكرات *قيسار*, vol. 12, no. 2 (2014), (Iraq) pp. 212-213.
- HIDROVO CALLE, Damaris Dalila.** DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE EXHALACIÓN MÁXIMO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MÁS USADOS EN EL CANTÓN RIOBAMBA (Trabajo de Titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Física y Matemática. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 11-14.
- IAEA, RADIUM, ENVIRONMENTAL.** "The Environmental Behaviour of Radium : Revised Edition". no. 476 (2014), (Vienna) pp. 128-132.
- IAEA.** "The environmental behaviour of radium". vol. 1, no. 310 (1990), (Vienna) pp. 263-264. ISBN 9201250908.
- IAEA.** *Aguas subterráneas* [en línea], 2010. [Consulta: 24 junio 2020]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/temas/aguas-subterranas>.

- IAEA.** "Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM VI)". *Proceedings of the American Gas Association, Operating Section*, vol. 1, no. March (2015), (Marrakech) pp. 192-197. ISSN 00997250. DOI 10.1201/9780203746042.
- IAEA.** "Gestión Integrada Para La Protección Y Aprovechamiento De Los Recursos Hídricos Subterráneos Por Cuencas". *Proyecto ARCAL CXXXV* [en línea], 2016, (Ecuador), pp. 5-11. [Consulta: 24 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/EPMAPS-Proyecto-RLA-0718.pdf>.
- ICRP.** "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients; PUBLICATION 67", *Elsevier Science Inc.*, vol. 23, no. 3/4 (1993), (USA) pp. 90.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.** "NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección". *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales*, (2001), (España) pp. 4-10.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER.** "Ionizing Radiation, Part II: Some Internally Deposited Radionuclides". *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, vol. 78, (2001), (France) pp. 256-259. ISSN 1017-1606. ISBN 92 832 1278 9
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** "The Environmental Behaviour of Radium". vol. 2, (1990), (Vienna) pp. 300-315. ISBN 9201251904.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** "World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO)". IAEA-TECDOC-1843, Division of Nuclear Fuel Cycle [en línea], 2016, (Vienna), pp. 10-19. [Consulta: 28 octubre 2020]. ISBN 978-92-0-110509-7. Disponible en: [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:World+Distribution+of+Uranium+Deposits+\(UDEPO\)+with+Uranium+Deposit+Classification+2009#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:World+Distribution+of+Uranium+Deposits+(UDEPO)+with+Uranium+Deposit+Classification+2009#0).
- ISAM SALIH, M.; et al.** "Uranium and thorium series radionuclides in drinking water from drilled bedrock wells: Correlation to geology and bedrock radioactivity and dose estimation". *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 102, no. 3 (2002), (Sweden) pp. 249-258. ISSN 01448420. DOI 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006093.
- ISO 13164-3:2013.** *Water quality - Radon-222 - Part 3: Test method using emanometry*, pp. 1-5.
- JOBBÁGY, Viktor; et al.** "A brief overview on radon measurements in drinking water". *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 173, (2017), (Luxembourg) pp. 18-24. ISSN 18791700. DOI 10.1016/j.jenvrad.2016.09.019.
- KAPPKE, Jaqueline; et al.** "Measurements of Radon and Radium Activity in Bottled Mineral Water". *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2013*, (2013), (Brazil) pp. 7-8. ISBN 978-85-99141-05-2

