

# **UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

## **CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

*Trabajo de titulación previo a la obtención del título de*

Ingeniero Ambiental

### **TEMA:**

ANALIZAR LA EXPOSICION AL RADON POR LOS TRABAJADORES Y USUARIOS DE  
DOS BALNEARIOS DE AGUAS TERMALES DE LA PARROQUIA BAÑOS,  
CONSIDERANDO LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL AGUA Y LAS  
VARIABLES METEOROLÓGICAS DE LA ZONA

### **AUTOR:**

Ángel Rubén Ayavaca Bravo

### **DIRECTOR:**

Dr. Tony Jesús Vilorio Ávila, PhD.

CUENCA – ECUADOR

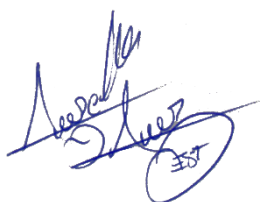
Marzo - 2018

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ángel Rubén Ayavaca Bravo portador de la cédula de identidad 0102229358 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy autor del trabajo de titulación “ANALIZAR LA EXPOSICION AL RADON POR LOS TRABAJADORES Y USUARIOS DE DOS BALNEARIOS DE AGUAS TERMALES DE LA PARROQUIA BAÑOS, CONSIDERANDO LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL AGUA Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS DE LA ZONA”, mismo que ha sido desarrollado para obtener el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento en que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo de 2018



**Ángel Rubén Ayavaca Bravo**

**0102229358**

**CERTIFICACIÓN**

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación “ANALIZAR LA EXPOSICION AL RADON DE LOS TRABAJADORES Y USUARIOS DE DOS BALNEARIOS DE AGUAS TERMALES DE LA PARROQUIA BAÑOS, CONSIDERANDO LAS PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS DEL AGUA Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS DE LA ZONA”, realizado por Ángel Rubén Ayavaca Bravo, obteniendo un trabajo experimental que cumplen con todos los requisitos estipulados por la Universidad Salesiana.

Cuenca, marzo de 2018

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'T' followed by a long, sweeping horizontal line that curves upwards at the end.

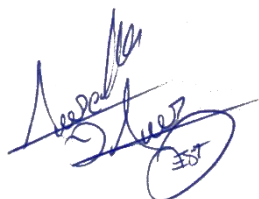
**Tony Jesús Viloría Ávila**

**0838936334**

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Ángel Rubén Ayavaca Bravo portador de la cédula de ciudadanía 0102229358 autor del trabajo de titulación “ANALIZAR LA EXPOSICION AL RADON DE LOS TRABAJADORES Y USUARIOS DE DOS BALNEARIOS DE AGUAS TERMALES DE LA PARROQUIA BAÑOS, CONSIDERANDO LAS PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL AGUA Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS DE LA ZONA”, certifico que el total contenido del presente trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Marzo de 2018



**Ángel Rubén Ayavaca Bravo**

**0102229358**

## DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a mis padres y hermanas que día a día han sido mi soporte en los momentos difíciles en los cuales pensaba renunciar, ya que sus palabras y entusiasmo me alentaron a culminar la meta trazada.

A mi esposa y amiga, a mis hijos que son el motor de superación y fortaleza para vencer cualquier obstáculo para conseguir con humildad, esfuerzo y constancia los sueños.

De manera especial dedico este trabajo a mis tres abuelitas que con su cariño, bondad y alegría han sido mi guía en el duro camino de la vida, los valores éticos que me han sabido transmitir son la base en los cuales forjo mi pensamiento de lucha.

## AGRADECIMIENTO

Gracias Dios Padre bueno por ser la luz de mi destino, gracias Madre Celestial Virgen Auxiliadora por ser la protectora de mi vida, gracias al gran Maestro Don Bosco por ser la fortaleza en mis destrezas y estudios.

Agradezco de manera muy especial a mi madre querida, quien con su sacrificio y apoyo incondicional me alentó a alcanzar este logro académico.

A mi esposa que ha sabido permanecer junto a mí en los momentos difíciles, y con su amor incondicional brindarme la fortaleza necesaria para alcanzar tan valioso éxito.

A mi hijo Esteban quien me inspiro en esta travesía, con lo cual vencí los temores del fracaso y salieron a flote las aptitudes de superación, sin importar el tiempo transcurrido.

No puedo dejar de agradecer a mi Director de tesis el Dr. Tony Viloría que con su sabiduría y conocimientos me guiaron en el desarrollo de este trabajo, así como a los demás docentes que fueron pieza clave en la enseñanza de nuevos conocimientos con los que cuento, a mis compañeros con quien comparto su amistad y respeto gracias de corazón.

## RESUMEN

El presente trabajo exploratorio analizara la concentración de radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) y torón ( $^{220}\text{Rn}$ ) en dos balnearios de Baños de la ciudad de Cuenca-Ecuador. Las aguas termales al tener contacto con rocas que contienen uranio natural, liberan gas ( $^{222}\text{Rn}$ ) elemento radioactivo que se disuelve en el agua, que son utilizados en estos centros turísticos, el ( $^{222}\text{Rn}$ ) podría estar presente en las diferentes áreas de los establecimientos, como la bodega, recepción, vestidores, casilleros y área de lavandería.

Estudios realizados en varias partes del mundo determinan que las aguas termales poseen niveles altos de radón, en lugares cerrados la concentración del mismo sería un potencial problema para la salud. El radón es considerado el segundo elemento causante de cáncer de pulmón en la población que se encuentra directamente expuesta, lo que hace imprescindible su estudio en lugares en donde hay trabajadores y usuarios que pueden estar expuestos a este gas invisible.

En la medición se empleó dosímetros de doble cámara (Twin Chamber Dosimeter), y películas detectoras de trazas nucleares de partículas alfa ( $\alpha$ ), LR-115 tipo II que son dispositivos pasivos llamados también detectores de estado sólidos de trazas nucleares (SSNTD). Midiendo simultáneamente el Radón ( $^{222}\text{Rn}$ ), y Torón ( $^{220}\text{Rn}$ ).

Los dosímetros se colocaron en áreas en donde se encuentran trabajadores y bañistas, a una altura de 1,5m. Sobre el nivel del suelo y expuestos por 90 días, transcurrido este tiempo se retiran para ser procesados químicamente en una solución de NaOH 2,5 Normal, a una temperatura constante de 60°C y un tiempo de inmersión óptimo de 90 minutos.

Se registró la mínima concentración de Radón en el área de los baños turcos (exterior) 16,087 Bq/m<sup>3</sup> que se encuentran en una área abierta y la máxima de 1235,229 Bq/m<sup>3</sup> en el área de servicios, (Lavandería-planchado), se calculó el promedio obteniendo un valor de 222,169 Bq/m<sup>3</sup> los valores obtenidos muestran que los niveles de concentración de radón es mayor a los niveles máximos que recomiendan las organizaciones reguladoras como la EPA (150Bq/m<sup>3</sup>), ICRP (200 a 600Bq/m<sup>3</sup>) y WHO (200Bq/m<sup>3</sup>).

## ABSTRACT

The present exploratory work will analyze the concentration of radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) and strand ( $^{220}\text{Rn}$ ) in two spa localized in Baños of the Cuenca city Ecuador. The thermal waters, having contact with rocks containing natural uranium, release gas ( $^{222}\text{Rn}$ ) radioactive element that dissolves in the water, which are used in these tourist centers, the ( $^{222}\text{Rn}$ ) could be present in the different areas of the establishments, for example the larder, reception, dressing rooms, pigeonhole and laundry area.

Studies made out in several parts of the world determine that the thermal waters have high levels of radon, in closed places the concentration of it would be a potential problem for health. The Radon are considered the second cause of lung cancer over population that is directly exposed, which makes it essential to study it in places where there are workers and users who may be exposed to this invisible gas.

Measuring be made using double chamber dosimeters (Twin Chamber Dosimeter), and nuclear trace detector films of alpha particles ( $\alpha$ ), LR-115 type II, which are passive devices called solid-state trace nuclear detectors (SSNTD). Simultaneously measuring Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), and Toron ( $^{220}\text{Rn}$ ).

Dosimeters were located in areas where there are workers and hot springs bathers, at 1.5 m height above ground level and exposed for 90 days, after this time they are removed to be chemically processed in a 2.5 Normal NaOH solution, at a constant temperature of 60 ° C and an optimum immersion time of 90 minutes.

Minimum concentration of Radon registered in the area of Turkish bat 16,087 Bq/m<sup>3</sup>, which are in an open area and the maximum of 1257,310 Bq/m<sup>3</sup> in the service area, (Laundry-ironing), the value of the average obtained was 224,377 Bq/m<sup>3</sup> this values show that the levels of concentration of radon is higher than the maximum recommended by regulatory organizations such as EPA (150 Bq/m<sup>3</sup>), ICRP (200 to 600 Bq/m<sup>3</sup>) and WHO (200 Bq/m<sup>3</sup>).



## INDICE

CESION DE DERECHOS DE AUTOR.....	II
CERTIFICADO.....	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUCCION.....	14
1.1 PROBLEMA.....	14
1.2 DELIMITACION.....	15
1.2.1 Delimitación espacial.....	15
1.2.1.1 Clima.....	16
1.2.1.2 Temperatura.....	16
1.2.1.3 Precipitación.....	16
1.2.2 Delimitación temporal.....	17
1.2.3 Delimitación sectorial.....	18
1.3 EXPLICACION DEL PROBLEMA.....	18
1.4 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICO.....	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos.....	18
1.5 FUNDAMENTACION	19
TEORICA.....	
1.5.1 Gas radioactivo radón	19
( <sup>222</sup> Rn).....	
1.5.2 Radiactividad.....	19
1.5.3 Radiaciones	19
Ionizantes.....	
1.5.3.1 Elementos de la radiación	19
ionizante.....	
1.5.4 Magnitudes físicas que caracterizan la contaminación radioactiva	21
.....	
1.5.4.1 Contaminación radioactiva del agua de	21
consumo.....	
1.5.4.2 Decaimiento	22

radiactivo.....	
1.5.4.3 Actividad (A).....	22
(A).....	23
1.5.4.4 Período de semidesintegración .....	24
1.5.4.5 Dosis de absorción .....	24
1.5.5 Impacto nocivo al radiación .....	24
1.5.5.1 Riesgo de exposición a radón.....	24
radón.....	25
1.5.6 Exhalación del radón del suelo .....	26
1.5.7 Normativa para la exposición a radiaciones ionizantes.....	27
ionizantes.....	28
1.5.8 Dosis equivalente.....	29
1.5.9 Dosis efectiva.....	29
1.6 Propiedades físico-químicas de las aguas minerales.....	30
1.6.1 Composición de las aguas subterráneas.....	31
subterráneas.....	31
1.6.2 Composición física de las aguas subterráneas.....	31
subterráneas.....	31
1.6.3 Factores que determinan la composición química de las aguas naturales.....	
naturales.....	
1.6.4 Factores geólogo-geomorfológicos.....	
1.6.5 Factores hidrogeológicos.....	
1.6.6 Factores climáticos que intervienen en la exhalación del radón.....	31
1.6.6.1 Viento.....	32
1.6.6.2 Humedad.....	32
2 MATERIALES Y METODOS.....	32
2.1 DISEÑO.....	32
2.2 Toma de muestra .....	34
.....	34
2.2.1 Parámetros físico-químicos.....	
2.2.2 Base de datos para las condiciones climáticas .....	34
2.2.3 Dosímetro de doble cámara ( <i>Twin Chamber Dosimeter</i> ).....	34
.....	35
2.2.3.1 Características del Dosímetro.....	
2.3 Tiempo óptimo de revelado de LR-115 Tipo	37

2.4	II..... Proceso de revelado de LR-115 tipo	37
2.5	II..... Conteo manual de trazas grabadas en el LR-115.....	38
3	RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
3.1	PRESENTACION DE DATOS.....	39
3.2	Parámetros físico-químicos.....	39
3.3	Variables meteorológicas.....	39
3.4	Cálculo de dosis de inhalación.....	41
3.5	Análisis de la concentración de radón y torón.....	43
3.6	Discusión.....	47
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
4.1	Conclusiones.....	48
4.2	RECOMENDACIONES.....	49
5	BIBLIOGRAFIA.....	50
6	ANEXOS.....	57

#### INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Temperatura media mensual de Baños.....	16
Tabla 2.	Precipitación media mensual de Baños.....	17
Tabla 3	Límites de actividad $\alpha$ y $\beta$ total.....	21
Tabla 4	Factores de ponderación por tipo de radiación y energía $W_R$ .....	28
Tabla 5	Factores de Ponderación para los diferentes órganos y tejidos.....	29
Tabla 6	Tipos de aguas termales según su temperatura.....	30
Tabla 7	Características de los puntos de colocación de los dispositivos <i>Twin Chamber</i>	36
Tabla 8	Parámetros físico-químicos determinados.....	39

Tabla 9	Concentración de radón y torón en función de las variables meteorológicas registradas en la estación UETS.....	40
Tabla 10	Concentración de radón y torón en función de las variables meteorológicas registradas en la estación UETS.....	40
Tabla 11	Densidad de trazas y concentración de Radón y Torón en las áreas de estudio de dos balnearios de Baños-Cuenca.....	44
Tabla 12	Densidad de Trazas, C_Rn, C_Tn, Dosis anuales, PAE.....	45

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.	Ubicación Geográfica de la Parroquia Baños-Cuenca.....	15
Figura 2.	Magnitud de traspaso de las radiaciones ionizantes.....	21
Figura 3.	Formación de aerosoles con descendientes radiactivos.....	25
Figura 4.	Procesos de emanación y exhalación.....	26
Figura 5.	Diagrama y fotografía del dosímetro de cámara doble.....	35
Figura 6.	Configuración química de las capas del LR-115 tipo II.....	36
Figura 7.	Campos de visión óptica de los detectores revelados.....	38

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.	Relación Concentración Radón – Densidad de trazas.....	44
Gráfico 2.	Relación Concentración Radón – Densidad de trazas.....	45
Gráfico 3.	Dosis anual de inhalación, Dosis Equivalente y Concentración de Radón de dos balnearios de la parroquia Baños de Cuenca.....	46

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Actividad (A).....	22
Ecuación 2.	Constante radiactiva ( $\lambda$ ).....	23
Ecuación 3.	Período de semidesintegración.....	23
Ecuación 4.	Dosis de absorción.....	24
Ecuación 5.	Dosis equivalente.....	27
Ecuación 6.	Dosis efectiva.....	28
Ecuación 7.	Cálculo de dosis de inhalación.....	41
Ecuación 8.	Concentración de Radón.....	de 41
Ecuación 9.	Concentración de Torón.....	41

Ecuación 10.	Dosis inhalación.....	de 42
Ecuación 11.	Medida de la Concentración de Energía Alfa Potencial (PAEC) del Radón-Torón.....	42

## INTRODUCCION

### 1.1 PROBLEMA

El radón ( $^{222}\text{Rn}$ ), es un elemento químico con 86 protones, es el primer elemento en cada una de las cadenas de decaimiento que no es un metal; pertenece al grupo de los gases nobles, es incoloro, inodoro y es un gas radioactivo, (Emsley, 2001).

El principal contribuyente de aproximadamente el 50% de la exposición a la radiación natural para los seres humanos es el ( $^{222}\text{Rn}$ ), y sus productos de decaimiento, el mismo que se da por inhalación, (Ramsiya, 2017).

