



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**

**CARRERA DE BIOFÍSICA**

**“RIESGOS A LA SALUD POR LA CONTAMINACIÓN  
RADIOACTIVA DEL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del título de:**

**BIOFÍSICA**

**AUTOR: SUSANA CRISTINA GUEVARA CRUZ**

**TUTORA: DRA. JHENY ORBE ORDOÑEZ**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2015**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**CARRERA: BIOFÍSICA**

El Tribunal de tesis certifica que el trabajo de investigación: “**RIESGOS A LA SALUD POR LA CONTAMINACIÓN RADIOACTIVA DEL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**”, de responsabilidad de la Señorita Susana Cristina Guevara Cruz, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Nancy Veloz	.....	.....
<b>DECANA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS</b>		
Dra. Jheny Orbe Ordoñez	.....	.....
<b>DIRECTORA DE LA ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA</b>		
Dra. Jheny Orbe Ordoñez	.....	.....
<b>DIRECTORA DE TESIS</b>		
Dr. Arquímedes Haro V.	.....	.....
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		
<b>COORDINADOR SISBIB.</b>	.....	.....
<b>ESPOCH</b>		
<b>NOTA DE LA TESIS ESCRITA</b>		.....

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo Susana Cristina Guevara Cruz declaro que soy la autora del presente trabajo de Tesis el cual fue elaborado por mi persona bajo la dirección de la Dra. Jheny Orbe y colaborador Dr. Arquímides Haro, haciéndome responsable de las ideas y métodos expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de grado le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

SUSANA CRISTINA GUEVARA CRUZ

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien ha sido mi guía y luz en mi vida estudiantil.

A mis padres, quienes han dado todo por mí.

A la Dra. Jheny y el Dr. Arquímedes, quienes me han guiado en el desarrollo del presente trabajo.

A la ESPOCH, institución que me abrió las puertas para desarrollarme profesionalmente.

Susana

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, la inteligencia y la oportunidad de alcanzar una meta más.

A mi familia por su apoyo incondicional que me brindan en cada momento.

Susana

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Problematización .....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos: .....	3
1.3.1	Objetivo General .....	3
1.3.2	Objetivos Específicos .....	3
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Antecedentes de la Investigación .....	5
2.2	Contaminación radioactiva del agua de consumo .....	7
2.2.1	Contaminación radioactiva Alfa.....	8
2.2.2	Contaminación radioactiva Beta .....	9
2.2.3	Contaminación radioactiva Gamma .....	10
2.2.4	Series Radioactivas .....	10
2.2.5	Magnitudes físicas que caracterizan la contaminación radioactiva.....	14
2.3	Riesgos a la Salud por la contaminación radioactiva del agua de consumo .....	19
2.3.1	Normas radiológicas del agua de consumo.....	19
2.3.2	Efectos nocivos de la contaminación radioactiva.....	19
2.4	Sistema de abastecimiento de agua de consumo de la ciudad de Riobamba .....	22
2.4.1	Captación de Llíó .....	23
3.	METODOLOGÍA.....	26
3.1	Análisis Alfa y Beta Total.....	26
3.1.1	Método de Evaporación Directa .....	27
3.2	Análisis con Espectrometría Gamma.....	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1	Alfa y Beta total.....	31

4.1.1	Cálculo de la Actividad Alfa y Beta Total.....	31
4.2	Radionúclidos reportados por espectrometría Gamma.....	33
4.3	Discusión de Resultados .....	40
	CONCLUSIONES.....	42
	RECOMENDACIONES.....	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	44
	ANEXOS.....	48
	ANEXO A.....	48
	REPORTE DE ANÁLISIS ALFA Y BETA TOTAL .....	48
	ANEXO B.....	49
	REPORTE DE ESPECTROMETRÍA GAMMA.....	49

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1-2.</b>	Límites máximos de dosis efectivas por radionucleidos.....	18
<b>Tabla 2-2.</b>	Límites de actividad alfa y beta total.....	19
<b>Tabla 3-2.</b>	Captaciones del agua de consumo de Riobamba.....	22
<b>Tabla 4-2.</b>	Pozos de la capitación de Llíó.....	24
<b>Tabla 1-4.</b>	Parámetros utilizados en el cálculo de la actividad alfa y beta total. ....	31
<b>Tabla 2-4.</b>	Radionúclidos presentes en el agua. ....	33
<b>Tabla 3-4.</b>	Factor de conversión de dosis efectiva por ingesta de radionucleidos en agua.....	34



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b>	Serie del Torio 232.....	11
<b>Figura 2-2.</b>	Serie del Uranio 235.....	12
<b>Figura 3-2.</b>	Serie del Uranio 238.....	13
<b>Figura 4-2.</b>	Serie del Uranio 238.....	14
<b>Figura 5-2.</b>	Captación de Llíó.....	23
<b>Figura 6-2.</b>	Tanque recolector principal de Llíó.....	24
<b>Figura 1-3.</b>	Contador LUDLUM - Modelo 3030E.....	26
<b>Figura 2-3.</b>	Toma de la muestra.....	27
<b>Figura 3-3.</b>	Evaporación de la muestra.....	28
<b>Figura 4-3.</b>	Secado de la muestra.....	28
<b>Figura 5-3.</b>	Sistema de Espectrometría Gamma CANBERRA.....	29
<b>Figura 6-3.</b>	Producto de la evaporación de la muestra.....	30

## ABREVIATURAS

$\alpha$ :	Alfa
A:	Área interior de la plancheta
$\beta$ :	Beta
Bq:	Becquerelio
C <sub>i</sub> :	Concentración del radionucleido
cm <sup>2</sup> :	Centímetro cuadrado
cph:	Cuentas por hora
cph alfa:	Número de cuentas alfa con la plancheta y muestra
cph beta:	Número de cuentas beta con la plancheta y muestra
cph <sub>0</sub> alfa:	Número de cuentas alfa con la plancheta vacía (fondo)
cph <sub>0</sub> beta:	Número de cuentas beta con la plancheta vacía (fondo)
cpm:	Cuentas por minuto
CSN:	Consejo de Seguridad Nuclear
D:	Dosis absorbida
D <sub>i</sub> :	Dosis anual efectiva
dpm:	Desintegraciones por minuto
E:	Dosis efectiva
EPA:	Environmental Protection Agency
FDE <sub>i</sub> :	Factor de conversión de dosis efectiva
$\gamma$ :	Gamma
Gy:	Grey

H:	Dosis equivalente
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
L:	Litro
μg:	Microgramo
m:	Metro
MeV:	Megaelectronvoltio
mSv:	Milisievert
OMS:	Organización Mundial de la Salud
pCi:	Picocurie
P <sub>1</sub> :	Peso de la plancheta vacía
P <sub>2</sub> :	Peso de la plancheta mas muestra
s:	Segundo
SCAN:	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
SZn:	Sulfuro de zinc
U <sub>H2O</sub> :	Consumo anual de agua
UNSCEAR:	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
V:	Volumen evaporado
Z:	Número atómico

## RESUMEN

Se analizó los riesgos a la salud por la contaminación radioactiva del agua de consumo de la ciudad de Riobamba, a través de un estudio radiológico realizado en el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares durante el año 2014. Para la determinación de la contaminación radioactiva se utilizaron dos técnicas, la primera alfa y beta total por el método de evaporación, obteniendo una actividad alfa total de 0.1 Becquerelio por litro ( $\text{BqL}^{-1}$ ) y 1 Becquerelio por litro ( $\text{BqL}^{-1}$ ) para la actividad beta total, una dosis efectiva anual total de 0.08 Milisievert (mSv). La segunda técnica espectrometría gamma, para una muestra concentrada, por medio de la cual se detectó los radionucleidos emisores alfa y beta presentes en el agua de bebida. El agua de consumo de la ciudad de Riobamba no sobrepasa los límites normados por la Organización Mundial de la Salud, 0.5 Becquerelio por litro ( $\text{BqL}^{-1}$ ) para la actividad alfa total y 1 Becquerelio por litro ( $\text{BqL}^{-1}$ ) para la actividad beta total, desde el punto de vista radiológico es apta y segura para el consumo humano, por lo que no representa un riesgo para la salud de la población.

Palabras claves: <CONTAMINACIÓN RADIOACTIVA>, <AGUA POTABLE>, <TÉCNICA ALFA Y BETA TOTAL>, <MÉTODO DE EVAPORACIÓN>, <ESPECTROMETRÍA GAMMA>

## ABSTRACT

Risks to health by the radioactive contamination of drinking water for the city of Riobamba were analyzed through a radiological study in the Laboratory of Environmental Radioactivity Monitoring and Control Secretariat for Nuclear Applications during 2014.

For the determination of radioactive contamination used two techniques, the first, total alpha and beta for evaporation method, was obtained a total alpha activity of 0.1 Becquerel per liter ( $\text{BqL}^{-1}$ ) and 1 Becquerel per liter ( $\text{BqL}^{-1}$ ) for total beta and 0.08 milisieverts (mSv) for total annual effective dose. The second technique, the gamma spectrometry for a concentrated sample, through was detected radionuclides alpha and beta emitters in drinking water.

The drinking water of the city of Riobamba does not exceed the limits regulated by the World Health Organization, 0.5 Becquerel per liter ( $\text{BqL}^{-1}$ ) to the total alpha activity and 1 Becquerel per liter ( $\text{BqL}^{-1}$ ) beta activity overall, from the radiological point of view it is suitable and safe for human consumption, so it is not a risk to the health of the population.

Keywords: <RADIOACTIVE CONTAMINATION>, <DRINKING WATER>, <ALPHA AND BETA TECHNIQUE TOTAL>, <EVAPORATION METHOD>, <GAMMA SPECTROMETRY>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problematización

La calidad del agua de consumo humano es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Son factores de riesgo los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica. (WHO. 2008. p. 71) Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua de consumo puede contener componentes radioactivos procedentes de:

Sustancias radioactivas de origen natural como radionúclidos de las series de desintegración del torio y del uranio presentes en fuentes de agua de consumo, en particular el radio-226/228.

Procesos tecnológicos que manejan materiales radioactivos de origen natural como en la extracción minera y el procesado de arenas minerales o la producción de fertilizantes fosfatados. Radionúclidos generados como desecho en instalaciones de reciclado de combustible nuclear agotado y manufacturados que pueden contaminar el agua de consumo como consecuencia de vertidos periódicos y, en particular, los derivados del uso o desecho incorrectos de materiales radioactivos en actividades médicas o industriales.

La contaminación radioactiva del agua de consumo es un problema mundial de grandes consecuencias, la OMS advierte que, se ha comprobado, en estudios realizados tanto con seres humanos como con animales, que la exposición a dosis bajas y moderadas de radiación puede aumentar la incidencia de cáncer a largo plazo.

Se prevén efectos radiológicos perjudiciales para la salud debida al consumo de agua si ésta contiene concentraciones de radionúclidos mayores que los niveles de referencia, equivalentes a una dosis efectiva comprometida mayor que 0,1 mSv/año. (WHO. 2008. p. 71)

El Ecuador es un país con agua suficiente en términos nacionales y con cuatro veces más agua superficial que el promedio per cápita mundial. Pero el problema es que está mal distribuida, la contaminación crece y las fuentes se destruyen de manera acelerada. (ACOSTA, A., & MARTÍNEZ, E. 2010. p. 8)

La provincia de Chimborazo y específicamente la ciudad de Riobamba, está ubicada en una zona volcánica, por lo que posiblemente la mayor proporción de exposición a la radiación natural procede del radón. Existen investigaciones que confirman que en contextos volcánicos existe un incremento en el flujo de radón se puede producir directamente por un aumento de desgasificación de radón del magma o indirectamente, por removilización de los radionúclidos padres (U-238, Ra-226) en los sublimados de los conductos de emisión. (MARTÍN, C. 1999. p. 10)

## **1.2 Justificación**

La disponibilidad de recursos hídricos de calidad adecuada resulta imprescindible para garantizar la supervivencia de una colectividad o, al menos, para conseguir un cierto estándar de calidad de vida. Esta calidad puede perderse por muchos motivos, uno de los cuales es la contaminación radioactiva de los citados recursos. (ENRESA. 2007. p. 6)

La investigación planteada tiene relevancia social, pretende realizar un control radiológico del agua de consumo humano en la ciudad de Riobamba - Provincia de Chimborazo, a fin de cuantificar la contaminación radioactiva de las fuentes de suministro de agua para beber, en base a los estándares internacionales. Así mismo, los resultados del estudio permitirán identificar los radionúclidos presentes en el agua de

consumo humano, es importante destacar que la contaminación con estos radionúclidos ocurren principalmente bajo tierra, ya que los suministros de agua se relacionan con las formaciones geológicas particulares de cada lugar.