- KIGOSHI, Kunihiko.** "Uranium-234/Uranium-238". *Department of Chemistry*, no. 5 (1971), (Japan) pp. 47-48.
- KRALL, Lindsay; et al.** "Radium isotopes to trace uranium redox anomalies in anoxic groundwater". *Chemical Geology* [en línea], 2020, (Spain) vol. 531, no. January 2019, pp. 1-3. [Consulta: 2 noviembre 2020]. ISSN 00092541. DOI 10.1016/j.chemgeo.2019.119296. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119296>.
- LAURIA, D.C.; et al.** "Behavior of radium, thorium and uranium in groundwater near the Buena Lagoon in the Coastal Zone of the State of Rio de Janeiro, Brazil". *Environmental Geology*, vol. 47, no. 1 (2004), (Brazil) pp. 11-19. ISSN 09430105. DOI 10.1007/s00254-004-1121-1.
- LE, Cong Hao; 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* [en línea], 2015, (Vietnam) vol. 105, pp. 6-10. [Consulta: 4 octubre 2020]. ISSN 18729800. DOI 10.1016/j.apradiso.2015.08.033. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.08.033>.
- LEOPOLD, Luna.** "Reversal of Erosion Cycle and Climatic Change". *Quaternary Research*, vol. 562, (1976), (California) pp. 557-562.
- LLERENA CRISTOBO, Juan José.** MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS ^{222}Rn EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS (Trabajo de Titulación) (Diplomado). Universidad de Santiago de Compostela, Física, Galicia-España. 2006. pp. 7-13.
- LNE-LNHB/CEA.** "Table de Radionucléides Ra 226". *NUCLÉIDE-LARA* , vol. 138, no. 20 (2007), pp. 1-6.
- LOCHARD, J.; et al.** "Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency". *Elsevier Science Inc.* vol. 38, no. 3, (2009), (Sweden) pp. 24-41. ISBN 9780203772140.
- MARUSIA RENTERÍA VILLALOBOS, M.C.** Modelo conceptual de las concentraciones de uranio en agua superficial y subterránea en la zona de San Marcos-Sacramento (Trabajo de Titulación) (Doctorado). Centro de Investigación en Materiales Avanzados. S. C. Chihuahua-México. 2007. pp. 20-26.
- MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH.** "Frequently Asked Questions : Health Effects of Radium Radiation Exposure". *Bureau of Environmental Health*, (2017), (USA) pp. 1-2.
- MEER.** *Documento-Acuerdo_ 283_NORMA TECNICA GESTION DESECHOS RADIATIVOS.pdf*. Quito-Ecuador: Acuerdo Ministerial 238, 2007, pp. 26-37

- MENDOZA RODRÍGUEZ, Edgar Fabián.** Determinación de ^{232}Th , ^{238}U y ^{40}K en suelos de diferentes zonas de Colombia a través de espectroscopía de rayos gamma (Trabajo de Titulación) (Grado). Universidad Industrial de Santander, Ciencias, Química. Santander-Colombia. 2009. pp. 1-9.
- MILES, J.** *Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters: BEIR IV.* Washington, DC.: National Academy Press, 1988. ISBN 9780309037976, pp. 176-184.
- NEA & IAEA.** *Uranium 2016: Resources, Production and Demand- Executive Summary* [en línea]. Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency, 2016. [Consulta: 4 noviembre 2020]. pp. 45-47. Disponible en: <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2017/7388-uranium-2016-es.pdf>.
- NUCLÉIDE - LARA.** *Library for gamma and alpha emissions.* [en línea], 2017. [Consulta: 22 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.nucleide.org/Laraweb/index.php>.
- OFFIELD, T.W.** *U.S. Geological Survey Uranium and Thorium Resource Assessment and Exploration Research Program.* United States: Department of the Interior, 1980. pp. 13-22.
- ORTEGA ARAMBURU, M.; & JORBA BISBAL, J.** *Las Radiaciones Ionizantes: Utilización y Riesgos* [en línea]. España: Edicions UPC. 1996. ISBN 8483011700 9788498802672. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2099.3/36551>.
- OSMOND, J.K.; & COWART, J.B.** "U-Series Nuclides as Tracers in Groundwater Hydrology". *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*, no. 1968 (2000), (USA) pp. 145-173. DOI 10.1007/978-1-4615-4557-6_5.
- PESÁNTEZ ANDRADE, Rossy Adriana.** Evaluación de los niveles de Ra-226 en agua, en el tejido muscular y órganos de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoíris), macroinvertebrados de los ríos Irquis y Portete, Azuay- Ecuador (Trabajo de Titulación) (Grado). [en línea] Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2019. pp. 78-97. [Consulta: 8 septiembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16628/1/UPS-CT008063.pdf>.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.** "Reglamento de seguridad radiológica". vol. 1, no. 6 (1979), (Ecuador) pp. 2-6. ISSN 02730979. DOI 10.1090/S0002-9904-1936-06275-0.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.** *D_399_Nuevo_Mandato_20180415174059.Pdf.* Quito-Ecuador, 2018. pp. 5-7.
- REINO MOYÓN, Segundo Javier.** Estudio de las aguas subterráneas de la ciudad de Riobamba y sus zonas de influencia: Línea Base (Trabajo de Titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2013. pp. 103-105.