Las partículas alfa ( $\alpha$ ), emitidas por el radón contienen un bajo nivel de ingreso que puede ser detenido por una hoja de papel o la epidermis, pero tiene un alto nivel de ionización, que fluctúa entre los 4 a 6 MeV, que incide de manera directa sobre el organismo al ingresar sus progenies a través del aire que respiramos (Gómez, 2010).

Este gas radiactivo inerte se produce por la desintegración que se da en la superficie de la corteza terrestre y se origina de la decadencia de  $^{226}\text{Ra}$ , la vida media del isotopo  $^{222}\text{Rn}$  es de 3,82 días, por su corto periodo de vida puede emigrar del suelo al agua y después a la atmosfera, (Laiolo, 2012)

Cabe recalcar que el  $^{222}\text{Rn}$ , se encuentra presente en aguas subterráneas que se originan por la infiltración de aguas meteóricas a través de fallas geológicas, las que recorren grandes profundidades de la corteza terrestre, elevando su temperatura por el gradiente térmico del interior de la tierra, (Karimdoust S., Ardebili L. 2010). Las que son aprovechadas en balnearios como aguas termales, en su trayecto de afloramiento a la superficie tienen contacto con el sustrato rocoso de alto grado de mineralización conformado por granito, calizas, basalto, en los que se encuentran elementos radiactivos, (Chaudhuri, 2010).

Las aguas termales son enriquecidos con isotopos radiactivos como él  $^{222}\text{Rn}$ , que proceden de diferentes minerales que se encuentran en cada capa geológica por la cual atraviesan, (Villalba, 2015). Las aguas termales son utilizadas en centros de esparcimiento colectivo, siendo necesario determinar la concentración existente de este

elemento radiactivo para salvaguardar la salud e integridad de los trabajadores que están en contacto con estas aguas, (Choubeya, Bartaryaa, Ramolab, 2003).

Los organismos internacionales elaboran normas de seguridad radiológica como la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), en colaboración con organismos nacionales y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), entidad técnico – científico encargada de recomendar la cantidad límite de exposición a las radiaciones que debe exponerse la población. El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), estima y reporta los niveles de exposición a radiación ionizante, emitiendo informes autorizados que evalúan el riesgo de radiación.

El Ecuador posee una gran cantidad de fuentes termales en todo su territorio andino, aguas frías con temperaturas menores a 20°C hasta Hipertermales con temperaturas superiores a los 40°C. Atribuyéndoles propiedades curativas y relajantes, Las aguas termales de Baños de Cuenca son catalogadas como hipertermales por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMI).

La gran cantidad de elementos minerales disueltos en las aguas termales, se consideran beneficiosas para la salud, las que son aprovechados por los bañistas, que frecuentan estos lugares en busca de alivio a las molestias en los trastornos de salud, (Afaf A. Fakeha, Safiah Q. Hamidalddin, Zain M. Alamoudy, and Ahlam M.A. Al-Amri 2011).

La permanente exposición de los seres humanos a radiaciones ionizantes producidas del  $^{222}\text{Rn}$ , y su isotopo natural torón  $^{220}\text{Rn}$ , genera preocupación en la seguridad de salud pública debido a que la población está expuesta continuamente a la radiación natural. (Khattak N.U., Khan M.A., Shah M.T., Javed M.W. 2011).

Al encontrarse radionucleidos en el agua está presente el riesgo de que la salud se afecte de forma interna en la población ya se por inhalación o ingesta, siendo importante analizar el nivel de radionulceidos existentes en las fuentes termales para mantener informada y protegida a la población de altas radiaciones. (Khattak N.U., Khan M.A., Shah M.T., Javed M.W. 2011).



Las progenies del  $^{222}\text{Rn}$  como ( $^{214}\text{Po}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ) emiten partículas alfa ( $\alpha$ ) de vida media corta, las que se consolidan electrostáticamente y adhieren con facilidad en las partículas de polvo y el vapor de agua las que son inhaladas al respirar uniéndose al epitelio bronquial generando dosis altas de irradiación. (Smetanova., Holy K., Mullerova M., Polaskova, A. 2010).

Las hijas del  $^{222}\text{Rn}$  son altamente ionizantes poseen una alta transferencia lineal de energía, generando un grave daño en la estructura del ADN y células pulmonares como los alvéolos, desarrollando cáncer de pulmón y diferentes clases de cáncer por el gas inhalado (Kendall G.M., Smith T.J. 2002). Estudios realizados en base al cáncer de pulmón apuntan que el ( $\text{Rn}^{222}$ ) y el ( $\text{Rn}^{220}$ ), son la fuente del mismo. (Archer, Waggoner y Lundin, 1973; Lubin y Boice, 1997; Quanfu et al., 2004).

## **1.2 DELIMITACION**

### **1.2.1 Delimitación espacial**

Las vertientes de aguas termales se encuentran en la Parroquia Baños al suroccidente del Cantón Cuenca con latitud sur  $2^{\circ} 56' 29''$  y  $79^{\circ} 3' 45''$  de longitud oeste en la Provincia del Azuay. Baños cuenta con una extensión de  $33,34 \text{ km}^2$ , posee una temperatura promedio de  $14^{\circ} \text{ C}$ . Es parte de la cuenca del río Paute catalogada como área protegida; está limitada al Norte por la parroquia San Joaquín, al Sur las parroquias Victoria del Portete y Tarqui, al Este las parroquias Yanuncay y Turi, al Oeste la parroquia de Chaucha, (Quichimbo, F., 2015).

*Fig. 1 Ubicación Geográfica de la Parroquia Baños-Cuenca*



*Fuente: Instituto Geográfico Militar*

### 1.2.1.1 Clima

Los diferentes factores climáticos que influyen en las características del clima que prevalece en la Parroquia Baños es el Ecuatorial de Alta Montaña, la temperatura media fluctúa entre los 14°C. Las que son registradas en diferentes estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en la provincia del Azuay, suministran datos de temperatura, humedad relativa y precipitaciones, datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

### 1.2.1.2 Temperatura

La temperatura de la parroquia Baños fluctúa entre los 8°C y 17°C en diferentes zonas de la parroquia ya que se encuentra en la Región Interandina a una altura de 1500 a 3000 msnm. En los sectores de la Unión y Huishil localizados en la parte baja de la parroquia en verano el clima es templado.

Los registros mensuales y anuales que reportan las estaciones meteorológicas se muestran en la tabla 1.

*Tabla 1. Temperatura media mensual de Baños*

LONGITUD	ESTACION CODIGO	NOMBRE	COTA	ENE (°C)	FEB (°C)	MAR (°C)	ABR (°C)	MAY (°C)	JUN (°C)	JUL (°C)	AGO (°C)	SEP (°C)	OCT (°C)	NOV (°C)	DIC (°C)	TOTAL (°C)
687530	M032	SANTA ISABEL INAMHI	1580	17	17,4	17,9	18,2	18,4	18,4	19,2	18,9	18,7	17,5	18,5	18	17
763258	M045	PALMAS-AZUAY	2440	14,5	14,6	14,9	14,6	14,2	13,2	12,4	12,5	13,3	14,5	14,9	15,1	12,4
734193	M137	BIBLIAN	2628	15	14,9	14,9	15	14,6	13,8	12,8	13,2	13,9	14,6	15	15,3	14,4
748694	M138	PAUTE	2206	18	17,7	17,8	17,7	17,4	16,7	16	16,1	16,7	17,7	18	18,1	17,3
746707	M139	GUALACEO	2230	17,9	17,7	17,6	17,5	17,3	16,6	16,1	16	16,7	17,5	17,9	18,1	17,3
714223	M141	EL LABRADO	3433	9	8,9	8,9	8,9	8,7	7,8	7,1	7,3	7,9	8,9	9,3	9,1	8,5
770398	M217	PEÑAS COLORADAS	2294	14,7	14,8	14,8	14,8	14,6	13,8	13	13,5	14,1	14,9	15,4	15	14,4
723975	M067	AEROPUERTO "M LAMAR"	2530	17	16,7	16,6	16,4	16,3	15,6	15	15,3	15,9	16,6	16,8	17	16,3

Fuente: INAMHI

### 1.2.1.3 Precipitación

Los meses con mayor precipitación que se da en la parroquia Baños son de febrero a mayo en un promedio de 80 a 140 mm y los meses con menor precipitación son de julio a septiembre en un promedio de 40 a 60 mm. El mes de agosto se considera seco ya que se registran precipitaciones de 25 mm.

Tabla 2. Precipitación media mensual de Baños

LATITUD	LONGITUD	ESTACION CODIGO	NOMBRE	COTA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL (mm)
9637914	687530	M032	SANTA ISABEL INAMHI	1580	69	74,5	95,7	80	41,1	14,2	7	7,3	14,5	16	18,5	46,6	485
9699101	763258	M045	PALMAS-AZUAY	2440	58,2	82,4	103,4	151,4	150	186,8	185,2	129,5	99,4	82,2	80,6	74,4	1383,9
9700211	734193	M137	BIBLIAN	2628	67,2	93,8	108,7	116,9	72,7	51,4	48,2	35,5	42,2	80,5	100,3	82,8	900,7
9690000	748694	M138	PAUTE	2206	50,9	69	93,1	86,7	57,6	54,9	45,9	36,5	41,4	69,1	74,7	69,6	750
9679419	746707	M139	GUALACEO	2230	59,4	78,4	95,6	95,2	57,9	45,3	36,8	27,1	34,9	79,7	90,3	73,4	774,6
9698191	714223	M141	EL LABRADO	3433	96,4	115,7	134,1	150,1	116,3	102,1	95,4	73,9	83	100	103	99,3	1269,9
9714828	770398	M217	PEÑAS COLORADAS	2294	141,7	177,7	183,8	268,4	366,3	440,9	469	289,7	234	161,3	147,8	165,1	3046,4
9719150	736314	M411	INGAPIRCA	3100	40,9	63,7	74,9	80	49,5	48,8	46	38,2	36,3	49,1	53,1	44,8	625,8
9688892	705694	M417	PISCICOLA CHIRIMICHAY	3270	95,2	126,8	131	151,8	119,4	100,7	100,7	74,1	89,4	114,1	110,5	106,4	1320,7
9658601	720849	M418	CUMBE	2720	46,6	67,9	82,8	86,9	63,3	53,4	32,4	28,9	41,3	60,7	64,6	58,6	688
9650851	706604	M419	GIRON	2130	108,5	121,7	156,2	119,5	53,6	25,4	9,9	8,8	22,4	45,1	54	80,6	806,2
9630660	714810	M420	NABON INAMHI	2743	72,4	95,5	122,4	103,8	55,9	34,1	21	22,4	34	64,2	70,6	65,2	762,1
9616080	705015	M421	ONNA	2387	43,8	64,5	74,3	57,9	34,7	26,4	22,4	21	29,3	33,4	32,7	43,3	484,3
9636448	691845	M422	HDA.STA.LUCIA-CAMINO RIRCAY	1179	52,1	64,9	85,5	75,5	39,7	13,8	4,6	4,3	12,4	21,6	26,2	35,6	436,8
9662497	745493	M424	SIGSIG INAMHI	2545	43,8	64,6	83,8	86,1	69,3	68	72,4	54,3	45,1	56,6	53,3	53,2	751,1
9683381	726009	M426	RICAUARTE-CUENCA	2579	66,8	90,4	112,7	125,7	82,1	47,3	29,2	22,9	47,5	101	93,2	88,2	907,5
9681848	714514	M427	SAYAUSI(MATADERO DJ)	2721	74,7	108,3	120,4	150,1	105,6	64,6	45,9	36,5	59,2	100,7	90,5	87,9	1045,1
9685119	709601	M429	SURUCUCHO(LULLUCHIS)	3010	80,1	116,3	120,5	129,3	100,5	94,1	71,8	55,7	70	96,6	87,4	87,8	1110,7
9683381	726009	M431	SEVILLA DE ORO AEROPUERTO "M LAMAR"	2579	77,5	105,2	108,3	152,1	144,4	165,3	157,4	117,7	90,9	94,6	85,5	86,3	1385,8
9680538	723975	M067		2530	56,5	85,1	113,8	122,3	84,1	44,1	26,9	21,4	51,5	93	85,6	84,8	869,2

Fuente: **INAMHI**

### 1.2.2 Delimitación temporal

Con el fin de detectar las concentraciones de radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) y torón ( $^{220}\text{Rn}$ ), se seleccionaron los detectores LR-115 y un tiempo de exposición de 90 días. Una de las razones por las cuales organizaciones de control como la EPA recomienda la utilización de estos detectores, son:

- Los costos son relativamente bajos.
- Los resultados son confiables y de fácil comprensión.
- La manipulación de estos detectores es sencilla.

### 1.2.3 Delimitación sectorial

El trabajo de investigación se enfoca en conocer la cantidad de  $^{222}\text{Rn}$  y  $^{220}\text{Rn}$  que podrían estar presentes en el exterior e interior de los balnearios que utilizan aguas

termales, si sus valores se encuentran dentro de los niveles recomendados por las instituciones de control nacional o internacional, teniendo presente que este gas radioactivo es peligroso para la salud de las personas involucradas directamente.

### **1.3 EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA**

El radón  $^{222}\text{Rn}$  es el primer agente causante de muerte por cáncer de pulmón en la población mundial no fumadora, según informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), este elemento lo podemos encontrar en la naturaleza, en el suelo, el aire y el agua. No puede ser detectado por los sentidos humanos, ya que es incoloro, insípido e inodoro, pasando desapercibido por el ser humano. Con esta investigación se desea determinar:

¿Cuál es la concentración de radón presente en los dos balnearios (de estudio) de aguas termales, de la parroquia Baños de Cuenca, Ecuador?

#### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar la exposición al radón de los trabajadores y usuarios de dos balnearios de aguas termales de la parroquia baños, considerando las propiedades físico - químicas del agua y las variables meteorológicas de la zona.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar las propiedades físico-químicas de las aguas termales en base a los parámetros: temperatura, pH, conductividad y aniones, en las fuentes de agua
- Estimar la relación entre las concentraciones de radón, las variables físico-químicas de las aguas termales de la Parroquia Baños y las variables meteorológicas de la zona.
- Determinar la dosis efectiva a la cual se exponen los trabajadores de los balnearios situados en la Parroquia Baños.

### **1.5 FUNDAMENTACION TEORICA**

#### **1.5.1 El radón ( $^{222}\text{Rn}$ )**

El gas radón es el resultado de la descomposición del radio ( $^{226}\text{Ra}$ ) ( $T= 1622$  años), y del ciclo radioactivo de origen natural del uranio ( $^{238}\text{U}$ ) y el torio (Rodríguez, R., Olmos, R. & Payes, J., 2014). El isotopo ( $^{222}\text{Rn}$ ) ( $T= 3.82$  días) es químicamente inactivo, su movilidad en la atmosfera terrestre bajo parámetros normales de presión y temperatura se desarrollan en el suelo, en el aire y el agua subterránea por las fases de transporte, difusión y emanación, (Ramírez, P., Morón, C., García, A. & Correa, E., 2011).

Los acuíferos de agua termal de origen subterráneo con temperatura superior a la temperatura ambiente que brota a la superficie, transita grandes distancias antes de aflorar, el gas ( $^{222}\text{Rn}$ ) disuelto en el agua no se evapora en su totalidad lo que hace posible medir la dosis existente en el sitio de emanación, (GARCÍA-VINDAS, J.R., 2001).