La investigación es viable, puesto que existen vías de acceso para llegar a los sitios de muestreo, se cuenta con el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva en la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) que entre sus atribuciones y responsabilidades está prestar servicios técnicos de apoyo a la seguridad radiológica (evaluación de la dosis de radiación del personal, calibración de detectores, determinación de niveles de radioactividad en diversas matrices) y sobre todo existe el recurso humano capacitado.

La presente investigación se fundamenta legalmente a través de los siguientes documentos vinculantes: Constitución Política del Ecuador (2008) en su artículo 223 que describe los derechos de la naturaleza, Plan Nacional del Buen Vivir y la Norma Técnica Ecuatoriana de Agua de Consumo, dada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

### **1.3 Objetivos:**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Determinar los riesgos a la salud por la contaminación radioactiva del agua de consumo de la ciudad de Riobamba.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

Cuantificar la radioactividad alfa y beta total.

Identificar los radioisótopos presentes en el agua de consumo de la ciudad de Riobamba.



Determinar la actividad de los radionúclidos presentes en el agua de consumo de la ciudad de Riobamba.

Calcular la dosis efectiva anual debido al consumo de agua de consumo en la ciudad de Riobamba.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

Desde 1958 la OMS (Organización Mundial de la Salud) ha publicado periódicamente “Guías para la Calidad del Agua de Consumo”. Las mismas buscan mejorar la calidad del agua y la salud humana al ser usadas como base para la regulación de los estándares de agua de consumo humano en los países alrededor de todo el mundo. (WHO. 2008. p. 71)

En el año 2007, la investigación titulada “Evaluación radiológica de alimentos y de agua de consumo humano en Costa Rica” realizada por los investigadores: Loría, Jiménez y Badilla, tuvo como objeto determinar la contaminación radioactiva en alimentos y agua de consumo, utilizando la técnica de espectrometría gamma en alimentos y alfa para la determinación de Ra 226 en agua. Para la preparación y análisis de las muestras de agua se emplearon los Procedimientos Técnicos Armonizados, con un total de 10 muestras de agua analizadas cada una proveniente de una fuente distinta, debido a que el tiempo de recolección del espectro oscila entre 120 000 y 180 000 s. Siendo Costa Rica un país con suelos de origen volcánico, el reporte de los resultados demostró que los valores obtenidos están dentro de los estándares permitidos. (LORÍA, L. 2007. p. 53)

Los autores de la investigación “Control de la radiactividad en las aguas de consumo”, en el año 2008, exponen los efectos sobre la salud como consecuencia de la calidad radiológica del agua; determinaron el contenido de radioactividad en aguas con los índices de alfa y beta total y en otros casos se realizó la determinación de los radioisótopos en aguas por espectrometría gamma y separación radioquímica. (LEGARDA, F. 2008. p. 45)

En la provincia de Camagüey- Cuba, en el 2010, los investigadores midieron la actividad alfa y beta total de 40 muestras de agua de distintos lugares; utilizaron como equipo de determinación de radioactividad un radiómetro de bajo fondo con detector proporcional y sistema de anticoincidencia (TESLA NA 6201); emplearon para la medición de la actividad alfa total, el método relativo de medición con patrones de Am 241, cuyo límite de detección alcanzado fue de 0,03 Bq y la eficiencia de detección de 0,21. Por otro lado para la medición de la actividad beta total emplearon el método relativo de medición con patrones de <sup>40</sup>K, cuyo límite de detección alcanzado fue de 0,18 Bq y la eficiencia de detección de 0,24. El tiempo de medición usado fue de 3000 s para actividades totales alfa y beta. Concluyeron que desde el punto de vista radiológico las aguas son aptas para el consumo porque no sobrepasaron los límites normados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) 0,1 BqL<sup>-1</sup> para la actividad Alfa total y 1 BqL<sup>-1</sup> para la actividad Beta total.

Saeed Mohammadi, en el 2010, efectuó un estudio del agua de consumo humano en diferentes partes del Irán, en el cual se midió las concentraciones de origen natural del radionucleido Ra 226 para estimar la dosis efectiva anual. La medición de la actividad de este radionúclido lo hizo por el método de emanación de radón, con un límite de detección mínimo de 2 mBqL<sup>-1</sup>. Los resultados indicaron que la concentración media de Ra 226 en el agua de consumo Iraní estaba por debajo del 100 mBqL<sup>-1</sup> recomendada por la Organización Mundial de la Salud, por lo tanto es apta y segura para el consumo humano. (MOHAMMADI, S. 2010. p. 236)

En la investigación "Resultados del índice de actividad alfa total en aguas de consumo en función del método de preparación radioquímica y de medida" realiza en España en 2010 por un grupo de investigadores, recolectaron un total de 63 muestras de agua de distribución procedentes de 23 provincias, de la cuales 34 muestras corresponden a origen superficial y 29 a muestras de origen subterráneo. En las aguas, previamente acidificadas, determinaron el índice alfa total mediante el método de evaporación y coprecipitación, utilizaron detectores de centelleo de SZn y detectores proporcionales de flujo de gas. Resultando que el índice alfa total de las aguas de origen superficial fue inferior al de las muestras de origen subterráneo y los resultados del índice alfa total

obtenidos mediante el método de evaporación son generalmente más bajos que los obtenidos mediante el método de coprecipitación, especialmente en aguas subterráneas. (CAMACHO, A. 2010. p. 2)

En el año 2011, la investigación “Radiactividad en aguas de consumo”, realizada por los autores, midieron la radioactividad en 30 aguas de consumo de España, cuyos parámetros analizados fueron índices alfa y beta total, el contenido en tritio y la dosis indicativa total. El rango de valores obtenido fue de  $30 \text{ mBqL}^{-1}$  y  $860 \text{ mBqL}^{-1}$  para alfa total y en el caso del índice beta total todas las muestras estaban por debajo del valor límite, valores que están dentro de los parámetros establecidos en el año 2003 por el Real Decreto de España que regula la calidad del agua de consumo (R. D.140/2003) y por la guía establecida por la Organización Mundial de la Salud en el 2006. (GUTIÉRREZ, J. 2011. p. 32)

## **2.2 Contaminación radioactiva del agua de consumo**

El agua, elemento fundamental dentro de la dieta humana, requiere de un control riguroso de la calidad, la cual se basa en las concentraciones de los elementos presentes. Uno de los parámetros que influye dentro de la calidad del agua para consumo humano es su contenido radioactivo, siendo un componente de contaminación imperceptible en el agua, trae efectos dañinos sobre la salud sino es controlado.

En toda agua de consumo se encuentra trazas de radioactividad, la concentración y composición de estos elementos radioactivos varían de un lugar a otro, dependiendo principalmente de la composición radioquímica de los estratos del suelo y la roca a través del cual el agua cruda pudo haber pasado. (SAFE DRINKING WATER COMMITTEE. 1977. p. 858) Por lo tanto se puede decir que el contenido radiológico del agua de consumo es producido en su mayoría por radionucleídos de origen natural como: Ra-226, Ra-228, Ra-224, Pb-210, Po-210, U-234, U-238, Th- 230, y Th-232, pero también hay una amenaza de contaminación por radionucleídos artificiales como producto de diversos procesos industriales y médicos en los que se incluyen: H-3, Sr-89,

Sr-90, Co-58, Co-60, I-129, I-131, Pu-239, Am-241, Cs-134 y Cs-137. (AWWA. 2010. p. 169) (CSN. 1994. p. 6)

La contaminación radioactiva viene dada por un fenómeno físico, particular del núcleo atómico producido por transmutación o desexcitación a un estado menor de energía emitiendo uno o varios tipos de partículas, transformándose en otro diferente al original. Las partículas emitidas como producto de la desintegración radioactiva del núcleo atómico son alfa, beta o gamma. (FERRER, A. 2006. p .216)

La contaminación radioactiva del agua tiene tres componentes: alfa, beta y gamma.

### ***2.2.1 Contaminación radioactiva Alfa***

Contaminación radioactiva alfa está determinada por la concentración de radionucleidos emisores alfa. Las partículas alfa, son partículas muy pesadas, núcleos de helio ( ${}^4_2\text{He}$ ) formados por dos protones y dos neutrones. Cuando un núcleo precursor (padre) emite una partícula alfa, el elemento hijo es diferente y más ligero. Tienen un poder de penetración muy pequeño por ser pesadas, pero un alto poder de ionización dentro del rango permisible debido a su alto contenido energético.

Estas partículas al ser incorporadas por contaminación interna en el cuerpo traen riesgos graves a nivel celular, interactuando rápidamente con las moléculas del medio. (SUÁREZ, J. 2009. p. 5)

El Consejo de Seguridad Nuclear caracteriza los posibles radionúclidos emisores alfa que se encuentran en el agua: Ra-226, Th-230, Pu-239, Ra-224, U-234, U-238. (CSN. 1994. p. 6)

El radio es el radionúclido más común, de preocupación en el agua de consumo. El radio de origen natural se filtra en las aguas subterráneas de las formaciones de roca, por lo que está presente en las fuentes de agua en las partes donde hay roca radio-cojinete. También se puede encontrar en el agua superficial como resultado de las operaciones de minería e industria donde el radio está presente en el suelo. (AWWA. 2010. p. 170)

El uranio, el elemento más pesado de origen natural, es una mezcla de tres isótopos radioactivos: U- 238 (99,275 %), U- 235 (0,72%) y U- 234 (0,005 %). Se encuentra en algunos suministros de agua subterránea como resultado de la lixiviación de la piedra arenisca de uranio fértil, pizarra y otras rocas. El uranio también puede en ocasiones estar presente en las aguas superficiales en una variedad de formas iónicas, complejos (carbonatos y bicarbonatos que lo mantiene en solución), dependiendo del pH del agua. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. p.1039) (AWWA. 2010. p. 170)

### ***2.2.2 Contaminación radioactiva Beta***

La contaminación radioactiva beta está determinada por la concentración de radionucleidos emisores beta. Un electrón, es el resultado del decaimiento de un núcleo inestable cuando este posee un mayor número de protones a comparación del número de neutrones. Por otro lado, si el núcleo inestable posee un número mayor de neutrones comparado con los protones este decae emitiendo un positrón. Las partículas beta se caracterizan por tener mayor poder de penetración que las partículas alfa y su poder de ionización es menor en comparación con estas. Los posibles radionucleidos emisores beta contenidos en el agua son: Co-60, Sr-89, Sr-90, I-129, I-131, Cs-134, Cs-137. (GIANCOLI, D. 2009. p. 1110) (INEN. 2011. p. 2)

El estroncio, cuyos radioisótopos. Sr-89 y Sr-90 se produce en eventos de fisión nuclear, proveniente de dispositivos nucleares y accidentes de la industria nuclear, estos son liberados al medio ambiente para depositarse en la superficie terrestre, vegetación y agua superficial. La presencia de estos radioisótopos es importante en ese tipo de depósitos, que en fuentes subterráneas. (DÁVILA, I. 2001. p. 13)

El yodo radioactivo resulta de los procedimientos en ensayos nucleares o se libera durante el uso y el tratamiento de combustibles nucleares, representa un aspecto de primer orden en la monitorización de la radioactividad. Los productos de fisión pueden contener desde I-129 hasta I-135. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. p. 1040)

El cesio radioactivo ha sido considerado como uno de los nucleidos radioactivos más peligroso que se producen en la fisión nuclear. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. p. 1041)

### ***2.2.3 Contaminación radioactiva Gamma***

Esta contaminación radioactiva es causada por rayos gamma, es decir paquetes de energía o fotones. Un núcleo excitado para llegar a un nivel inferior de energía o a su estado fundamental emite un fotón. Este fotón tiene un elevado poder de penetración y puede producir graves daños al núcleo de las células. (SUÁREZ, J. 2009. p. 5)

### ***2.2.4 Series Radioactivas***

La mayor parte de los isótopos que se presentan en la naturaleza se caracterizan por tener elevadas cargas nucleares y altos números másicos. Todos los núcleos con  $Z > 83$ , empezando por el bismuto ( $Z=83$ ), son radiactivos y también lo son algunos de  $Z = 81$  (talio) y de  $Z = 82$  (plomo). (ATTIX, F. 1986. p. 22)

Los isótopos radioactivos pesados se agrupan en tres series de desintegración naturales y una cuarta serie de isótopos obtenidos artificialmente. Se les llama serie del Torio (Th-232) o serie  $4n$ , serie del Uranio (U-238) o serie  $4n+2$ , serie del Actinio (Ac-235) o serie  $4n+3$  y la cuarta serie del Neptunio (Np-237) o serie  $4n+1$ . Cada serie se caracteriza por tener un núcleo padre de larga vida y una serie de procesos de desintegración (alfa, beta o gamma) que conducen a un producto final estable; tres terminan en isótopos del plomo y otra en un isótopo del bismuto. (ATTIX, F. 1986. p. 23)

A continuación se presentan las 4 series radioactivas.