- RODRÍGUEZ CARPIO, José Ramiro.** CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE RADÓN (^{222}Rn) Y RADIO (^{226}Ra) APLICANDO LA TÉCNICA DE CENTELLEO LÍQUIDO EN AGUAS TERMALES DEL CERRO PACHO, LAGO DE COATEPEQUE, DEPARTAMENTO DE SANTA ANA (Trabajo de Titulación) (Posgrado). Universidad de El Salvador, Multidisciplinaria de Occidente, Química. Santa Ana-El Salvador. 2013. pp. 35-45.
- ROMERO OJEDA, José Vicente.** USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN DE VILLA LA UNIÓN CAJABAMBA, CANTÓN COLTA (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Central del Ecuador, Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Instituto de Investigación y Posgrado. Quito-Ecuador. 2013. pp. 11-13.
- SAYATO, Yasuyoshi.** *WHO Guidelines for Drinking-Water Quality*. Genève-Switzerland: Recommendations, 1989. pp. 198-206. ISSN 0013273X. DOI 10.1248/jhs1956.35.307.
- SHABANA, E.S.; et al.** "Evaluation of Radiation Hazards Due to Mining Activities in Al Jalamid Mining Area, North Province, Saudi Arabia". *Arabian Journal for Science and Engineering* [en línea], 2019, (Saudi Arabia) vol. 44, no. 10, pp. 8799-8804. ISSN 21914281. DOI 10.1007/s13369-019-03840-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03840-8>.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN DE RIESGOS.** *Radionuclides (including Radon, Radium and Uranium)*. USA, 2000, pp. 1-5.
- SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA.** *Uranio 238* [en línea], 2010. [Consulta: 13 junio 2020]. Disponible en: <https://www.sne.es/es/recursos/diccionario-de-terminos-nucleares/uranio-238>.
- SOWBY, F.D. (ed.).** "Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation". *Pergamon Press*, vol. 6, no. 1 (1983), (USA) pp. 2-3. ISSN 01466453. DOI 10.1016/0146-6453(81)90127-5.
- STURCHIO, N.C.; et al.** "Radium geochemistry of ground waters in Paleozoic carbonate aquifers, midcontinent, USA". *Pergamon*, vol. 366, no. 8315 (1999), (USA) pp. 116-119. ISSN 00130613.
- SURVEY, M.** "SURVEY NOTES STAFF". *J. Stringfellow*, vol. 22, no. 4 (1988), (United States of America) pp. 3-8.
- TABLA PERIÓDICA 0.2. 108.** *Tabla Periódica* [en línea]. 2016. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <https://periodic-table.tech/es.php>.
- TAN, Y.; et al.** "Research on the lower detection efficiency of the RAD7 for ^{220}Rn than for ^{222}Rn ". *Journal of Instrumentation*, no. June (2014), (China) pp. 1-3. DOI 10.1088/1748-0221/9/06/T06001.

- TODOROVIC, Natasa; et al.** "Public exposure to radon in drinking water in SERBIA". *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], 2012, (Serbia) vol. 70, no. 3, pp. 543-549. [Consulta: 19 octubre 2020]. ISSN 0969-8043. DOI 10.1016/j.apradiso.2011.11.045. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.11.045>.
- TREVIÑO DÍAZ, Josue.** DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ALFA DEBIDA AL RADÓN-222 Y A SUS DESCENDIENTES, EXISTENTE EN EL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, Y SU ÁREA METROPOLITANA (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Ciencias Físico Matemáticas, Estudios de Posgrado. Monterrey-México. 1993. pp. 48-49.
- TRIOLA, Mario. F.** *ESTADÍSTICA*, México: Pearson, 2009, pp. 84-86. ISBN 9789702612872.
- UNSCEAR.** *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. New York-USA: United Nations, 1993, pp. 33-39. ISBN 9211422000.
- UNSCEAR.** *Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes*. New York-USA: United Nations, 2000, pp. 110-124. ISBN 92-1-142238-8.
- UNSCEAR.** *EFFECTS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2006 Report - Annex E* [en línea]. vol. 2, USA: United Nations, 2006, pp. 309-310. ISBN 9789211422702. Disponible en: http://www.unscear.org/docs/publications/2006/UNSCEAR_2006_Annex-E-CORR.pdf.
- URANIUM, PLUTONIUM, AND RADIUM.** *Uranium Plutonium, and Radium*. Journal of the Franklin Institute. Pensilvania-USA, 1913. pp. 432-434.
- US EPA ARCHIVE DOCUMENT.** *Technical Fact Sheet : Proposed Radon in Drinking Water Rule*. United States of America: Publication, 1999, pp. 2-4.
- VESTERBACKA, P.; et al.** "Activity concentrations of 226Ra and 228Ra in drilled well water in Finland". *Radiation protection dosimetry* [en línea], 2006, (Finland) vol. 121, no. 4, pp. 406-412. [Consulta: 28 septiembre 2020]. ISSN 0144-8420. DOI 10.1093/rpd/nc1067. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/rpd/nc1067>.
- VOLCHOK, Herbert L.; & KULP, J. Laurance.** "The ionium method of age determination". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 11, no. 4 (1957), (New York) pp. 220-223. ISSN 00167037. DOI 10.1016/0016-7037(57)90096-0.
- WALLNER, G.; & STEININGER, G.** "Radium isotopes and 222Rn in Austrian drinking waters". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 274, no. 3 (2007), (Austria) pp. 511-516. ISSN 02365731. DOI 10.1007/s10967-006-6939-4.

