

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

Ingeniero Ambiental

Trabajo experimental:

ELABORACIÓN DE UN MAPA RADIOLÓGICO DE LOS NIVELES DE RADÓN
PRESENTES EN LAS VIVIENDAS DE LAS PARROQUIAS URBANAS DE LA
CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR EN EL PERIODO 2017 – 2018

AUTOR:

Marlon Javier Loayza Cabrera

TUTOR:

Tony Jesús Vilorio Ávila, PhD.

Cuenca – Ecuador

2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Marlon Javier Loayza Cabrera, con documento de identificación 0703512509, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “ELABORACIÓN DE UN MAPA RADIOLÓGICO DE LOS NIVELES DE RADÓN PRESENTES EN LAS VIVIENDAS DE LAS PARROQUIAS URBANAS DE LA CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR EN EL PERIODO 2017 – 2018”, mismo que ha sido desarrollado para optar por 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 que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

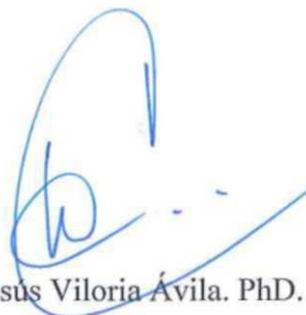
Cuenca, abril del 2018.


Marlon Javier Loayza Cabrera
0703512509

CERTIFICACIÓN

Yo Tony Jesús Viloría Ávila, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ELABORACIÓN DE UN MAPA RADIOLÓGICO DE LOS NIVELES DE RADÓN PRESENTES EN LAS VIVIENDAS DE LAS PARROQUIAS URBANAS DE LA CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR EN EL PERIODO 2017 – 2018”, realizado por Marlon Javier Loayza Cabrera, obteniendo un trabajo experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, abril del 2018.



Tony Jesús Viloría Ávila. PhD.

0838936334

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Marlon Javier Loayza Cabrera, con documento de identificación 0703512509, autor del trabajo de titulación: “ELABORACIÓN DE UN MAPA RADIOLÓGICO DE LOS NIVELES DE RADÓN PRESENTES EN LAS VIVIENDAS DE LAS PARROQUIAS URBANAS DE LA CIUDAD DE CUENCA - ECUADOR EN EL PERIODO 2017 – 2018”, certifico que el total contenido de este trabajo experimental es de exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, abril del 2018.



Marlon Javier Loayza Cabrera

0703512509

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a toda mi familia; de una manera especial a mis padres, hermanos y novia.

A mis padres Máximo & Irene por todo el sacrificio que día a día realizan, solo con la mira puesta en ver a nosotros sus hijos felices.

A mis hermanos Bryan y Alisson, quienes desde que llegaron a mi vida además de ser mis hermanos, se convirtieron en mis amigos, confidentes y cómplices.

Finalmente dedicar este logro alcanzado a mi novia María Fernanda, Pepito, Luciana y Azur, mi familia en la ciudad Cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, está el agradecer a Dios padre celestial, por permitirme cumplir esta meta y darme la fuerza y el valor de seguir delante, aun cuando parecía que ya no existía una salida.

Agradezco de manera especial a mi tutor el Dr. Tony Vilorio por su colaboración, guía y dedicación al momento de impartir sus conocimientos y experiencias previas conmigo.

Expresar también mis agradecimientos a la Pontificia Universidad Católica del Perú, de manera especial a la Msc. Patrizia Pereyra por abrirme las puertas de su grupo de investigación en Técnicas de Huellas Nucleares. También a los Msc. Cesar Guevara, Rafael Liza, Bertín Pérez y Omar Vega, quienes de una u otra manera compartieron sus conocimientos conmigo y me ayudaron en el desarrollo del proyecto.

Finalmente agradecer a los miembros de la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días, quienes en todo momento me abrieron las puertas de sus hogares para poder realizar los muestreos, necesarios para el desarrollo de la tesis.

RESUMEN

Los riesgos de las radiaciones ionizantes hacia la salud son cada vez más estudiados, entre las fuentes de este tipo de radiación el más importante y quizás menos conocido es el Radón. El Radón es un gas radioactivo de origen natural que tiene un promedio de semivida de 3,8 días y se concentra en espacios cerrados. La organización mundial de la salud (OMS) declaró al Radón como uno de los principales agentes cancerígenos, este es la segunda causa de cáncer de pulmón en poblaciones fumadoras y la primera en no fumadoras. El objetivo del presente trabajo fue diseñar un mapa radiológico de los niveles de Radón presentes en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca - Ecuador.

El mapa radiológico se diseñó a partir de las concentraciones de Radón, las cuales se obtuvieron del muestreo de 47 viviendas, distribuidas entre las diferentes parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca y usando detectores sólidos de trazas nucleares LR 115 tipo 2 (nitrato de celulosa), colocados en modo desnudo y a una altura promedio donde se produce la respiración de acuerdo al sector de la vivienda, en la cocina a una altura de entre 1 y 2 m, mientras que el dormitorio a una altura de entre 50 cm a 1 m. Los datos obtenidos luego de 2 muestreos (en intervalos de 45 días), registraron concentraciones de Radón mínimas de 1,11 Bq/m³ y máximas de 201,11 Bq/m³.

ABSTRACT

The risks of ionizing radiation to health are increasingly studied, among the sources of this type of radiation the most important and perhaps least known is Radon. Radon is a radioactive gas of natural origin that has an average half-life of 3.8 days and is concentrated in closed spaces. The World Health Organization (WHO) declared Radon as one of the main carcinogens, this is the second cause of lung cancer in smoking populations and the first in non-smokers. The objective of the present work was to design a radiological map of the Radon levels present in the homes of the urban parishes of the city of Cuenca - Ecuador.

The radiological map was designed based on Radon concentrations, which were obtained from the sampling of 47 homes, distributed among the different urban parishes of the city of Cuenca and using solid detectors of nuclear traces LR 115 type 2 (cellulose nitrate), placed in naked mode and at an average height where breathing occurs according to the sector of the house, in the kitchen at a height of between 1 and 2 m, while the bedroom at a height of between 50 cm to 1 m. The data obtained after 2 samplings (at intervals of 45 days), registered minimum Radon concentrations of 1.11 Bq / m³ and maximum of 201.11 Bq / m³.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. PROBLEMA.....	10

1.2. DELIMITACIÓN	12
1.2.1. Delimitación Espacial	12
1.2.2. Delimitación Temporal	14
1.3. EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICO	15
1.4.1. Objetivo General	15
1.4.2. Objetivos Específicos	15
1.5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	15
1.5.1. Radiación ionizante	15
1.5.2. Tipos de radiación ionizante	16
1.5.3. Fuentes de radiación ionizante	18
1.5.4. Decaimiento de los elementos radiactivos	19
1.5.5. Radón	19
1.5.6. Fuentes de exposición dentro de las viviendas	20
1.5.7. Concentración de gas radón en interiores	22
1.5.8. Afecciones a la salud	22
1.5.9. Métodos y equipos para detección de radón en interiores	23
1.5.10. Dosimetría	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1. DISEÑO	29
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	30
2.2.1. Cálculo del tamaño de la muestra	30
2.2.2. Diseño y aplicación de encuestas	32
2.2.3. Selección de la muestra	32
2.3. OBTENCION DE INFORMACION	33
2.3.1. Muestreo	33
2.3.2. Tratamiento químico de los detectores	35
2.3.3. Digitalización y conteo de trazas	37
2.3.4. Elaboración del mapa radiológico	39
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1. RESULTADOS	42
3.2. DISCUSIÓN	53
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
4.1. CONCLUSIONES	55

4.2. RECOMENDACIONES	57
5. BIBLIOGRAFIA	58
6. ANEXOS	61
6.1. ENCUESTA APLICADA A LA POBLACIÓN	61
6.2. MAPAS DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN LAS COCINAS	63
6.3. MAPAS DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN LOS DORMITORIOS	64
6.4. COMPARACIÓN ENTRE LOS MAPAS ELABORADOS EN EL PRESENTE TRABAJO Y OTROS ELABORADOS EN DIFERENTES PAÍSES	65
6.5. DENSIDAD DE TRAZAS	66
6.6. CÁLCULOS DE DOSIMETRÍA	67

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

El Radón es un gas radiactivo de origen natural, el cual es emitido desde la corteza terrestre (rocas y suelos) que contiene Uranio 238 el cual es inestable y este al buscar su estabilidad, libera energía lo que lo lleva a decaer en Radio 226, este Radio 226 al igual

que el Uranio busca su estabilidad y a su vez decae en Radón 222 (Adoración., 1999). Este gas tiende a infiltrarse desde el suelo y a concentrarse en espacios cerrados (viviendas, escuelas, minas, etc.), constituyendo de esta forma a una de las mayores dosis de radiación ionizante que recibe la población. Esta concentración se da aun en mayor proporción cuando las edificaciones no poseen una buena ventilación, lo cual conlleva a un aumento de las concentraciones de Radón (Organizacion Muldial de la Salud, 2015).

El Radón generalmente no presenta niveles altos cuando se encuentra al aire libre, mientras que en las viviendas es donde tiende a acumularse y a presentar concentraciones elevadas y perjudiciales para la salud. La concentración de Radón en una edificación varía considerablemente dependiendo de diversos factores como son: la ubicación geográfica y geológica sobre la cual se encuentra la edificación y aspectos de la edificación como materiales de construcción, ventilación, edad de construcción, tipo de edificación, etc. (Villar, 2016).

El Radón 222 a diferencia del Uranio 238 y el Radio 226 que son minerales, este se encuentra en estado gaseoso. La problemática radica en que el Radón al ser un gas, escapa de las capas del suelo donde se encuentra y alcanza con gran facilidad la atmósfera terrestre y cuando ya se encuentra en esta se adhiere a las partículas que están presentes en ella, de esta manera llega a formar parte del aire que continuamente respiramos.

Cuando respiramos el Radón, sus descendientes ingresan a nuestro organismo ya sea por nuestra nariz o boca y se depositan en el tracto respiratorio, afectando de esta manera a los órganos donde se depositan, ya que al depositarse estos en una parte específica del organismo comienza una emisión de partículas alfa las cuales a su vez producen ionizaciones al ADN (Adoración., 1999).

Debido a las ionizaciones que el Radón 222 y sus descendientes producen hacia el organismo, las OMS en el año de 1988 con la ayuda del CIIC organismo especializado de investigación oncológica de la OMS, declaro al Radón como cancerígeno humano. Ya que según la OMS el radón es la segunda causa de cáncer de pulmón entre población de fumadores y la primera en una población no fumadora, se estima que entre el 3 % al 14 % de casos de cáncer de pulmón a nivel mundial se debe a la inhalación de gas Radón 222 (Organizacion Mundial de la Salud, 2016).

Como hemos podido observar las afecciones que trae consigo las concentraciones de Radón 222 en edificaciones hacia las poblaciones son negativas, por lo cual se considera de gran importancia una identificación oportuna de tales concentraciones. Pero debido a la gran cantidad de factores que influyen en las concentraciones de Radón 222 es muy difícil predecir estos niveles para una edificación en específico, pero lo que sí es posible es el realizar estas predicciones de acuerdo a zonas preestablecidas de niveles de Radón, de acuerdo a mapas radiológicos, ya estas se realizan con monitorios constantes y en diversos sectores de una misma población. Por esta razón países como Estados Unidos y España, realizan continuamente mediciones y mapas radiológicos de la concentración de gas radón en las edificaciones de sus respectivos países (García, 2013).

1.2. DELIMITACIÓN

1.2.1. Delimitación Espacial

La investigación se desarrolló en 47 viviendas, distribuidas entre las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca.

- País: Ecuador
- Provincia: Azuay
- Cantón: Cuenca

- Parroquias: Urbanas

Tabla 1. Ubicación Geográfica de las viviendas monitoreadas.

PARROQUIA	X	Y
Gil Ramírez Dávalos	721370,47	9679531,95
El Sagrario	721996,78	9679579,21
San Blas	722830,82	9679610,11
Cañaribamba	723071,65	9678620,85
Cañaribamba	723604,5	9678960,77
Huaynacapac	722132,53	9678079,86
Huaynacapac	722670,54	9677247,07
Hermano Miguel	723614,14	9683147,57
Hermano Miguel	723861,12	9682138,87
Sucre	720645,63	9679441,95
Sucre	720156,15	9678815,84
El Batan	719890,8	9679751,5
El Batan	719033,65	9679772,94
El Batan	719043,16	9679171,73
Monay	726464,61	9679806,42
Monay	725312,15	9679231,45
Monay	725156,92	9679863,63
Bellavista	718921,17	9681882,24
Bellavista	721519,54	9680874,61
Bellavista	722151,39	9680586,42
Totoracocha	723701,28	9679842,92
Totoracocha	724132,14	9679764,7
Totoracocha	724905,57	9680686,26
El Vecino	723131,44	9680668,9
El Vecino	724503,4	9681413,04
El Vecino	723691,43	9681022,03
El Vecino	722636,01	9681676,16
El Vecino	723316,15	9681479,99
Machangara	726994,03	9680496,04
Machangara	725972,64	9680885,84
Machangara	729638,2	9683403,41
Machangara	730116,32	9683712,16
Machangara	726530,74	9681169,71
Yanuncay	717958,23	9678594,01
Yanuncay	718787,28	9677345,63
Yanuncay	719459,41	9677284
Yanuncay	720248,65	9677629,65
Yanuncay	718874,24	9677838,66
Yanuncay	717413,72	9676223,44
San Sebastián	718849,38	9680477,11

San Sebastián	715536,43	9681441,62
San Sebastián	714930,45	9681645,04
San Sebastián	721042,22	9679895,99
San Sebastián	718090,96	9683237,73
San Sebastián	718376,03	9682544,49
San Sebastián	717384,23	9681849,67
San Sebastián	717828,09	9683524,08

FUENTE: El Autor

1.2.2. Delimitación Temporal

Las mediciones de concentraciones de Radón 222 de la investigación se realizaron de acuerdo a las recomendaciones emitidas por (USEPA, 1993) para la colocación de detectores de gas radón en el interior de edificaciones, lo cual nos indica que este tipo de mediciones se realizan en periodos cortos de tiempo.

En el presente proyecto se realizaron 2 muestreos, en intervalos de 45 días cada uno.

- El primero del 26 de noviembre del 2017 al 07 de enero del 2018
- El segundo del 07 de enero del 2018 al 18 febrero del 2018

1.3. EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo al reporte emitido por el Comité Científico de las Naciones Unidas en el año 2007 sobre las concentraciones promedio del gas radón en el mundo, Ecuador es uno de los países de Sudamérica donde mayor concentración de gas radón existe ocupando el primer puesto junto con Brasil y Venezuela (ONU, 2007).

El problema radica en que entre mayor sean las concentraciones de Radón 222 en las edificaciones, mayores también serán las probabilidades en la población de adquirir cáncer de pulmón. Según el informe emitido por (SOLCA, 2015) Cuenca es la cuarta ciudad del

Ecuador con mayor índice de cáncer de pulmón, solo por debajo de Quito, Guayaquil y Manabí.

Esta realidad nos llevó a determinar: ¿cuáles son las concentraciones de Radón 222 en las edificaciones urbanas de la ciudad de Cuenca? y posteriormente realizar un mapa radiológico de estas concentraciones.