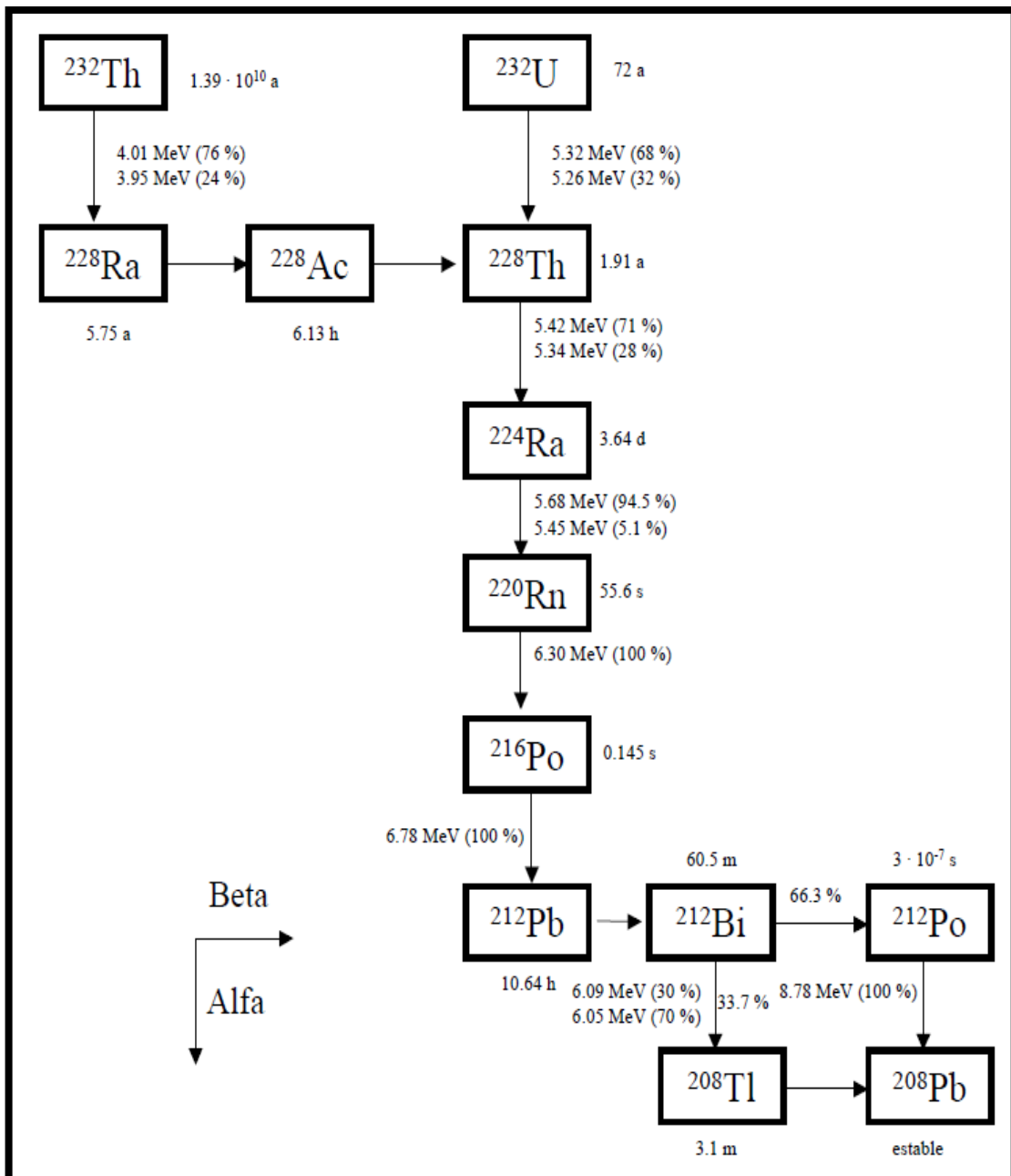


Figura 1-2: Serie del Torio 232.

Fuente: [http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11\\_Parentesis.htm](http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11_Parentesis.htm)



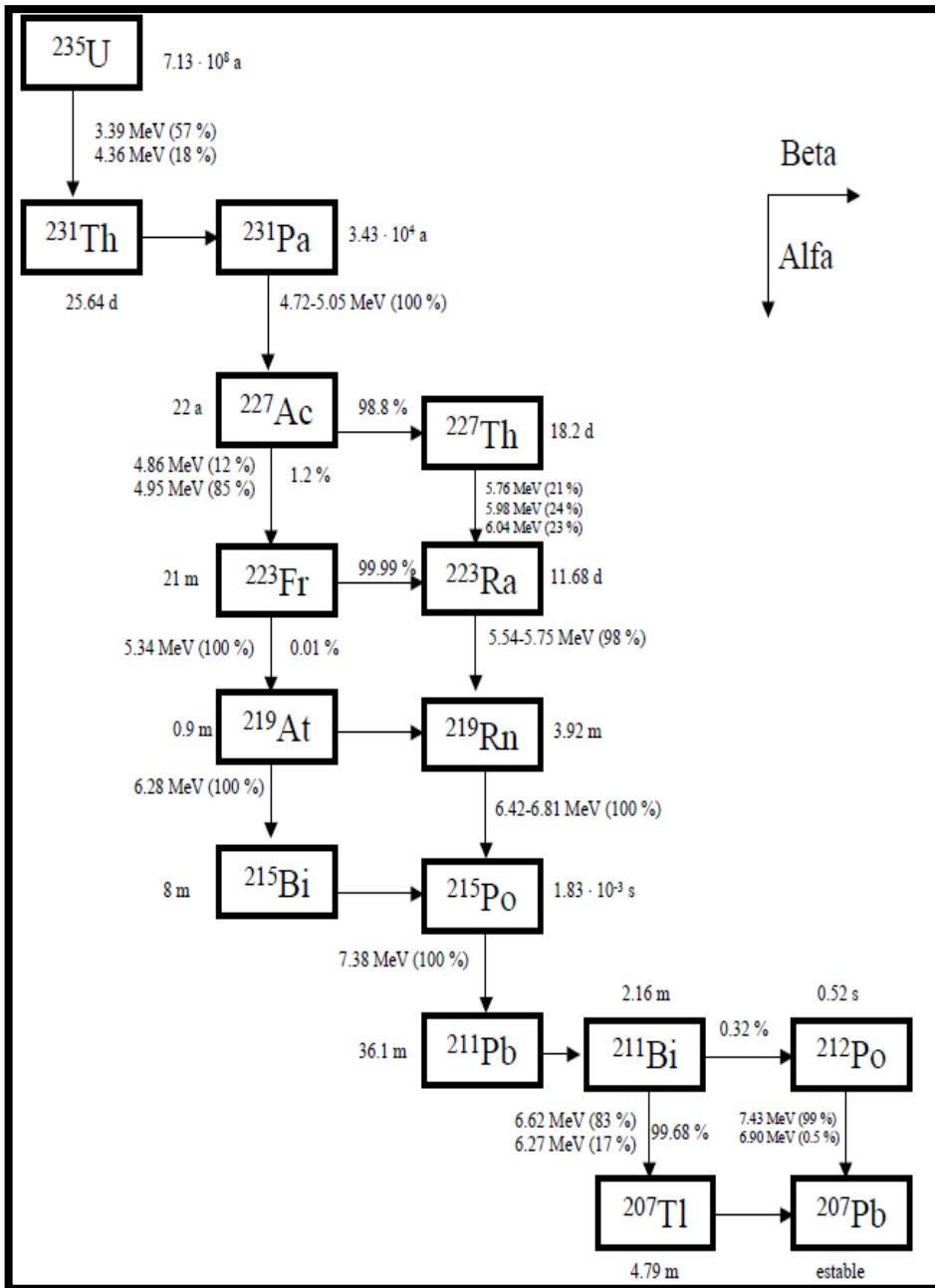


Figura 2-2: Serie del Uranio 235.

Fuente: [http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11\\_Parentesis.htm](http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11_Parentesis.htm)