WHO. "Radon and health". *The Lancet*, vol. 337, no. 8738 (2002), pp. 409-413. ISSN 01406736. DOI 10.1016/0140-6736(91)91177-V.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). "Guidelines for Drinking-water Quality". *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, vol. 4, (2011), (Switzerland) pp. 206-211. ISSN 1871756X. DOI 10.1007/978-1-4020-4410-6_184.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *Materiales radiactivos de origen natural NORM - Asociación Nuclear Mundial* [en línea], 2020. [Consulta: 28 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/naturally-occurring-radioactive-materials-norm.aspx>.

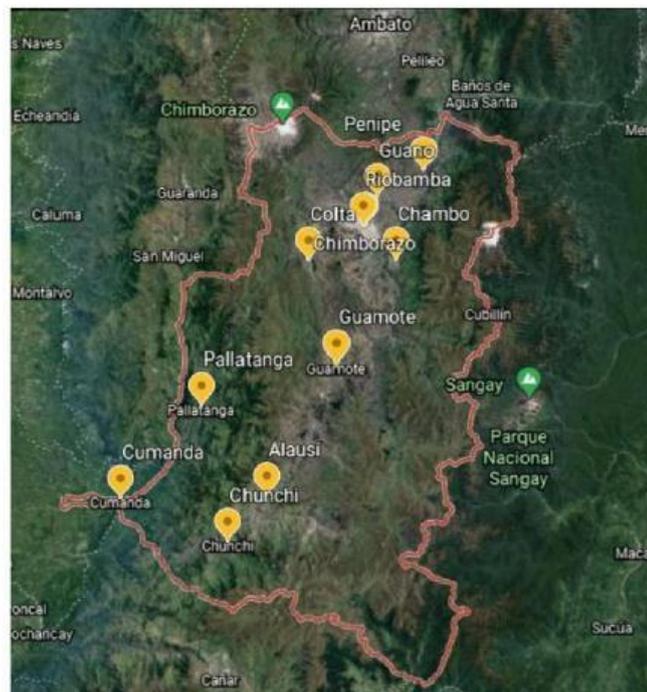
ANEXOS

ANEXO A: Catálogo de las fuentes de agua suministrados de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá



EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

CATÁLOGO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO MONITOREADAS EN EL AÑO 2020



Elaborado por:
CARMEN DRE
ORDÓÑEZ



"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

VERTIENTES GUACONA

Los ríos que se presentan en la zona de estudio son: el río Sicalpa que es tributario del río Cajabamba, este último desemboca en el río Chibunga. Las quebradas más importantes son, de Norte a Sur; Q.Yacupamba, Q. Pisuray, Q. Bellavista, Q. Miraflores, Q. Yacuhaycu. Los tipos de drenaje identificadas son paralelos y dendríticos.

Se establece por tratarse de sedimentos aluviales y de terrazas, estamos en presencia de un suelo tipo canchagua correspondiente a materiales de baja consistencia, ligeramente expansivos semipermeables a media plasticidad y medio porcentaje de humedad y escorrentía.

El sector de Guacona se encuentra ubicado a una latitud de $1^{\circ}43'22''S$ y longitud $78^{\circ}47'31''W$, cuenta de cinco captaciones; son estructuras de hormigón, losa de tapa de hormigón armada, teniendo una boca de visita con tapa metálica de seguridad. Las dimensiones de estas captaciones son bastante grandes.

En la imagen de la derecha se observa la unidad de captación Guacona, que sirve para captar agua para uso humano y para riego, con un caudal de 8,67 l/s que posteriormente guiado a la planta Villa La Unión.



DATOS DE CAMPO:

La radiactividad medida en el punto de muestreo fue de 0,171 uSv/h.