### **1.5.2 Radiactividad**

Las partículas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gama ( $\gamma$ ) son el resultado de la descomposición natural de los núcleos del átomo de una misma clase, la partícula alfa tiene un núcleo de helio en los que se encuentran dos neutrones y dos protones, la desintegración de un nucleído inestable produce radiación, surgiendo otro elemento que puede ser inestable y naciendo un tercero para proseguir con el proceso y obtener un nucleído estable, derivando en una serie radiactiva, la radiactividad de un nucleído se encuentra bien estructurado semejante a los demás que tiene la misma forma con que se identifican (Núñez, R., Roglá, L., 2011), (Vazquez, B., F., 2009).

La elevada difusividad del radón en la naturaleza y especialmente en sustratos graníticos, el contacto de aguas subterráneas con este tipo de suelos presenta niveles de radón que oscilan entre los 67.3Bq/l. o más altos considerándose aguas radiactivas, siendo esta temporal por el tiempo de vida del radón (3.82 días), (Ayala A., 2009).

Con la finalidad de conocer la evolución de traslado del radón a la atmosfera y la función del agua subterránea como medio de conducción a la superficie, es necesario estudiar la geología y patrón de la roca en la que se origina el radón que se disuelve en el agua termal, (Przyliński T. A., Mamont-Ciesła K., Kusyk M., Dorda J., & Kozłowska B., 2004).

Las aguas con abundante radón en diferentes países como Rusia, Reino Unido, Noruega, Estados Unidos, han establecido niveles de irradiación del radón apto para su uso, siendo acogido por entidades internacionales World Health Organization (WHO) que regulan y monitorean las concentraciones de radón, estableciendo valores por debajo de los 100 Bq/m<sup>3</sup>, (Przylibski T. A., 2011).

### **1.5.3 Radiaciones Ionizantes**

La energía electromagnética emitida por la disgregación natural de los átomos inestables o partículas que nacen de una fuente emisora y se irradia en la atmosfera, producen iones que interactúan con la materia y separa los electrones adheridos al átomo, formando radiaciones ionizantes, (González F., T., 2015).

#### **1.5.3.1 Elementos de la radiación ionizante**

La materia radiactiva de un núcleo atómico no es constante, transformándose naturalmente en otros núcleos emisores de partículas alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ), (Rodríguez J. R., 2013).

##### **○ Partículas alfa ( $\alpha$ )**

Son núcleos de Helio completamente ionizados, formado de dos neutrones y dos protones, su carga es positiva y no posee electrones, su pequeño nivel de penetración en la materia y mayor fuerza de ionización puede ser detenido por una hoja de papel o la piel, recorriendo solo unos centímetros en el aire.

Al ser incorporadas por contaminación interna en el cuerpo a través de la ingesta e inhalación de partículas alfa, causan graves riesgos a nivel celular en la salud, que interactúa rápidamente con las moléculas del medio.

##### **○ Partículas Beta ( $\beta$ )**

Los protones y neutrones asociados al núcleo atómico, decaen uno en el otro, obteniéndose en este decaimiento a la producción de partículas beta, las cuales no son otra cosa que electrones. Debido al principio de incertidumbre de Heisenberg, estos electrones no pueden ser contenidos en el núcleo atómico, por lo que salen del mismo

en forma de radiación beta. Esta radiación beta puede ser beta positivo o beta negativo, es decir, positrones o electrones, respectivamente.

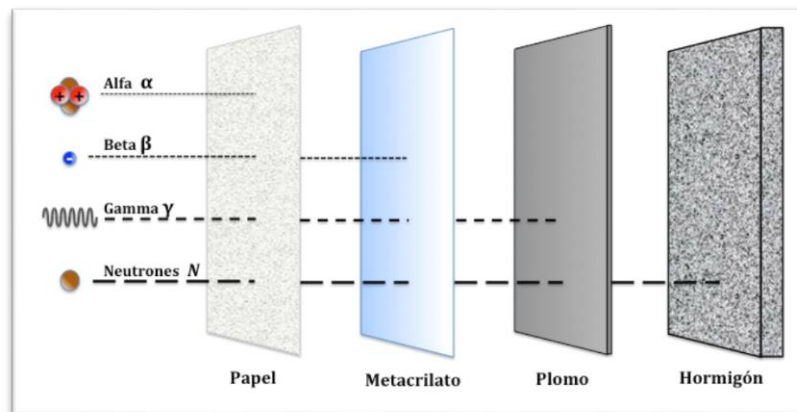
Los posibles radionucleidos emisores beta contenidos en el agua son: Co-60, Sr-89, Sr-90, I-129, I-131, Cs-134, Cs-137. (Giancoli, D. 2009.) (INEN. 2011).

Al ingresar partículas beta al cuerpo por ingestión o inhalación se difundiría en todos los tejidos internos del organismo, ya que posee un alto nivel de penetración en la materia, puede ser contenido a pocos centímetros en el agua o varios metros por una placa de aluminio, (Cobo C. M., 2015).

- **Radiación gamma ( $\gamma$ )**

La radiación gamma son 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, se requiere construir barreras con elementos densos como el plomo, acero y el hormigón para contener su alto poder energético de fuente nuclear, (Suarez, J. 2009).

*Figura 2.  
de traspaso de  
radiaciones*



*Magnitud  
las  
ionizantes*

*Fuente: Comisión Técnica de la SNE*

#### **1.5.4 Magnitudes físicas que caracterizan la contaminación radioactiva**



#### 1.5.4.1 Contaminación radioactiva del agua de consumo

La exposición de las personas a la radiación varía mucho de unos lugares a otros, en función de varios factores, como la altitud sobre el nivel del mar, el tipo y la cantidad de radionúclidos presentes en el suelo (exposición terrestre), la composición de radionúclidos del aire, los alimentos y el agua de consumo, y las cantidades incorporadas al organismo por inhalación e ingestión. La exposición de la población en general en esas zonas puede ser 10 veces más que el nivel de fondo promedio de 2,4 mSv (UNSCEAR, 2000).

La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), después de varios estudios llevados a cabo en Europa, como de (Darby S., 2005) cataloga al radón como un potencial causante de cáncer de pulmón y cáncer de estómago el mismo que ingresa a los organismos por la inhalación de aire o por ingestión de agua contaminada.

Las magnitudes físicas que describen el decaimiento radioactivo son:

#### 1.5.4.2 Decaimiento radiactivo

La tasa de variación del número de átomos radiactivos de una muestra es directamente proporcional al número de átomos radiactivos de la misma, y se puede calcular a través de la siguiente expresión,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

Donde,  $\lambda$  representa la constante de decaimiento del elemento radiactivo, y el signo menos, el hecho que el número de átomos radiactivos disminuye.

#### 1.5.4.3 Actividad (A)

La actividad de fragmentación de un elemento radioactivo se representa con el símbolo **A**, se define como el número de átomos que se desintegra por unidad de tiempo. La unidad de medida de la actividad, en el sistema internacional, es el becquerel (Bq), representa la actividad de una muestra que experimenta una desintegración por segundo.

(1)

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

La desintegración de átomos de una muestra radiactiva  $dN$  en un determinado tiempo  $dt$  es proporcional en cada isotopo radiactivo, expresado de la siguiente forma:

(2)

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

**La constante radiactiva ( $\lambda$ ):** se determina para cada átomo con la posibilidad de que un radionúclido se desintegre por unidad de tiempo, la resta del número de átomos  $N$  se reduce con el tiempo, “A mayor valor de ( $\lambda$ ), mayor actividad radiactiva”, (Giancoli, D., 2009).

Integrando la ecuación (2) obtenemos:

$$\int \frac{dN}{N} = \int -\lambda dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

En lo que:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

#### 1.5.4.4 Período de semidesintegración

El periodo de semidesintegracion determina el tiempo que transcurre para que un elemento radiactivo se fraccione de los átomos que lo conforman, es el tiempo requerido en el que disminuye a la mitad los valores de los átomos radioactivos iniciales, (Vázquez B., 2009).

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

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2} \Rightarrow \lambda T = \ln 2$$

(3)

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

En lo que:

$T_{\frac{1}{2}}$  : Periodo de semidesintegración

$\lambda$  : constante de desintegración

#### 1.5.4.5 Dosis de absorción

La magnitud de radiación que absorbe un material expuesto a distintas fuentes de radiación ionizante, se cuantifica la energía radioactiva distribuida al elemento irradiado por la unidad de masa, es de gran ayuda en la valoración radiológica de un órgano expuesto a la radiación sufriendo considerables daños, (Andiscoa, D., C., S. Blancob S., & Buzzia A., E., 2014).,

Y se determina:

(4)

$$D = \frac{dE}{dM}$$

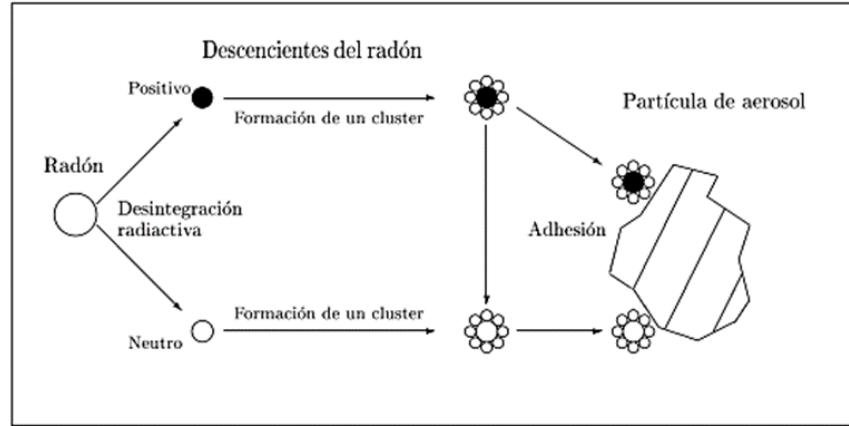
Donde,  $dE$  es la energía media transferida por la radiación a un elemento de masa  $dM$

#### 1.5.5 Impacto nocivo de la radiación

El impacto que se produce en los órganos o tejidos por la irradiación de energía en las células, alterando su correcto funcionamiento celular, deformando de manera transitoria o duradera causando su destrucción. La dosis de irradiación y la susceptibilidad del tejido evidencian la severidad de daño que se producen por los diferentes tipos de radiación en el organismo humano. El ( $Rn^{222}$ ) se asimila en el organismo a través de la inhalación, estudios realizados en varias partes del mundo determinan que los niveles altos de peligro se dan cuando inhalamos este gas, que se depositan en las partículas de polvo y moléculas en suspensión. Los elementos sucesores del radón de vida corta que se originan, se adhieren a los tejidos pulmonares en donde se disgrega, irradiando partículas alfa generando alteraciones en el ADN de

las células irradiadas, (Walsh, L., Tschense, A., Schnelzer, M., Dufey, F., Grosche, B., & Kreuzer, M. 2010).

Figura 3.  
Formación  
aerosoles



de  
con

descendientes radiactivos

Fuente: Proyecto de mejoras del monitor de aerosoles radioactivos 2004

### 1.5.5.1 Riesgo de exposición a radón

La acumulación de radón en espacios sin ventilación como balnearios (bodegas, lavandería, casilleros), minas o viviendas, alcanza altos niveles de concentración. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer catalogó en 1988 al radón agente carcinógeno humano, siendo reconocido por la OMS como el segundo responsable de cáncer de pulmón en la población, UNSCEAR (2012).

Según análisis realizados en diferentes lugares del mundo, se indican que la mayor parte de la población está expuesta a las progenies del radón que son captadas por el flujo sanguíneo desde el estómago, 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, (Iranmanesh, F., Shafiei Bafiti A., Negarestani, A. &

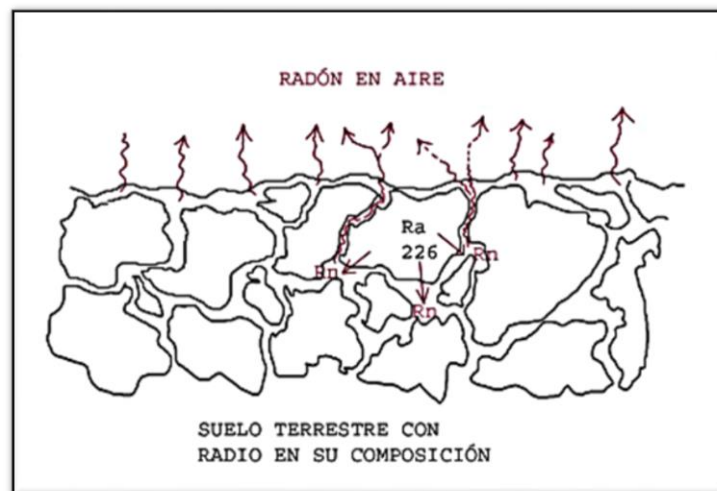
Malakootian, M. 2014). Todos los radionucleidos son considerados como agentes causantes de cáncer. El 50% de los seres humanos recibe radiación de forma natural, según el lugar del planeta en el que se encuentre, (OMS, 2015).

### 1.5.6 Exhalación del radón del suelo

El radón alcanza fácilmente la superficie terrestre lo que evidencia su presencia en el aire, el mismo que se difunde de forma rápida, la concentración en el ambiente bordea los 10 Bq/m<sup>3</sup> con variaciones de 1 a 100Bq/m<sup>3</sup> con respecto al tipo de suelo, (Lastra, M., 2015).

El radón se traslada entre los poros del suelo llegando a la superficie, esto debido a la diferencia de presión que existe entre los poros por donde viaja el gas y el espacio cerrado, estableciéndose un flujo desde el terreno hasta el interior de la edificación. Los mecanismos son por gradiente de presión (convección) y por gradiente de concentración (difusión). La advención se produce por fisuras, grietas o fallas geológicas en el terreno, la presencia de radón en el ambiente a través de la emanación y difusión se da por la exhalación como se indica en la figura 4.

*Figura 4. Procesos de emanación y exhalación*



*Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear*

El tipo de suelo es un elemento muy importante, si la roca madre sobre la que se asienta es rica en uranio. (Un ejemplo específico es el granito). Las aguas subterráneas pueden poseer elevadas concentraciones de radón. El gas natural también contiene radón debido al U<sup>238</sup> y Ra<sup>226</sup> presentes en la roca almacén. Aunque las cantidades en

agua y gas son mucho menos significativas, (RODRÍGUEZ, R., OLMOS, R. & PAYES, J., 2014).

### 1.5.7 Normativa para la exposición a radiaciones ionizantes

Los organismos de control como la OMS establece parámetros que regulan los niveles de exposición de aguas radiactivas de consumo para la población, esquema adoptado por países miembros que tienen un control de radiación, evaluación y gestión de riesgo para precautelar la salud pública, (WHO. 2008).

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) a través de la norma NTE INEN 1 108:2011, apartado 5.1 dispone de los niveles de radiación para el agua de consumo, acogiendo las recomendaciones de la OMS por ser un país miembro.

Tabla 3.  
Límites de actividad  $\alpha$  y  $\beta$  total

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMITIDO (NORMA INEN)	LIMITE MAXIMO 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 siguiente 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 siguiente radionucleidos: $^{60}\text{Co}$ , $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ .			

### 1.5.8

#### Dosis equivalente

La dosis que absorben los órganos de los seres vivos expuestos a la radiación provoca secuelas en las células incluso la muerte, por el tipo de radiación alfa, beta o gamma (Espinoza S., 2016).

Viene dada por:

(5)

$$H_T = \sum W_R \cdot D_{T,R}$$

En lo que:

$H_T$  = dosis equivalente y su unidad es el Sv = J Kg<sup>-1</sup>

$D_{T,R}$  = dosis absorbida promediada para los tejidos u órganos T generado por la radiación R

$W_R$  = factor de ponderación que obedece a las propiedades de la radiación (Tabla 4).