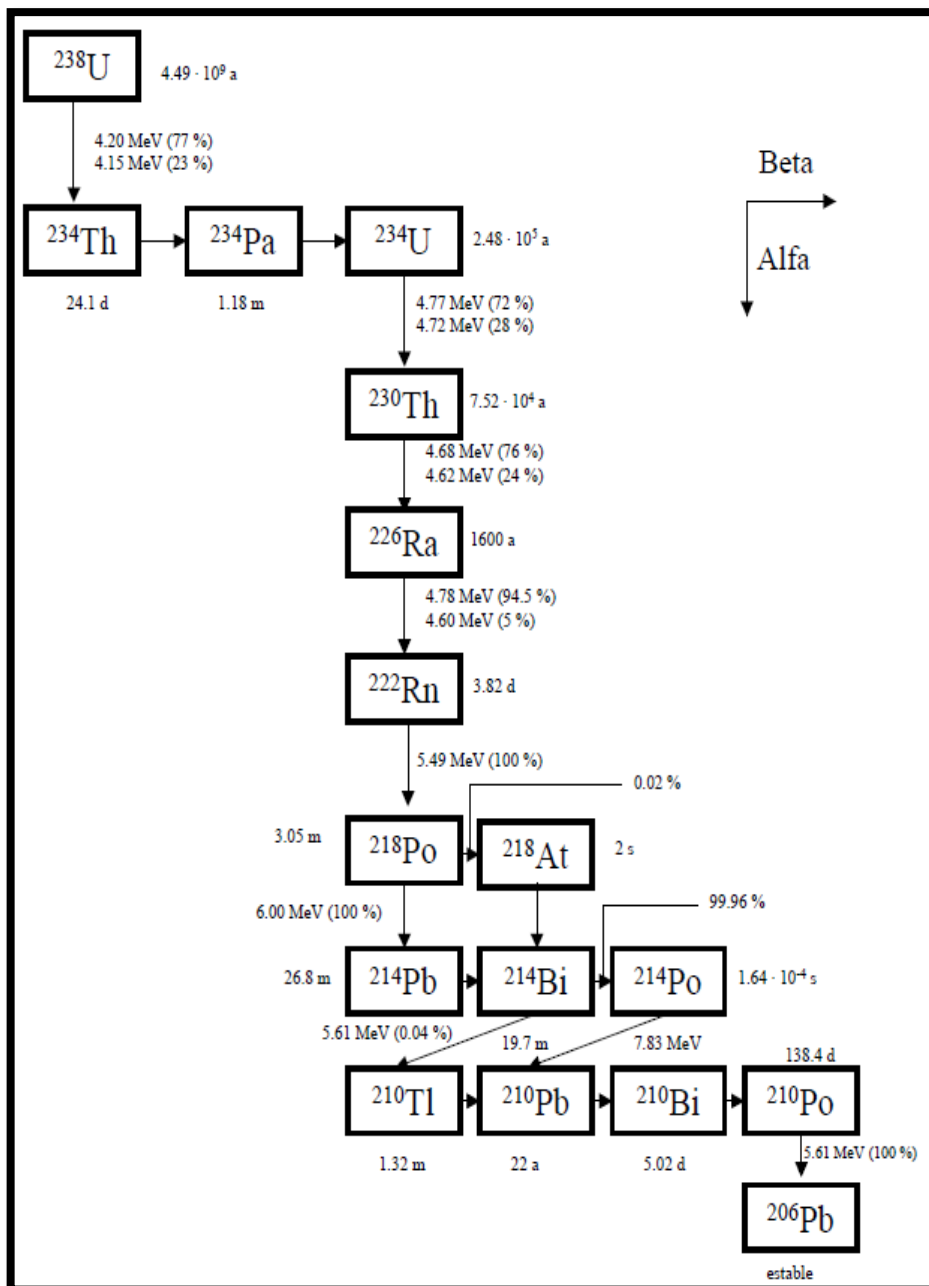
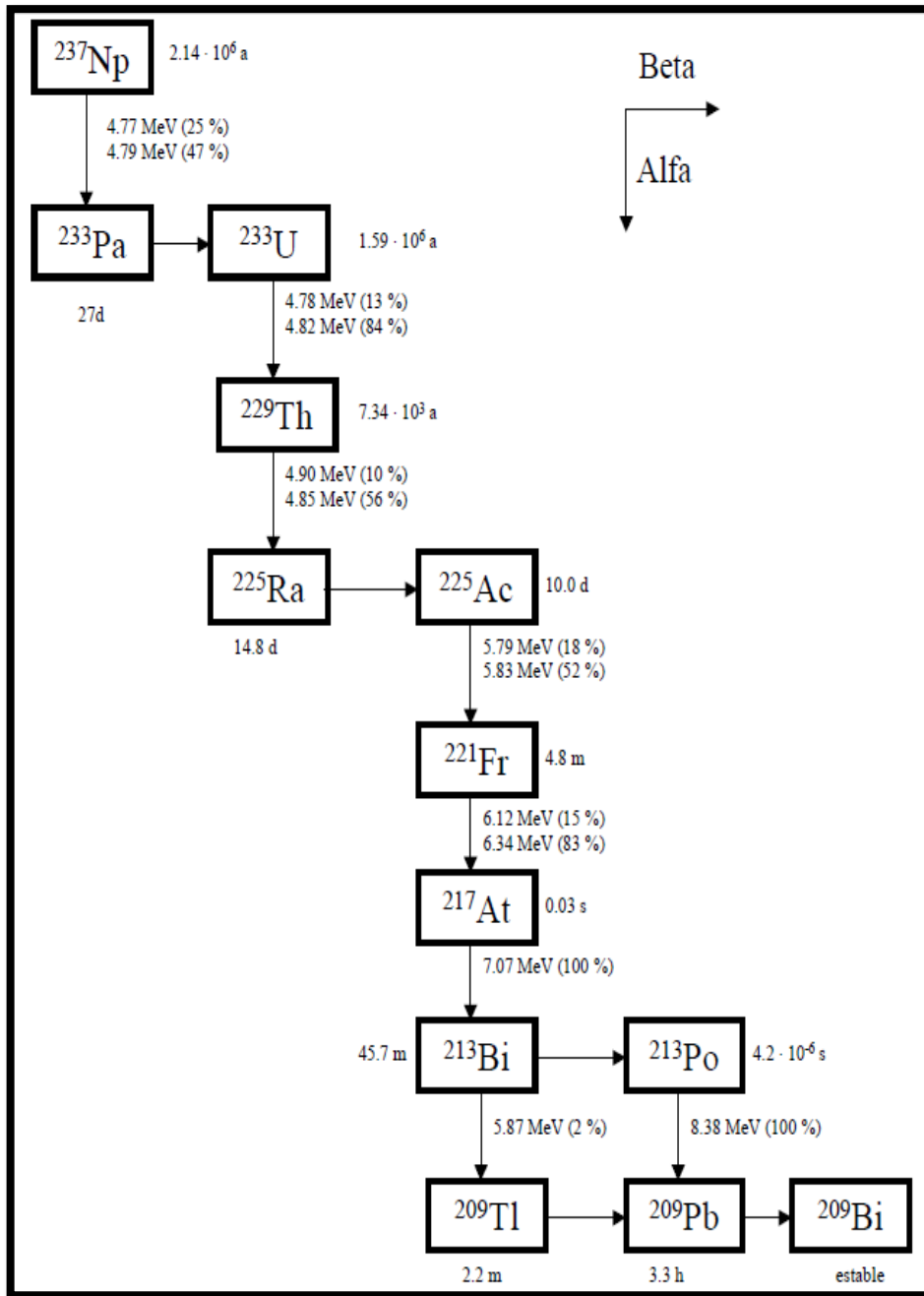


Figura 3-2: Serie del Uranio 238.

Fuente: [http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11\\_Parentesis.htm](http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11_Parentesis.htm)



**Figura 4-2:** Serie del Uranio 238.

**Fuente:** [http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11\\_Parentesis.htm](http://cea.quimicae.unam.mx/estru/tabla/11_Parentesis.htm)

### 2.2.5 Magnitudes físicas que caracterizan la contaminación radioactiva

Las magnitudes físicas que describen el decaimiento radioactivo son:

**Constante de desintegración.** La constante radioactiva o constante de desintegración ( $\lambda$ ), es una constante de proporcionalidad que da la probabilidad de desintegración de un

átomo por unidad de tiempo, la misma que es propia de cada isotopo. (GIANCOLI, D. 2009. p. 1111)

**Actividad.** La desintegración radioactiva es un proceso estadístico; no podemos saber cuándo se desintegra un átomo aislado, pero sí podemos conocer qué proporción de un gran número de átomos sufrirá el proceso durante un tiempo determinado. Se llama actividad o velocidad de desintegración ( $-dN/dt$ ) de una sustancia radioactiva, al número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo. La unidad de actividad es el becquerel (Bq), representa la actividad de una muestra que experimenta una desintegración/segundo. Un múltiplo es el curie (Ci), que equivale a  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones/segundo. El valor de la actividad depende del número de átomos presentes (N) y la constante de desintegración ( $\lambda$ ) lambda. (ATTIX, F. 1986. p. 24)

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (1.2)$$

Integrando la expresión anterior obtenemos la relación entre el número de átomos iniciales  $N_0$ , y el número de átomos que queda, N, al cabo de un tiempo t.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

La actividad viene dada de la siguiente manera.

$$A = \frac{-dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (4.2)$$

Donde:

A : actividad final de la muestra

$A_0$  : actividad inicial de la muestra

$\lambda$  : constante de desintegración

t : tiempo de desintegración

**Actividad alfa total.** Es la actividad total de los radionucleidos emisores alfa presentes en el agua.

**Actividad beta total.** Es la actividad total de los radionucleidos emisores beta presentes en el agua.

**Período de semidesintegración.** Es el tiempo necesario para que el número de átomos se reduzca a la mitad del inicial, es decir, para que  $N = N_0/2$ . (FERRER, A. 2006. p. 220)

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (5.2)$$

Donde:

$T_{1/2}$  : período de semidesintegración

$\lambda$  : constante de desintegración

**Vida media.** Es el valor promedio de la vida de los átomos de una especie radioactiva y viene dada por la suma de los tiempos de existencia de cada uno de los átomos, dividida por el número inicial de átomos existentes en la respectiva especie radiactiva. Su relación con la constante de desintegración viene dada. (ATTIX, F. 1986. p. 25)

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (6.2)$$

Donde:

$\tau$  : vida media

$\lambda$  : constante de desintegración

**Dosis absorbida.** Es la cantidad dosimétrica fundamental de la radiación ionizante. Es la energía que la radiación ionizante imparte a la materia por unidad de masa. (FERRER, A. 2006. p. 219) Se expresa.

$$D = \frac{d\epsilon}{dm} \quad (7.2)$$

Donde:

D: dosis absorbida, cuya unidad es Gy

dε: energía media impartida a la materia de masa dm

**Dosis equivalente.** Esta dosis permite medir los efectos de la radiación sobre los seres vivos, dado que, cada tipo de radiación produce efectos biológicos diferentes y la probabilidad de destrucción de las células es distinta por cada radiación (alfa, beta o gamma), está definida por: (FERRER, A. 2006. p. 221)

$$H = \sum W_R * D \quad (8.2)$$

Donde:

H: dosis equivalente cuya unidad es el Sv

$W_R$ : factor de ponderación de la calidad de la radiación

D: dosis absorbida

**Dosis efectiva.** Se define como la media ponderada de la dosis equivalente recibida en distintos órganos, cuando la radiación es depositada en un órgano o tejido. El daño biológico que la radiación producirá en un órgano o tejido, depende de la sensibilidad para absorción de la sustancia radioactiva por parte del órgano del cuerpo. La dosis efectiva se expresa de la siguiente forma. (FERRER, A. 2006. p. 219)

$$E = \sum W_T * H_T \quad (9.2)$$

Donde:

E: dosis efectiva, su unidad es el Sv

$W_T$ : factor de ponderación para el órgano o tejido

$H_T$ : dosis equivalente recibida en el órgano o tejido

**Dosis anual efectiva.** Dosis efectiva evaluada por un año debido a la ingesta de agua de consumo. (UNSCEAR. 2000. p. 40)

$$D_i = C_i * U_{H_2O} * FDE_i \quad (10.2)$$

Donde:

$D_i$ : Dosis anual efectiva por radionucleido

$C_i$ : Concentración del radionucleido en agua

$U_{H_2O}$ : Consumo anual de agua (500 L para adultos). (UNSCEAR. 2000. p. 40)

$FDE_i$ : Factor de conversión de dosis efectiva del radionucleido

A continuación se presenta un límite máximo permitido de dosis efectiva anual dado por la EPA para diferentes radionucleidos.

**Tabla 1-2:** Límites máximos de dosis efectivas por radionucleidos.

<b>RADIONÚCLIDO</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO DOSIS EFECTIVA (<math>\mu</math>SV)</b>
U-235	13.04
Cs-134	3.52
I-131	1.22
Ra-226	25.9

Fuente. EPA, 2011

## 2.3 Riesgos a la Salud por la contaminación radioactiva del agua de consumo

### 2.3.1 Normas radiológicas del agua de consumo

Periódicamente la Organización Mundial de la Salud pública recomendaciones relativas a la regulación de los niveles de radioactividad en aguas y establece los niveles de exposición a las radiaciones ionizantes a través del agua de consumo. (WHO. 2008. p. 197)

Nuestro país se acoge a la normativa dada por la OMS, mediante el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en su norma NTE INEN 1 108:2011, en el apartado 5.1 establece parámetros radioactivos para el agua de consumo.

**Tabla 2-2:** Límites de actividad alfa y beta total

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO (NORMA INEN)	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO (OMS)
Radiación total $\alpha$	Bq/l	0.1 *	0.5
Radiación total $\beta$	Bq/l	1.0 **	1.0
* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: $^{210}\text{Po}$ , $^{224}\text{Ra}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{239}\text{Pu}$			
** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: $^{60}\text{Co}$ , $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$			

Fuente: Norma INEN, 2011 y OMS, 2008

### 2.3.2 Efectos nocivos de la contaminación radioactiva

En un organismo vivo los efectos nocivos como producto del consumo de agua con un nivel de radioactividad no controlado, es causada por la dosis absorbida por las células y tejidos del organismo, descomponiendo químicamente a las moléculas y elementos presentes en las células. (AWWA. 2010. p. 170)



Dentro del cuerpo humano cada forma de radiación interactúa de manera diferente y con ello pueden traer consigo problemas de desarrollo, defectos de nacimiento no hereditarios, efectos genéticos que podrían ser heredados por las generaciones futuras, y varios tipos de cáncer. Todos los radionucleidos son considerados como agentes causantes de cáncer. (AWWA. 2010. p. 171)

El uranio disuelto permitido está entre 10 µg/L y 80 µg/L para cada unidad de actividad por litro de agua. El efecto adverso principal del uranio es la toxicidad en los riñones humanos. Si en el análisis de muestras de agua se posee una actividad alfa total superior a 15 pCi L<sup>-1</sup> se puede precisar un análisis de uranio, para lo cual se considerara valores de 10 pCi L<sup>-1</sup>. (AWWA. 2010. p. 171) (DÁVILA, I. 2001. p. 15) (ESTRADA, E. 2008. p. 75).