Los parámetros fisicoquímicos fueron los siguientes valores:

Temp. aire ($^{\circ}C$): 16,2
Temp. agua ($^{\circ}C$): 14,3
pH: 7,39



EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

CAPTACIÓN LA COMPAÑÍA - EL MEXICANO



La fuente de La compañía - El Mexicano ubicada en la longitud $78^{\circ}47'32''W$ y latitud $1^{\circ}42'12''S$, cuenta con cinco captaciones de estructuras similares a las del sector Guacona y posee un caudal aproximado de 2.68 l/s funcionando hasta la fecha. No disponen de cámara de válvulas. La expansión de sembríos está casi sobre estas captaciones, lo que perjudica el rendimiento de las fuentes, no hay franjas protectoras artificiales ni naturales.

Debido a su ubicación geográfica los sedimentos corresponden a arcillas, tobas y cenizas volcánicas pelíticas alternadas irregularmente en capas finas perfectamente estratificadas y dispuestas casi horizontalmente. Son suelos fuertemente erosionados con afloramiento de cangahua, el pH es ligeramente ácido.

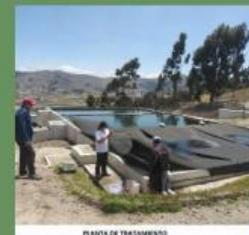
FUENTE: Documentación del GAD COLTA

DATOS DE CAMPO:

El fondo gamma medido en el punto de muestreo fue de 0.166 $\mu Sv/h$.

Los parámetros fisicoquímicos in-situ fueron los siguientes valores:

Temp. aire ($^{\circ}C$): 21.5
 Temp. agua ($^{\circ}C$): 14.2
 pH: 7.52





"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

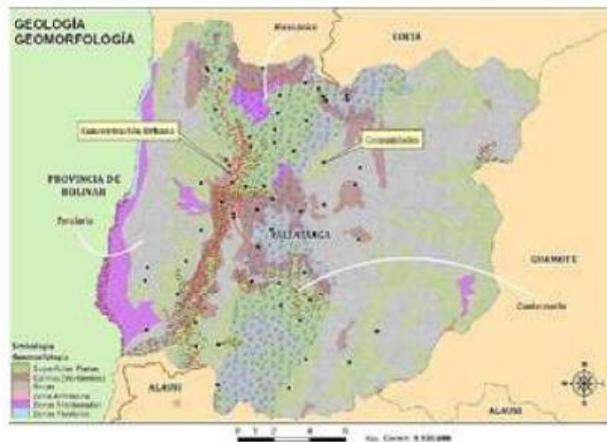


IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

PALLATANGA

Pallatanga es un cantón de la provincia de Chimborazo ubicado al Suroeste, longitud $78^{\circ}57'00''W$ y latitud $1^{\circ}59'00''S$, su extensión territorial aproximadamente es de 377 km^2 , posee una población de 12 mil habitantes. Está atravesado por varias cadenas montañosas que son prolongaciones o ramales de la cordillera de los Andes. Esta ciudad tiene un nuevo sistema de agua potable que entró en funcionamiento en el año 2004 por lo que el sistema se encuentra en buen estado, a saber que el material de conducción es de PVC que tiene una vida útil de 20 años. En lo relacionado al abastecimiento de agua en el sector urbano se tiene un total de 1041 viviendas.



Por su ubicación geográfica a 1.285 msnm presenta sobre la falla geológica donde presenta una zona eminentemente de alto riesgo, particularmente de deslaves, inundaciones, incendios forestales, sismos entre otros. Sin embargo ha permitido que se cultiven productos como cereales, gramíneas, leguminosas, herbáceas, tubérculos tanto de la costa como de la sierra permitiendo un beneficio económico para el cantón. Se observa bosques densos de arbustos, árboles maderables, y esbeltas palmeras que se destacan en el paisaje.

CARACTERÍSTICAS:

El clima de Pallatanga es Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo y de alta montaña, su temperatura media es de $18.5^{\circ}C$, la precipitación anual fluctúa entre los 500 y 100 mm.

Las tres fuentes de captación para el abastecimiento de agua de la ciudad de Pallatanga, proporcionan un caudal de 50.28 l/s para ser tratada, pero en épocas de verano (estiaje) el caudal se reduce a 23 l/s. La capacidad de almacenamiento es de 265.00 m^3 .