1.4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICO

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un mapa radiológico de los niveles de radón presentes en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estimar las variables estadísticas relacionadas con el muestreo.
- Determinar los niveles de concentración de radón en el sector urbano de la ciudad de Cuenca.

1.5. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.5.1. Radiación ionizante

La radiación ionizante es un grupo de partículas y ondas electromagnéticas que provocan la separación de los electrones, de los átomos y las moléculas, es decir originan cambios en las propiedades químicas de un medio o un material. Si una radiación transporta suficiente energía para provocar ionización del medio, se trata de una radiación ionizante.

Las radiaciones ionizantes son el tipo de radiación que posee una mayor cantidad de energía dentro del espectro electromagnético. Estás en el espectro electromagnético van

desde la radiación ultra violeta, hasta la radiación gamma. Los tipos de radiación de energía que provocan la ionización tienen un límite inferior para la radiación ionizante que está entre los 10 Kiloelectronvoltios (KeV) (Organización Internacional del Trabajo, 2001).

1.5.2. Tipos de radiación ionizante

1.5.2.1. Radiación Corpuscular

- **Partículas alfa (α):** Son aquellas partículas donde los núcleos de helio (He) están completamente ionizados con bajo poder de penetración y alto de ionización.

El alcance de una partícula cargada se define en su interacción en un medio natural, como la máxima distancia de penetración en el medio absorbente. Para estimar el alcance de las partículas alfa en aire se puede usar la siguiente fórmula empírica:

$$R (\text{aire}) = 0.318 E^{3/2}$$

Donde el alcance R está dado en centímetros y la energía E la de partícula alfa está en MeV.

En alcance en sólidos se obtiene a partir del alcance en aire de acuerdo con la ecuación:

$$R (\text{sólido}) = 3.2 \times 10^{-4} (\text{aire}) \sqrt{\frac{A}{P}}$$

Donde A es el número de masa del sólido y P es su densidad en g/ cm². Resulta del orden de una diezmilésima del alcance en aire.

Exteriormente estas pueden ser detenidas por papel o incluso nuestra propia piel, el principal problema que estas presentan para la población, radica en que pueden ser ingeridas o inhaladas y causar grandes daños en los tejidos internos (Ortega, 1996).

- **Partículas beta (β):** Son los electrones y positrones que son expulsados de un evento radioactivo. Entre sus principales características está el hecho de que estas poseen un menor poder de ionización que las partículas alfa, debido a que poseen menor cantidad de masa, pero una mayor capacidad de penetración debido a las grandes velocidades a las que son expulsados.

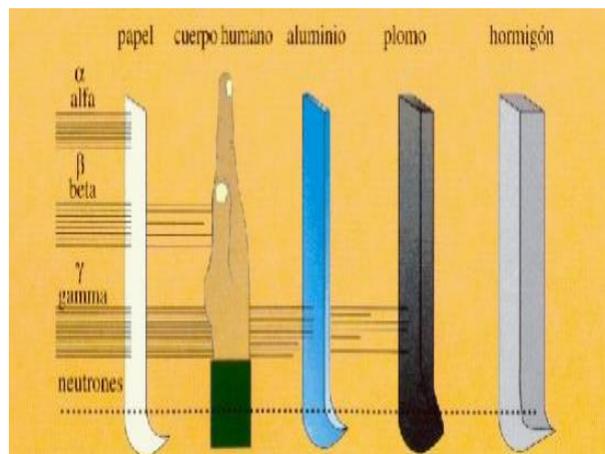
Su desplazamiento es muy superior al de las partículas alfa, ya que alcanzan algunos metros de altura en el aire. Estas pueden afectar tanto externa, como internamente a los individuos, aunque también pueden ser fácilmente detenidas por láminas de plástico, vidrio o metal (Cortés, 2007).

1.5.2.2. Radiación Electromagnética

- **Radiación gamma (γ):** Son los fotones que poseen una alta concentración de energía de origen nuclear, sus características son muy similares al de las partículas beta debido a que su poder de ionización es muy bajo, pero posee una alta capacidad de penetración. Estas pueden afectar tanto externa, como internamente a los individuos. Su detención es más complicada que la de la radiación corpuscular, ya que esta requiere de elementos de gran densidad como son el plomo y el acero.

- **Radiación X:** Son los fotones que poseen una alta concentración de energía, pero que a diferencia de la radiación gamma esta es de origen extranuclear. Por lo demás es completamente idéntica a la radiación gamma (Carrasco, 2003).

Figura 1. Capacidad de penetración de los distintos tipos de radiación en la materia.



Fuente: Gallego (2014)

1.5.3. Fuentes de radiación ionizante

Las principales fuentes de radiación ionizantes naturales como artificiales según (UNSCEAR, 2010) son:

1.5.3.1. Fuentes Naturales

La radiación está localizada en todas partes, esta se originó a momento de la formación solar por la interacción entre los rayos cósmicos y las moléculas de la atmosfera.

Las principales fuentes de radiaciones ionizantes naturales en la actualidad son:

- Rayos cósmicos.
- Rocas y tierra.
- Alimentos.
- Materiales de construcción.
- Agua.
- Aire.
- El cuerpo humano (UNSCEAR, 2010).

1.5.3.2. Fuentes Artificiales

Con el descubrimiento de la radiación, esta se extendió en gran manera en diversos procesos industriales y de la salud por lo cual las personas estamos expuestos a ella diariamente.

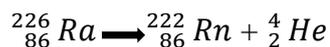
Las principales fuentes de radiaciones ionizantes artificiales son:

- Generadores de rayos X.
- Unidades de Radioterapia.
- Radioisótopos usados en procesos de medicina, industria y agricultura.
- Instalaciones radiactivas y nucleares.
- Desechos radiactivos (UNSCEAR, 2010).

1.5.4. Decaimiento de los elementos radiactivos

Las partículas α son caracterizadas por ser núcleos de helio (He) y su decaimiento viene dado por elementos pesados. Cuando los núcleos de una partícula son muy grandes, las tareas de las fuerzas nucleares de mantenerlas unidas son incapaces de controlar la repulsión que se presenta entre sus protones. Durante el proceso de decaimiento de un elemento radioactivo, el elemento padre emite partículas alfa perdiendo dos neutrones y dos protones, esta pérdida lo conlleva a convertirse en un elemento hijo, el cual es más pequeño que el elemento padre (Pérez, 2016).

El decaimiento de las partículas alfa en el radio se representa como:



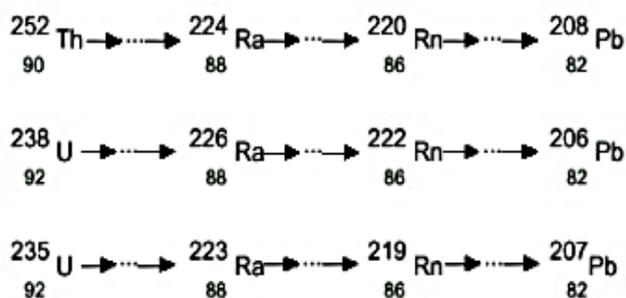
1.5.5. Radón

El radón es un gas radioactivo, pero de origen natural el cual se produce por la descomposición del uranio en radio y este a su vez en radón. Esta descomposición se realiza

en las profundidades del suelo, ya que es entre las rocas y minerales que se encuentran en la corteza terrestre que se ubica el uranio.

EL Radón alcanza la superficie terrestre, debido a que en condiciones normales es un gas y por ende busca llegar hacia las zonas de menor presión, es decir la atmosfera terrestre. Una vez que este gas alcanza la superficie terrestre, sus hijas se adhieren a las partículas de polvo que se encuentran en la atmosfera, esto debido a que estas se encuentran cargadas eléctricamente (Adoración., 1999).

Figura 2. Desintegración radioactiva del Uranio en Radón.



Fuente: Adoración (1999)

1.5.6. Fuentes de exposición dentro de las viviendas

Debido a que el radón es un gas, las concentraciones que estén presente dentro de las viviendas dependen en gran manera de la ventilación que exista en las mismas, la cual puede aumentar o disminuir las concentraciones.

Dentro de una vivienda, las principales fuentes de exposición son:

- **El suelo:** este es la fuente principal de emisión para viviendas de un solo piso, la cantidad de radón que pueda ingresar a la vivienda a través de esta fuente depende de la concentración de radio que se encuentre en el subsuelo y de la permeabilidad que tenga el suelo de la vivienda, frente a este gas.

- **Materiales de construcción:** estos son la segunda fuente de emisión en viviendas de un solo piso y la primera en viviendas de pisos multifamiliares, este va a depender en gran manera de las concentraciones de radón que posean los materiales utilizados para la construcción de la vivienda, así como la porosidad de los mismos (Quindós, 2014).

- **Agua:** esta fuente de emisión se da en las poblaciones que utilizan para su consumo agua de origen subterránea, las cuales poseen alta concentraciones de radón y que, al ser liberadas por el movimiento del agua y aumento de temperatura, provoca una acumulación del gas en el aire interior de la vivienda.

- **Gas doméstico:** Esta fuente generalmente se debe a que el gas natural utilizado para la calefacción del hogar y preparación de los alimentos posee grandes cantidades de radón, el cual se libera al momento de la combustión. Las emisiones de esta fuente están en función de la fuente de suministro del gas, ya que las concentraciones de radón varían de región en región (Berenguer, 1999).

Figura 3. Fuentes de radón y entradas



Fuente: (NTP 40. Radón en Fuentes Interiores, 1999)

1.5.7. Concentración de gas radón en interiores

La distribución de las concentraciones de gas Radón 222 en edificaciones es variada ya que depende de diversos factores como: la geología del suelo (cantidad de Uranio 238), la ventilación (número de ventanas y puertas; tiempo de intercambio entre el aire interior y exterior) y las vías por las cuales el radón 222 puede introducirse a la vivienda (grietas, tuberías, agua, etc.).

Por factores como la ventilación o las entradas que tenga en Radón 222 hacia una edificación, puede haber variaciones de una edificación a otra, así estas sean contiguas.

La distancia promedio que puede recorrer el Radón 222 antes de decaer en otro elemento es de 2 metros en el aire, lo suficiente como para ser inhalado o ingerido por una persona que se encuentre en el lugar (Trujillo, 2014).

Una de las características que hace sumamente peligroso al Radón 222 es el hecho de que es un gas que no posee olor ni sabor, por lo cual así su concentración sea sumamente elevada en una edificación no se lo podrá identificar a menos que se realicen los métodos especializados para su detección (Rojas, 2016)

1.5.8. Afecciones a la salud

De acuerdo a comunicados emitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la *Environmental Protection Agency* de los Estados Unidos de América (USEPA), entre otros el radón es considerado como cancerígeno, especial causante de cáncer de pulmón.

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

Su medio de ingreso hacia los receptores afectados es principalmente por el aire alveolar, unido principalmente a partículas de polvo, los cuales se depositan en el sistema respiratorio.

Según la OMS el radón es la segunda causa de contraer cáncer de pulmón, solo después del tabaco. El 3% al 14 % de cáncer de pulmón se debe a exposiciones a radón. El riesgo de adquirir cáncer de pulmón aumenta un 16% por cada incremento de 100 Bq/m³ en la concentración (Organización Mundial de la Salud., 2015).

1.5.9. Métodos y equipos para detección de radón en interiores

Existe un sinnúmero de métodos y equipos que se pueden utilizar para medir concentraciones de radón en las viviendas, la elección de uno u otro depende de los equipos, el costo y la duración de las mediciones a efectuar.

Un aspecto importante a tener en cuenta al momento de elegir uno u otro método o equipo es si estos nos miden la concentración directa del radón o de otro producto descendiente del mismo.

Actualmente se consideran 3 metodologías como las más eficientes:

- **Instantáneos:** La determinación de la concentración de radón se realiza con muestras de aire, que se recogen en periodos cortos de tiempo (1 a 20 min). Para su realización no se requiere de equipos de gran sofisticación, y económicamente son muy accesibles, así como también sus resultados se obtiene rápidamente.

Debido a que estos métodos presentan gran sencillez en su desarrollo, se debe tener especial cuidado en que las muestras tomadas resulten representativas. Por lo general este método se utiliza para realizar barridos generales.

- **Lectura continua:** Consiste en hacer pasar un flujo de aire constantemente y por largos periodos de tiempos a través de un detector, el cual evalúa la concentración de radón presente.

Estos métodos son muchos más eficientes que los instantáneos, pero su desventaja radica en que requieren de un gran costo económico, ya que requieren de equipos especializados.

- **Métodos integrados:** Este método utiliza equipos que nos ayudan a obtener información de las concentraciones promedio de radón durante un periodo determinado de tiempo (días, semanas, meses).

Son métodos económicos, eficientes y por ende los más utilizados. (Rey, 2007)

Los equipos más utilizados para la detección de radón en interior de viviendas son:

- **Celdas de centello:** Son generalmente cilindros metálicos y de distintos tamaños, su interior está recubierto por una capa formada de sulfuro de zinc activado con plata, la cual presenta la respuesta frente a las partículas de radón.

Las muestras se encuentran en el interior del cilindro y cuando alcanzan el equilibrio se mide la cantidad de destellos de luz con un tubo fotomultiplicador, lo cual nos va a permitir determinar la concentración de radón en el aire.

- **Detectores de carbón activo:** Son extremadamente sencillos, se basan en la capacidad que tiene el carbón activo para retener el radón. Requiere de un tiempo de muestreo aproximado de entre 2 a 7 días.

Para determinar la concentración final de radón presente, se mide la radiación que emita el carbón activo (Berenguer, 1999).

1.5.9.1. Detectores sólidos de trazas nucleares.

Estos dispositivos usan materiales como el nitrato de celulosa o policarbonatos generalmente en forma de láminas, los cuales tienen la capacidad de que en ellas queden registradas las trazas de radiación que emite el radón.

Para determinar la concentración de radón presente, se procede a contar el número de trazas que se encuentre en las láminas esto con la ayuda de un microscopio y en caso de grandes concentraciones adicionalmente se recurre a un programa que nos ayudara a contar las trazas presentes (Saint-Martin, 1999).

El método de los detectores sólidos de trazas nucleares consta de 3 pasos:

- **Exposición a la radiación:** una de las características que hace de estos detectores los más usados, es que solo son sensibles a las partículas ionizantes (Alfa, protones e iones pesados) el resto de partículas pasan imperceptible sobre ellos, lo cual nos permite solo registrar las de interés.

El primer paso entonces es la exposición de las láminas a la radiación ionizantes, al estar expuesto el material a la radiación, se generan las trazas las cuales permanecen en la lámina hasta ser reveladas mediante un tratamiento químico.

- **Tratamiento químico de los detectores:** el tratamiento químico es comúnmente conocido como el revelado de la lámina, este consiste en el desgaste de la superficie de la lámina, especialmente en las zonas donde se dio la radiación ionizante.

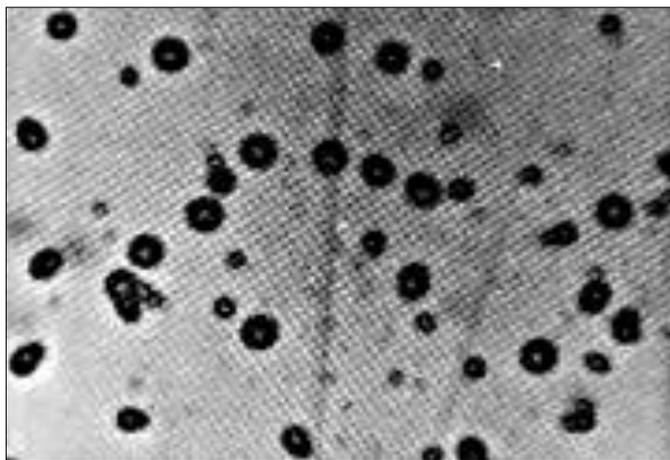
Este proceso se lo realiza con la ayuda de un baño maría y la solución adecuada para el baño.