La incorporación de Rn-222 al organismo se puede dar a través de inhalación de aire e ingestión de agua. El radón se cree que tienen algunos efectos no carcinogénicos sobre órganos internos del cuerpo cuando se ingiere, en cambio al ser inhalado se considera que es una causa de cáncer de pulmón. (AWWA. 2010. p. 172)

Las vidas medias de Cs-134 y Cs-137 son de 2 y 3 años, respectivamente, y ambos son emisores beta y gamma. El cesio cuando es ingerido se distribuye a lo largo de los tejidos blandos, es rápidamente absorbido por la corriente sanguínea y puede ser distribuido en todas las células del cuerpo y posee un periodo de residencia en el cuerpo relativamente bajo. El límite de detección recomendado para Cs-134 es de 10 pCi L<sup>-1</sup>. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. 1040) (CAMEÁN, A. 2012. p. 610)

El I-129 posee una vida media de  $1,6 \cdot 10^7$  años, aunque una relativamente baja actividad específica ( $1,73 \cdot 10^{-4}$  Ci g<sup>-1</sup> para I-129, comparado con  $1,24 \cdot 10^5$  Ci g<sup>-1</sup> del I-131). La vida media del I-131 es de ocho días, mientras que para los isótopos restantes es más corta (de 35 minutos a 21 horas). En la actualidad, únicamente el I-131 presenta probabilidades de encontrarse en el agua. Al ser este ingerido o inhalado, se concentra

en la glándula tiroides y puede provocar cáncer de tiroides. El nivel máximo de contaminación en el agua de consumo sugerido por la EPA para el I-131 es de 3 pCi L<sup>-1</sup>. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. 1041) (CAMEÁN, A. 2012. p. 610)

Los tres isótopos de Radio de preocupación en el agua de consumo son Ra-226, que emite principalmente partículas alfa; Ra-228, que emite partículas beta y alfa de sus productos de desintegración; y el Ra-224, que tiene una vida media muy corta de alrededor de 3,6 días en comparación con el Ra-226 y el Ra-228, cuya vida media se mide en años. El radio químicamente es similar del calcio, al ser ingerido, un 80% del porcentaje absorbido se retiene en los huesos y el porcentaje restante lo comprende como depósito en otros órganos y eliminación a través de la orina y heces fecales. Los efectos a la salud derivados de la presencia de este radioisótopo en el cuerpo humano se manifiestan en orden de importancia, como desarrollo de cáncer de hueso, cáncer en los senos paranasales, mielomas múltiples y daños en los huesos. (ICRP. 2012. p. 72) Las regulaciones de la EPA han establecido un nivel máximo de contaminación para la combinación de Ra-226 y Ra-228 de 5 pCi L<sup>-1</sup>; y de 3 pCi L<sup>-1</sup> para el Ra 226. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. 1042) (AWWA. 2010. p. 172) (DÁVILA, I. 2001. p. 18)

De los tres isótopos naturales del potasio presentes en la naturaleza solamente el K-40 es radioactivo, tiene un tiempo de vida media de  $1,28 \times 10^9$  años y una abundancia isotópica del 0,0118 % con una actividad específica de 31,4 Bq g<sup>-1</sup>. El 89% de las veces que decae lo hace a Ca-40 por emisión de una partícula beta de una energía máxima de 1,314 MeV y se le encuentra en cualquier sistema biológico. El K-40 es la principal fuente de dosis interna en el cuerpo humano, principalmente en el tejido muscular y gónadas, sin embargo, como la absorción del Potasio elemental por el cuerpo humano está bajo un estricto control homeostático, no es influenciado por variaciones en los niveles ambientales, razón por la cual este radioisótopo no se considera específicamente en las recomendaciones. (DÁVILA, I. 2001. p. 18)

El estroncio tiene cuatro isótopos naturales, sin embargo los radioisótopos de interés son: Sr-89 y Sr-90 con tiempos de vida media de 50,2 días y 29 años, respectivamente.

Al ingerirlo, el estroncio se concentra en los huesos. Su regulación en agua se contempla dentro de los límites para actividad beta global. (APHA, AWWA, & WPCF. 2009. 1043) (DÁVILA, I. 2001. p. 19)

#### 2.4 Sistema de abastecimiento de agua de consumo de la ciudad de Riobamba

El agua de consumo del cual se abastece la ciudad de Riobamba, en su estado crudo se origina de dos tipos de fuentes: subterráneas y superficiales. La mayor contribución de agua proviene de las fuentes subterráneas extraídas de pozos, mientras que en menor cantidad de fuentes superficiales que se recoge de vertientes.

A continuación se muestra un detalle de las captaciones del sistema de abastecimiento de agua de consumo de la ciudad de Riobamba.

**Tabla 3-2:** Captaciones del agua de consumo de Riobamba.

<b>CAPTACIONES Y CAUDALES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE CONSUMO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA</b>		
<b>CAPTACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CAUDAL(L/s)</b>
Llío	Siete pozos	256
San Pablo	Vertiente natural	286
Huerta	Pozo	40
Servidores del Chimborazo	Pozo	55
San Gabriel del Aeropuerto	Pozo	17
El Pedregal	Pozo	10

Fuente. COSTALES, J. & CABEZAS, J., 2012

El presente estudio se realiza en Llío, la captación con mayor número de pozos y con la mayor contribución de agua subterránea al sistema de abastecimiento de agua de consumo de la ciudad de Riobamba.

### **2.4.1 Captación de Llío**

La captación de Llío se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo, formando parte del gran callejón interandino, a unos 25 Km aproximadamente al Norte - Este de la ciudad de Riobamba. Sus coordenadas geográficas son: 78° 42' - 78° 48' de longitud oeste y 1° 33' - 1° 34' de latitud sur; siendo su altura promedio sobre el nivel del mar de 3100 metros. (IEOS. 1982. p. 4)



**Figura 5-2:** Captación de Llío.  
**Fuente.** Susana Guevara

La geología de la zona donde se ubica la captación de Llío está constituida por depósitos pliocénicos y pleistocénicos producto de la actividad volcánica del Chimborazo y del arrastre de material por intermedio de las corrientes de los deshielos y luego depositarse, sedimentos variados tales como: rodados, gravas, arenas y en general toba volcánica y, que en conjunto forman depósitos que podrían considerarse que poseen una permeabilidad que varía de buena a poco permeable, siendo la facie laharítica del Chimborazo la que reúne mejores condiciones desde el punto de vista de aguas subterráneas, estimándose además que posea cantidades suficientes para una explotación racional del recurso hídrico. La prospección geofísica por el método de resistividad de suelos indica que el espesor de estratos considerados permeables, sería aproximadamente de 100 metros, correspondiendo los primeros 15 o 20 metros a toba fina y los restantes a la facie laharítica del Chimborazo. Por estas circunstancias y en vista de que en el sector existente puntos de agua (vertientes) con caudales apreciables, Llío presenta una zona de gran interés hidrogeológico. (IEOS. 1982. p. 10)

La captación de Llíó se constituye de siete pozos, cinco que funcionan desde 1981 y los otros dos desde 1989. Cada pozo se encuentra excavado con una profundidad menor a los 100 metros, provisto de una bomba de eje vertical con motor externo, de donde se conduce a gravedad el agua, por medio de un sistema de tubería hasta el tanque recolector principal de 100 m<sup>3</sup> de hormigón armado en el que confluye al agua de los pozos. (COSTALES, J. & CABEZAS, J. 2012. p. 14) (MANCHENO, N. 2010. 12)



**Figura 6-2:** Tanque recolector principal de Llíó.

**Fuente.** Susana Guevara

A continuación se indica la profundidad y el caudal de los pozos de la captación de Llíó.

**Tabla 4-2:** Pozos de la captación de Llíó.

<b>POZOS DE LA CAPTACIÓN LLÍO</b>		
<b>POZO N°</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	<b>CAUDAL (L/s)</b>
1	54	24
2	55	23
3	10	47
4	48	65
5	55	39
6	61	28
7	39	27

**Fuente:** EP- EMAPAR, 2010

A partir del tanque recolector y la unión con las aguas provenientes de San Pablo, se transporta el agua cruda por un sistema de tubería de acero de carbono con revestimiento vitamínico de 8 690 metros de longitud aproximadamente, hasta la planta de tratamiento ubicada en el sector el Carmen, donde pasa por proceso de aireación y desinfección con cloro gas, esta agua tratada es llevada a los tanques de reserva, de ahí, donde se trasladada por tubería de PVC a las diferentes redes de distribución de la ciudad de Riobamba. (COSTALES, J. & CABEZAS, J. 2012. p. 15)

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

Para determinar la contaminación radioactiva del agua de consumo de la ciudad de Riobamba, se utilizó dos tipos de técnicas, la primera alfa y beta total por el método de evaporación y la segunda espectrometría gamma de una muestra concentrada de agua.

#### 3.1 Análisis Alfa y Beta Total

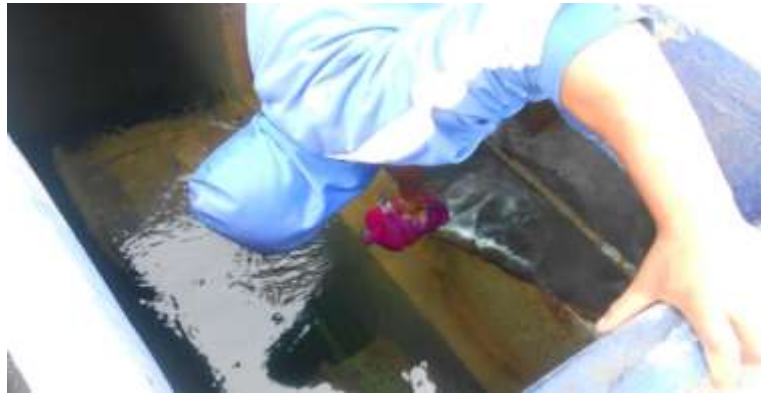
El análisis alfa y beta total se realizó en el Laboratorio de Vigilancia Ambiental de la SCAN utilizando un contador LUNDUM alfa- beta total, modelo 3030E de doble canal diseñado para la medición simultánea, alfa y beta de la muestra. El instrumento cuenta con un detector incorporado de ZnS (Ag) adherido a un material de plástico de centelleo, para la detección de radiación alfa se utiliza ZnS(Ag), y la radiación beta se detecta mediante el material plástico de centelleo; cuenta también con una fuente de alimentación de alta tensión, períodos de conteo de tiempo ajustable, dos pantallas LCD independientes. Este contador permite visualizar cuentas por minuto (cpm) o desintegraciones por minuto (dpm) en tiempo real de la muestra en estudio.



**Figura 1-3:** Contador LUDLUM - Modelo 3030E.  
**Fuente.** Susana Guevara

### ***3.1.1 Método de Evaporación Directa***

***Etapa 1: Toma de la muestra.*** Se toma una muestra de 2 litros de agua del tanque recolector de Llío, en un recipiente plástico nuevo con sellado hermético, a una inclinación de 45° y 10 cm bajo el agua.



**Figura 2-3:** Toma de la muestra.  
**Fuente.** Susana Guevara

Se añade a la muestra 6ml de ácido nítrico concentrado por litro, verificando que tenga un pH menor de 2 y colocando una etiqueta de identificación de la misma.

***Etapa 2: Evaporación de la muestra.*** La muestra de un litro de agua que ha permanecido en refrigeración, se coloca en un vaso de precipitación de 1000 ml previamente lavado con ácido clorhídrico y agua destilada, y este sobre una estufa dentro de la sorbona a temperatura baja y constante, evitando que en el proceso se produzca ebullición de la muestra, por 2 días aproximadamente, hasta obtener una muestra de 5 ml como resultado de la evaporación.