"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



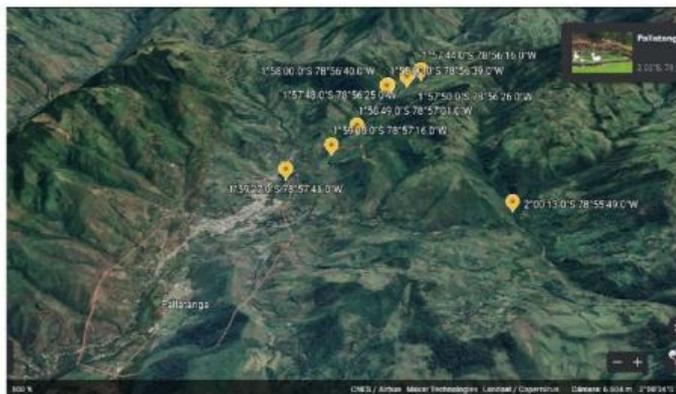
IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

Las fuentes con las que cuenta el cantón Pallatanga para el suministro de agua potable para la población son de tipo vertiente y forman las tres redes de distribución que son: red Lugmapata, red La Morera y red La Florida. Las mismas que abastecen alrededor de 15 sectores de la fracción urbana del cantón, son estructuras de hormigón y losa de tapa de hormigón armado que fueron creadas la mayoría en 2006 con excepción de Lugmapata que fue creada en 1982.

A continuación se presenta una Tabla de las fuentes de agua suministros de agua potable del cantón Pallatanga, así como una representación de su ubicación:

ITEM	VERTIENTE	COORDENADAS		CAUDAL (l/s)
		LATITUD	LONGITUD	
1	El Sagrario 1	1°57'44"S	78°56'16"W	2.92
2	El Sagrario 2	1°57'48"S	78°56'25"W	1.35
3	El Sagrario 3	1°57'50"S	78°56'26"W	3.95
4	Milliguayco 1	1°58'0"S	78°56'40"W	3.50
5	Milliguayco 2	1°58'0"S	78°56'39"W	4.80
6	Las Palmas	1°58'49"S	78°57'1"W	2.38
7	La Morera	1°59'27"S	78°57'41"W	2.90
8	Guaro	2°0'13"S	78°55'49"W	15.09
9	Lugmapata	1°59'8"S	78°57'16"W	4.76
			CAUDAL TOTAL	50.28



PUNTE Documento del GAD PALLATANGA

DATOS DE CAMPO:

El fondo gamma medido en el Item 1: El Sagrario 1 (ver imagen inferior) de muestreo fue de 0.136 uSv/h.

Los parámetros fisicoquímicos in-situ fueron los siguientes valores:

Temp. aire (°C): 16.8
Temp. agua (°C): 15.2
pH: 7.25





"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO



IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

DATOS DE CAMPO:

Item 2: Vertiente El
Sagrario 2

Fondo gamma (uSv/h):
0,134

Temp. aire (°C): 20,7
Temp. agua (°C): 16,5
pH: 7,31



Item 3: Vertiente El
Sagrario 3

Fondo gamma (uSv/h):
0,135

Temp. aire (°C): 16,8
Temp. agua (°C): 15,2
pH: 7,48



Item 4: Vertiente
Milliguayco 1

Fondo gamma (uSv/h):
0,138

Temp. aire (°C): 15,2
Temp. agua (°C): 16,5
pH: 7,28





"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO



IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

Item 5: Vertiente Milliguayco 2

Fondo gamma (uSv/h): 0.118

Temp. aire (°C): 15.2
Temp. agua (°C): 16.8
pH: 7.25



Item 6: Vertiente Las Palmas

Fondo gamma (uSv/h): 0.108

Temp. aire (°C): 17.1
Temp. agua (°C): 16.2
pH: 7.48



Item 7: Vertiente La Morera

Fondo gamma (uSv/h): 0.111

Temp. aire (°C): 16.6
Temp. agua (°C): 18.4
pH: 7.53





"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO



IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

Item 8: Vertientes Guaro

Fondo gamma ($\mu\text{Sv/h}$):
0.210
Temp. aire ($^{\circ}\text{C}$): 17.2
Temp. agua ($^{\circ}\text{C}$): 16.2
pH: 7.24



Item 9: Vertiente Lugmapota

Fondo gamma ($\mu\text{Sv/h}$): 0.121
Temp. aire ($^{\circ}\text{C}$): 17.2
Temp. agua ($^{\circ}\text{C}$): 16.48
pH: 7.54



EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

CUMANDÁ RIO CHILICAY

El cantón Cumanda con su cabecera del mismo nombre está situado en el sur-oeste de la provincia de Chimborazo entre los ríos Chanchán y Chimbo, colindante con la ciudad de Bucay, cabecera del cantón General Elizalde, perteneciente a la provincia del Guayas; se ubica a 156 Km de la ciudad de Riobamba y a 96 Km de Guayaquil. Sus coordenadas geográficas comprenden desde los 79°00' hasta 79°15' de longitud oeste y desde los 02°06' hasta los 02°16' de latitud sur.