Los diferentes parámetros para el revelado dependen del material del detector, la solución química, temperatura y solución del grabado.

- **Lectura de trazas:** Luego del revelado químico se obtiene un determinado número de trazas de radiación ionizante, las cuales se pueden apreciar en el microscopio de entre 10 y 100 μm , y deben ser leídas y caracterizadas de acuerdo a los criterios de la persona a analizar. El número de trazas que obtengamos, va a depender de la concentración de Radón a la cual fue expuesto el detector.

El procedimiento de lectura de trazas se realiza con la ayuda de un microscopio óptico y el conteo del número de trazas por unidad de área, lo cual nos da una relación entre el número de partículas y el tamaño del diámetro de la traza (Espinosa, 1994).

Figura 4. Trazas de radón detectadas con detectores sólidos.



Fuente: (Espinosa, 1994)

1.5.10. Dosimetría

El termino dosimetría para radiaciones ionizantes se trata nada más que del cálculo de la cantidad de dosis que pueden absorber los tejidos o materias por estar expuestos a una cierta radiación ionizante (Gonzales, 1990).

Las dosis se pueden expresar en:

1.5.10.1. Dosis absorbida (D)

Es la medida que expresa la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un material, es ideal para estimar el daño producido por una radiación específica en un determinado órgano.

Es el resultado de la división entre la energía ionizante media recibida por parte de la radiación y la unidad de masa. Sus unidades se expresan en el sistema internacional como J/Kg o $\left[\frac{mSv}{y}\right]$. Se puede utilizar para todo tipo de partículas (Hofmann, 2012).

$$D = C_{Rn} * D * H * F * T$$

$$C_{Rn} = \text{Concentración de Radón} \left[\frac{Bq}{m^3}\right]$$

$$D = \text{Factor de conversión de la dosis} (9E^{-6}) \left[\frac{m*Sv*m^3}{h*Bq}\right]$$

$$H = \text{Factor de ocupancia} (0,40)$$

$$F = \text{Factor de Equilibrio} (0,40)$$

$$T = \text{Tiempo de ocupancia} (24 * 365) \left[\frac{h}{y}\right]$$

1.5.10.2. Dosis equivalente (H)

Es el resultado de la dosis absorbida por un órgano u objeto, multiplicada por un factor de ponderación. Este factor de ponderación dependerá del tipo de energía y su rango de actividad. Sus unidades se expresan en el sistema internacional como J/Kg o $\left[\frac{mSv}{\gamma}\right]$ (Brosed, 2011).

$$H = WR * D$$

WR = Factor de ponderación de la radiación.

D = Dosis absorbida

Tabla 2. Factores de ponderación de la radiación

Tipos de Energías	WR
Fotones	1
Electrones y Muones	1
Neutrones	5
Partículas Alfa	20

Fuente: (Brosed, 2011).

1.5.10.3. Dosis efectiva (E)

Esta cuantifica el efecto que causa una dosis absorbida de radiación ionizante en algún tejido o material, es la relación directa entre la dosis recibida y la radiosensibilidad del órgano que recibió la radiación. Por ello se ha estimado un factor de ponderación para diversos tejidos u órganos.

Sus unidades se expresan en el sistema internacional como J / Kg o $\left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ (Sociedad Argentina de Radioproteccion, 2014).

$$E = WT * WR * D$$

WT = Factor de ponderación del tejido.

WR = Factor de ponderación de la radiación

D = Dosis Absorbida.

Tabla 3. Factores de ponderación de algunos tejidos u órganos.

Tejido / Órgano	WT
Gónadas	0,2
Médula Ósea	
Pulmón	
Estómago	0,12
Colon	
Vejiga	
Esófago	
Mama	0,05
Tiroides	
Hígado	
Superficie Ósea	
Piel	0,01
Cerebro	
Resto del Organismo	0,12

Fuente: (Sociedad Argentina de Radio protección, 2014)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO

Para determinar las concentraciones de Radón 222 en el interior de edificaciones y posteriormente realizar un mapa radiológico de esas concentraciones, se procedió a realizar una investigación de tipo exploratorio. Esto debido a que este tipo de investigación es muy útil y recomendable cuando se trata de un tema nuevo o poco conocido.

Para desarrollar la investigación se utilizó el método científico - experimental ya que este tipo de investigación se basa en la observación sistemática, la toma de mediciones, la experimentación y la formulación de pruebas. También permite al investigador controlar las variables con el fin de determinar las relaciones existentes entre ellas (Artiga, 2002).

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Debido a que el presente trabajo se centró en determinar la concentración de radón en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca, su población fue escogida precisamente de entre estas parroquias.

El número de habitantes de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca es de 331.888 habitantes, los cuales están divididas entre las parroquias de San Sebastián, El Batán, Yanuncay, Bellavista, Gil Ramírez Dávalos, El Sagrario, San Blas, Cañaribamba, Sucre, Huayna Cápac, Hermano Miguel, El Vecino, Totoracocha, Monay y Machangara (INEC, 2010).

2.2.1. Cálculo del tamaño de la muestra

Según (Aguilar, 2005) para determinar el cálculo del tamaño de la muestra en una población finita, es decir cuando se conoce el total de unidades de observación que la integran se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N - 1)E^2 + Z^2pq}$$

Donde,

Z = valor relacionado con la confianza.

E = error (no en porcentaje, por ejemplo 0,05, si es el 5%).

p = probabilidad que ocurra el evento. Si este valor no se conoce, entonces $p = 0,5$).

q = es el complemento de p, es decir el porcentaje de que no ocurra el evento, en el caso que no se conozca la probabilidad de ocurrencia, $p = q = 0,5$.

N = número total de la población.

Como los muestreos se aplicarán a las viviendas, la cantidad de personas que nos resulten del cálculo del tamaño de la muestra lo dividiremos para 3.9 que es el número promedio de personas que según (INEC, 2010) habitan por vivienda en el Ecuador.

En la Tabla 4. Se observan los datos utilizados para determinar el tamaño de la población a muestrear en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca.

Tabla 4. Tamaño de muestra de la población de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca

Número total de la población (N)	331.888 habitantes (INEC, 2010)
Valor relacionado con la confianza (Z)	95 % = 1,96
Error (E)	5 % = 0,05
Probabilidad que ocurra el evento	14 % = 0,14 (OMS, 2015)
Probabilidad de que no ocurra el evento	86 % = 0,86
Habitantes por vivienda en el Ecuador	3.9 habitantes x vivienda (INEC 2010)
TAMAÑO DE LA MUESTRA	47 Viviendas

FUENTE: El Autor

La distribución de las 47 viviendas a muestrear entre las 15 parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca, se la realizó de acuerdo a la densidad poblacional de las mismas. Siendo aquellas con mayor densidad poblacional quienes tengan un mayor número de puntos de muestreo.

Tabla 5. Número de viviendas a muestrear por parroquia, de acuerdo al número de habitantes

PARRROQUIA	NUMERO DE HABITANTES	VIVIENDAS A MUESTREAR
Gil Ramírez Dávalos	6353	1
El Sagrario	6362	1
San Blas	8010	1
Cañaribamba	11579	2
Huayna Cápac	11880	2
Hermano Miguel	13280	2
Sucre	16996	2
El Batán	21137	3
Monay	22688	3
Bellavista	23248	3
Totoracocha	24174	3
El Vecino	30366	5
Machangara	33493	5
Yanuncay	41295	6

San Sebastián	57290	8
Total:	331.888 habitantes	47 Viviendas

FUENTE: El Autor

2.2.2. Diseño y aplicación de encuestas

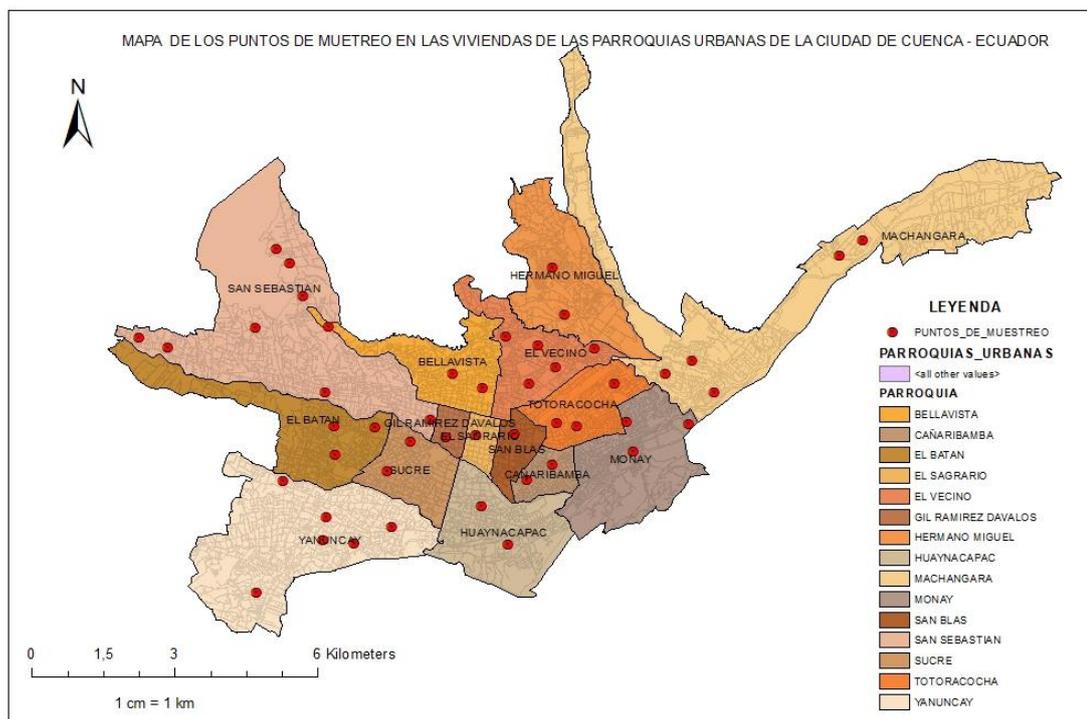
Para evaluar las viviendas y tener un conocimiento de los antecedentes de la población a muestrear se diseñó una encuesta, la cual tuvo como base una encuesta realizada por la OMS sobre salud y capacidad de respuesta del sistema de salud (OMS, 2000).

Con la finalidad de escoger a la población más idónea para el muestreo, es decir que este distribuida en las diferentes parroquias urbanas del cantón, se procederá a utilizar una técnica en donde con la ayuda de la iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos días (mormones) se procederá a aplicar las encuestas en cada una de las iglesias de esta congregación, las cuales están distribuidas entre las parroquias urbanas del cantón.

2.2.3. Selección de la muestra

La información obtenida con la ayuda de las encuestas más las respectivas coordenadas geográficas de cada vivienda, se vaciaron en el programa ARCGIS en donde se pudo visualizar de mejor manera la distribución de las muestras dentro de las parroquias urbanas del cantón, esto con la finalidad de realizar una distribución aleatoria y uniforme de las viviendas a muestrear.

Figura 5. Mapa de los puntos de muestreo de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca



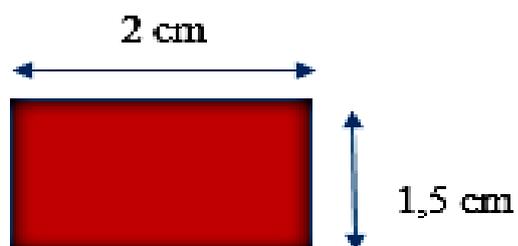
FUENTE: El Autor

2.3. OBTENCION DE INFORMACION

2.3.1. Muestreo

Los detectores a utilizados en el proyecto fueron los detectores solidos de trazas nucleares LR-115 tipo 2 (Nitrato de celulosa).

Figura 6. Dimensiones de los detectores LR 115 utilizados



FUENTE: El Autor

Existen una serie de recomendaciones las cuales fueron emitidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1993) para el uso eficiente de este tipo de detectores de gas radón en el interior de edificaciones las cuales nos indican:

- Las primeras mediciones deben ser a corto plazo.
- Se debe obtener la mayor información posible de las edificaciones antes de proceder a colocar los dispositivos.
- Informar a la población que habita los lugares donde se colocaran los dispositivos.
- El detector se debe colocar en un lugar con suficiente espacio y en una posición donde no pueda ser afectado.
- No se debe colocar el detector donde exista calor excesivo o luz solar directa.
- El punto de medición debe estar a 90 cm de cualquier fuente de ventilación (ventanas, puertas) y a 10 cm de cualquier superficie.
- Los detectores deben estar a una altura ideal donde se produce la respiración, entre 1 y 2 m de altura (EPA, 1993).

En el proyecto se realizaron 2 muestreos, en intervalos de 45 días cada uno, el primero se realizó del 26 de noviembre del 2017 al 07 de enero del 2018 y el segundo del 07 enero del 2018 al 18 febrero del 2018.

La medición se hizo en dos secciones de la vivienda, la cocina y el dormitorio. Los detectores en estas secciones se colocaron en un soporte de metal con el fin de garantizar a separación de 10 cm de cualquier superficie y a una altura promedio donde se produce la respiración de acuerdo al sector, en la cocina a una altura de entre 1 y 2 m, mientras que el dormitorio a una altura de entre 50 cm a 1 m.

Figura 7. Detector colocado en porta detectores



FUENTE: El Autor

2.3.2. Tratamiento químico de los detectores

Los detectores LR-115 tipo 2 tienen la capacidad de absorber la energía depositada por las partículas de radón al entrar en contacto con estas, esta energía a su vez causa daño en el detector. Para poder observar las trazas que deja el daño, es necesario realizar un proceso químico de bañado del detector a base de Hidróxido de Sodio (NaOH), este proceso es también conocido como revelado (Espinosa, 1994).

El proceso de revelado de los detectores sólidos de trazas nucleares LR-115 Tipo II está dado por el fabricante “industria alemana Kodak” los cuales indican lo siguiente:

- Medición del espesor de los detectores, esto con la finalidad de determinar el tiempo óptimo de revelado.
- Colocar los detectores en un portadetectores.
- Normalizar la temperatura ambiente donde se encuentra el baño maría, temperatura aproximada a los 25 °C.

- Encender el baño maría y colocar a una potencia de 40 %. Dejar calentar la solución hasta que alcance una temperatura adecuada de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantener constante esa temperatura durante todo el proceso.
- Prepara una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 10 % o 2.5 Normal, la solución debe estar a temperatura ambiente.
- Colocar la solución en un vaso de precipitación, e introducirlo en el baño maría.
- Introducir los detectores dentro de la solución que fue calentada por el baño maría durante un tiempo aproximado de 90 minutos.
- Luego del tiempo determinado se procede a sacar los detectores y se los colocara en envases de plástico Corning, los cuales deben tener una cantidad tal de agua destilada que cubra los detectores. Se agita manualmente el envase.
- Luego de ser enjuagados se retira los detectores y coloca en otro vaso de precipitación, el cual también debe contener agua destilada con la diferencia de que en este paso los detectores se encontraran en reposo y se los mantendrá por un espacio de tiempo de 2 minutos.
- Finalmente se dejan secar los detectores por ventilación natural y a temperatura ambiente en un periodo de tiempo aproximado de 24 horas (Kodak, 1981).