**Figura 3-3:** Evaporación de la muestra.  
**Fuente.** Susana Guevara

***Etapa 3: Medición de la radiación de fondo.*** La medición de la radiación de fondo del equipo centellador, se realizó con la plancheta seca y vacía previamente lavada con agua destilada, durante una hora.

***Etapa 4: Secado de la muestra.*** La muestra de 5 ml se transfiere a la plancheta, con la cual se realizó la medición de la radiación de fondo, con la ayuda de una pipeta, cuidando que el agua quede uniformemente distribuida en la superficie de la plancheta, la cual es llevada a una lámpara de secado hasta obtener una muestra sólida, posteriormente se traslada a un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.



**Figura 4-3:** Secado de la muestra.  
**Fuente.** Susana Guevara

**Etapa 3: Análisis de la muestra.** Se lleva la muestra al equipo de centelleo sólido de ZnS, para su respectiva lectura durante 1 hora.

### 3.2 Análisis con Espectrometría Gamma

El sistema de espectrometría gamma está conformado por un detector semiconductor de germanio hiperpuro de 7% de eficiencia relativa y 2.0 de resolución, con blindaje de rodajas de plomo forrado de acero inoxidable para la radiación de fondo, marca Canberra; ubicado en la parte superior de un criostato, en el interior de este criostato se encuentra nitrógeno en estado líquido, que por medio de un sistema de dedo frío permite que el detector mantenga la temperatura baja que necesita para trabajar. Consta también de un amplificador modelo 2021 Canberra que recibe la señal que envía el detector y a su vez este lleva hacia el computador que funciona con el software Gamma Vision.



**Figura 5-3:** Sistema de Espectrometría Gamma CANBERRA.  
**Fuente.** Susana Guevara

**Toma de la muestra.** Se realiza el muestreo en tres ocasiones, la primera el 16 Abril/ 2014 (12 litros), la segunda el 30 Abril/ 2014 (12 litros) y la tercera el 8 de Mayo/ 2014 (6 litros) del tanque recolector de Llío, utilizando recipientes plásticos nuevos con sellado hermético, a una inclinación de 45° y 10 cm bajo el agua.

**Evaporación de la muestra.** Las muestras de agua se conservaron en refrigeración durante los días que dura el proceso de evaporación.

En una cacerola de acero inoxidable, se evapora 1,5 litros de agua diarios hasta los 250 ml aproximadamente, se espera que se enfríe y se coloca nuevamente en refrigeración, de esta misma forma se procede durante los siguientes días hasta obtener una muestra concentrada de 75 ml aproximadamente, la cual se coloca en un recipiente nuevo para su análisis.



**Figura 6-3:** Producto de la evaporación de la muestra.  
**Fuente.** Susana Guevara

*Análisis de la muestra.* La muestra concentrada es colocada directamente en el espectrómetro gamma, por un lapso de 3600 s, a fin de obtener el espectro correspondiente.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La técnica alfa y beta total requiere el cálculo de algunos parámetros relacionados a la plancheta y la determinación del fondo, como se especifica en la siguiente tabla.

#### 4.1 Alfa y Beta total

**Tabla 1-4:** Parámetros utilizados en el cálculo de la actividad alfa y beta total.

<b>PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA ACTIVIDAD ALFA Y BETA TOTAL</b>		
<b>Datos</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Peso de la plancheta vacía	P <sub>1</sub>	0 mg
Peso de la plancheta mas muestra	P <sub>2</sub>	2 mg
Área interior de la plancheta	A	19.63 cm <sup>2</sup>
Volumen evaporado	V	1 L
Número de cuentas alfa con la plancheta vacía (fondo)	cph <sub>b</sub> alfa	12 cph
Número de cuentas alfa con la plancheta y muestra	cph alfa	14 cph
Número de cuentas beta con la plancheta vacía (fondo)	cph <sub>b</sub> beta	2167 cph
Número de cuentas beta con la plancheta y muestra	cph beta	2157 cph

Fuente: Susana Guevara

#### 4.1.1 Cálculo de la Actividad Alfa y Beta Total

*Espesor másico.*

$$EM = \frac{(P_2 - P_1)}{A} \quad (1.4)$$

$$EM = \frac{(2 \text{ mg} - 0 \text{ mg})}{19.63 \text{ cm}^2} \quad (2.4)$$

$$EM = \frac{2 \text{ mg}}{19.63 \text{ cm}^2} \quad (3.4)$$

$$EM = 0.10188 \text{ mg/cm}^2 \quad (4.4)$$

***Eficiencia alfa.***

$$\varepsilon_\alpha = (-0.009 * EM) + 0.14 \quad (5.4)$$

$$\varepsilon_\alpha = (-0.009 * 0.10188) + 0.14 \quad (6.4)$$

$$\varepsilon_\alpha = 0.14408 \quad (7.4)$$

***Eficiencia beta.***

$$\varepsilon_\beta = (-0.045 * EM) + 1.001 \quad (8.4)$$

$$\varepsilon_\beta = (-0.045 * 0.10188) + 1.001 \quad (9.4)$$

$$\varepsilon_\beta = 0.99642 \quad (10.4)$$

***Actividad alfa total.***

$$\alpha = \frac{(cpm \text{ alfa} - cpm_b \text{ alfa})}{60 * \varepsilon_\alpha * V} \quad (11.4)$$

$$\alpha = \frac{(cph \text{ alfa}/60 - cph_b \text{ alfa}/60)}{60 * \varepsilon_\alpha * V} \quad (12.4)$$

$$\alpha = \frac{(14/60 - 12/60)}{60 * 0.14408 * 1 \text{ L}} \quad (13.4)$$

$$\alpha = 0.1349 \text{ Bq/L} \quad (14.4)$$

***Actividad beta total.***

$$\beta = \frac{(cpm \text{ beta} - cpm_b \text{ beta})}{60 * \varepsilon_\beta * V} \quad (15.4)$$

$$\beta = \frac{(cph_{beta}/60 - cph_b \beta/60)}{60 * \epsilon_{\beta} * V} \quad (16.4)$$

$$\beta = \frac{(2157/60 - 2167/60)}{60 * 0.99642 * 1 L} \quad (17.4)$$

$$\beta = 0.080 Bq/L \quad (18.4)$$

## 4.2 Radionúclidos reportados por espectrometría Gamma

El análisis realizado por espectrometría gamma permite identificar los radionucleidos presentes en la muestra concentrada de agua de consumo de Llío como muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2-4:** Radionúclidos presentes en el agua.

<b>RADIONÚCLIDOS PRESENTES EN EL AGUA</b>		
<b>Núclido</b>	<b>Valor (Bq/L)</b>	<b>Tipo de decaimiento</b>
Bi 207	< 1.9642	Beta
K 40	211.65	Beta
U 235	< 2.4082	Alfa
U 237	< 121.36	Beta
Ac 228	< 11.949	Beta
Ra 226	< 49.247	Alfa
Bi 214	< 4.9471	Beta
Pb 214	< 4.8276	Beta
Pb 212	< 5.5360	Beta
Pb 210	< 485.42	Beta
Tl 208	< 2.3714	Beta

Co 60	< 1.3148	Beta
I 131	< 1.5294	Beta
Cs 134	< 2.5536	Beta
Cs 137	< 2.0614	Beta
Tc 99m	< 2.9407	Beta
Pu 239	< 389740	Alfa
Am 241	< 116.56	Alfa

Fuente: SCAN, 2013 y reporte N° 12 de la EPA, 2011

### 4.3 Cálculo de Dosis Efectiva Anual

**Tabla 3-4:** Factor de conversión de dosis efectiva por ingesta de radionucleidos en agua.

<b>FACTOR DE CONVERSIÓN DE DOSIS EFECTIVA POR INGESTA DE RADIONUCLEÍDOS EN AGUA</b>	
<b>Núclidos</b>	<b>FDE (μSv/Bq)</b>
Bi 207	0.0013
K 40	0.0062
U 235	0.047
U 237	0.00076
Ac 228	0.00043
Ra 226	0.28
Bi 214	0.00011
Pb 214	0.00014

Pb 212	0.006
Pb 210	0.69
Tl 208	0.0026
Co 60	0.0034
I 131	0.022
Cs 134	0.019
Cs 137	0.013
Tc 99m	0.000022
Pu 239	0.25
Am 241	0.20

Fuente: Publicación ICRP N° 119, 2012

***Cálculo de la dosis efectiva anual de los radionucleidos emisores alfa presentes en el agua.***

$^{235}\text{U}$

$$D_{235\text{U}} = C_{\alpha} * U_{\text{H}_2\text{O}} * FDE_{235\text{U}} \quad (19.4)$$

$$D_{235\text{U}} = 0.1349 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.047 \mu\text{Sv/Bq} \quad (20.4)$$

$$D_{235\text{U}} = 3.17015 \mu\text{Sv} \quad (21.4)$$

$^{226}\text{Ra}$

$$D_{226\text{Ra}} = C_{\alpha} * U_{\text{H}_2\text{O}} * FDE_{226\text{Ra}} \quad (22.4)$$

$$D_{226\text{Ra}} = 0.1349 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.28 \mu\text{Sv/Bq} \quad (23.4)$$

$$D_{226\text{Ra}} = 18.886 \mu\text{Sv} \quad (24.4)$$



$^{239}\text{Pu}$

$$D_{239\text{Pu}} = C_{\alpha} * U_{\text{H}_2\text{O}} * FDE_{239\text{Pu}} \quad (25.4)$$

$$D_{239\text{Pu}} = 0.1349 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.25 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (26.4)$$

$$D_{239\text{Pu}} = 16.8625 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (27.4)$$

$^{241}\text{Am}$

$$D_{241\text{Am}} = C_{\alpha} * U_{\text{H}_2\text{O}} * FDE_{241\text{Am}} \quad (28.4)$$

$$D_{241\text{Am}} = 0.1349 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.20 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (29.4)$$

$$D_{241\text{Am}} = 13.49 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (30.4)$$

***Cálculo de la dosis efectiva anual total de emisores alfa.*** La dosis efectiva anual total de emisores alfa ( $D_{\alpha}$ ), es la suma de las dosis que aporta cada radionucleido.

$$D_{\alpha} = \sum_{i=1}^4 D_i \quad (31.4)$$

$$D_{\alpha} = D_{235\text{U}} + D_{226\text{Ra}} + D_{239\text{Pu}} + D_{241\text{Am}} \quad (32.4)$$

$$D_{\alpha} = 52.40865 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (33.4)$$

***Cálculo de la dosis efectiva anual de los radionucleidos emisores beta presentes en el agua.***

$^{207}\text{Bi}$

$$D_{207\text{Bi}} = C_{\beta} * U_{\text{H}_2\text{O}} * FDE_{207\text{Bi}} \quad (34.4)$$

$$D_{207\text{Bi}} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.0013 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (35.4)$$

$$D_{207\text{Bi}} = 0.052 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (36.4)$$

<sup>40</sup>K

$$D_{40K} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{40K} \quad (37.4)$$

$$D_{40K} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.0062 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (38.4)$$

$$D_{40K} = 0.248 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (39.4)$$

<sup>237</sup>U

$$D_{237U} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{237U} \quad (40.4)$$

$$D_{237U} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.00076 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (41.4)$$

$$D_{237U} = 0.0304 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (42.4)$$

<sup>228</sup>Ac

$$D_{228Ac} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{228Ac} \quad (43.4)$$

$$D_{228Ac} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.00043 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (44.4)$$

$$D_{228Ac} = 0.0172 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (45.4)$$

<sup>214</sup>Bi

$$D_{214Bi} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{214Bi} \quad (46.4)$$

$$D_{214Bi} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.00011 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (47.4)$$

$$D_{214Bi} = 0.0044 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (48.4)$$

<sup>214</sup>Pb

$$D_{214Pb} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{214Pb} \quad (49.4)$$

$$D_{214Pb} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.00014 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (50.4)$$

$$D_{214Pb} = 0.0056 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (51.4)$$