Tabla 4. Factores de ponderación por tipo de radiación y energía  $W_R$

	Tipo de radiación	$W_R$
	Fotones de todas las energías	1
<i>Fue</i>	Electrones y muones, todas las energías	1
<i>nte:</i>	Neutrones con energías,	
<i>Aut</i>	<10keV	5
<i>orid</i>	10 keV a 100 keV	10
<i>ad</i>	>100keV a 2 MeV	20
<i>Reg</i>	>2MeV a 20 Mev	10
	> 20MeV	5
<i>ulat</i>	Protones, salvo los de retroceso, de energías mayores que 2 MeV	5
<i>oria</i>	Partículas alfa, fragmentos de fisión y núcleos pesados	20

Nuclear (ARN). 2016

### 1.5.9 Dosis efectiva

La susceptibilidad de los órganos y tejidos expuestos a la radiación natural a sufrir un daño en su estructura biológica, depende de las distintas combinaciones de dosis equivalentes que recibirán los distintos órganos del cuerpo, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) aplica los siguientes factores de ponderación que cada órgano del cuerpo recibe por las dosis equivalentes, (Andisco, D., Blanco, S., & Buzzi, A., 2014).

(6)

$$E = \sum W_T \times H_T$$

En lo que:

E = dosis efectiva

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

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

En el SI la unidad de la dosis equivalente es Sievert (Sv) = 1 Julio/Kg



Tabla 5. Factores de Ponderación para los diferentes órganos y tejidos

Tejido/órgano	$W_T$
Mama	0,12
Médula ósea roja	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Gónadas	0,08
Tiroides	0,04
Vejiga	0,04
Hígado	0,04
Esófago	0,04
Piel	0,01
Cerebro	0,01
Superficie ósea	0,01
Glándulas salivales	0,01
Resto del organismo	0,12

Fuente: ICRP (2007)

## 1.6 Propiedades físico-químicas de las aguas minerales.

El agua se infiltra en rocas ricas en  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{NaCl}$  dando lugar a diferentes tipos de agua, aunque el tipo de vegetación, relieve, tipo de terreno y el grado de erosión también fija la composición química, (LLoret, Lbus, 2013).

### 1.6.1 Composición química de las aguas subterráneas

Los elementos disueltos en aguas subterráneas o termales se catalogan de la siguiente manera:

- a) las concentraciones principales van desde 1 y 1000 ppm y son:
  - Conjunto de cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,
  - Conjunto de los aniones:  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$ ,  $(\text{HCO}_3)^-$ , en este grupo se incluye el sílice.
  
- b) las concentraciones secundarias van desde 0.01 y 10 ppm; y son:
  - Conjunto de los cationes:  $\text{Fe}^{2+,3+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  y  $\text{k}^+$ ,
  - Conjunto de los aniones:  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ,  $(\text{NO}_3)^-$  y  $\text{F}^-$ .

- c) Concentraciones mínimas que van desde 0.0001 y 0.1 ppm:
  - Sb, Al, As, Ba, Br, Cd, Cr, Co, Cu, I, Li, Mn, No, P, Pb, Rb, Se, Ti, U, V, Zn (componentes que aparecen eventualmente).
- d) Ocasionalmente se encuentran irradiaciones de trazas <0.001 ppm. Siendo estos:
  - Au, Be, Bi, Ce, Cs, Ga, In, La, Nb.

### 1.6.2 Composición física de las aguas subterráneas

La densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica son examinados en las aguas mineromedicinales por su alto grado de resultados en el alivio de enfermedades en los organismos afectados. Las propiedades físicas como la temperatura de afloramiento, conductividad eléctrica, turbidez, pH y radiactividad son investigadas de manera reiterada registrando alguna alteración en las propiedades del agua, que pueden ocasionar un peligro para la población que frecuenta estos lugares.

Las propiedades de las aguas mineromedicinales que aportan mayor información para el estudio de los efectos terapéuticos son: densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica. Otras propiedades físico-químicas frecuentemente estudiadas son la temperatura de afloramiento, conductividad eléctrica, turbidez, pH y radiactividad. (Mourelle L. 2007).

#### Tipos de aguas termales

Existen diferentes tipos de aguas termales de acuerdo a su temperatura:

*Tabla 6. Tipos de aguas termales según su temperatura*

Frías	<20 °C
Hipotermiales	21 - 35 °C
Mesotermiales	35 - 45 °C
Hipertermiales	> 45 °C

*Fuente: Instituto Geológico y Minero de España. 2012*

**Densidad.-** “Es la masa por unidad de volumen”; los niveles de concentración de agua pura se encuentra en 103 kg/ m<sup>3</sup>; reduciéndose desde los 5 °C de temperatura, sin tener que depender de la temperatura.

**Viscosidad.-** El agua tiene una viscosidad que fluctúa entre 1.8 y 0,5 cP, reduciéndose de forma considerable con la temperatura. Formando parte de los sistemas hidrodinámicos y el desplazamiento de los cuerpos dentro de un líquido. (Mourelle L. 2007).

### **1.6.3 Factores que determinan la composición química de las aguas naturales.**

Las aguas naturales obtiene su configuración química a través de una fase compleja, donde influyen elementos de tipo geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico químico-físico, y otros (Boris P., 2000).

### **1.6.4 Factores geólogo-geomorfológicos**

Los factores geológicos se relacionan con la composición de los minerales de las rocas, los procesos estratigráficos, la tectónica, el agrietamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. Debido a la infiltración por percolación de las precipitaciones en rocas salinas, se origina aguas superficiales y subsuperficiales (acuíferas) de tipo cloruradas alcalinas; en los depósitos de yeso o anhidrita, sulfatadas cálcicas; en las calizas y dolomias, bicarbonatadas cálcicas o cálcicomagnesianas. Las aguas que drenan a través de rocas calcáreas, muy trituradas por los procesos tectónicos, adquieren un contenido mayor de calcita disuelta (dureza) que aquéllas que drenan a través de calizas más compactas. (Boris P., 2000).

### **1.6.5 Factores hidrogeológicos**

Los factores hidrogeológicos están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua, El contenido de CO<sub>2</sub>, la dureza y otras propiedades químico-físicas de las aguas naturales dependen de la forma en que se mueve el agua en la zona hidrogeológica ocupada. (Boris P., 2000).

### **1.6.6 Factores climáticos que intervienen en la exhalación del radón**

Los elementos del clima más determinantes en el modo en que las aguas adquieren su composición química son: la temperatura, humedad relativa, intensidad y

duración de las precipitaciones, intensidad y duración de las radiaciones, velocidad del aire, los altos niveles de radón se obtienen en la temporada fría, (Boris P., 2000).

Los niveles de emisión del radón tienden a variar notablemente de un lugar a otro por los diferentes elementos meteorológicos, como la precipitación, variación de temperatura, velocidad del viento, y tipo de terreno, (Lastra, M., 2016).

#### **1.6.6.1 Viento**

Existe incertidumbre en la función de la velocidad del viento a cerca de la exhalación de radón, la duda se genera en los instrumentos de medida utilizados para este fin, que detienen la corriente de aire que circula, debido a su material de estructura, lo que no se podría asegurar que la exhalación de radón sea igual a si no estuviera colocado el dispositivo. No se ha determinado una concordancia entre la velocidad del viento y la emanación de radón, que surgen de suelos forrados con pasto y con vientos tenues en la disminución de los niveles del mismo, o el aumento de los niveles de exhalación de radón por la variación en las condiciones de velocidades del viento al ser altas, (Lastra, M., 2016).

#### **1.6.6.2 Humedad**

La cantidad de humedad que tiene un sustrato evidencia que los niveles de radón aumentan al incrementar la humedad de 0.2 a un 5.7%. El crecimiento de la exhalación es lento debido a la cantidad de humedad alcanzando la saturación, al medir la exhalación en este punto disminuye significativamente. Al presentarse fuertes precipitaciones no es recomendable precisar valores de medios de exhalación de un sustrato, (Lastra, M., 2016).

## **2 Materiales y Métodos**

### **2.1 Diseño**

Los parámetros analizados en las aguas termales fueron:

**Temperatura:** La temperatura que se registró se la realizó en el naciente de la fuente de agua termal, el equipo utilizado fue una termocupla portátil (AMPROB5- ACD-41PQ)

**Potencial de hidrogeno pH:** La medición del pH se lo realizo en la naciente de la fuente de agua termal para la cual se utilizó tiras de pH (MACHEREY-NAGE, REF 921 10.1,

**Ph-Fix 0-14)** registrando in situ y se analizó en el laboratorio con un dispositivo electrónico (peachimetro Martlni instruments-Mi 180 Bench Meter).

**Carbonato y Bicarbonato:** En la medición de los elementos químicos del agua termal se procedió según indica la técnica Standard Methods for Examination of Eater and Wastewater en su edición número 21, que se llevó a cabo en el laboratorio de química de la carrera de Ing. Ambiental que cuenta con los materiales y reactivos que se requiere en el análisis de carbonato (CO<sub>3</sub>) y bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Los resultados obtenidos en los parámetros químicos se compararon con el informe que realizo el INAMI en el año 2013, desarrollado en el laboratorio bajo la guía establecida por Standard Methods for Examination of Eater and Wastewater, en diferentes fuentes de aguas termales a nivel nacional, como se muestra en el Anexo 1.

**Radiactividad:** Para el análisis de la concentración de radón y torón en áreas dentro de los balnearios cercanas a los canales que conducen el agua termal, se tomó en consideración estas zonas que son ocupadas como bodegas, estaciones de atención al cliente (boletería), área de servicio (lavandería-planchado), y en el exterior como casilleros para los bañistas y en las periferias del área de baños turco, se utilizó el dispositivo *twin chamber* (cara doble) desarrollado por Bhabha Atomic Research Center (BARC), como sugiere la literatura en estudios realizados en diferentes partes de Europa.

Para cuantificar la concentración de radón en dos balnearios de la Parroquia Baños del Cantón Cuenca, el afloramiento del agua termal se da por una falla geológica al pie de la “Loma de los Hervideros”, con una temperatura de 74°C. Las aguas son conducidas a piscinas, termas y baños turcos.

Se establecieron diez zonas en las que podría existir presencia de gas radón, las áreas designadas están dentro de las características sugeridas en diferentes estudios realizados.

Se estableció la investigación de tipo exploratorio, metodología basada en la detección de emisión de partículas alfa ( $\alpha$ ) que se da por la desintegración radiactiva del radón y sus progenies.

## **2.2 Toma de muestra**

### **2.2.1 Parámetros físico-químicos**

Para realizar la toma de muestras de agua en la naciente de la fuente se siguió la directriz establecida en la norma NTE INEN 2176:2013. En la que debe incluirse al menos los siguientes datos en el informe de muestreo o ficha técnica:

- Hora de toma de muestra.
- Nombre del responsable.
- Condiciones climáticas.
- Conservante añadido.
- Registro tomado en campo.

Para el análisis de los carbonatos y bicarbonatos se tomaron dos muestras de 500 ml cada una, en recipientes nuevos esterilizados con tapa hermética, agregando HNO<sub>3</sub> alcanzando un pH menor a dos para su estabilización, el transporte de la muestra previamente rotulada se lo hace en un cooler a una temperatura de 4°C. , todo el procedimiento se lo realizo con los estándares que sugiere Standard Methods for Examination of Eater and Wastewater y la norma NTE INEN 2176:2013.

### **2.2.2 Base de datos para las condiciones climáticas**

La estación meteorológica UETS correspondiente a la red de monitorización climática de la Universidad Politécnica Salesiana nos facilitó la base de datos de la cual se obtuvo el registro de presión (hPa), precipitación (lluvia mm), radiación y temperatura (°C), que son evaluados cada hora, la estación es la más cercana a los balnearios a ser monitoreados, los datos utilizados comprenden el periodo 5/7/2017 a 5/1/2018 como se registra en el Anexo 2.

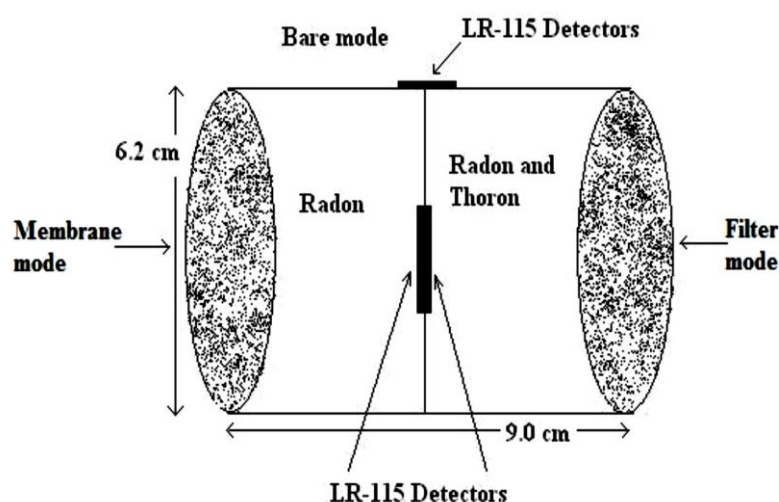
### **2.2.3 Dosímetro de doble cámara (*Twin Chamber Dosimeter*)**

Para determinar los niveles de radón y torón en las áreas internas de los balnearios de Baños-Cuenca, se llevó a cabo midiendo la concentración del gas disuelto en el aire en un periodo de 90 días, utilizando películas detectoras de trazas nucleares de partículas alfa, dispositivos pasivos LR-115 tipo II con lo que se medirá simultáneamente el radón y torón (Mohamed, 2012).

### 2.2.3.1 Características del Dosímetro

El dosímetro doble empleado para las mediciones de radón-torón se elaboró de material reciclable, con las dimensiones que sugiere la literatura de estudios realizados usando este dispositivo, como indica la figura 5.

Figura 5. Diagrama y fotografía del dosímetro de cámara doble

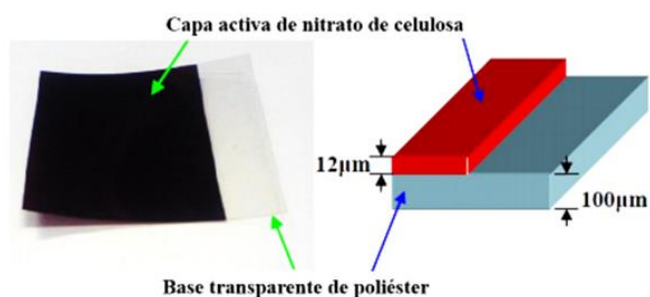


Fuente: Verma, D., Shakir Khan, M. (2013).

El diseño cilíndrico de este sistema consta de dos cuerpos con una dimensión de 4.5 cm de longitud y un radio de 1.3 cm cada una, como indica la figura 5, (Mayya Y. S., Eappen, K. P., and Nambi, K..S V., 1998). El dispositivo emplea dos detectores LR-115 Tipo II, adecuado para medir la concentración de radón en el aire, de tamaño (2 cm por 1.5 cm), con una base de poliéster inerte de 100  $\mu\text{m}$  y una emulsión de color rojo de 12  $\mu\text{m}$  de espesor, como indica la figura 6. De gran sensibilidad a partículas alfa de marca Kodak de Pathe, Francia. En una cámara se sella colocando una membrana plástica de 23  $\mu\text{m}$  de espesor, (plástico Envoplast Stretch). Permitiendo el paso y registro de las pistas de radón en el SSNTDS colocado en el interior, y evita el paso del torón. La otra cámara se sella con papel filtro de fibra de vidrio (Whatman CAT No. 1441-070), en la que se registrara las pistas que emite el radón, torón y su progenie simultáneamente.