Los principales ríos que bañan este cantón son el Chimbo en el sector occidental, el cual nace en el Chimborazo, el Chanchán, con su origen en los páramos de los cantones Alausí y Chunchi. En la cuenca hidrográfica del cerro Curiquinga nacen las quebradas Sacramentos, San Nicolás y Laila, para formar el río San Pablo; las quebradas Soberana y Pallos; el río Charguayacu con sus afluentes Luz María y Jachirón; la quebrada Copalillo; el río Blanco, con sus afluentes El Rosario, Zarurucay y Maillaguán que desembocan en el río Chimbo. En la cuenca hidrográfica de los cerros Achín y Shirín nacen los ríos Azul, Chilicay con sus afluentes Cruz Plata y quebrada Umbría, que desembocan en el Chanchán.

FUENTE: Documentación del GAD CUMANDÁ.

En las Figuras de la izquierda se puede apreciar el río Chilicay, que se encuentra ubicado en el sector Santa Rosa de Suncamal en las coordenadas geográficas 2°14'39"S y 79°4'4"W, el tipo de estructura es de azud-toma caucasuana.

DATOS DE CAMPO:

Fondo gamma (uSv/h):
0,068

Temp. aire (°C): 20,8
Temp. agua (°C): 18,7

El análisis físico-químico de una muestra in-situ del río Chilicay, indica un agua ligeramente alcalina, con un pH de 8,32, una conductividad de 114,7 us/cm y la presencia de oxígeno disuelto de 89%.

A continuación, se presenta una imagen de la planta de tratamiento del cantón Cumandá.





"Saber para ser"
ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



IDI
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

EVALUACIÓN DE ELEMENTOS RADIACTIVOS DE LA SERIE DEL URANIO 238 EN EL AMBIENTE Y PACIENTES CON CÁNCER

Cumandá se sitúa en una altitud muy variable, con alturas que fluctúan entre 135 msnm hasta los 3000 msnm. Dando origen a diversos microclimas en el subtrópico con su respectiva flora y fauna característica, por lo que su temperatura promedio es de 20 °C. La oferta hídrica es de 42 l/s, para el abastecimiento de aproximadamente 6 mil habitantes (2001), información proporcionada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Cumandá (EPMAPSAC). También se encontró una tabla detallada de las fuentes y el tipo de captación que poseen, la encontramos a continuación:

Unidad Hidrográfica	Captación	Recinto	Sector	Propiedad	Tipo de Captación
Drenajes menores	La Delicia Naranjapata	Naranjapata	Naranjapata	Municipal/Comunal	Toma con muros
Drenajes menores	Huargualaco gamalote	Gamalote	Gamalote	Municipal/Comunal	Toma rústica
Drenajes menores	La envidia Bucte	Bucte	Bucte	Privada	Tanque de captación
I. Chilicay	Estero dormido-Chilicay	Naranjapata	Naranjapata	Privada	Toma con muros
I. Chilicay	Chilicay Suncamal	Suncamal	Suncamal	Municipal	Toma rústica
I. Chilicay	Estero dormido-Chilicay	Chilicay	Chilicay	/ comunal	Toma rústica
I. Chilicay	Chilicay-San Martín	Suncamal	Suncamal	Municipal	Toma rústica
II. Chilicay	Hacienda Sta. Rosa	Sta. Rosa	Sta. Rosa	Privada	Toma rústica
I. Azul	Chilicay-Cumandá	Cumandá	Cumandá	Privada	Toma con muros
I. Azul	Estero dormido San Vicente	San Vicente	San Vicente	Privada	Toma con muros
I. Azul	Chilicay-La Manuelita	La Manuelita	La Manuelita	Privada	Toma rústica
I. Azul	Bello Cruz-Sta. Rosa	Santa Rosa	Santa Rosa	Privada	Toma rústica
I. Azul	Estero dormido-San Vicente	San Vicente	San Vicente	Privada	Toma con muros
I. Azul	Bello Cruz-Pail	Pail	Pail	Privada	Toma rústica
I. Azul	Pompea-Lar argentina	Argentina	Argentina	Privada	Tanque de captación
Drenajes menores	La Pompea-San Vicente	San Vicente	San Vicente	Privada	Toma con muros
I. Azul	Ucuman-El guayabo	El Guayabo	El Guayabo	Privada	Tanque de captación
I. Azul	O. Azul-Salve maría	Reservas Cumandá	Salve maría	Privada	Toma rústica
I. Azul	Río azul La Holanda	La Holanda	La Holanda	Municipal/Comunal	Toma rústica
I. Blanco	Agua azul-Salve maría	Reservas Cumandá	Salve maría		Toma rústica
Drenajes menores	La Soledad Miraflores	Miraflores	La Floresta	Municipal/Comunal	Toma rústica
Q. Chahuayacu	Producción Agrícola	Prod. Agrícola	Prod. Agrícola	Municipal/Comunal	Tanque de captación
Drenajes menores	Jicharón-Huallinag	Hualla-nag	Hualla-nag	Municipal/Comunal	Tanque de captación
I. Blanco	Río Chanchan Prod. Agric. La 87	Buenos Aires	Buenos Aires	Privada	Toma con muros
Drenajes menores	Rosa Mercedes-La Victoria	La Victoria	La Victoria	Municipal/Comunal	Tanque de captación
I. Blanco	Río Blanco-Bucay	Bucay	Bucay	Privada	Toma con muros
Drenajes menores	Cumandá sur-Buenos Aires	Buenos Aires	Buenos Aires	Municipal/Comunal	Tanque de captación
I. Blanco	Mallaguan	Bucay	Bucay	Municipal/Comunal	Toma con muros
Q. Chahuayacu	Producción Agrícola-La Unión	La Unión	La Unión	Privada	Tanque de captación
Q. Chahuayacu	Huagal bajo	Huagal bajo	Huagal bajo	Municipal/Comunal	Toma rústica
Drenajes menores	Hda. San Ramón-La 87	La 87	La 87	Privada	Tanque de captación
Drenajes menores	Trasvase Chimbo-Chanchan	La 87	La 87	Privada	No existe
Drenajes menores	San Luis guayacanes	Guayacanes	Guayacanes	Privada	Toma con muros
I. San Pablo	Huagal	Huagal	Huagal alto	Municipal/Comunal	Tanque de captación
I. Blanco	Mallaguan-Cascajal	Cascajal	Cascajal	Privada	Toma rústica
Q. Chahuayacu	Huallanag-Copalillo	Copalillo	Copalillo	Municipal/Comunal	Tanque de captación
Drenajes menores	Copalillo-Cascajal	Cascajal	Cascajal	Municipal/Comunal	Toma rústica
I. San Pablo	Sacramento	Sacramento	Sacramento	Municipal/Comunal	Toma con muros
I. San Pablo	San Nicolás	Sacramento	San Nicolás	Municipal/Comunal	Tanque de captación
Drenajes menores	Las tablas-Chahuayacu	chahuayacu	chahuayacu	Municipal/Comunal	Toma con muros
Drenajes menores	Las tablas-Cruz del hueso	Cruz del hueso	Cruz del hueso	Municipal/Comunal	Toma rústica
Drenajes menores	La Soberana	La Soberana	La Soberana	Privada	Toma rústica

Fuente: (DIRIGEH-CHIMBORAZO)

Elaboración: Equipo técnico consultor PDDT Cumandá 2014.

CARACTERÍSTICAS:

Los suelos del cantón Cumandá pertenecen a la formación sedimentario cuaternario, son de origen volcánica o sedimentario antiguo, producto de la descomposición de lavas, rocas dendríticas, aglomerados. Su fisiografía posee relieves socavados y montañosos de las estratificaciones accidentales. Presenta un color rojizo, pardo rojizo o amarillo, con profundidad variable y presencia de piedras. La fertilidad de los suelos Molisoles se localizan al este del cantón, entre las cotas 2400 a 3000 msnm. La textura influye como factor de fertilidad y en la habilidad del suelo para lograr altos rendimientos. Sin embargo ha permitido que se cultiven productos como cereales, gramíneas, leguminosas, herbáceas, tubérculos tanto de la costa como de la sierra permitiendo un beneficio económico para el cantón. Se observa bosques densos de arbustos, árboles maderables, y esbeltas palmeras que se destacan en el paisaje.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 21 / 04 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: JONATAN MOISES TELENCHANO ILBAY
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: BIOFÍSICA
Título a optar: BIOFÍSICO
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Elizabeth Fernanda Arévalo Medina



Firmado electrónicamente por:
**ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA**