<sup>212</sup>Pb

$$D_{212Pb} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{212Pb} \quad (52.4)$$

$$D_{212Pb} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.006 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (53.4)$$

$$D_{212Pb} = 0.24 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (54.4)$$

<sup>210</sup>Pb

$$D_{210Pb} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{210Pb} \quad (55.4)$$

$$D_{210Pb} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.69 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (56.4)$$

$$D_{210Pb} = 27.6 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (57.4)$$

<sup>208</sup>Tl

$$D_{208Tl} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{208Tl} \quad (58.4)$$

$$D_{208Tl} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.0026 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (59.4)$$

$$D_{208Tl} = 0.104 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (60.4)$$

<sup>60</sup>Co

$$D_{60Co} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{60Co} \quad (61.4)$$

$$D_{60Co} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.0034 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (62.4)$$

$$D_{60Co} = 0.136 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (63.4)$$

<sup>131</sup>I

$$D_{131I} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{131I} \quad (64.4)$$

$$D_{131I} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.022 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (65.4)$$

$$D_{131I} = 0.88 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (66.4)$$

<sup>134</sup>Cs

$$D_{134Cs} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{134Cs} \quad (67.4)$$

$$D_{134Cs} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.019 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (68.4)$$

$$D_{134Cs} = 0.76 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (69.4)$$

<sup>137</sup>Cs

$$D_{137Cs} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{137Cs} \quad (70.4)$$

$$D_{137Cs} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.013 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (71.4)$$

$$D_{137Cs} = 0.52 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (72.4)$$

$^{99m}\text{Tc}$

$$D_{99m\text{Tc}} = C_{\beta} * U_{H_2O} * FDE_{99m\text{Tc}} \quad (73.4)$$

$$D_{99m\text{Tc}} = 0.080 \text{ Bq/L} * 500 \text{ L} * 0.000022 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} \quad (74.4)$$

$$D_{99m\text{Tc}} = 0.00088 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (75.4)$$

**Cálculo de la dosis efectiva anual total de radionucleidos emisores beta.** La dosis efectiva anual total de emisores beta ( $D_{\beta}$ ) es la suma de las dosis que aporta cada radionucleido.

$$D_{\beta} = \sum_{i=1}^{14} D_i \quad (76.4)$$

$$D_{\beta} = D_{207\text{Bi}} + D_{40\text{K}} + D_{237\text{U}} + D_{228\text{Ac}} + D_{214\text{Bi}} + D_{214\text{Pb}} + D_{212\text{Pb}} + D_{210\text{Pb}} + \\ D_{208\text{Tl}} + D_{60\text{Co}} + D_{131\text{I}} + D_{134\text{Cs}} + D_{137\text{Cs}} + D_{99m\text{Tc}} \quad (77.4)$$

$$D_{\beta} = 30.59848 \text{ } \mu\text{Sv} \quad (78.4)$$

**Cálculo de la dosis efectiva anual total.** Es la suma de la dosis efectiva anual total de los radionucleidos emisores alfa y la dosis efectiva anual total de los radionucleidos emisores beta.

$$D_T = D_{\alpha} + D_{\beta} \quad (79.4)$$

$$D_T = 0.083 \text{ mSv} \quad (80.4)$$

### 4.3 Discusión de Resultados

El agua de consumo de la ciudad de Riobamba contiene los siguientes elementos radioactivos emisores alfa: Ra-226, U-235, Pu-239 y Am-241 y los siguientes radionucleidos emisores beta: Co-60, I-131, Cs-134, Cs-137, Bi-207, K-40, U-237, Ac-228, Bi-214, Pb-214, Pb-212, Pb-210, Tl-208 y Tc-99m.

El valor calculado de la actividad alfa total es  $0.1 \text{ Bq L}^{-1}$ , mismo que coincide con el valor del límite máximo permitido por el INEN ( $0.1 \text{ Bq L}^{-1}$ ) y es menor al valor del límite máximo permitido por la OMS ( $0.5 \text{ Bq L}^{-1}$ ).

El valor calculado de la actividad beta total es  $0.1 \text{ Bq L}^{-1}$ , mismo que es menor que el límite máximo permitido por el INEN ( $1 \text{ Bq L}^{-1}$ ) y la OMS ( $1 \text{ Bq L}^{-1}$ ).

La dosis efectiva anual alfa por radionucleido se encuentran entre  $3.17 \text{ }\mu\text{Sv}$  y  $18.89 \text{ }\mu\text{Sv}$ ; en cambio las dosis efectivas beta oscilan entre  $0.00088 \text{ }\mu\text{Sv}$  y  $27.6 \text{ }\mu\text{Sv}$ .

La dosis efectiva anual del uranio 235 para el agua de la ciudad de Riobamba tiene un valor de  $3.17 \text{ }\mu\text{Sv}$  y está por debajo del límite máximo permitido por la EPA ( $13.04 \text{ }\mu\text{Sv}$ ).

La dosis efectiva anual del cesio 134 ( $0.76 \text{ }\mu\text{Sv}$ ), se encuentra muy por debajo del límite máximo permitido por la EPA ( $3.52 \text{ }\mu\text{Sv}$ ).

La dosis efectiva anual del yodo 131 ( $0.88 \text{ }\mu\text{Sv}$ ) se encuentra cerca del valor máximo permitido por la EPA ( $1.22 \text{ }\mu\text{Sv}$ ).

La dosis efectiva anual del radio 226 con un valor de  $18.89 \text{ }\mu\text{Sv}$ , está próxima al valor máximo permitido por la EPA ( $25.9 \text{ }\mu\text{Sv}$ ).

La dosis efectiva anual total alfa y beta con un valor de  $0.083 \text{ mSv}$ , es menor que el valor del límite máximo permitido por la OMS ( $0.1 \text{ mSv}$ ).

## CONCLUSIONES

Desde el punto de vista radiológico, el agua de bebida de la ciudad de Riobamba es apta y segura para el consumo, porque no sobrepasa los límites normados por la Organización Mundial de la Salud,  $0.5 \text{ Bq L}^{-1}$  para la actividad alfa total y  $1 \text{ Bq L}^{-1}$  para la actividad beta total.

Los radionucleidos emisores alfa que se encuentran en el agua de consumo de la ciudad de Riobamba son: Ra-226, U-235, Pu-239 y Am-241.

Los radionucleidos emisores beta que se encuentran en el agua de consumo de la ciudad de Riobamba son: Co-60, I-131, Cs-134, Cs-137, Bi-207, K-40, U-237, Ac-228, Bi-214, Pb-214, Pb-212, Pb-210, Tl-208 y Tc-99m.

A pesar de que en el agua de consumo de la ciudad de Riobamba se encuentran radionúclidos de preocupación para la salud como el radio 226, uranio 235, cesio 134 y yodo 131, las concentraciones de estos elementos cumplen con los estándares internacionales para que el agua sea considerada de buena calidad.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son confiables, ya que la metodología utilizada en la determinación del índice alfa y beta total es la que recomienda el Consejo de Seguridad Nuclear.

La geología de la captación de Llío está constituida por depósitos pliocénicos y pleistocénicos producto de la actividad volcánica de la zona, los resultados de la contaminación radioactiva del agua no exceden los valores máximo permitidos por los organismos reguladores nacionales e internacionales, por lo que no representa un riesgo para la salud.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar estudios radiológicos en aguas termales debido a accidentes ocurridos en la provincia de Imbabura.

Implementar un laboratorio propio que permita realizar investigaciones relacionadas a la determinación de elementos radioactivos en agua, aire y alimentos.

Aplicar la normativa nacional dado por el INEN, puesto que en Ecuador los análisis radiológicos del agua de consumo son opcionales y no obligatorios.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. **ACOSTA, A., & MARTÍNEZ, E.** El agua, un derecho humano fundamental. Quito- Ecuador. Abya - Yala. 2010, pp: 7-14
2. **APHA, AWWA, & WPCF.** Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales. España. Díaz de Santos. 2009, pp: 1037-1053
3. **ATTIX, F.** Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. New York - United States. John Wiley & Sons. 1986, pp: 20-34
4. **AUSTRIA. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR).** Report 2000 Annex A. Vienna - Austria. UNSCEAR. 2000, pp: 37-42
5. **AWWA.** Water Quality. 4<sup>a</sup> ed. United States. American Water Works Association. 2010, pp:169-175
6. **CAMACHO, A. y Otros.** Resultados del índice de actividad alfa total en aguas potables en función del método de preparación radioquímica y de medida. Sostaqua, 10, 1, 2010, España, pp: 1-7
7. **CAMEÁN, A.** Toxología alimentaria. España. Díaz de Santos. 2012, pp: 609-619
8. **CHERRY, R.** Radiaciones ionizantes. España. D-INSHT. 2012, p. 48.3

9. **COSTALES V., José B., & CABEZAS A., Juan P.** Plan de contingencia para el sistema de agua potable de la ciudad de Riobamba. (Tesis) (Ing. Civil). Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Riobamba - Ecuador. 2012, pp: 13-22
  
10. **DÁVILA R., Ignacio J.** Caracterización radiológica de agua potable en las ciudades de Zacatecas y Guadalupe del estado de Zacatecas. (Tesis) (MSc. en Ciencias). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Físico Matemático, División de Estudios de Posgrado. México. 2001, pp: 11-23
  
11. **ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE OBRAS SANITARIAS (IEOS).** Estudio hidrológico de la zona de Llío y de perforacion de pozos definitivos para la ampliación del sistema de agua potable de la ciudad de Riobamba- provincia de Chimborazo. Quito - Ecuador. IEOS. 1982, pp: 4-13
  
12. **ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).** Agua Potable. Requisitos. Quito - Ecuador. INEN. 2011, p. 2
  
13. **ENRESA.** V<sup>as</sup> Jornadas de investigación y desarrollo tecnológico en gestión de residuos radiactivos Vol. I, Madrid - España. Grafistaff. 2004, pp: 26-30
  
14. **ESPAÑA. CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN).** Procedimiento para la preparación de muestras de agua para determinar la actividad de emisores gamma. Retención de yodo y extracción selectiva de cesio. Madrid – España. CNS. 2007, pp: 5-10
  
15. **ESPAÑA. CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN).** Procedimientos para la determinación del índice de actividad alfa total en muestras de agua. Métodos de coprecipitación y evaporación. Madrid – España. CSN. 2006, pp: 8-11





16. **ESPAÑA. CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN).** Control radiológico del agua de bebida. Madrid- España. CSN. 1994, pp: 4-9
17. **ESPAÑA. CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN).** Procedimientos para la determinación de los índices de actividad beta total y beta resto en aguas mediante contador proporcional. Madrid- España. CSN. 2004, pp: 6-10
18. **ESTRADA, E.** Radioactividad natural y salud: ¿ha llegado el momento de prestarle más atención?. Salud Ambiental, 8, 2, 2008, España, pp: 74-80
19. **FERRER, A.** Física nuclear y de partículas. 2ª ed. Valencia. Diazotec. 2006, pp: 215 – 241
20. **GIANCOLI, D.** Física para ciencias e ingeniería con física moderna Vol.II. 4ª ed. México- México. Pearson. 2009, pp: 1110 – 1116
21. **GUTIÉRREZ, J. y Otros.** Radiactividad en aguas de consumo. Salud Ambiental, 11, 1, 2011, España, pp: 32-37
22. **LEGARDA, F. y Otros.** Control de la radiactividad en las aguas de consumo humano. Tecnología del agua, 4, 2, 2008, España, pp: 44- 47
23. **LORÍA, L. y Otros.** Evaluación radiológica de alimentos y de agua de consumo en Costa Rica. Agronomía Costarricense, 31, 1, 2007, Costa Rica, pp: 53-59
24. **MANCHENO P., Nelson P.** Análisis de la problemática y ampliación del sistema de agua potable en la ciudad de Riobamba. (Tesis) (Ing. Civil). Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Civil. Sangolquí - Ecuador. 2010, pp: 11 – 29