Figura 6. Configuración química de las capas del LR-115 tipo II



Fuente: Estructura química del nitrato de celulosa (Barillon, 2005)

Los dosímetros se instalaron en diferentes áreas de los balnearios como indica la Tabla 7. La altura a la que se colocaron los dispositivos varía de 1,5 m. a 2,5 m. y separados de la pared 15 cm, alejado de zonas húmedas, ventanas, puertas y de la radiación directa como recomienda la EPA, los detectores son expuestos por tres meses, luego de transcurrido el tiempo requerido, se retiran para ser procesados químicamente.

Tabla 7. Características de los puntos de colocación de los dispositivos Twin Chamber

Ubicación y cracterísticas de las areas de estudio						
UBICACIÓN	PARED	PINTURA	PISO	VENTILACION	DISTANCIA CON RESPECTO AL PISO (m)	REGISTRO
Bodega 1	Enlucida	Empaste	Fundición	No	1,5	Anexo 3
Bodega2	Enlucida	No	Fundición	Memor	1,5	Anexo 3
Boleteria		Si	Cerámica	Memor	1,5	Anexo 3
Area de planchado	Ladrillo y vidrio	Si	Fundición	No	1,5	Anexo 3
Boleteria	ladrillo	Si	Cerámica	Memor	2	Anexo 3
Casilleros	Enlucida	Si	Cerámica	Sí	2	Anexo 3
Turco exterior	Enlucida	Si	Fundición	Sí	2	Anexo 3
Bodega	Enlucida	Si	Fundición	Sí	2	Anexo 3
Counter	Enlucida	Si	Cerámica	Memor	1,5	Anexo 3
Vestidores	Enlucida	Si	Cerámica	Memor	1,5	Anexo 3

Fuente: El autor

### **2.3 Tiempo óptimo de revelado de LR-115 Tipo II**

Pasos recomendados por DOSIRAD *Laboratory* para el proceso de revelado de los LR-115 Tipo II, se obtuvo el tiempo óptimo de revelado ensayando con diferentes rangos y exponiendo detectores nuevos a una fuente emisora de partículas alfa, empleando un dispositivo elaborado manualmente para mantener una geometría uniforme de exposición del detector LR-115 Tipo II por un lapso de 5 sg. Obteniendo el tiempo adecuado de 90 min en el cual se reveló 30 detectores del trabajo de investigación con lo que se asegura una mejor lectura de las trazas grabadas en el detector LR-115 Tipo II, después del proceso de revelado, como se indica en el Anexo 2.

### **2.4 Proceso de revelado de LR-115 tipo II**

La partícula alfa cargada de energía al chocar con un sólido (emulsión del detector) deja una huella que registra el detector, para analizar esta traza se requiere que el detector pase por un proceso químico que hace visible el daño causado por esta partícula.

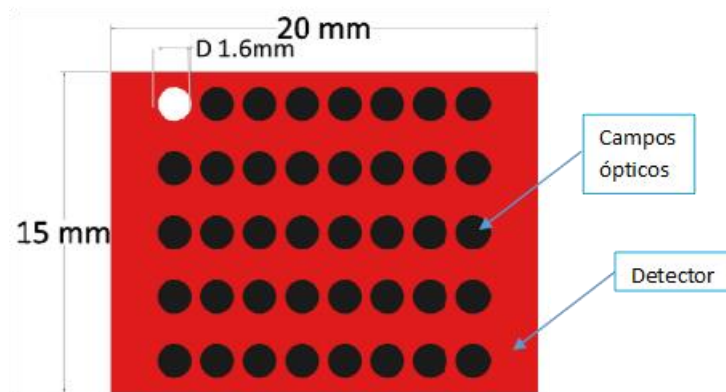
Pasos a desarrollar en el revelado de los detectores LR-115 tipo II:

- a) Encender el calentador térmico (baño maría) hasta alcanzar los 60°C.
- b) Codificar los detectores para evitar confusiones.
- c) Colocar los detectores en los porta detectores
- d) Preparar la solución de Hidróxido de sodio (NaOH) al 2,5 N, dejar que se enfríe a temperatura ambiente para usar.
- e) Colocar 10 ml. De solución en cada tubo de ensayo y colocar en el baño maría hasta alcanzar la temperatura constante.
- f) Colocar los detectores en los tubos de ensayo por 90 min.
- g) Retirar los detectores y colocarlos en un vaso de precipitación con agua destilada para lavarlos con agitación en el agitador magnético (3 rpm), durante 20min.
- h) Colocar en otro vaso de precipitación con agua destilado sin agitar por 2 min.
- i) Terminado el proceso se retiran y se deja secar por ventilación a temperatura ambiente

## 2.5 Conteo manual de trazas grabadas en el LR-115

Colocamos el detector LR-115 en un porta objetos para visualizar y contar las trazas grabadas con el microscopio óptico y el lente 10X establecemos el área del detector en el que se contara las trazas en una área de campo óptico de visión como indica la figura 7.

Figura 7. Campos de visión óptica de los detectores revelados



Fuente: Autor

Se establecieron 40 campos de visión en un área de 16 mm X 15 mm constantes para cada detector, para obtener esta geometría se colocó una máscara negra y fina que sostenía al detector fijado al porta elementos colocado en el microscopio, con el carro móvil del microscopio se hacía el barrido de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo para completar el área total del detector irradiado, se cuenta las trazas que se encuentran bien definidas y excluyendo desperfectos por la película o el proceso químico, resultados del número de trazas mostrados en Anexo 6.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concluido el tiempo de exposición de los detectores LR-115 tipo II y computado el número de trazas de cada detector, se cuantifico los niveles de irradiación de radón y torón en cada área estudiada, aplicando las siguientes fórmulas, con lo que se cuantifica la concentración y dosis de inhalación anual del gas radón y su progenie.

### 3.1 Presentación de Datos

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación demuestran cómo influyen las variables analizadas en la concentración de radón y torón en las áreas de estudio.

### 3.2 Parámetros físico-químicos

Los resultados comparativos de los parámetros físicos realizados en campo en el nacimiento de la vertiente termal, muestran una ligera anomalía en el registro de la Temperatura, en los demás parámetros la variación no es representativa, el rango de variación es de 2,4°C, registrado con un equipo similar termocupla (AMPROB5- ACD-41PQ). Como se muestra en la Tabla 8, se representa los resultados obtenidos.

Tabla 8. Parámetros físico-químicos determinados

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS ANALIZADOS							PARAMETROS COTEJADOS
FECHA	FISICO	CANTIDAD	UNIDADES	Químico	CANTIDAD	UNIDADES	REFERENCIA
7/07 2017	TEMPERATURA	74	°C	CO3-	0	mg/l	INAMHI 2013 AGUAS TERMOMINERALES EN EL ECUADOR
	Ph	7		HCO3-	642	mg/l	
	CE	3725	µs/cm				
07/08/2017	TEMPERATURA	74	°C	CO3-	0	mg/l	
	Ph	7		HCO3-	635	mg/l	
	CE	3720	µs/cm				
07/09/2017	TEMPERATURA	74	°C	CO3-	0	mg/l	
	Ph	7		HCO3-	651	mg/l	
	CE	3724	µs/cm				

Fuente: Autor

Los resultados de los parámetros químicos registran una variación pequeña en el ion bicarbonato encontrándose en el rango de 0,08 gr/l. como indica la Tabla 8 el ion carbonato (CO3-) no se cuantifica este elemento, ya que al agregar en la muestra de agua termal muestreado el indicador de fenolftaleína no bira a color rosa indicativo de la presencia de dicho elemento, debido a que su pH no es superior a 8,3

### 3.3 Variables meteorológicas

La concentración de radón presente, medido entre los meses de 5 de julio de 2017 al 5 de octubre de 2017, nos muestra una concentración de radón promedio de 222,169 Bq/m<sup>3</sup>, un máximo de 1235,229 Bq/m<sup>3</sup>, y un mínimo de 16,087 Bq/m<sup>3</sup>, así como la concentración de torón con un promedio de 117,525 Bq/m<sup>3</sup>, un máximo de 704,368 Bq/m<sup>3</sup>, y un mínimo de 4,682Bq/m<sup>3</sup>, en la primera corrida en la que las variables meteorológicas consideradas como temperatura y precipitación se encuentran en un

rango promedio de temperatura de 13,30°C, y un promedio de precipitación de 0,02 mm. Como muestra la Tabla 9, Anexo 2

Tabla 9. Concentración de radón y torón en función de las variables meteorológicas registradas en la estación UETS.

AREAS DE ESTUDIO	Variables Meteorológicas				Concentración [Bq/m <sup>3</sup> ]		
	10 Puntos	Presión hPa	Presipitación (mm)	Radiación	Temperatura °C	Radón	Torón
<b>PROMEDIO</b>		752,47	0,1	126,98	14,64	224,377	119,291
<b>MAXIMO</b>		757,30	20,5	1118,00	24,30	1257,310	722,033
<b>MINIMO</b>		754,30	0,0	0,00	3,60	16,087	4,682

Fuente: Autor

En los resultados obtenidos en la segunda corrida del 6/10/2017 al 6/01/2018 la concentración promedio de radón es 90,775 Bq/m<sup>3</sup>, un máximo de 600,739 Bq/m<sup>3</sup> y un mínimo de 0,575 Bq/m<sup>3</sup>, considerando un promedio de las variables meteorológicas de temperatura 14,64°C y una precipitación de 0,1 mm... mostradas en la Tabla 10, Anexo 2

Tabla 10. Concentración de radón y torón en función de las variables meteorológicas registradas en la estación UETS

AREAS DE ESTUDIO	Variables Meteorológicas					Concentración [Bq/m <sup>3</sup> ]	
	10 Puntos	Presión hPa	Presipitación (mm)	Radiación	Temperatura °C	Radón	Torón
<b>PROMEDIO</b>		752,47	0,06	126,98	14,64	90,775	43,854
<b>MAXIMO</b>		757,30	20,5	1118,00	24,30	600,379	360,227
<b>MINIMO</b>		754,30	0,0	0,00	3,60	0,575	0,086

Fuente: Autor

### 3.4 Cálculo de dosis de inhalación

$$(7) \quad \rho = \frac{NT}{nA}$$

Donde:

NT, es el número total de trazas en el detector,  
n, es el número total de campos de visión,  
A, es el área del campo de visión (cm<sup>2</sup>).

$$\rho \rightarrow \left[ \frac{\text{trazas}}{\text{cm}^2} \right]$$

### Concentración de Radón

(8)

$$C_{Rn} = \frac{\rho_m}{K_m * d}$$

Donde:

$\rho$  → densidad de trazas [Bq/m<sup>3</sup>]

$K_m$  → factor de calibración (0.019 ± 0.003 tracks.cm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>/Bq.m<sup>-3</sup>)

d → tiempo (días)

$$C_{Rn} \rightarrow \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$$

### Concentración de Torón

(9)

$$C_{Tn} = \frac{(\rho_f - d * C_{Rn} * K_{rf})}{K_{tf} * d}$$

En el cual:

$\rho$  → densidad de trazas [Bq/m<sup>3</sup>]

$C_{Rn}$  → Concentración de radón (Bq/m<sup>3</sup>)

$K_m$  → (0.019 ± 0.003 tracks.cm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>/Bq.m<sup>-3</sup>)

$K_{rf}$  → (0.020 ± 0.004 tracks.cm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>/Bq.m<sup>-3</sup>)

$$K_{tf} \rightarrow (0.016 \pm 0.005 \text{ tracks.cm}^{-2}\text{d}^{-1}/\text{Bq.m}^{-3})$$

d → tiempo (días)

$$C_{Tn} \rightarrow \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$$

### Dosis de inhalación

(10)

$$D = \{(0.17+9(F_{Rn})) C_{Rn} + (0.11+32(F_{Tn})) C_{Tn}\} \times 0.007$$

En la cual:

$C_{Rn}$  → Concentración de radón (Bq/m<sup>3</sup>)

$C_{Tn}$  → Concentración de torón (Bq/m<sup>3</sup>)

$F_{Rn}$  → Factor de equilibrio (0.4)

$F_{Tn}$  → Factor de equilibrio (0.1)

$$D \rightarrow \left[ \frac{\text{msiver}}{\text{year}} \right]$$

### Medida de la Concentración de Energía Alfa Potencial (PAEC) del Radón-Torón

Radón:

$$C_{Rn} \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right] = \frac{PAEC \times 3,7}{F_{Rn}}$$

(11)

$$PAEC = \frac{C_{Rn} \times F_R}{3700}$$

En el cual:

$C_{Rn}$  → Concentración de radón (Bq/m<sup>3</sup>)

$F_{Rn}$  → Factor de equilibrio (0.4)

$$PAEC \rightarrow (\text{mWL})$$

Torón:

$$C_{Tn} \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right] = \frac{PAEC \times 0.250}{F_{Tn}}$$

$$PAEC = \frac{C_{Tn} \times F_{Tn}}{250}$$

$$PAEC \rightarrow (mWL)$$

En el cual:

$C_{Rn}$  → Concentración de radón (Bq/m<sup>3</sup>)

$F_{Tn}$  → Factor de equilibrio (0.1)

### Dosis Anual Equivalente

(13)

$$H = D_{Rn} \cdot W_R$$

En el cual:

$D_{Rn}$  = Dosis Anual Absorbida [mSv/y]

$W_R$  = Factor de Ponderación de la radiación

$$H = \left[ \frac{mSv}{y} \right]$$

### 3.5 Análisis de la concentración de radón y torón

Con la ayuda de la hoja de cálculo Excell, se cuantifico el número de trazas en los 90 días de explosión del dispositivo entre el 5 de julio de 2017 al 5 de octubre de 2017 con un promedio de trazas 379,909 trazas/cm<sup>2</sup>. Registrando en el área de servicios (lavandería-planchado) el mayor número de trazas 2112,242 trazas/cm<sup>2</sup> y el número de trazas promedio para torón contabilizado es de 111,408 trazas/cm<sup>2</sup>, con un número mayor registrado en el área de servicios (lavandería-planchado) de 510,868 trazas/cm<sup>2</sup>, como se muestra en la Tabla 12. La concentración de radón y torón contabilizado en las áreas de estudio de los dos balnearios se indica en el grafico 1. En la que se observa una variación de los niveles de radón que va desde 16,08 Bq/m<sup>3</sup> en el área de los casilleros hasta 1.235,22 Bq/m<sup>3</sup> en el área de planchado. Así como de Torón de 4,68 Bq/m<sup>3</sup> en el área de baños turco exterior hasta 704,368 Bq/m<sup>3</sup>, en el área de



planchado del balneario de la parroquia Baños de Cuenca en la que se muestra un promedio de radón 222,169 Bq/m<sup>3</sup> y torón 117,525 Bq/m<sup>3</sup> presente en estas zonas.