Figura 8. Baño térmico en el cual se realizó el grabado de los detectores



FUENTE: El Autor

2.3.3. Digitalización y conteo de trazas

Para determinar la concentración de radón en nuestros detectores, lo primero fue conocer la densidad de las trazas que se encuentran en ellos. Para ello se tomó 20 detectores al azar, 5 de cada muestreo y se los analizo con la ayuda de un microscopio óptico el cual puede aumentar la imagen hasta en 10X veces su tamaño original. Pudiendo determinar que la densidad de trazas promedio de nuestros detectores era de 3 trazas por campo de visión.

Con esta información sobre nuestra densidad de trazas por campo de visión, se pudo determinar que el número de campos de visión por detector seria de 100 campos de visión.

2.3.3.1 *Conteo de trazas utilizando el POLITRACK*

El Politrack es un sistema que tiene incorporado un microscopio óptico con un aumento de 100x para la detección de trazas nucleares por radón, ajustado a un posicionador motorizado, el cual nos permite detectar las trazas nucleares que han sido previamente gravadas en un detector.

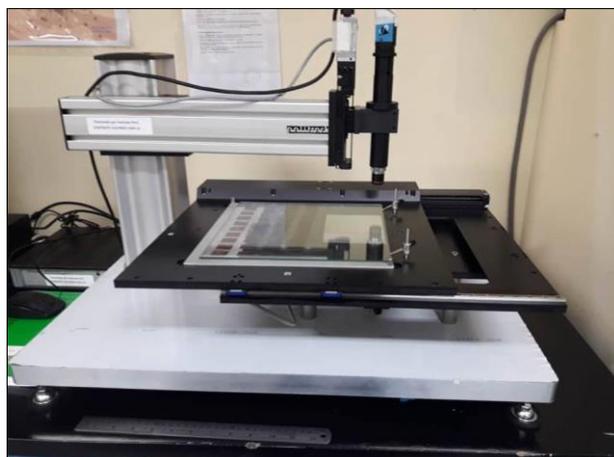
A su vez este microscopio óptico está conectado directamente a una PC, la cual controla el movimiento de los ejes y la adquisición de las imágenes.

Este sistema nos permite realizar el conteo de trazas de una gran cantidad de detectores al mismo tiempo, esto debido a que posee en su base un plano cartesiano X, Y en el cual van colocados los detectores, cabe resaltar que se debe tener un previo registro de la ubicación de los detectores en el Politrack, esto con la finalidad de poder reconocer que resultado pertenece a cada sector. El promedio de tiempo en que el Politrack se demora en analizar cada detector, va a depender de la cantidad de campos de visión que se le asigne contar, pero generalmente su tiempo promedio de conteo de trazas por detector es <120 segundos por detector.

Como resultado final, el Politrack nos proporciona un Excel con la densidad de trazas por centímetro cuadrado, de cada detector analizado (Caresana, 2010).

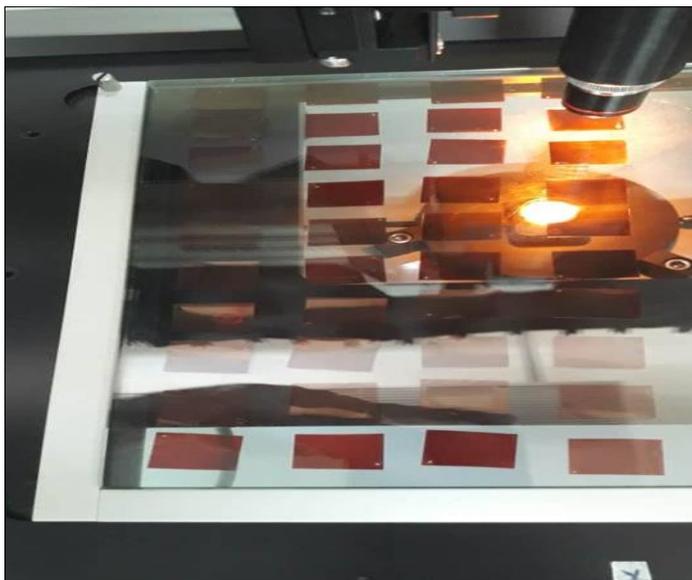
Para realizar nuestro análisis de los detectores, se procedió a colocar una sección de un muestreo a la vez, es decir 45 detectores por lectura del Politrack, realizando este proceso por 4 veces.

Figura 9. Sistema de conteo de trazas Politrack



FUENTE: El Autor

Figura 9. Ubicación y lectura de los detectores en el Politrack



FUENTE: El Autor

Figura 10: Trazas identificadas por el Politrack en el detector



FUENTE: El Autor

2.3.4. Elaboración del mapa radiológico

Una vez que hemos obtenido las diferentes concentraciones de gas radón en cada una de las viviendas muestreadas, se procederá a colocar esta información en el programa ARCGIS y así junto con la información previamente ingresada al momento de las viviendas a

muestrear, se procederá a elaborar un conjunto de mapas radiológicos de las diferentes concentraciones de radón en las parroquias urbanas del cantón Cuenca.

El programa ARCGIS nos permite un sinnúmero de opciones para poder interpolar nuestras concentraciones y así elaborar los mapas radiológicos, la opción seleccionada por nosotros fue el método IDW (Ponderación de distancia inversa).

La interpolación de datos nos permite realizar mapas a partir de una serie de datos, la principal dificultad que presenta la interpolación, es la cantidad de datos que requiere para su realización. El método de interpolación IDW se caracteriza por ser de menos complejidad que los otros métodos y se caracteriza por dar mayor peso a los valores cercanos a un punto (Johnston, 2001).

(Kravchenko, 2003) recomienda la interpolación realizada por IDW cuando se trabaja con bases de datos pequeñas y la distancia a interpolar de un punto a otro, se encuentra en rangos lejanos, ya que así se evita el efecto conocido como “ojo de buey”, en el cual por estar muy cercanos los puntos de interpolación se nos da un resultado irreal.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de la respectiva exposición de los detectores y sus posteriores procesos de gravado y lectura de trazas, se procedió a realizar los pertinentes cálculos, los cuales nos sirvieron para realizar nuestro mapa radiológico:

- **Concentración de Radón** $\left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}\right]$

$$C_{Rn} = \left[\frac{\rho}{K \cdot t}\right]$$

ρ = Densidad de Trazas en el detector $\left[\frac{\text{trazas}}{\text{cm}^2}\right]$

K = Factor de calibración 0,020 para el detector $\left[\frac{\text{Trazas /cm}^2}{\text{Bq*d /m}^3} \right]$

t = Tiempo en que el detector estuvo expuesto [*dias*]

- **Dosis Anual Absorbida (D)**; Unidad $\left[\frac{\text{mSv}}{\text{y}} \right]$

$$D = C_{Rn} * D * H * F * T$$

C_{Rn} = Concentración de Radón $\left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$

D = Factor de conversión de la dosis ($9E^{-6}$) $\left[\frac{\text{m*Sv*m}^3}{\text{h*Bq}} \right]$

H = Factor de ocupancia (0,40)

F = Factor de Equilibrio (0,40)

T = Tiempo de ocupancia (24 * 365) $\left[\frac{\text{h}}{\text{y}} \right]$

- **Dosis Anual Equivalente (H)**; Unidad $\left[\frac{\text{mSv}}{\text{y}} \right]$

$$H = WR * D$$

WR = Factor de ponderación de la radiación.

D = Dosis absorbida

- **Dosis Anual Efectiva (E)**; Unidad $\left[\frac{\text{mSv}}{\text{y}} \right]$

$$E = WT * WR * D$$

WT = Factor de ponderación del tejido.

WR = Factor de ponderación de la radiación

D = Dosis Absorbida

- Índice Alfa

$$I(\alpha) = \left[\frac{C_{Rn}}{200} \right]$$

C_{Rn} = Concentración de Radón $\left[\frac{Bq}{m^3} \right]$

3.1. RESULTADOS

Los cálculos anteriormente mencionados, nos brindaron la siguiente información:

- Las concentraciones de Radón 222 en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca se encuentran en un rango para la sección de la cocina de entre los $8,33 \left[\frac{Bq}{m^3} \right]$ en la parroquia El Vecino, hasta los $148,33 \left[\frac{Bq}{m^3} \right]$ en la parroquia de Totoracocha. Presentando una concentración promedio de radón de $34 \left[\frac{Bq}{m^3} \right]$. Mientras que para la sección de los dormitorios se encuentran en un rango de entre los $4,44 \left[\frac{Bq}{m^3} \right]$ en la parroquia Monay, hasta los $165 \left[\frac{Bq}{m^3} \right]$ en la parroquia de Totoracocha, con una concentración promedio de radón de $35,73 \left[\frac{Bq}{m^3} \right]$.

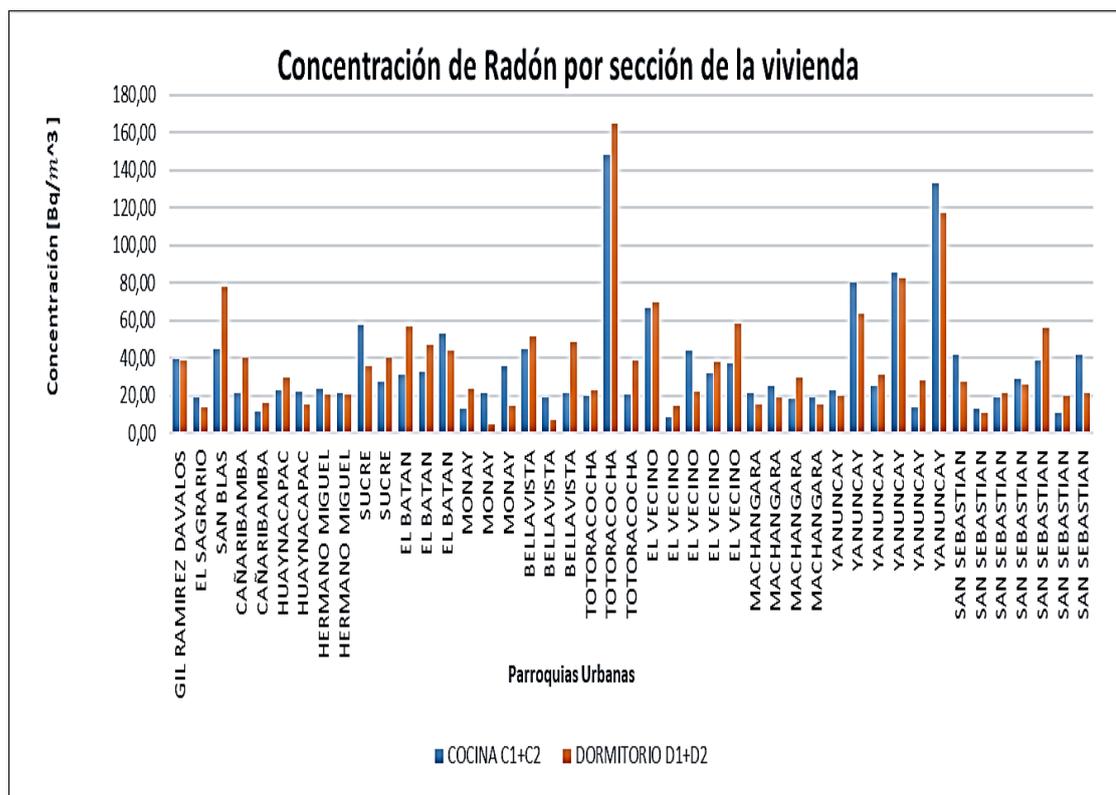
Tabla 6. Concentraciones de radón 222 en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca

PARROQUIA	PROM (C) C1+C2 $\left[\frac{Bq}{m^3} \right]$	PROM (C) D1+D2 $\left[\frac{Bq}{m^3} \right]$
GIL RAMIREZ DAVALOS	39,44	38,89
EL SAGRARIO	18,89	13,89
SAN BLAS	45,00	77,78
CAÑARIBAMBA	21,11	40,56
CAÑARIBAMBA	11,67	16,11
HUAYNACAPAC	22,78	30,00
HUAYNACAPAC	22,22	15,00
HERMANO MIGUEL	23,89	20,56
HERMANO MIGUEL	21,11	20,56
SUCRE	57,78	35,56
SUCRE	27,22	40,00

EL BATAN	31,11	56,67
EL BATAN	32,78	47,22
EL BATAN	52,78	43,89
MONAY	13,33	23,33
MONAY	21,11	4,44
MONAY	35,56	14,44
BELLAVISTA	44,44	51,67
BELLAVISTA	18,89	7,22
BELLAVISTA	21,67	48,33
TOTORACOCHA	20,00	22,78
TOTORACOCHA	148,33	165,00
TOTORACOCHA	20,56	38,33
EL VECINO	66,67	70,00
EL VECINO	8,33	14,44
EL VECINO	43,89	22,22
EL VECINO	32,22	37,78
EL VECINO	37,22	58,33
MACHANGARA	21,11	15,56
MACHANGARA	25,00	19,44
MACHANGARA	18,33	30,00
MACHANGARA	18,89	15,00
YANUNCAY	22,78	20,00
YANUNCAY	80,00	63,33
YANUNCAY	25,00	31,11
YANUNCAY	85,56	82,22
YANUNCAY	13,89	28,33
YANUNCAY	133,33	117,22
SAN SEBASTIAN	41,67	27,22
SAN SEBASTIAN	13,33	10,56
SAN SEBASTIAN	18,89	21,11
SAN SEBASTIAN	28,89	25,56
SAN SEBASTIAN	38,33	56,11
SAN SEBASTIAN	11,11	20,00
SAN SEBASTIAN	41,67	21,67
TOTAL	1597,78	1679,44
MEDIA	34,00	35,73
MAXIMA	148,33	165,00
MINIMA	8,33	4,44

FUENTE: El Autor

Figura 11. Concentración de radón por sección de la vivienda en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca

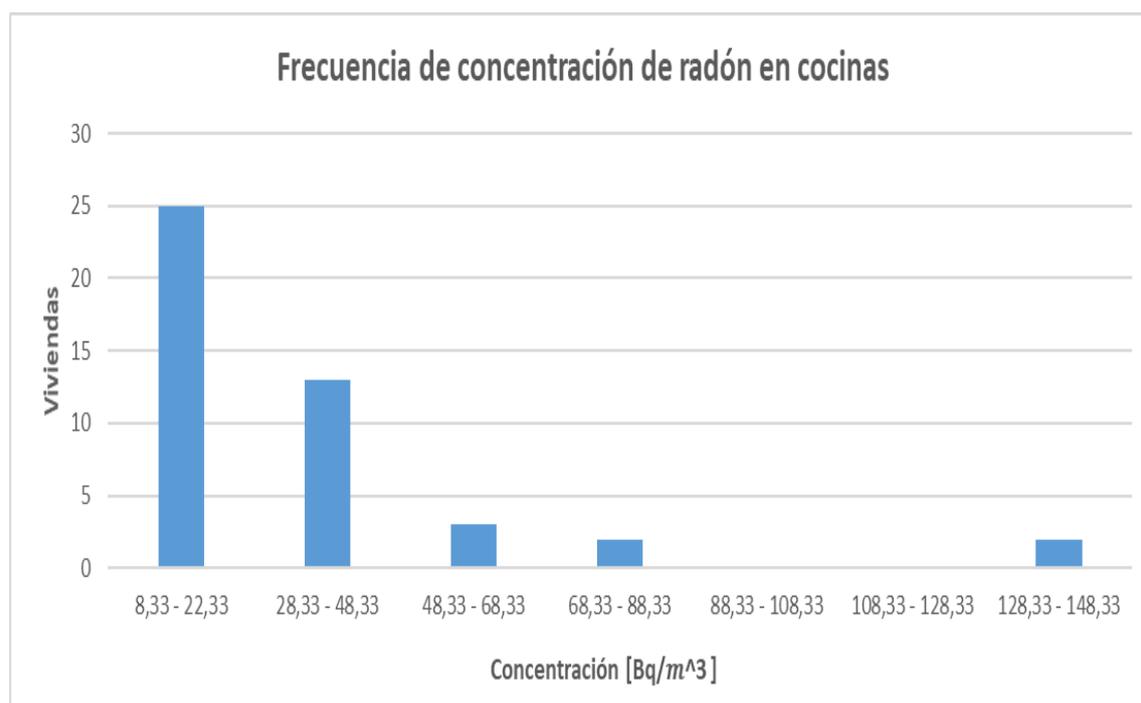


FUENTE: El Autor

Como podremos observar más adelante en la figura 12, el 55, 55 % de las viviendas muestreadas en la sección de la cocina, se encuentran con una frecuencia de concentración de radón de entre los $8,33 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ hasta los $28,33 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$. Mientras que en la figura 14, el 48, 88 % de las viviendas muestreadas en la sección del dormitorio, se encuentran con una frecuencia de concentración de radón de entre los $4,44 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ hasta los $27,38$. En ambos casos las concentraciones de radón se encuentran muy por debajo de los establecido por las

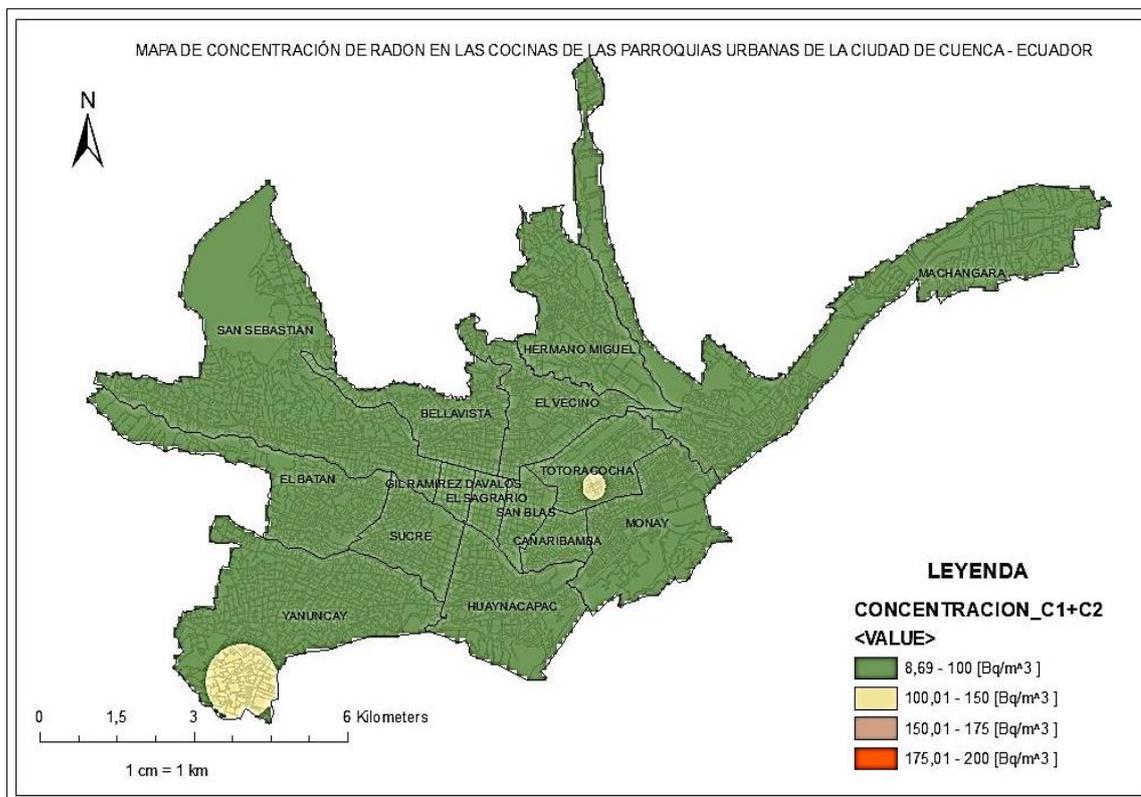
organizaciones internacionales $150 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ establecido por la EPA, hasta los $200 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ establecidos por la comisión europea.

Figura 12. Frecuencia de concentración de radón en las cocinas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca



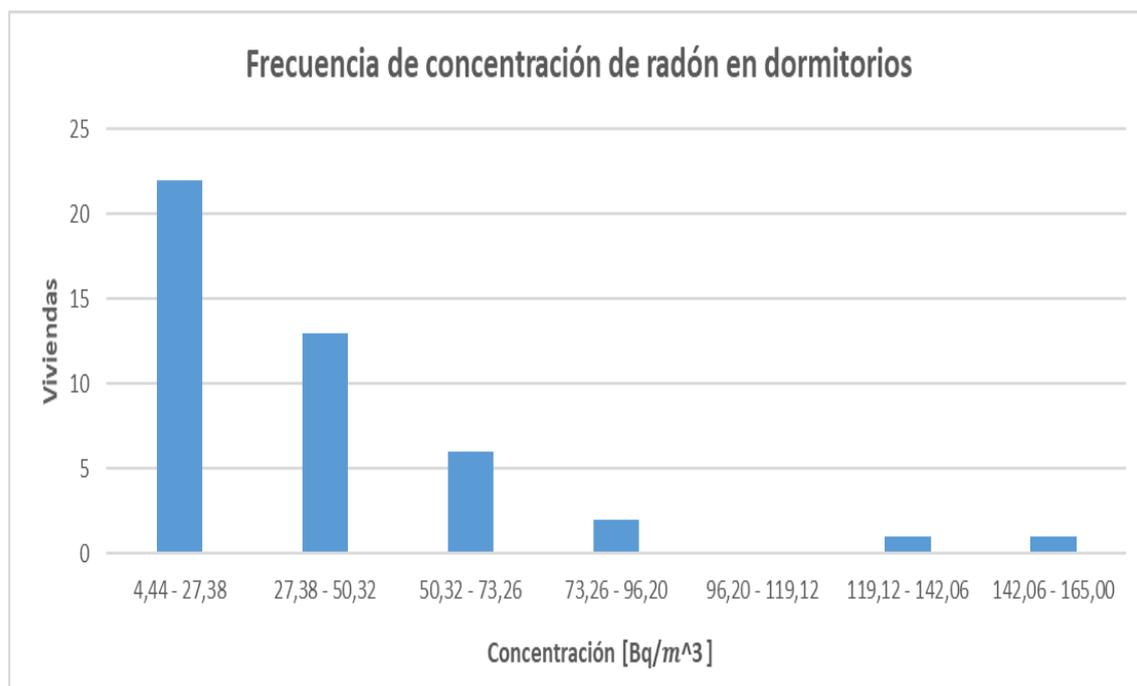
FUENTE: El Autor

Figura 13. Mapa de concentración de radón en las cocinas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca



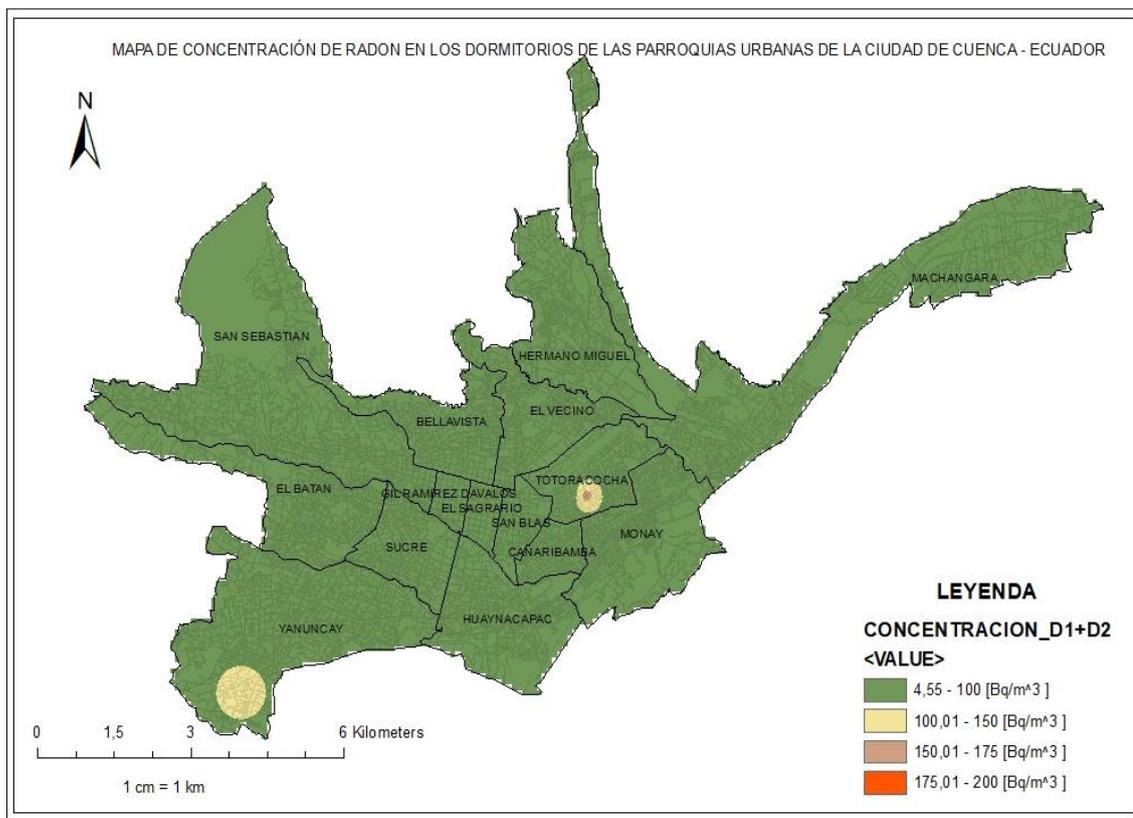
FUENTE: El Autor

Figura 14. Frecuencia de concentración de radón en los dormitorios de las parroquias urbanas de la ciudad Cuenca



FUENTE: El Autor

Figura 15. Mapa de concentración de radón en los dormitorios de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca



FUENTE: El Autor

- En lo que respecta a la dosis efectiva en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca se encuentran en un rango para lo correspondiente a las viviendas en el primer muestreo de entre los $0,13 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ en la parroquia El Vecino, hasta los $5,89 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ en la parroquia de Totoracocha. Presentando una dosis efectiva promedio de $1,35 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$.

- Mientras que para las viviendas en el segundo muestreo se encuentran en un rango de entre los $0,12 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ en la parroquia Totoracocha, hasta los $5,10 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ en la parroquia de Yanuncay. Presentando una dosis efectiva promedio de $0,76 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$.

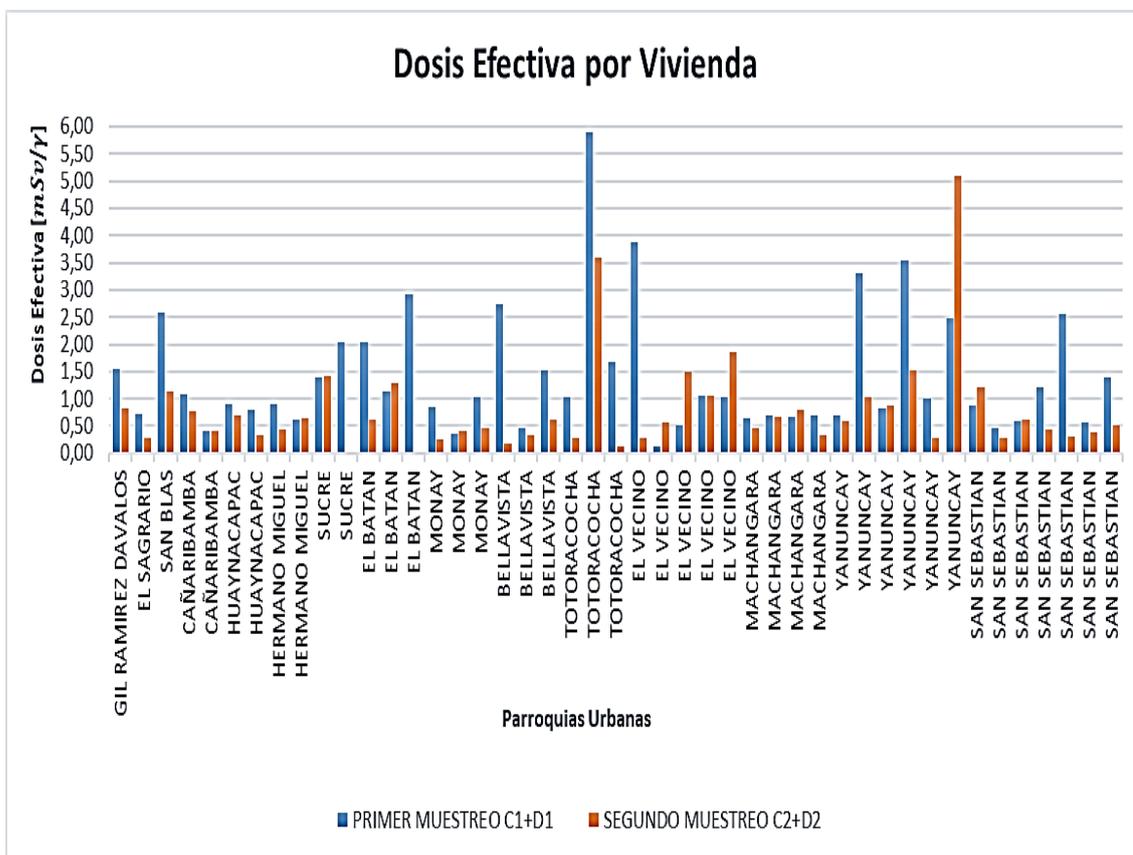
Tabla 7. Dosis Efectiva en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca

PARROQUIA	PROM (DE) C1+D1	PROM (DE) C2+D2
GIL RAMIREZ DAVALOS	1,55	0,82
EL SAGRARIO	0,72	0,27
SAN BLAS	2,57	1,14
CAÑARIBAMBA	1,09	0,77
CAÑARIBAMBA	0,42	0,42
HUAYNACAPAC	0,89	0,71
HUAYNACAPAC	0,81	0,32
HERMANO MIGUEL	0,91	0,44
HERMANO MIGUEL	0,62	0,64
SUCRE	1,40	1,43
SUCRE	2,04	0,00
EL BATAN	2,04	0,62
EL BATAN	1,14	1,28
EL BATAN	2,93	0,00
MONAY	0,86	0,25
MONAY	0,35	0,42
MONAY	1,04	0,47
BELLAVISTA	2,72	0,19
BELLAVISTA	0,45	0,34
BELLAVISTA	1,51	0,61
TOTORACOCHA	1,03	0,27
TOTORACOCHA	5,89	3,60
TOTORACOCHA	1,67	0,12
EL VECINO	3,87	0,27
EL VECINO	0,13	0,56
EL VECINO	0,50	1,50
EL VECINO	1,06	1,06
EL VECINO	1,03	1,87
MACHANGARA	0,64	0,47
MACHANGARA	0,69	0,66
MACHANGARA	0,66	0,81
MACHANGARA	0,71	0,32
YANUNCAY	0,71	0,59
YANUNCAY	3,30	1,04
YANUNCAY	0,82	0,87
YANUNCAY	3,55	1,53
YANUNCAY	1,01	0,27
YANUNCAY	2,49	5,10
SAN SEBASTIAN	0,87	1,21
SAN SEBASTIAN	0,45	0,27

SAN SEBASTIAN	0,59	0,62
SAN SEBASTIAN	1,21	0,44
SAN SEBASTIAN	2,56	0,30
SAN SEBASTIAN	0,56	0,39
SAN SEBASTIAN	1,40	0,52
TOTAL	63,44	35,77
MEDIA	1,35	0,76
MAXIMA	5,89	5,10
MINIMA	0,13	0,12

FUENTE: El Autor

Figura 16. Dosis Efectiva por vivienda en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca

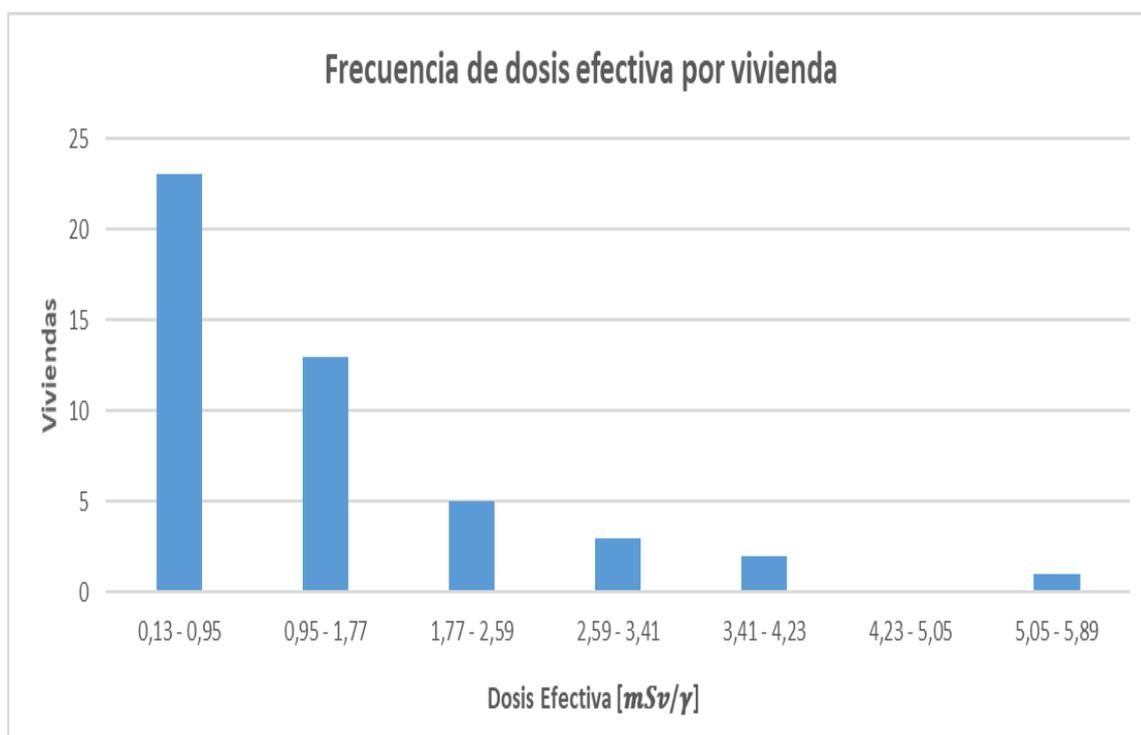


FUENTE: El Autor

Los histogramas de frecuencia realizados para la dosis efectiva que se presentan en la figura 17, nos muestra que el 48,88 % de las viviendas muestreadas en el primer muestreo,

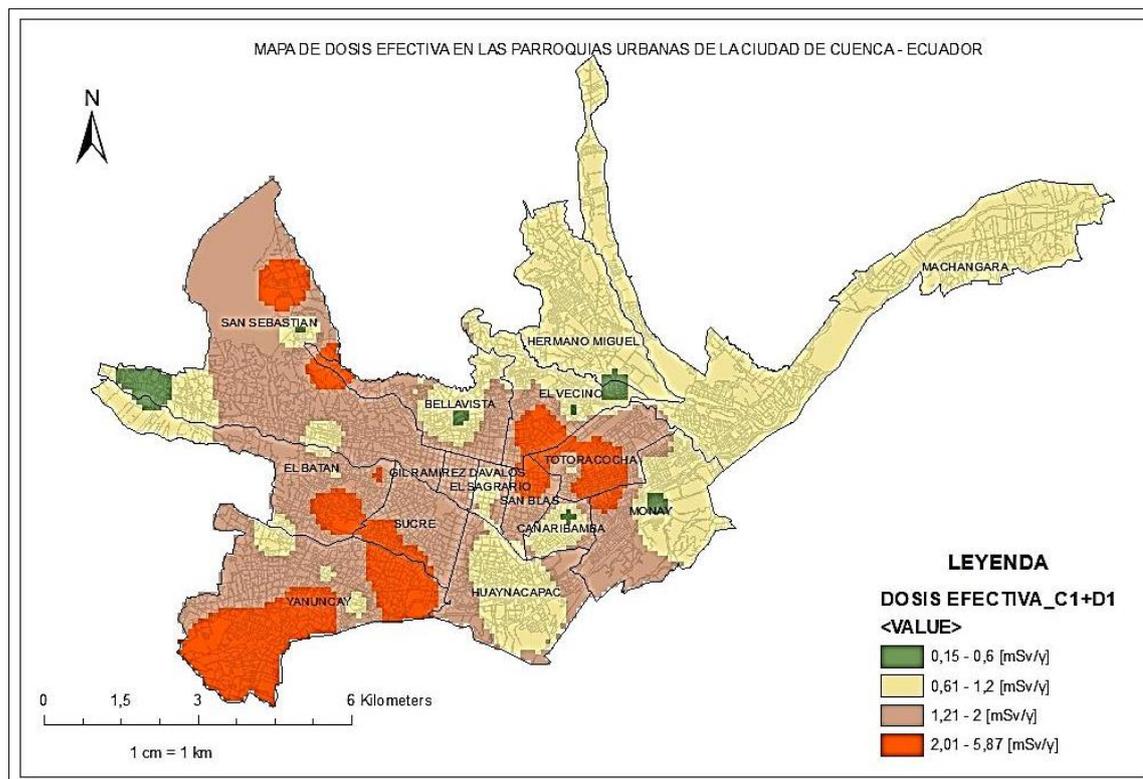
se encuentran con una dosis efectiva de entre los $0,13 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ hasta los $0,95 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$. Mientras que en la figura 19, el 73,33 % de las viviendas muestreadas en el segundo muestreo, se encuentran con una dosis efectiva de entre los $0,12 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$ hasta los $0,83 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$. En ambos casos las dosis efectivas se encuentran muy por debajo de lo establecido por la UNSCEAR de $1,2 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$.

Figura 17. Frecuencia de dosis efectiva en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca. (Primer Muestreo)



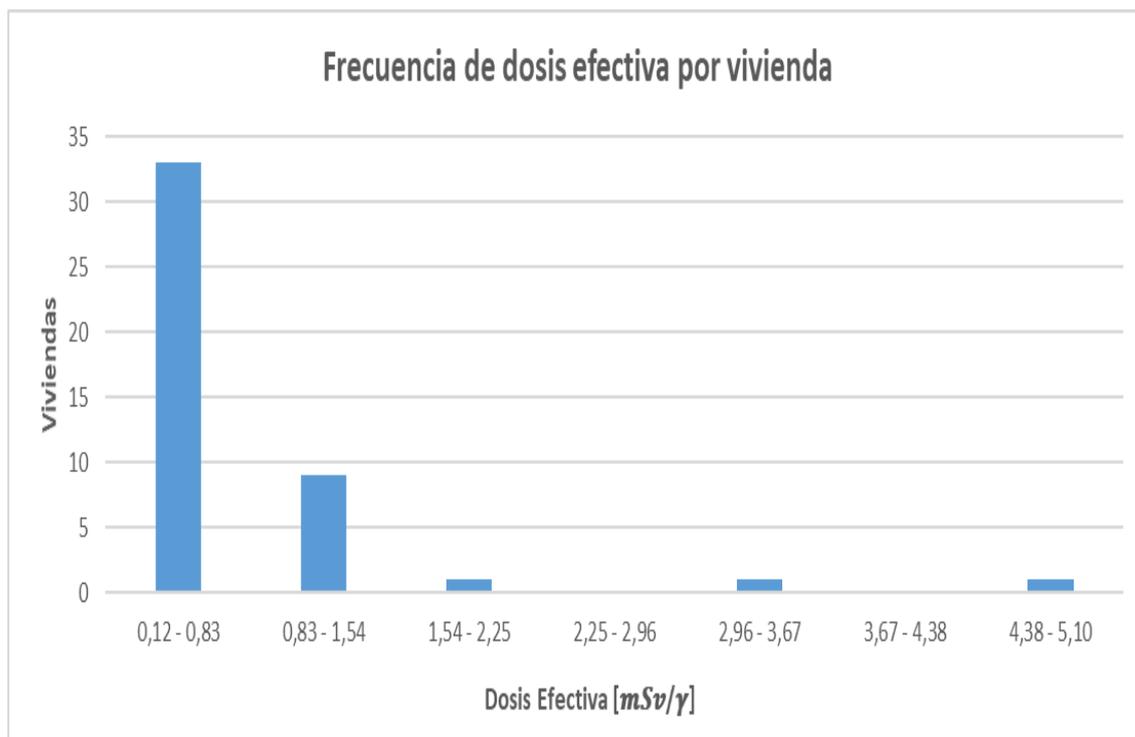
FUENTE: El Autor

Figura 18. Mapa de dosis efectiva en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca (Primer Muestreo)



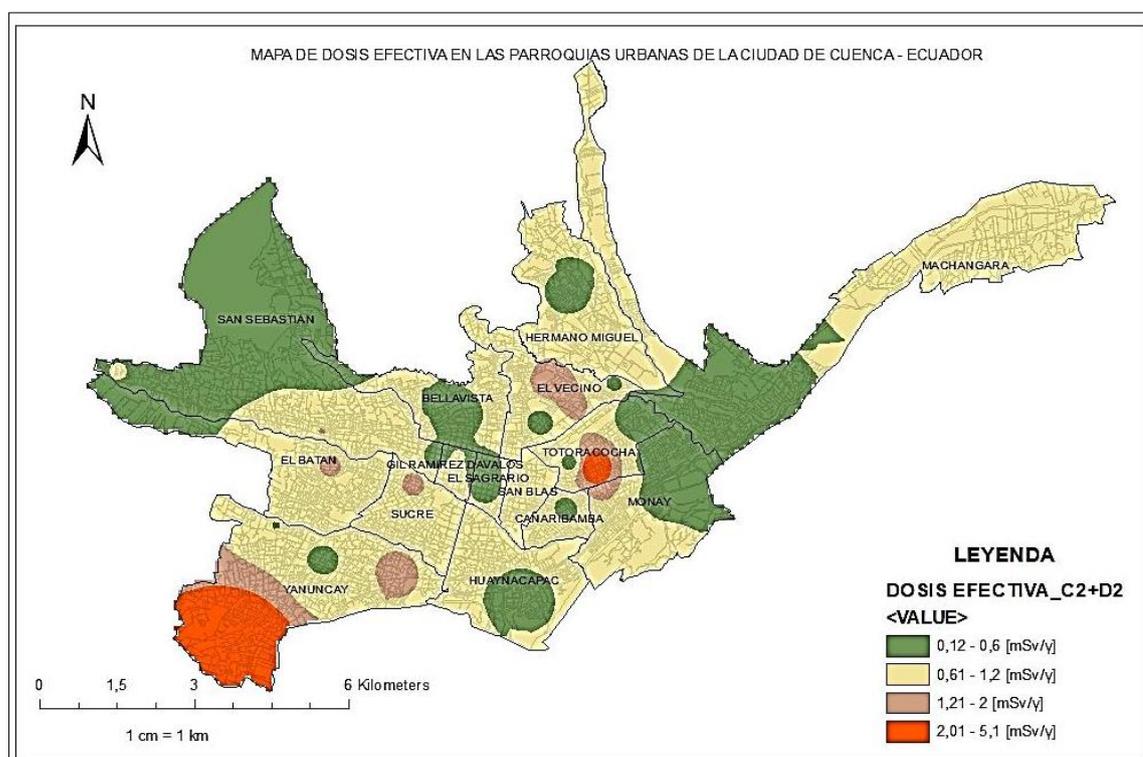
FUENTE: El Autor

Figura 19. Frecuencia de dosis efectiva en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca. (Segundo Muestreo)



FUENTE: El Autor

Figura 20. Mapa de dosis efectiva en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca (Segundo Muestreo)



FUENTE: El Autor

3.2. DISCUSIÓN

En el Ecuador son casi nulos los trabajos publicados sobre mediciones de concentración de gas radón en edificaciones y elaboración de mapas radiológicos del mismo, entre los existentes podemos resaltar:

(Cuadrado & Carrasco, 2016) en su estudio “Medición de la concentración de ^{222}Rn en residencias y lugares de trabajo en la ciudad de Riobamba” muestra los resultados donde luego de muestrear 23 edificaciones y por un periodo de tiempo de 3 meses , se determinó que las concentraciones promedio de concentración de radón para la ciudad de Riobamba se encuentran en un rango de entre los $32 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$.

Cabe destacar también el trabajo realizado por (Castillo, 2016) “Cálculo del Riesgo Radiológico debido al concentración de Radón en los centros de Educación de la zona Urbana y Rural de Cuenca, Ecuador” en donde se midió las concentraciones de radón en 32 instituciones educativas de las zonas urbanas y rurales de Cuenca. Donde la máxima concentración fue de $47,16 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, la mínima de $6,15 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, dándonos una media para las unidades educativas de la ciudad de Cuenca de $20,03 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$.

Adicional los trabajos anteriormente nombrados, existe un trabajo realizado por diversas instituciones de América Latina, en el año 2002. En donde participaron diversas instituciones, organizaciones y fundaciones de países como: Argentina, Brasil, Ecuador, México, Perú y Venezuela. Con la finalidad de tener una estimación de los niveles de medición y detección de Radón que existe alrededor de América Latina.