- 25. MARTÍN L., Candelaria M.** Variación espacio-temporal del nivel de emisión de radón en una zona volcánica activa: Tenerife (Islas Canarias). (Tesis) (Doc. en Geología). Universidad de la Laguna, Departamento de Edafología y Geología. España. 1999, pp: 5 – 15
- 26. MOHAMMADI, S.** Radioactive decay elements in Iranian water and cigarettes. Arh Hig Rada Toksikol, 61, 2, 2010, Croacia, pp: 235-239
- 27. SAFE DRINKING WATER COMMITTEE.** Drinking Water and Health Vol.I. Washington- United States. National Academies Press. 1977, pp: 857 – 898
- 28. SUÁREZ N., José A.** Investigación de procedimientos radioquímicos para la determinación de los principales emisores alfa en agua para su implementación en una red de vigilancia radiológica ambiental. (Tesis) (Doc. en Ciencias Químicas). Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Analítica y Análisis Instrumental. Madrid – España. 2009, pp: 3 – 12
- 29. SUECIA. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP).** Annals of the ICRP- Publication 119. Suecia. Elsevier. 2012, pp: 71-86
- 30. SUIZA. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO).** Guidelines for drinking water quality. Geneva- Suiza. WHO. 2008, pp: 197-205
- 31. UNITED STATES OF AMERICA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA).** Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. Washington- United States. EPA. 2011, p. 9

# ANEXOS

## ANEXO A

### REPORTE DE ANÁLISIS ALFA Y BETA TOTAL

 <p><b>Ministerio de Electricidad y Energía Renovable</b></p>	<p><b>INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO</b></p> <p>MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES LABORATORIO DE VIGILANCIA AMBIENTAL RADIOACTIVA</p>								
<p>INFORME DE ANÁLISIS N°: SCAN-JRAD-2014-120</p>									
<p><b>SOLICITANTE:</b></p> <p>Muestras de (s): Muestreado por: Número de muestras: Fecha de ingreso al laboratorio: Fecha de procesamiento de muestras: Fecha de Análisis Instrumental: Fecha de emisión del informe:</p>	<p><b>Dra. Jhenny del Carmen Ordoñez</b> AGUA DE CONSUMO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA CLIENTE 1 MUESTRA DE AGUA 20 de marzo del 2014 21 de marzo del 2014 25 de marzo del 2014 31 de marzo del 2014</p>								
<p><b>Técnicas:</b></p> <p>Conteo en detector de Sulfuro de Zinc. Tratamiento de la muestra. Evaporación Directa. Curvas de autoabsorción de Am-241 y Sr-90. Determinación Alfa y Beta total en muestras de aguas ambientales. Método externo: MEER-SCAN-ARAD-010 Conteo por Centelleo Líquido con cocktail centelleador, curvas de Quenching: MEER-SCAN-ARAD-005 Determinación Beta en muestras: Método Isotermo: MEER-SCAN-ARAD-006 Espectrometría Gamma de Germanio Hiperpuro.</p>	<p><b>Equipos:</b></p> <p>Contador de Zulfuro de Zinc alfa-beta LUDLUM Alfa total, beta total Contador de centelleo líquido Packard 1620 TR Detector GEM-2011081P - Resolución (FWHM) a 1.33 MeV: 60 Co 2,40 KeV</p>								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">CODIGO LABORATORIO MUESTRA</th> <th style="width: 25%;">CODIGO CLIENTE MUESTRA</th> <th style="width: 25%;">ALFA TOTAL</th> <th style="width: 25%;">BETA TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">ARAD-120-01</td> <td style="text-align: center;">AGUA DE CONSUMO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA</td> <td style="text-align: center;">&lt; 0,1 Bq/L</td> <td style="text-align: center;">&lt; 0,2 Bq/L</td> </tr> </tbody> </table>		CODIGO LABORATORIO MUESTRA	CODIGO CLIENTE MUESTRA	ALFA TOTAL	BETA TOTAL	ARAD-120-01	AGUA DE CONSUMO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	< 0,1 Bq/L	< 0,2 Bq/L
CODIGO LABORATORIO MUESTRA	CODIGO CLIENTE MUESTRA	ALFA TOTAL	BETA TOTAL						
ARAD-120-01	AGUA DE CONSUMO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	< 0,1 Bq/L	< 0,2 Bq/L						
<p><b>Notas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 El resultado de este informe es exclusivo para la muestra de <b>Dra. Jhenny del Carmen Ordoñez</b>. Ingresada el 20 de marzo del 2014</li> <li>2 Documento confidencial para el uso de la <b>Dra. Jhenny del Carmen Ordoñez</b>. No puede reproducirse total ni parcialmente sin autorización del laboratorio.</li> <li>3 Las muestras a la que se refiere este reporte se mantienen en custodia por 30 días luego de la emisión de este informe. Concluido este período se desecharán.</li> <li>4 El laboratorio no se responsabiliza de la interpretación dada a este resultado.</li> <li>5 Los datos asociados con este estudio (análisis alfa y beta grueso, espectros gamma, lecturas de centelleo líquido, etc.) se mantendrán en custodia por un plazo de seis meses después de emitido el reporte. Posterior a este período se descartarán.</li> </ol>									
<p>Realizado por:</p>  <p>DR/CS</p>	<p>Responsable del Laboratorio (ARAD):</p>  <p>Dr. Omar Suárez</p>								
 <p><b>SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES</b></p> <p>Firma de Responsabilidad</p>									

# ANEXO B

## REPORTE DE ESPECTROMETRÍA GAMMA

 <b>Ministerio de Electricidad y Energía Renovable</b>	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIACTIVO</b>  MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES LABORATORIO DE VIGILANCIA AMBIENTAL RADIACTIVA
<b>INFORME DE ANÁLISIS N°: SCAN-ARAD-2014-149</b>	

<b>SOLICITANTE:</b> Muestras de (matriz): Muestreado por: Número de muestra(s): Fecha de ingreso al laboratorio: Fecha de procesamiento de muestras: Fecha de Análisis Instrumental: Fecha de emisión del Informe:	Orbe Ochofórez Jherry Del Carmen Agua natural concentrada por evaporación Cierre: 1 4 de Jun de 14 15 de Jun de 14 23 de Jun de 14 24 de Jun de 14
---	---

CODIGO VAR MUESTRA	CODIGO CLIENTE MUESTRA	Cs-137 <sup>m</sup>	Cs-134 <sup>m</sup>	Co-60 <sup>m</sup>	I-131 <sup>m</sup>	K-40 <sup>m</sup>	Am-241 <sup>m</sup>
* ARAD-2014-149-01	AGUA RIO LLIO	Bq/L < 2.06	Bq/L < 2.55	Bq/L < 1.31	Bq/L < 1.53	Bq/L 211.7	Bq/L < 116
CODIGO VAR MUESTRA	CODIGO CLIENTE MUESTRA	Pb-212 <sup>m</sup>	Pb-214 <sup>m</sup>	Ra-226 <sup>m</sup>	Tl-208 <sup>m</sup>	Bi-207 <sup>m</sup>	Ac-228 <sup>m</sup>
ARAD-2014-149-01	AGUA RIO LLIO	Bq/L < 5.54	Bq/L < 4.55	Bq/L < 49.2	Bq/L < 2.07	Bq/L < 1.96	Bq/L < 1.19




**Técnicas:** Técnica de análisis ultravioleta Espectrometría gamma para Cs-137, Cs-134, Co-60, I-131, Am-241 y K-40. Técnica de análisis utilizada óptica líquida para Sr-90. Otros radionúclidos naturales como Pb-212, Pb-214, Ra-226, entre otros, están presentes e medidos no detectables por el Sistema Instrumental

**Técnicas:**

Conteo en detector de Sulfuro de Zinc. Tratamiento de la muestra Evaporación Directa  
 Curvas de autoabsorción de Am-241 y Sr-90. Método interno: MEER-SCAN-ARAD-000.  
 Conteo por centelleo líquido. Lechura con coctel centelleador. Curvas de cuantificación. Método interno: MEER-SCAN-ARAD-005  
 Espectrometría gamma con detector semiconductor de germanio hiperpuro. Método interno: MEER-SCAN-ARAD-001

**Equipos:**

Contador de Sulfuro de Zinc alpha-beta LUCIFUM. Alta total. beta total  
 Contador de centelleo líquido Packard 1000 TR  
 Espectrómetro Gamma. Camberra de 1% de eficiencia relativa. 2.0 de resolución

<b>Notas:</b> 1 El resultado de este informe es exclusivo para las(1) muestra(s) de Orbe Ochofórez Jherry Del Carmen ingresada(s) el 04 de junio de 2014 2 Documento confidencial para el uso de Orbe Ochofórez Jherry Del Carmen. No puede reproducirse total ni parcialmente sin autorización del laboratorio. 3 La(s) muestra(s) a la que se refiere este reporte se mantendrá en custodia por 30 días luego de la emisión de este informe. Continuado este periodo se asociarán 4 El laboratorio no se responsabiliza de la interpretación dada a este resultado. 5 Los datos asociados con este estudio (emisión alpha y beta grueso, espectros gamma, lecturas de canales líquidos, etc.) se mantendrán en custodia por un plazo de seis meses después de emitido el reporte. Poderán a este periodo se asociarán.	Responsable de Laboratorio (ARAD)   Dr. Omar Rojas
Realizado por   CS-CUBA	Responsable de Laboratorio (ARAD)   CS-CUBA

Sample description

Spectrum Filename: C:\User\ESPECTROS CLIENTES\Dra. Orbe universidad E  
 SPOCH.An1

Acquisition information

Start time: 23/06/2014 9:25:51  
 Live time: 3600  
 Real time: 3603  
 Dead time: 0.09 %  
 Detector ID: 1

Detector system  
 VAR01 MCB 129

\*\*\*\*\* S U M M A R Y O F N U C L I D E S I N S A M P L E \*\*\*\*\*

Nuclide	Time of Count	Activity	Uncertainty	2 Sigma
	Counting	Bq/L	Counting	Total
BI-207	<	1.9642E+00		
K-40		2.1165E+02	3.792E+01%	3.833E+01%
U-235	<	2.4082E+00		
U-237	<	1.2136E+02		
AC-228	<	1.1949E+01		
RA-226	<	4.9247E+01		
BI-214	<	4.9471E+00		
PB-214	<	4.8276E+00		
PB-212	<	5.5360E+00		
PB-210	<	4.8542E+03		
TL-208	<	2.3714E+00		

- < - MDA value printed.
- A - Activity printed, but activity < MDA.
- B - Activity < MDA and failed test.
- C - Area < Critical level.
- F - Failed fraction or key line test.
- H - Half-life limit exceeded

----- S U M M A R Y -----  
 Total Activity ( 60.0 to 1650.9 keV) 2.116E+02 Bq/L

Analyzed by: OS CJ CS

Reviewed by: Supervisor

Laboratory: VIGILANCIA AMBIENTAL RADIATIVA

Sample description

Spectrum Filename: C:\User\Spectra\Dra. Orbe Universidad ESPOCH 2.An1

Acquisition information

Start time: 23/06/2014 9:25:51  
Live time: 3600  
Real time: 3603  
Dead time: 0.09 %  
Detector ID: 1

Detector system  
VAR01 MCB 129

H - Halflife limit exceeded

\*\*\*\*\* S U M M A R Y O F N U C L I D E S I N S A M P L E \*\*\*\*\*

Nuclide	Time of Count Activity Bq/L	Uncertainty Counting	2 Sigma Total
K-40	2.1165E+02	3.792E+01%	3.833E+01%
CO-60 <	1.3148E+00		
J-131 <	1.5294E+00		
CS-134 <	2.5536E+00		
CS-137 <	2.0614E+00		
TC-99M <	2.9407E+00		
PU-239 <	3.8974E+05		
AM-241 <	1.1656E+02		

- < - MDA value printed.
- A - Activity printed, but activity < MDA.
- B - Activity < MDA and failed test.
- C - Area < Critical level.
- F - Failed fraction or key line test.
- H - Halflife limit exceeded

----- S U M M A R Y -----  
Total Activity ( 60.0 to 1650.9 keV) 2.116E+02 Bq/L

Analyzed by: OS CJ CS

Reviewed by: Supervisor

Laboratory: VIGILANCIA AMBIENTAL RADIATIVA