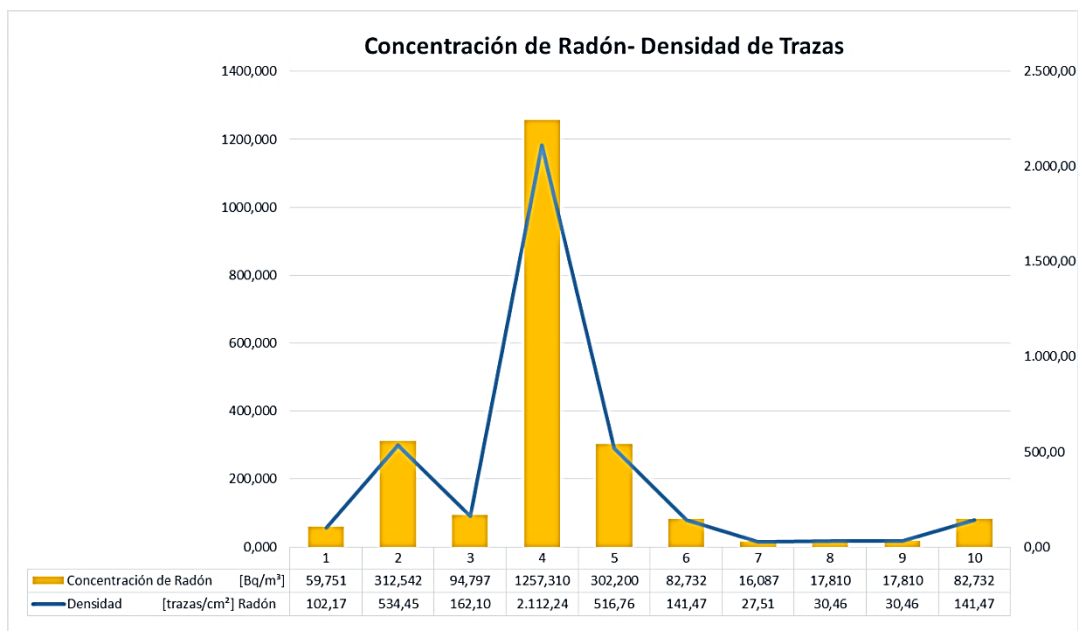
Tabla 11. Densidad de trazas y concentración de Radón y Torón en las áreas de estudio de dos balnearios de Baños-Cuenca.

AREAS DE ESTUDIO		Número de trazas		Promedio de trazas		Densidad [trazas/cm <sup>2</sup> ]		Concentración [Bq/m <sup>3</sup> ]	
Muestra No		Radón	Torón	Radón	Torón	Radón	Torón	Radón	Torón
1	Bodega 1	102,174	101,191	2,60	2,58	102,17	101,19	59,751	8,417
2	Bodega 2	534,446	104,138	13,60	2,65	534,45	104,14	312,542	192,179
3	Boletería 1	162,102	61,894	4,13	1,58	162,10	61,89	94,797	41,452
4	Planchado	2112,242	510,868	53,75	13,00	2.150,00	510,87	1257,310	704,368
5	Boletería	516,762	164,067	13,15	4,18	516,76	164,07	302,200	150,612
6	Casilleros	141,471	73,683	3,60	1,88	141,47	73,68	82,732	25,250
7	Turco-exterior	27,508	14,737	0,70	0,38	27,51	14,74	16,087	4,682
8	Bodega 3	30,456	11,789	0,78	0,30	30,46	11,79	17,810	7,699
9	Counter	30,456	14,737	0,78	0,38	30,46	14,74	17,810	6,061
10	Vestidores	141,471	56,981	3,60	1,45	141,47	56,98	82,732	34,529
<b>PROMEDIO</b>		379,909	111,408	9,668	2,835	383,685	111,408	224,377	117,525
<b>MAXIMO</b>		2112,242	510,868	53,75	13	2150	510,868	1257,310	704,368
<b>MINIMO</b>		27,508	11,789	0,7	0,3	27,508	11,789	16,087	4,682

Fuente: Autor

En el Grafico 1 muestra el número de trazas contabilizadas en los diferentes puntos de muestreo el área de (lavandería-planchado) registra el mayor número con 2.112,24 trazas/cm<sup>2</sup>, lo que al computar registra una concentración de radón en el mismo punto de 1.257,310 Bq/m<sup>3</sup>.

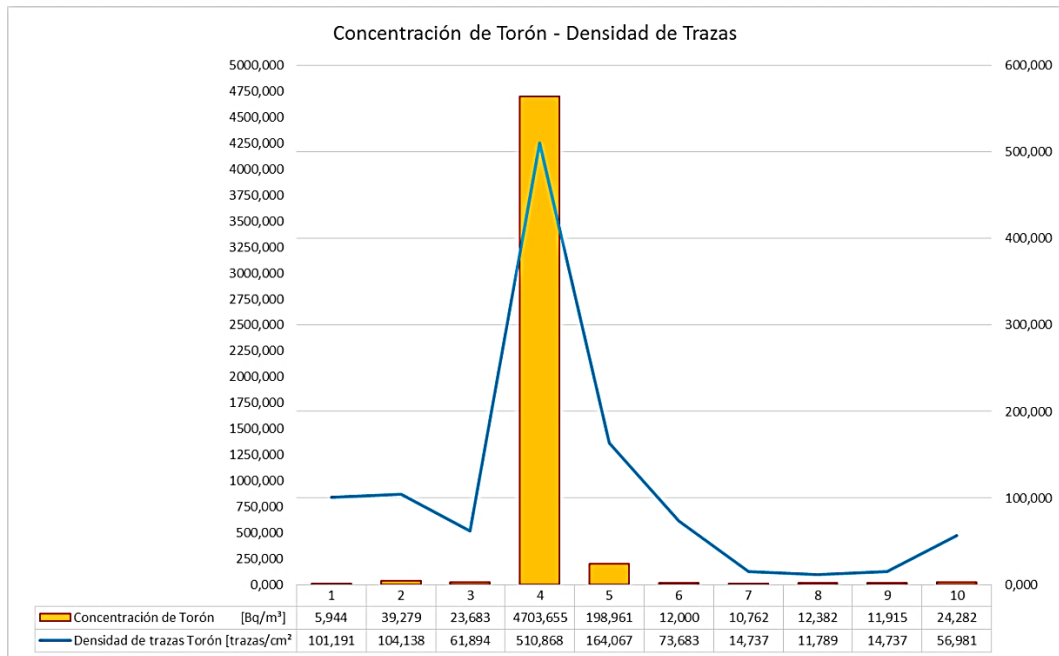
Grafico1. Relación Concentración Radón – Densidad de trazas



Fuente: Autor

La concentración de torón que registran los puntos de muestreo está entre los rangos de 4.703,655 Bq/m<sup>3</sup> en el área de servicios (lavandería – planchado) y de menor concentración en el área de turco (Exterior), como se muestra en el Grafico 2.

Grafico2. Relación Concentración Radón – Densidad de trazas



Fuente: Autor

En la Tabla 12 se muestra los resultados de la dosis anual equivalente (H), con un promedio de 14,03 [mSv/y], un máximo de 77,908 [mSv/y] y un mínimo de 1,015 [mSv/y]. Un PAEC con un promedio de 3,24x10<sup>-6</sup> WL, un máximo de 1,835x10<sup>-4</sup> WL y un máximo de 2,34x10<sup>-6</sup> WL. Y su Dosis anual efectiva que se registró esta dentro del promedio de 6,438 mSv, un máximo de 35,797 mSv y mínimo de 0,466 mSv.

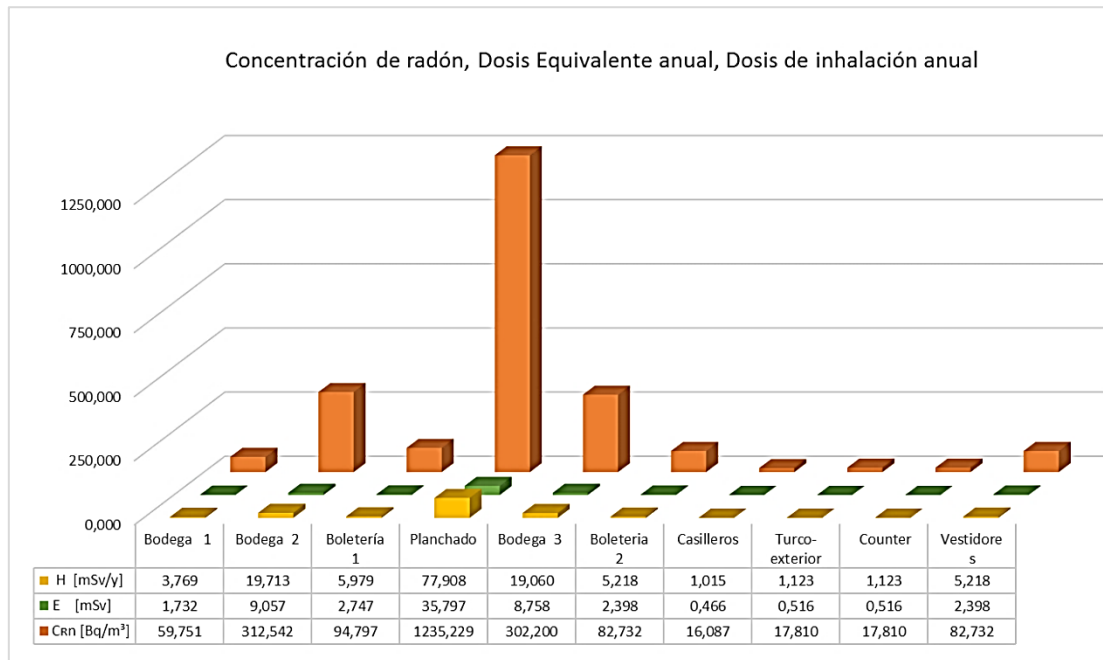
Tabla 12. Densidad de Trazas, C<sub>Rn</sub>, C<sub>Tn</sub>, Dosis anual equivalente (H), Dosis anual efectiva (E), PAE

Muestra No	AREAS DE ESTUDIO	Densidad [trazas/cm²]		C <sub>Rn</sub> [Bq/m³]		H [mSv/y]		PAEC WL		E [mSv]	
		Radón	Torón	Radón	Torón	Radón	Torón	Radón	Torón	Radón	Torón
1	Bodega 1	102,174	101,191	59,751	8,417	3,769	0,106	0,0001433	0,0000002	1,732	0,212
2	Bodega 2	534,446	104,138	312,542	192,179	19,713	2,424	0,0032727	0,0000044	9,057	4,843
3	Boletería 1	162,102	61,894	94,797	41,452	5,979	0,523	0,0007059	0,0000010	2,747	1,045
4	Planchado	2112,242	510,868	1235,229	722,033	77,908	8,885	0,0119950	0,0000162	35,797	17,750
5	Bodega 3	516,762	164,067	302,200	150,612	19,060	1,900	0,0025648	0,0000035	8,758	3,795
6	Boletería 2	141,471	73,683	82,732	25,250	5,218	0,319	0,0004300	0,0000006	2,398	0,636
7	Casilleros	27,508	14,737	16,087	4,682	1,015	0,059	0,0000797	0,0000001	0,466	0,118
8	turco-externo	30,456	11,789	17,810	7,699	1,123	0,097	0,0001311	0,0000002	0,516	0,194
9	Counter	30,456	14,737	17,810	6,061	1,123	0,076	0,0001032	0,0000001	0,516	0,153
10	Vestidores	141,471	56,981	82,732	34,529	5,218	0,436	0,0005880	0,0000008	2,398	0,870
<b>PROMEDIO</b>		<b>379,909</b>	<b>111,408</b>	<b>222,169</b>	<b>119,291</b>	<b>14,013</b>	<b>1,483</b>	<b>0,0020014</b>	<b>0,0000027</b>	<b>6,438</b>	<b>2,962</b>
<b>MAXIMO</b>		<b>2112,242</b>	<b>510,868</b>	<b>1235,229</b>	<b>722,033</b>	<b>77,908</b>	<b>8,885</b>	<b>0,0119950</b>	<b>0,0000162</b>	<b>35,797</b>	<b>17,750</b>
<b>MINIMO</b>		<b>27,508</b>	<b>11,789</b>	<b>16,087</b>	<b>4,682</b>	<b>1,015</b>	<b>0,059</b>	<b>0,0000797</b>	<b>0,0000001</b>	<b>0,466</b>	<b>0,118</b>

Fuente: Autor

La dosis de inhalación, la dosis anual equivalente y la concentración de radón en los dos BALNEARIOS de Baños de Cuenca

Grafico 3. Dosis anual de inhalación, Dosis Equivalente y Concentracion de Radón de dos balnearios de Baños de Cuenca



Fuente: Autor

### 3.6 Discusión

El desarrollo del trabajo investigativo se enmarcó en el análisis de los niveles de concentración de radón en áreas de dos balnearios de la parroquia Baños-Cuenca, la técnica utilizada dosímetro de cámara doble facilitó el estudio de la concentración de radón de manera simultánea, existente en áreas con características descritas en la Tabla 8. Se recopiló información de los 10 puntos en las cuales se colocaron los dispositivos de cámara doble (Twin Chamber).

Teniendo en cuenta que las aguas termales de origen subterráneo son el medio de transporte del radón, se establecen áreas por donde pasa el canal que abastece a los diferentes servicios que poseen los balnearios, como; las piscinas o baños turcos de manera directa y de forma indirecta a otras áreas de bodega, recepción (boletería) y área de servicios (lavandería-planchado) los resultados obtenidos en esta investigación se basan en estadísticas y en resultados planteadas por organismos de control como WHO, EPA, HSE, UNSCEAR, ICRP, que establecen rangos permisibles a las que pueden estar expuestas la población, ya que el radón es considerado el segundo factor de muerte por cáncer de pulmón en el mundo.

La confiabilidad de la técnica y la eficiencia de los detectores LR-115 tipo II con los que se obtuvieron importantes datos, en los que podemos evidenciar que el punto donde se encuentra mayor concentración de radón y torón es el área de servicios (lavandería –planchado), con los datos de concentración altos registrados en esta área se debería investigar detenidamente si estos niveles son constantes en futuras mediciones con lo que se evidenciaría la existencia de una posible fuente de radón.

Cabe recalcar que los dosímetros de cámara doble estaban colocados en diferentes ambientes y en condiciones propias de cada punto de muestreo, es así que en el proceso de revelado se dañaron dos los cuales se encontraban expuestos al exterior, básicamente los que se encontraban en la cámara cubierta con la membrana de Envoplast, el daño que sufrieron se debió al tiempo de revelado ya que en estos puntos estaban expuestos a radiación solar y humedad lo que hizo que disminuya el grosor de la emulsión (nitrato de celulosa) del detector LR -115 tipo II lo cual reducía su tiempo de revelado,

Sin otro contratiempo se evidenció después del proceso químico que fueron sometidos los detectores todos registraron trazas nucleares con lo que se puede afirmar que existe la presencia de radón.

#### 4 Conclusiones y Recomendaciones

##### 4.1 Conclusiones

- a. El estudio realizado en los dos Balnearios ubicados en la parroquia Baños – Cuenca, muestran unas variaciones considerables en la concentración de radón existente, realizadas en dos periodos de tiempo de análisis.
- b. Los altos niveles de concentración de radón se registró en el área de servicios (lavandería-planchado), con un promedio de 224,377 Bq/m<sup>3</sup> de radón y un promedio de 504,286 Bq/m<sup>3</sup> de torón con respecto a todos los puntos de monitoreo.
- c. La alta concentración de radón en el área de servicio (lavandería- planchado) está comprendido entre los 2.150 Bq/m<sup>3</sup> en el primer periodo de exposición de los detectores LR-115 tipo II y los 600,379 Bq/m<sup>3</sup>, área que cuenta con mínima ventilación.
- d. Las concentraciones de radón son elevadas en el primer periodo de exposición y análisis, en la que la variable meteorológica de temperatura tiene un promedio de 13,62°C y un promedio de lluvia de 0,02 mm
- e. La concentración de radón en el segundo periodo de análisis es más bajo, con un rango promedio para el radón de 90,775 Bq/m<sup>3</sup> hasta los 73,967 Bq/m<sup>3</sup> para el torón, mientras las variables meteorológicas muestran un aumento de 1.02°C en el promedio de temperatura y de 0.04 mm en el promedio de lluvias.
- f. La variación de concentración de radón y torón en los dos periodos de análisis, se justificaría considerando que la difusión del radón al aire se da por los poros y grietas existentes en rocas y suelo, la presencia de lluvia inunda estas cavidades lo cual impide la salida del radón a la superficie.

- g. Los niveles más bajos de concentración de radón y torón se registra en el área de baños Turcos (exterior) con un promedio entre los dos monitores de radón de 8,331 Bq/m<sup>3</sup> y de torón de 8,567 Bq/m<sup>3</sup> en el área de counter.

## **4.2 Recomendaciones**

- a. Los niveles altos de concentración que se registraron en el área de servicios (lavandería-planchado) es recomendable plantearse un estudio que verifiquen la causa de la alta concentración, considerándose un peligro para el personal involucrado en dicha área.
- b. Informar al personal que labora en estos balnearios para crear un habito de seguridad ante este gas invisible, con la finalidad de conocer los peligros de estar expuesto por periodos largos a la inhalación de las progenie del radón.
- c. Colocar letreros de información para los usuarios que frecuentan muy seguido a los balnearios en busca de mejorar su salud, que extenderse en el tiempo de permanencia puede tener consecuencias en su salud, ya que el radón es un factor de riesgo importante de contraer cáncer de pulmón.
- d. Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren seguir abriendo el abanico de análisis de la concentración de radón en el suelo y residuos sólidos (lodos) que se generan en las piscinas y canales de conducción de las aguas termales, así como el uso de barro para la aplicación facial para aliviar dolores y limpiar el rostro.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Afaf A. Fakeha, Safiah Q. Hamidalddin, Zain M. Alamoudy, and Ahlam M.A. Al-Amri (2011). Concentrations of natural radioactivity and their contribution to the absorbed dose from water samples from the Western Province, Saudi Arabia. *JKAU: Sci.*, Vol. 23 No. 2, pp: 17-30: Obtenido de: [www.kau.edu.sa/Files/320/Researches/61526\\_32475.pdf](http://www.kau.edu.sa/Files/320/Researches/61526_32475.pdf)
- Andiscoa, D., C., S. Blancob S., & Buzzia A., E., (2014). Dosimetría en radiología. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Medicina. Buenos Aires – Argentina. *Rev Argent Radiol.*; 78(2):114-117. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004876191400012X>
- Archer V. E., Wagoner J. K., Lundin Jr. F.E. (1973). Cáncer de pulmón entre los mineros de uranio en Estados Unidos. *Health Physics*, pp. 351 – 371. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-015792136&origin=inward&txGid=efd9050b40346c70629ef33bb03a115e>
- Ayala, A., (2009). Medición de Rn-222 en Ambientes Geohidrológicos en la Fracción central de México [tesis]. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México, Obtenido de: <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tAliciaAyala0908.pdf>.
- Barillon, (2005). Track etch velocity and chemical damages induced by ions in a cellulose nitrate detector. *Radiation measurements* 40 pp: 214 – 217, 4. Obtenido de: [https://scholar.google.com/ec/scholar?rlz=1C1AVNA\\_enEC584EC584&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:v7Q0XD2bTsv5uM:scholar.google.com](https://scholar.google.com/ec/scholar?rlz=1C1AVNA_enEC584EC584&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:v7Q0XD2bTsv5uM:scholar.google.com)
- Batet, C., (2004). Proyecto de mejoras del monitor de aerosoles radiactivos. Trabajo final de carrera. Universidad Politécnica de Cataluña. *Barcelonatech*, pp. 22-23. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/2099.1/2663>
- Chaudhuri H. (2010). Radón activity measurements around Bakreswar thermal springs. *ELSEVIER*, 143-146.
- Cobo C. M., (2015). CALIBRACIÓN E INTERCOMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE RADÓN EN AGUA. Tesis de grado. Universidad de Cantabria, Facultad de Ciencias. Santander-España. Obtenido de:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/.../Christian%20Martinez%20Cobo.pdf?..>

- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios JM., Baysson, H., Bochicchio, F., (2005) et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. 2005; 330:223-6
- Emsley, J. (2001). *Nature's Building Blocks*. New York: Footnote Graphics, Warminster.
- Espinoza, S., (2016). Valores de dosimetría efectiva y equivalente de tecnólogos médicos que laboran en el servicio de radiología. Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz". Enero 2015 – diciembre 2015. Tesis pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina E.A.P. de Tecnología Medica. Lima Perú., pp: 20-22. Obtenido de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/6434>
- GARCÍA-VINDAS, J.R., (2001): Estudio experimental del tiempo de disolución del Rn-222 en agua y algunas implicaciones en la geología. *Revista Geológica de América Central*, 24:87–92. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8547/8072>.
- Giancoli, D., (2009). Física para ciencias e ingeniería con física moderna Vol.II. 4 a ed. México- México. Pearson, pp: 1110 – 1116
- González, F., T., (2015). INFORMACIÓN SOBRE RADIACIONES IONIZANTES. Comisión Técnica, *Sociedad Nuclear Española* 1-15. Obtenido de: <https://www.sne.es/images/stories/recursos/publicaciones/notas/NT%200315%20%20Informaci%C3%B3n%20sobre%20radiaciones%20Ionizantes.pdf>.
- Hulka, J., Thomas, J. (2004). National Radiation Protection, PRAHA.
- ICRP. PUBLICATION 103: RECOMMENDATIONS OF THE ICRP. 2008, Radiation Protection Dosimetry, págs. 500-507.
- INAMI (2013). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Aguas Termominerales en el Ecuador Quito - Ecuador. INAMI. 2013, p. 5
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en su norma NTE INEN 1 108:2011



- Instituto Geológico y Minero de España. (2012). Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado el 26 de Abril de 2016, de Aguas minerales y termales. Obtenido de: <http://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/agua12.pdf>
- Iranmanesh, F., Shafiei Bafti A., Negarestani, A. & Malakootian, M. (2014). Estimated Annual Effective Doses of Radon in Springs and Qanats Nearby Kouhbanan Active Fault System; Iran. University of Tehran. *Journal of Sciences*, Islamic Republic of Iran 25(4): 345- 355. Obtenido de: [https://jscienc.es.ut.ac.ir/article\\_52622\\_5308899aa963aa09c1f22f7b8d38cdac.pdf](https://jscienc.es.ut.ac.ir/article_52622_5308899aa963aa09c1f22f7b8d38cdac.pdf)
- Karimdoust S., Ardebili L. (2010). The Environmental Impact of Radon Emitted from Hot Springs of Sarein (A Touristic City Northwestern Iran). *Wo. App. Sci.* 10 (8): 930-935. Obtenido de [http://www.idosi.org/wasj/wasj10\(8\)/12.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj10(8)/12.pdf)
- Kendall G.M., Smith T.J. (2002). Doses to organs and tissues from radon and its decay products. *J. Radiol Protec.* 22 (4):389-406. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850717301085?via%3Dihub#bib1>
- Khattak N.U., Khan M.A., Shah M.T., Javed M.W. (2011).Radon concentration in drinking water sources of the Main Campus of the University of Peshawar and surrounding areas, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Radio. Anal. Nu.Chem.* 290: 493-505. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/287369577\\_Estimated\\_annual\\_effective\\_doses\\_of\\_radon\\_in\\_springs\\_and\\_Qanats\\_nearby\\_Kouhbanan\\_active\\_fault\\_system\\_Iran](https://www.researchgate.net/publication/287369577_Estimated_annual_effective_doses_of_radon_in_springs_and_Qanats_nearby_Kouhbanan_active_fault_system_Iran)
- KUO, ., (2006). T., FAN, K., KUOCHEN, H., HAN, Y., CHU, H., & LEE, Y Anomalous decrease in groundwater radon before the Taiwan M6.8 Chengkung earthquake.- *J. Environ. Radioactivity*, 88: 101-106.
- Laiolo, M. (2012). Developments in real-time radon monitoring at Stromboli volcano. *Journal of Environmental Radioactivity*, 21-29. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X11002451>
- Lastra, M., (2015). Puesta a punto de un Sistema de medida de radón en agua aplicado al estudio de acuíferos. Tesis de grado. Universidad de Cantabria, Facultad de Ciencias. Santander – España.

- Lastra, M., (2016). Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radon en suelos. Tesis de master. Universidad de Cantabria, Facultad de ciencias. Santander España, pp: 10-14.
- Marta NAVARRO GÓMEZ, A. I. (2010). Aguas radiactivas, ¿fe peligrosa o beneficio demostrado? *Anales de Hidrología Médica*, 109-129. Obtenido de <https://revistas.ucm.es/index.php/ANHM/article/download/38577/37303>
- Mayya Y. S., Eappen, K. P., and Nambi, K. .S V., (1998). Methodology for mixed field inhalation dosimetry in monazite areas using a twin-cup dosimeter with three track detectors, *Radiation Protection Dosimetry*, 77(3), 177–184
- Mohamed, A., (2012). An overview on studying <sup>222</sup>Rn Exhalation Rates using Pasive Technique Solid-State Nuclear Track Detectors. *American Journal of Applied Sciencies* 9 (10), 1653-1659
- (Mourelle L. 2007). ASPECTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL TERMALISMO. Investigadora Dpto. Física Aplicada Universidad de Vigo: pp. 1-16. Obtenido de: [http://camaraminera.org/uploads/COMG/actividades\\_eventos/formacion/balnearios\\_termalismo07/03\\_mourelle\\_mosqueira.pdf](http://camaraminera.org/uploads/COMG/actividades_eventos/formacion/balnearios_termalismo07/03_mourelle_mosqueira.pdf)
- Núñez, R., Roglá, L., (2011). La radiactividad ambiental. *Revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA* ISSN 2145-549X, Vol 2. No. 2, Enero – Junio, 2011, pp. 50-6. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4165973.pdf>
- OMS. (2015). Manual de la OMS sobre el radon en interiores: Una perspectiva de salud pública. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Peña,B. (2000). Caracterización de Sistemas Hidrominerales en el Distrito Físico Geográfico Pinar del Río. Tesis de Maestría en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. Facultad de Geografía (U.H.) : pp. 10-20
- PrzylibskiT. A., (2011). Shallow circulation groundwater – the main type of water containing hazardous radon concentration. Wrocław University of Technology, Faculty of Geoengineering, Mining and Geology, Institute of Mining Engineering, Division of Geology and Mineral Waters; Wybrzeze S., Wyspianskiego 27, 50-370

Wrocław, Poland. Obtenido de: <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1695/2011/nhess-11-1695-2011.pdf>

- Przyłidski, T. A., Mamont-Ciesła K., Kusyk M., Dorda J., & Kozłowska B., (2004). Radon concentrations in groundwaters of the Polish part of the Sudety Mountains (SW Poland). *Journal of Environmental Radioactivity* 75 (2004) 193–209. Obtenido de [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X03002984](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X03002984)
- Quichimbo, F. (2015). “Georeferenciación, análisis y función del patrimonio toponímico del cantón Cuenca: parroquia rural de Baños”. Tesis de pregrado. Universidad de Cuenca Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación carrera de Historia y Geografía, Cuenca-Ecuador. Obtenido de <https://www.dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23963/1/Tesis%20.pdf>
- Ramírez, P., Morón, C., García, A. & Correa, E., (2011). ESTUDIOS DE LAS CONCENTRACIONES Y MECANISMOS DE DESPLAZAMIENTO DE RADON Y DESCENDIENTES EN RECINTOS CERRADOS. *Congreso de Innovación Tecnológica en la Edificación CITE*. Obtenido de [http://oa.upm.es/13446/1/INVE\\_MEM\\_2011\\_112672.pdf](http://oa.upm.es/13446/1/INVE_MEM_2011_112672.pdf)
- Ramsiya, M. (Julio 2017). Estimation of indoor radon and thoron in dwellings of Palakkad, Kerala, India using solid-state nuclear track detectors. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 269-267. Obtenido de [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850717301085](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850717301085)
- Robayna, B. »Radón en viviendas de las Islas Canarias occidentales. Distribución geográfica y dosimetría« Tesis de grado. Universidad de la Laguna. Departamento de Medicina Física y Farmacología. Santa Cruz de Tenerife-España.
- Rodríguez, J. R., (2013). “CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE RADÓN (<sup>222</sup>Rn) Y RADIO (<sup>226</sup>Ra) APLICANDO LA TÉCNICA DE CENTELLEO LÍQUIDO EN AGUAS TERMALES DEL CERRO PACHO, LAGO DE COATEPEQUE, DEPARTAMENTO DE SANTA ANA”. Tesis posgrado. Universidad de el Salvador, Facultad multidisciplinaria de occidente departamento de química. Santa Ana-Salvador.

- RODRÍGUEZ, R., OLMOS, R. & PAYES, J., (2014) Medición de gas radón (Rn222) en aguas termales del cerro Pacho, caldera Coatepeque, El Salvador.- *Revista Geológica de América Central*, 50: 71-82. Obtenido de: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rgac/n50/a03n50.pdf>
  
- Rodríguez, R., Olmos, R. & Payes, J., (2014): Medición de gas radón (Rn222) en aguas termales del cerro Pacho, caldera Coatepeque, El Salvador.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 50: 71-82. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/15108>
  
- Smetanova., Holy K., Mullerova M., Polaskova, A. (2010).The effect of meteorological parameters on radon concentration in borehole air and water.*J Radi. Nuc. Chem.* 283:101– 109
  
- Steck, D. (1992). Spatial and temporal indoor radon variations *Health Phys.* 62(4) 351-355.
  
- Suárez, N. J., (2009) Investigación de procedimientos radioquímicas 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., pp: 3 – 12
  
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007; 37:1-332. Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004876191400012X>
  
- UNSCEAR (2012). SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION, Anexo A, p 43-46. Obtenido de: [http://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR\\_2012\\_Annex-A.pdf](http://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Annex-A.pdf)
  
- UNSCEAR. (2000)“Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly”, p 3
  
- UNSCEAR. Report: Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I. Sources. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008.

- V.M. Choubeya, S.K. Bartaryaa, R.C. Ramolab (2003). Radon in groundwater of eastern Doon valley, Outer Himalaya Radiation Measurements 36 (2003) 401 – 405
- Vázquez, B., (2009). ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA EFECTIVIDAD DE DISTINTAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA REDUCIR LA CONCENTRACION DE GAS RADON EN EDIFICACIONES. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas E.T.S. Arquitectura. Madrid - España.,pp: 40-44
- Vazquez, B., F., (2009). “ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA EFECTIVIDAD Y LA VIABILIDAD DE DISTINTAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA REDUCIR LA CONCENTRACION DE GAS RADÓN EN EDIFICACIONES”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas, E.T.S. Arquitectura. Madrid. Obtenido de: <http://oa.upm.es/22535/>
- Vázquez, F., Olaya, M., (2010). Protección frente a la inmisión de gas radón en edificios. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Colección Informes Técnicos. Consejo de Seguridad Nuclear. Pedro Justo Dorado Dellmans, 1128040 - Madrid-España, pp. 10-11
- Verma, D., Shakir Khan, M. (2013). ASSESSEMENT OF INDOOR RADON, THORON AND THEIR PROGENY IN DWELLINGS OF BAREILLY CITY OF NORTHERN INDIA USING TRACK ETCH DETECTORS. Department of Applied Physics, Z. H. College of Engineering & Technology, Aligarh Muslim University, Aligarh-202002, Uttar Pradesh, India, pp: 3-6
- Villalba M., Colmenero L., Rubio H., Pinales A., Espino M., Garza R., Silva H., & Viramontes O. (2015). Quantification of radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) in air and dose of radiation in hot springs in northern Mexico. *Revista Electrónica Nova Scientia*, Nº 15 Vol. 7 (3), 2015. ISSN 2007 - 0705. pp: 153 – 167. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052015000300153&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052015000300153&script=sci_arttext)
- Walsh, L., Tschense, A., Schnelzer, M., Dufey, F., Grosche, B., & Kreuzer, M. (2010). The influence of radon exposures on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946-2003. *Radiation Research*. 173, 79-90.

## 6 ANEXOS

## ANEXO No 1

### Registro fotográfico de los procesos fisicoquímicos

#### A. Parámetros físico-químicos cuadro de resultados

ACCESIBILIDAD: Carretera: Cuenca - Baños.					
<b>BALANCE IONICO</b>					
<b>ANION</b>	<b>mg/l</b>	<b>CATION</b>	<b>mg/l</b>	<b>OTRAS DETERMINACIONES</b>	
CO3H-	657,00	Na+	575,73	Parámetros	
CO3=	0,0	K+	57,21	pH	7,1
SO4=	233,9	Ca++	65,00	CE (µS/cm)	3900
Cl-	858,60	Mg++	78,3	DUREZA (mg/l)	485
HO3-	0,69	HH4+	0,695	TEMPERAT (°C)	71,60
HO2	<0,05	Fe=	0,564		
PO4=	<0,5				
OTRAS DETERMINACIONES					
Turbidez	4		Cobre	<0,25	
Color	12		Cromo	<1	
Alcalinidad	657		Plomo	<1	
STD	2523,3		SiO2	73,55	
CO2	101,8		Mn	0,06	
<b>OBSERVACIONES:</b>					
<b>TIPO DE AGUA</b>					
<b>CLORURADA SODICA</b>					
<b>HIPERTERMAL</b>					
AUTOR: N.BURBANO O.				FUENTE DATOS: INAMHI-2012	

**CLASIFICACION HIDROQUIMICA**

*Fuente: INAMHI 2013*

#### B. Toma y transporte de muestras de aguas termales en la fuente, in situ



*Medición de pH con tiras de control*



*Registro de temperatura con la termocupla*

*Fuente: Autor*

*C. Análisis de parámetros físico-químicos en el laboratorio*

*Registro de pH en*

*el laboratorio*



*Fuente: Autor*



## ANEXO No 2

*Datos, promedios, máximos y mínimos de parámetros climáticos en el periodo de muestreo (90 días) de exposición de los detectores LR-115*

Estación CTS	Fecha	Presión			Precipitación				Radiación									Temperatura		
		PAAVG1H hPa	PAMAX1H hPa	PAMIN1H hPa	PRSUM1H mm	RHavg1H %	RHMAX1H %	RHMIN1H %	SROFavg1H %	SROFMAX1H %	SROFMIN1H %	SROFSUM1H %	SRGLOAVG1 %	SRGLOMAX1 %	SRGLOMIN1 %	SRGLOSUM1 %	TAAVG1H °C	TAMAX1H °C	TAMIN1H °C	
	05/07/2017																			
Promedio	13,27	754,27345	754,49717	754,04	0,01226415	69,6657682	73,203504	66,16	88,8477089	141,343666	53,0148248	5330,99326	154,060647	281,842318	82,615903	9243,67	13,2657682	13,9021563		
Maximo	15,00	757,3	757,4	757,20		1	100	100	100,00	879	1318	820	52733	974	1485	955	58462,00	23,9	25	
Minimo	12,50	750,7	750,8	750,50		0	24	26	23,00	0	0	0	0	0	0	0,00	3,6	3,9		
	05/08/2017																			
Promedio	754,27	754,49717	754,041105	0,01	69,6657682	73,203504	66,1617251	88,85	141,343666	53,0148248	5330,99326	154,060647	281,842318	82,615903	9243,66712	13,27	13,9021563	12,6843666		
Maximo	757,30	757,4	757,2	1,00	100	100	100	879,00	1318	820	52733	974	1485	955	58462	23,90	25	23,1		
Minimo	750,70	750,8	750,5	0,00	24	26	23	0,00	0	0	0	0	0	0	0	3,60	3,9	3,4		
	05/09/2017																			
Promedio	753,51	753,755863	753,250725	0,03	71,5652174	75,0935441	67,8392622	161,00	311,239789	76,7562582	9659,57181	156,162055	316,081686	68,397892	9969,44928	14,27	14,9374177	13,6762846		
Maximo	757,10	757,3	756,8	5,00	100	100	100	1090,00	1581	1014	65392	1100	1625	1021	66009	22,30	24	21,5		
Minimo	749,20	749,7	749	0,00	22	25	20	0,00	0	0	0	0	0	0	0	6,50	6,7	6,2		
	05/10/2017																			
Promedio	752,58	752,849862	752,307238	0,07	72,7399868	76,9030846	68,501667	184,24	333,206762	90,7288254	11054,5349	194,469995	346,760866	97,196476	11668,1504	14,87	15,6101504	14,2133245		
Maximo	756,80	757	756,8	10,10	100	100	100	1109,00	1640	1033	66553	1129	1676	1061	67731	24,10	26	22,8		
Minimo	748,00	748,2	747,8	0,00	23	28	18	0,00	0	0	0	0	0	0	0	4,60	4,9	4,2		
	05/11/2017																			
Promedio	751,21	751,493056	750,92125	0,05	70,2763889	73,9666667	66,4097222	188,45	283,583333	105,320833	11306,9194	222,109722	357,231944	118,643056	13326,0861	15,18	15,9469444	14,4840278		
Maximo	754,30	754,4	754,2	6,60	100	100	100	1118,00	1553	1030	67060	1176	1591	1062	70568	24,30	26,1	23,1		
Minimo	746,90	747,2	746,7	0,00	19	21	11	0,00	0	0	0	0	0	0	0	5,80	6,1	5,5		
	05/12/2017																			
Promedio	751,91	752,176644	751,633423	0,12	73,3855705	77,3288591	68,9744966	102,75	151,825503	63,3610738	6165,02282	229,405369	373,471141	109,85906	13764,7503	15,41	16,1747651	14,7100671		
Maximo	755,00	755,1	754,8	20,50	100	100	100	528,00	824	480	31655	1129	1636	1065	67750	24,10	25,7	23		
Minimo	748,20	748,2	748	0,00	21	27	15	0,00	0	0	0	0	0	0	0	6,10	6,3	5,8		

*Fuente: Estación meteorológica UETS*

### ANEXO No 3

## COLOCACION DE DISPOSITIVOS TWIN CHAMBER EN AREAS DE ESTUDIO



*Bodega 1*



*Bodega 2*



*Boletería 1*





*Casilleros*



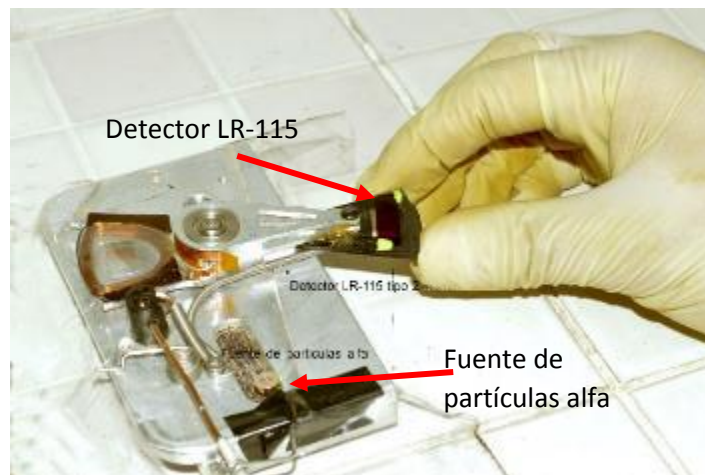
*Baños Turcos Exterior*

## ANEXO No 4 INFORME FOTOGRAFICO

*Montaje y exposición del detector en el dispositivo*



*Foto 1. Dispositivo de exposición del detector LR-115 tipo II*



*Foto 2. Detector LR-115 colocado en el dispositivo con la fuente radioactiva de partículas alfa*





Foto 3. Tiempo de Exposición del detector LR-115

### Proceso de Revelado de los LR-115 tipos II



Codificación de detectores



Preparación de solución química



Revelado en 90 min



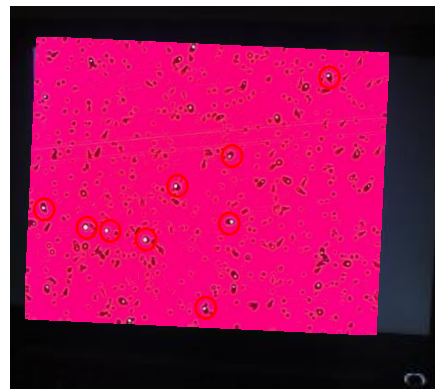
Control de temperatura uniforme



*Lavado de los detectores con agitación*



*Sacado a Temperatura ambiente (60 min)*



*Visualización y conteo de Trazas nucleares en el detector LR-115 tipo II con el microscopio óptico BOECO Germany, cámara Digital Celestron y una laptop Toshiba Satellite*

**ANEXO No 5**  
**NUMERO DE TRAZAS CONTADAS**

*Muestra 1. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector*

Radón N° Trazas								
3	1	2	3	6	2	2	3	
1	4	4	6	2	2	2	1	
5	2	3	7	4	5	3	4	
1	0	0	4	3	2	5	1	
0	2	0	1	4	2	2	0	
							<b>TOTAL</b>	<b>104</b>

Torón N° Trazas								
3	2	2	4	5	3	3	5	
2	3	2	1	3	2	2	1	
2	1	3	3	5	5	3	1	
7	2	2	2	1	3	3	2	
1	2	2	2	4	0	3	1	
							<b>TOTAL</b>	<b>103</b>

*LR-115 tipo II (Bodega 1).*

*Fuente: Autor*

*Muestra 2. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector*

*LR-115 tipo II (Bodega 2).*

Radón N° Trazas								
10	12	15	16	13	13	9	21	
12	15	10	12	14	12	15	19	
13	13	11	8	13	18	12	11	
14	14	11	12	13	16	14	7	
13	12	14	19	20	23	11	14	
							<b>TOTAL</b>	<b>544</b>

Torón N° Trazas								
5	0	2	5	1	6	6	2	
3	3	1	0	2	3	3	2	
0	0	6	3	3	3	3	5	
3	2	3	2	4	1	1	4	
3	2	2	4	2	1	4	1	
							<b>TOTAL</b>	<b>106</b>

*Fuente: Autor*

*Muestra 3. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector*

*LR-115 tipo II (Boletería 1).*

Radón N° Trazas								
2	6	6	4	2	5	4	1	
7	2	4	6	3	3	5	1	
2	4	4	3	5	3	6	10	
5	3	4	5	2	1	5	8	
6	7	4	5	4	2	3	3	
							<b>TOTAL</b>	<b>165</b>

Torón N° Trazas								
1	0	1	1	0	3	1	2	
2	1	2	0	1	1	0	2	
0	0	2	0	2	3	2	2	
0	2	2	4	2	1	2	1	
1	4	1	1	3	5	1	4	
							<b>TOTAL</b>	<b>63</b>

*Fuente: Autor*



Muestra 4. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Área de planchado).

Radón N° Trazas								
44	76	65	68	63	58	55	51	
36	62	58	61	60	69	53	55	
18	44	55	68	57	65	52	55	
51	52	58	55	52	53	61	60	
55	48	52	42	49	40	38	36	
							TOTAL	2150

Torón N° Trazas								
11	13	13	19	16	11	14	17	
8	17	16	23	10	12	7	11	
14	17	17	15	9	13	18	12	
10	14	16	7	18	13	18	16	
8	5	10	8	11	9	10	14	
							TOTAL	520

Fuente: Autor

Muestra 5. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Boletería 2).

Radón N° Trazas								
8	9	11	15	14	11	19	17	
18	13	6	9	16	18	20	19	
7	17	15	12	11	16	14	15	
11	12	8	13	21	11	18	17	
8	9	11	8	7	11	15	16	
							TOTAL	526

Torón N° Trazas								
3	3	4	1	7	5	4	7	
3	3	2	2	3	2	4	3	
5	6	6	5	7	1	6	6	
2	3	7	7	3	4	9	7	
1	4	5	2	5	5	3	2	
							TOTAL	167

Fuente: Autor

Muestra 6. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Casilleros).

Radón N° Trazas								
5	4	3	3	4	3	2	2	
2	6	10	12	5	3	1	1	
4	10	8	6	6	4	2	2	
3	6	5	3	3	3	2	2	
2	2	2	1	2	0	0	0	
							TOTAL	144

Torón N° Trazas								
0	1	1	1	1	0	1	0	
1	0	2	2	3	1	1	2	
3	3	2	4	1	1	1	0	
1	4	5	2	2	3	4	2	
4	3	4	2	3	1	2	1	
							TOTAL	75

Fuente: Autor

Muestra 7. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Turco-exterior).

Radón N° Trazas								
0	2	0	0	0	1	0	0	
0	1	0	1	2	0	1	0	
0	0	3	2	0	1	0	2	
2	0	1	1	1	0	1	0	
0	1	0	1	2	1	0	1	
							TOTAL	28

Torón N° Trazas								
0	0	0	0	1	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	0	1	
0	0	1	0	1	0	0	1	
0	2	0	1	0	1	1	0	
0	1	0	1	1	0	1	0	
							TOTAL	15

Fuente: Autor

Muestra 8. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Bodega 3).

Radón N° Trazas								
0	0	0	0	0	0	0	1	
0	3	0	2	0	0	1	0	
0	1	0	3	0	3	3	3	
0	2	0	4	0	1	0	0	
3	0	0	1	0	0	0	0	
							TOTAL	31

Torón N° Trazas								
0	1	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	1	0	0	0	0	
0	2	0	3	0	0	2	0	
0	1	0	1	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
							TOTAL	12

Fuente: Autor

Muestra 9. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Counter).

Fuente: Autor

Radón N° Trazas								
0	0	1	0	0	0	0	0	
0	2	0	3	5	2	2	1	
1	0	1	0	4	0	1	2	
3	0	0	1	0	0	1	0	
0	0	0	0	1	0	0	0	
							TOTAL	31

Torón N° Trazas								
0	0	0	0	0	0	1	0	
0	0	2	0	0	2	0	1	
0	3	1	0	0	0	2	0	
0	3	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
							TOTAL	15

Muestra 10. Número total de trazas visualizadas por campo de visión en el área del detector LR-115 tipo II (Vestidores).

Radón N° Trazas								
4	2	1	3	4	1	2	2	
6	8	5	9	6	5	3	4	
10	9	6	8	4	9	6	2	
4	3	5	2	3	2	0	1	
2	1	1	0	0	1	0	0	
							TOTAL	144

Torón N° Trazas								
1	0	1	0	1	2	1	1	
0	4	2	2	4	0	5	2	
0	1	2	0	3	1	3	6	
1	4	3	1	0	0	0	1	
2	1	1	0	1	0	1	0	
							TOTAL	58

Fuente: Autor