El trabajo realizado entre las diferentes organizaciones tiene como nombre “*Indoor radon measurements in six Latin American countries.*”, nos indica las medias de concentración de radón por país, las cuales ordenadas de mayor a menor son:

Perú $32,29 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, Argentina $36,96 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, Venezuela $52,5 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, México $67,29 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, Brasil $80,94 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ & Ecuador $94,3 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$.

En lo que respecta a Ecuador la institución participante fue Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA), la cual como su aporte al trabajo realizó 4 muestreos entre 16 viviendas de la ciudad de Quito con la finalidad de determinar la concentración de radón, donde se presentaron niveles promedio de concentración de radón de entre los $94,3 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, siendo esta la mayor concentración presente de entre todos los 5 países participantes en el proyecto (Canoba et al, 2002).

Con la información del trabajo realizado por la CEEAA, se procedió a elaborar el primer mapa radiológico del Ecuador, donde la concentración máxima de concentración de radón fue de $226,66 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ y una concentración mínima de $20,39 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, dando en ese entonces una clasificación de la concentración de radón para el Ecuador de sobre los límites establecidos por la EPA de $150 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ (Comision Ecuatoriana de Energia Atomica, 2002).

El presente trabajo se enfocó en determinar las concentraciones de Radón 222 en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca, con la finalidad de realizar un mapa radiológico de dichas concentraciones. La información necesaria para el análisis se obtuvo de 188 detectores, distribuidos entre 47 viviendas, las cuales se encuentran dispersas entre las 15 parroquias urbanas que posee la ciudad.

En cada una de las mediciones realizadas entre las diferentes viviendas, se pudo confirmar la presencia de radón, lo cual nos confirma la presencia de este gas como un gas que se encuentra de forma natural en el ambiente. En la sección 3.1 se puede observar que las mayores concentraciones de radón se encuentran en la parroquia de Totoracocha donde

alcanzan niveles de hasta los $148,33 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ y la parroquia Yanuncay donde alcanza niveles de $133,33 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, lo cual nos da la oportunidad de poder realizar nuevas investigaciones en estas parroquias, con la finalidad de determinar si estas concentraciones se mantienen constantes a lo largo del tiempo.

La media promedio para la ciudad de Cuenca esta entre los $35 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, muy similar a los establecido por (Cuadrado & Carrasco, 2016) en las mediciones realizadas en la ciudad de Riobamba y (Castillo, 2016) en la ciudad de Cuenca.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Cabe destacar que este trabajo es el primer mapa radiológico de las concentraciones de Radón 222 desarrollado en la ciudad de Cuenca. En el cual se pudo obtener una gran cantidad de información sobre las diversas concentraciones de radón presentes en las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca y con esta información determinar las dosis de radiación a las que se encuentra la población.

- Las concentraciones presentes entre las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca están en una concentración promedio de $35 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$, valor que se encuentra por debajo de los límites establecidos por las diversas organizaciones, quienes toman valores máximos de concentración de Radón en edificaciones de entre los $150 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ establecido por la EPA, hasta los $200 \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$ establecidos por la comisión europea.

- La dosis efectiva a la que se encuentra expuesta la población de las parroquias, se encuentra en un promedio de $1 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$, valor que se encuentra por debajo de lo establecido por la UNSCEAR que fija como límite para la dosis absorbida por inhalación de $1,2 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$.

- Las parroquias de Totoracocha y Yanuncay son las únicas parroquias que se encuentran próximas a los límites máximos de concentración de radón establecidos por la EPA para la concentración de radón, y por esta razón también son aquellas parroquias que reflejan un mayor incremento en la dosis efectiva a la que está expuesta la población. Superando aun los límites establecidos por la UNSCEAR de $2 \left[\frac{mSv}{\gamma} \right]$.

- Los niveles de concentración de Radón 222 se mantienen casi constantes entre las diversas parroquias de la ciudad de Cuenca, con valores muy cercanos a la media. Solamente 2 de entre las 15 parroquias que componen la parte urbana de la ciudad son aquella que se encuentra muy por encima del valor establecido para la concentración media de las parroquias, como es el caso de las parroquias de Totoracocha y Yanuncay, por lo cual se puede considerar que la ciudad de Cuenca es una ciudad que se encuentra bajo los límites establecido por las diversas organizaciones como la EPA, OMS y Comunidad Europea para la concentración de radón en interiores.

4.2. RECOMENDACIONES

- Debido a que las concentraciones de radón en edificaciones están sujetas a diversos factores como son: la ubicación geográfica y geológica sobre la cual se encuentra la edificación y aspectos de la edificación como materiales de construcción, ventilación, edad de construcción, tipo de edificación, se recomienda el realizar mediciones continuas a lo largo de todo el año con la finalidad de tener una mayor confiabilidad en los resultados.

- Para posteriores trabajos se debe tomar en cuenta el tiempo óptimo de exposición de los detectores en el área a ser muestreada ya que, con un tiempo de exposición muy corto la densidad de trazas que se puede encontrar en los mismos es baja, mientras que en periodos de exposición muy largos el detector puede sufrir daños en el polímero o incluso llegar a perderse.

5. BIBLIOGRAFIA

- Adoración., P. B. (1999). El radón y sus efectos sobre la salud. *Nota Técnica de Prevención 440, Radón como contaminante en el interior de los edificios.*
- Aguilar, B. S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Redalyc.*
- Artiga, V. A. (2002). El Método Científico y la Nueva Filosofía de la Ciencia. *Redalyc*, 19 - 29.
- Berenguer, S. J. (1999). NTP 440: Radón en ambientes interiores. *Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España.*
- Brosed, A. a. (2011). Fundamentos de Física medica. . *Sociedad Española de Física Medica.*
- Canoba et al, A. F. (2002). Indoor radon measurements in six Latin American countries. *Geofísica Internacional.*
- Caresana, M. F. (2010). Performance evaluation of a new reading technique of LR115 cellulose nitrate track detectors. *Radiation Measurements, Volume 45, Issue 8,*, Pages 911-915.
- Carrasco, R. J. (2003). Radiaciones Ionizantes y no Ionizantes. Aplicaciones y Riesgos.
- Castillo, M. B. (2016). Cálculo del Riesgo Radiológico debido al concentración de Radón en los centros de Educación de la zona Urbana y Rural de Cuenca, Ecuador. *Universidad Politecnica Salesiana.*
- Comision Ecuatoriana de Energia Atomica, (. (2002). Medicion de Radón y Mapa Radiologico de las concentraciones de Radón en la ciudad de Quito, Ecuador.
- Cortés, D. J. (2007). *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Seguridad e Higiene del Trabajo.* Madrid. España: Tébar.
- CSNE, C. d. (2014.). Mapa del potencial de radón en España. Madrid.
- Cuadrado & Carrasco, C. (2016). 1 Medición de la concentración de ^{222}Rn en residencias y lugares de trabajo en la ciudad de Riobamba. *Research Gate.*
- EPA. (1993). Radon MeasuremenT in Schools. Washington: EPA.
- EPA, U. S. (2015). EPA Map of Radon Zones. EEUU.
- Espinosa, G. (1994). Trazas nucleares en Solidos.
- García, T. S. (2013). *El mapa predictivo de exposición al radón en España.* Madrid. España: Colección Informes Técnicos. Referencia INT-04.31. Consejo de Seguridad Nuclear.
- Gonzales, C. S. (1990). Dosimteria Biologia de las Radiciones Ionizantes mediante el analisis de alteraciones cromosomicas. Madrid.
- Hofmann, W. (2012). Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements.

- INEC, I. N. (2010). *Censo de Poblacion y Vivienda*. Cuenca - Azuay - Ecuador.
- Johnston, K. (2001). Using ArcGis Geostatistical Analyst. *ESRI*, 300 P.
- Kodak. (1981). Cartalogo Kodak Pathe Cellulose Nitrate, Film, LR - 115.
- Kravchenko, A. (2003). Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *. Soil Science Society of American Journal*, 67 : 1564 - 1571.
- OMS. (2000). *Encuesta de la OMS sobre salud y capacidad de respuesta del sistema de salud*. Suiza.
- Organización Internacional del Trabajo, (. (2001). Enciclopedia de salud y seguridad del trabajo del Organimo Mundial del trabajo. España.
- Organizacion Muldial de la Salud, (. (2015). Resumen de Orientacion. *Manual de la OMS sobre el Radon en interiores. Una perspectiva de salus pública*, 10.
- Organizacion Mundial de la Salud, (. (2016). El radón y sus efectos en la salud.
- Organizacion Mundial de la Salud., (. (2015). *Manual de la OMS sobre el radon en interiores, una perspectiva a la salud publica*. Suiza: Ediciones OMS.
- Ortega, A. X. (1996). *Radiaciones Ionizantes. Utilizaciòn y riesgos*. Barcelona. España: Ediciones UPC (Universidad Politecnica de Cataluña).
- Pérez, A. B. (2016). *Fluctuaciones en la presencia de Radón 222 ambiental en la ciudad de Lima (Zona San Miguel)*. Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Quindós, P. L. (2014). *Radón "Un gas radiactivo de otigen natutal en su casa"*. Universidad de Cantabria: Imprenta Juventud.
- Rey, M. F. (2007). *Calidad de Ambientes Interiores*. Madrid, España: TOP PRINTER PLUS S.L.L.
- Rojas, H. J. (2016). *Monitoreo de Radón 222 en la zona sur de Lima*. Lima - Peú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Saint-Martin, M. L. (1999). Evaluación de la sensibilidad en Detectores de Trazas Nucleares. *Universidad de Buenos Aires*.
- Sociedad Argentina de Radioproteccion. (2014). Managing patient dose in digital radiology. *Revista Argentina de Radiologia*.
- SOLCA, (. d. (2015). *Sexto Informe de Epidemiología del Cáncer en el Cantón Cuenca. 2005 - 2009*. Cuenca - Ecuador.
- Trujillo, G. M. (2014). *Decaimientos Nucleares. Cap 7. Tipos de decaimientos*. Buenos Aires, Argentina.
- UNSCEAR. (2010). Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York: United Nation.
- USEPA, E. P. (1993). Protocols for Radon and Radon Decay Product Measurements in Homes. Washington: EPA.

Villar, A. F. (2016). Diseño de Mapas Predictivos de Exposición al Radón basados en Información Geológica. *Grupo del Radon - Universidad de Cantabria*.

6. ANEXOS

6.1. ENCUESTA APLICADA A LA POBLACIÓN

ENCUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN A MUESTREAR EN LA DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE RADÓN EN EL HOGAR

DATOS GENERALES

- Nombre
- Edad
- Dirección
- Parroquia
- Teléfono

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

- Número de habitantes en la vivienda

1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6 () más de 6 ()

- Tipo de vivienda

1 piso () 2 pisos () 3 pisos ()

- Edad aproximada de la vivienda

- Principales materiales de construcción de la vivienda

Bloque () Ladrillo () Madera () Granito () Baldosa () Yeso () Hormigón ()

- Numero de ventanas en

Cocina: 1 () 2 () 3 () 4 ()

Sala: 1 () 2 () 3 () 4 ()

Dormitorio: 1 () 2 () 3 () 4 ()

- Tipo de cocina

Gas () Inducción () Leña () Otros ()

- **Suministro de agua**

Potable () Pozo () Rio () Otros ()

CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

- **Tiempo promedio diario que pasa en casa de lunes a viernes**

6 horas () 8 horas () 10 horas () 12 horas () más de 12 horas ()

- **Tiempo promedio diario que pasa en casa de los fines de semana**

6 horas () 8 horas () 10 horas () 12 horas () más de 12 horas ()

- **Número de hijos que viven en el hogar**

0 () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 () 6 () más de 6 ()

- **Edad de los hijos**

- **¿Los hijos estudian?**

Si () No ()

- **Promedio de tiempo en que los hijos pasan en el colegio**

4 horas () 6 horas () 8 horas () 10 horas () más de 12 horas ()

- **¿Fuma o existe algún fumador dentro del hogar?**

Si () No ()

- **¿Existe alguna persona que tenga o haya tenido cáncer en su hogar?**

Si () No ()

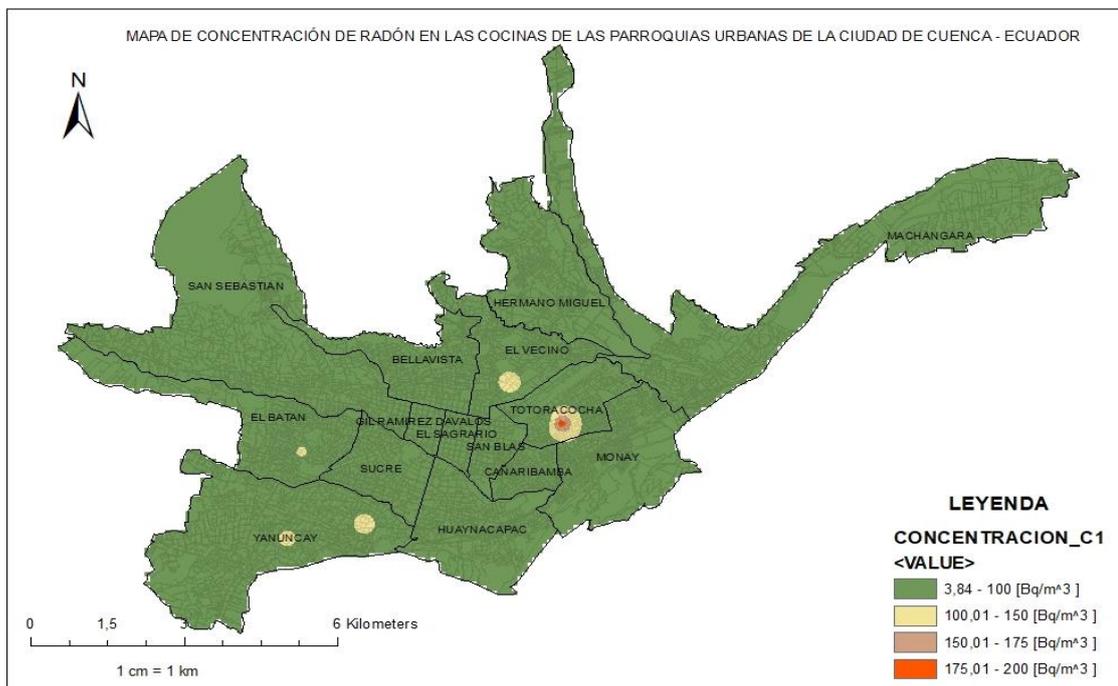
- **¿Qué tipo de cáncer padecía?**

Pulmón () Seno () Estomago () Leucemia () Otros ()

MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN

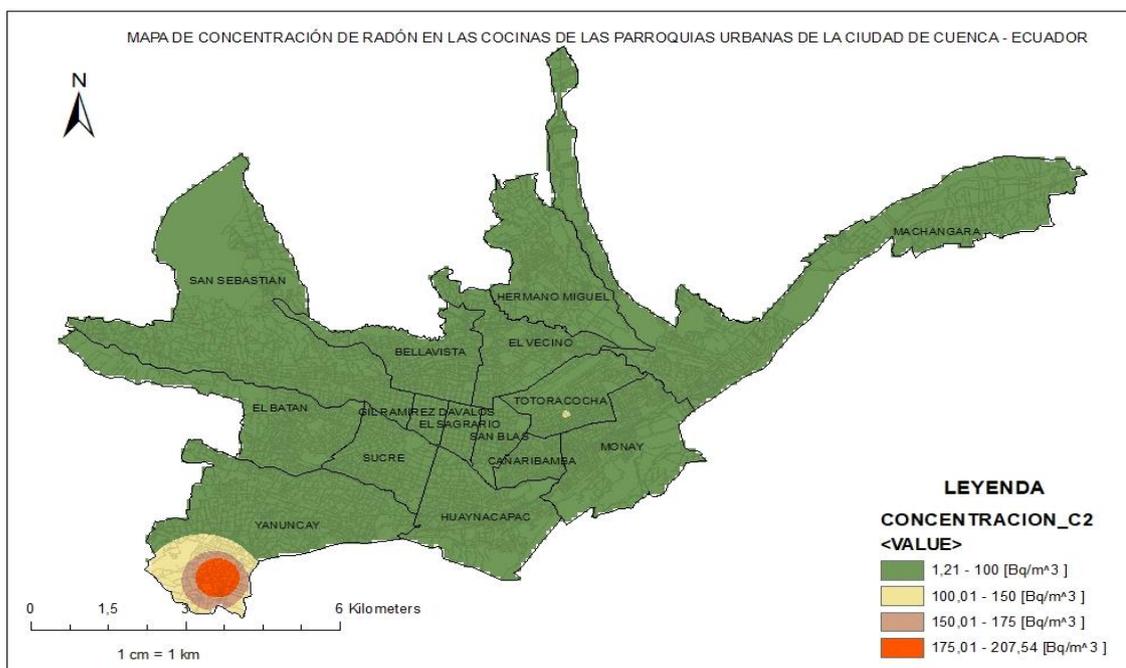
6.2. MAPAS DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN LAS COCINAS

Figura 21. Mapa de concentración de radón en las cocinas, primer muestreo



FUENTE: El Autor

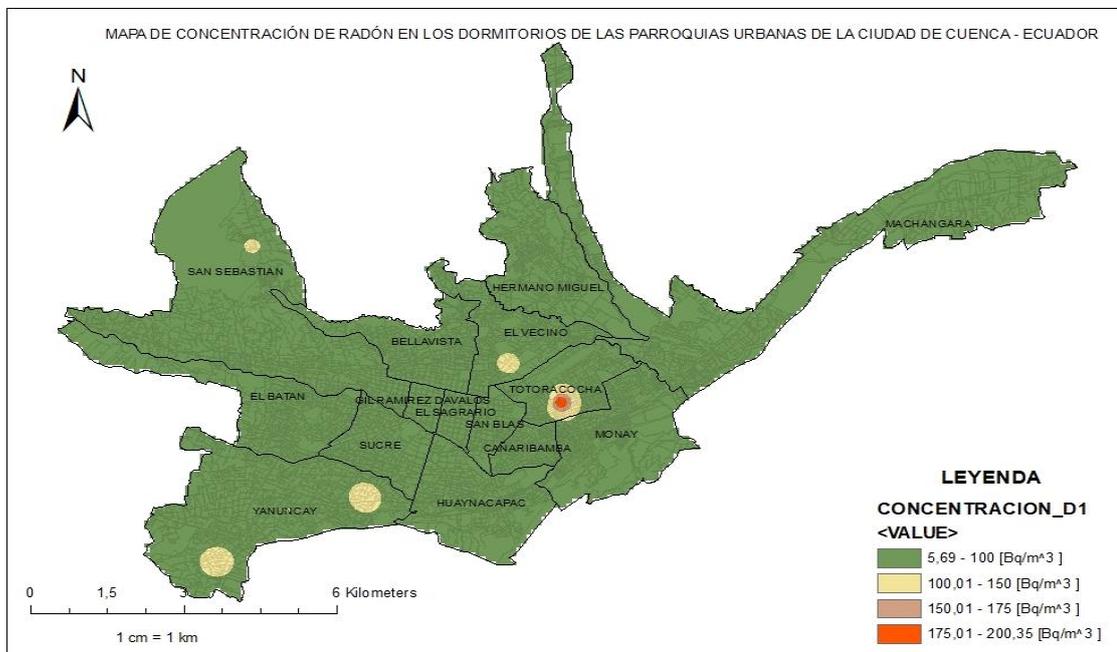
Figura 22. Mapa de concentración de radón en las cocinas, segundo muestreo



FUENTE: El Autor

6.3. MAPAS DE CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN LOS DORMITORIOS

Figura 23. Mapa de concentración de radón en los dormitorios, primer muestreo



FUENTE: El Autor

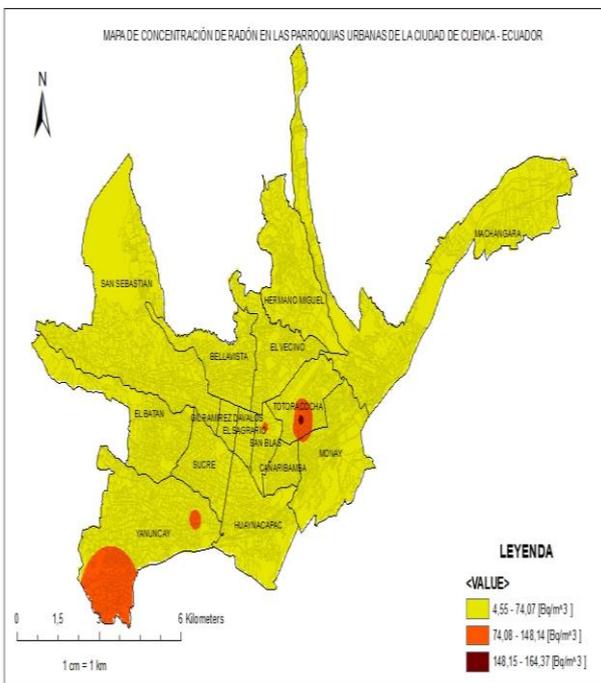
Figura 14. Mapa de concentración de radón en los dormitorios, segundo muestreo



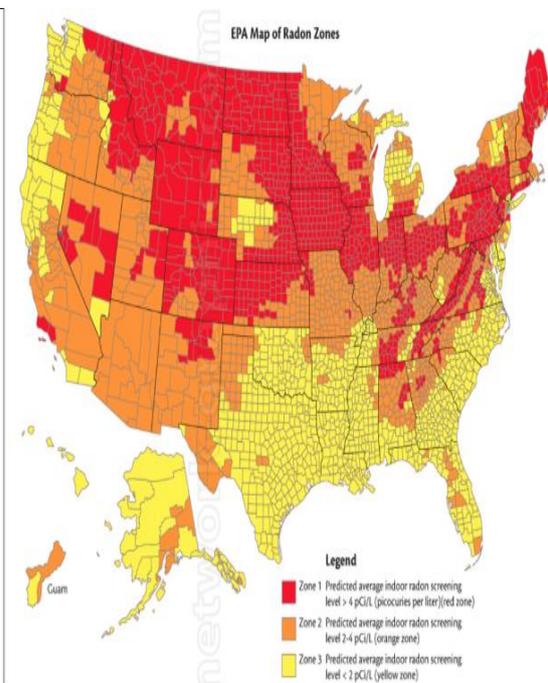
FUENTE: El Autor

6.4.COMPARACIÓN ENTRE LOS MAPAS ELABORADOS EN EL PRESENTE TRABAJO Y OTROS ELABORADOS EN DIFERENTES PAÍSES

Figura 25. Comparación entre el mapa radiológico elaborado en el presente trabajo y el de EEUU

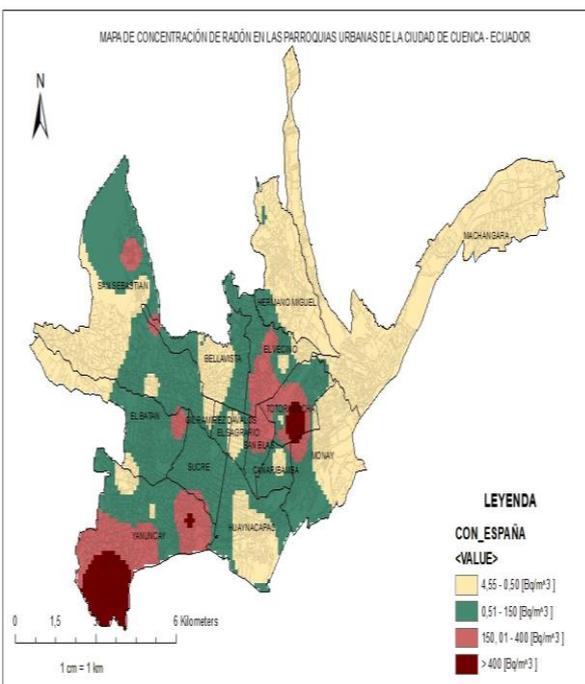


Fuente: El Autor

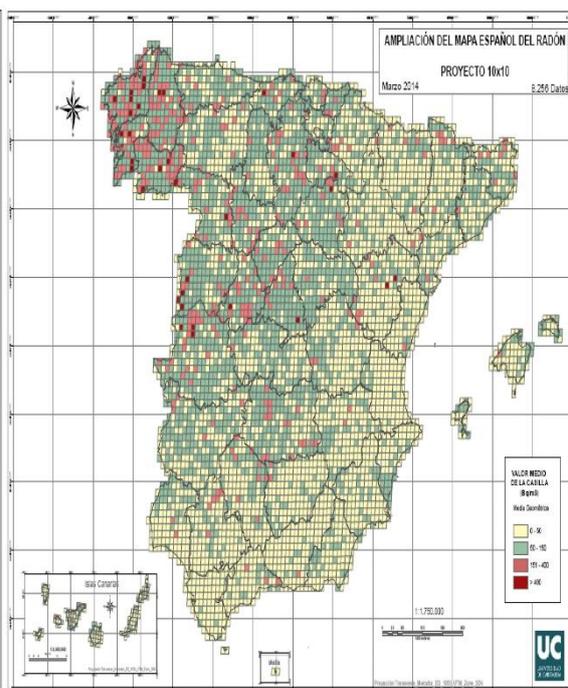


Fuente: (EPA U. S., 2015)

Figura 26. Comparación entre EL mapa radiológico elaborado en el presente trabajo y el de España



Fuente : El Autor



Fuente: (CSNE, 2014.)

6.5. DENSIDAD DE TRAZAS

PARROQUIA	DENSIDAD DE TRAZAS (Trazas/cm2)			
	COCINA 1	DORMITORIO 1	COCINA 2	DORMITORIO 2
GIL RAMIREZ DAVALOS	46	46	25	24
EL SAGRARIO	22	21	12	4
SAN BLAS	65	88	16	52
CAÑARIBAMBA	28	37	10	36
CAÑARIBAMBA	9	16	12	13
HUAYNACAPAC	20	33	21	21
HUAYNACAPAC	27	21	13	6
HERMANO MIGUEL	33	21	10	16
HERMANO MIGUEL	14	23	24	14
SUCRE	53	30	51	34
SUCRE	49	72	0	0
EL BATAN	44	77	12	25
EL BATAN	35	33	24	52
EL BATAN	95	79	0	0
MONAY	21	30	3	12
MONAY	16	5	22	3
MONAY	46	16	18	10
BELLAVISTA	76	86	4	7
BELLAVISTA	21	6	13	7
BELLAVISTA	30	60	9	27
TOTORACOCHA	33	28	3	13
TOTORACOCHA	169	181	98	116
TOTORACOCHA	36	63	1	6
EL VECINO	116	114	4	12
EL VECINO	3	5	12	21
EL VECINO	18	12	61	28
EL VECINO	35	28	23	40
EL VECINO	26	35	41	70
MACHANGARA	16	22	22	6
MACHANGARA	26	15	19	20
MACHANGARA	16	23	17	31
MACHANGARA	30	12	4	15
YANUNCAY	28	14	13	22
YANUNCAY	104	92	40	22
YANUNCAY	23	26	22	30
YANUNCAY	100	111	54	37
YANUNCAY	18	42	7	9
YANUNCAY	53	95	187	116
SAN SEBASTIAN	19	33	56	16
SAN SEBASTIAN	15	12	9	7
SAN SEBASTIAN	21	14	13	24
SAN SEBASTIAN	33	39	19	7
SAN SEBASTIAN	57	95	12	6
SAN SEBASTIAN	19	14	1	22
SAN SEBASTIAN	51	32	24	7

6.6. CÁLCULOS DE DOSIMETRÍA

PARROQUIA	DOSIS ANUAL ABSORVIDA				DOSIS ANUAL EQUIVALENTE				DOSIS ANUAL EFECTIVA			
	COCINA 1	DORMITORIO 1	COCINA 2	DORMITORIO 2	COCINA 1	DORMITORIO 1	COCINA 2	DORMITORIO 2	COCINA 1	DORMITORIO 1	COCINA 2	DORMITORIO 2
GIL RAMIREZ DAVALOS	0,64	0,64	0,35	0,34	12,89	12,89	7,01	6,73	1,55	1,55	0,84	0,81
EL SAGRARIO	0,31	0,29	0,17	0,06	6,17	5,89	3,36	1,12	0,74	0,71	0,40	0,13
SAN BLAS	0,91	1,23	0,22	0,73	18,22	24,67	4,49	14,58	2,19	2,96	0,54	1,75
CAÑARIBAMBA	0,39	0,52	0,14	0,50	7,85	10,37	2,80	10,09	0,94	1,24	0,34	1,21
CAÑARIBAMBA	0,13	0,22	0,17	0,18	2,52	4,49	3,36	3,64	0,30	0,54	0,40	0,44
HUAYNACAPAC	0,28	0,46	0,29	0,29	5,61	9,25	5,89	5,89	0,67	1,11	0,71	0,71
HUAYNACAPAC	0,38	0,29	0,18	0,08	7,57	5,89	3,64	1,68	0,91	0,71	0,44	0,20
HERMANO MIGUEL	0,46	0,29	0,14	0,22	9,25	5,89	2,80	4,49	1,11	0,71	0,34	0,54
HERMANO MIGUEL	0,20	0,32	0,34	0,20	3,92	6,45	6,73	3,92	0,47	0,77	0,81	0,47
SUCRE	0,74	0,42	0,71	0,48	14,86	8,41	14,30	9,53	1,78	1,01	1,72	1,14
SUCRE	0,69	1,01	0,00	0,00	13,74	20,18	0,00	0,00	1,65	2,42	0,00	0,00
EL BATAN	0,62	1,08	0,17	0,35	12,33	21,58	3,36	7,01	1,48	2,59	0,40	0,84
EL BATAN	0,49	0,46	0,34	0,73	9,81	9,25	6,73	14,58	1,18	1,11	0,81	1,75
EL BATAN	1,33	1,11	0,00	0,00	26,63	22,15	0,00	0,00	3,20	2,66	0,00	0,00
MONAY	0,29	0,42	0,04	0,17	5,89	8,41	0,84	3,36	0,71	1,01	0,10	0,40
MONAY	0,22	0,07	0,31	0,04	4,49	1,40	6,17	0,84	0,54	0,17	0,74	0,10
MONAY	0,64	0,22	0,25	0,14	12,89	4,49	5,05	2,80	1,55	0,54	0,61	0,34
BELLAVISTA	1,07	1,21	0,06	0,10	21,30	24,11	1,12	1,96	2,56	2,89	0,13	0,24
BELLAVISTA	0,29	0,08	0,18	0,10	5,89	1,68	3,64	1,96	0,71	0,20	0,44	0,24
BELLAVISTA	0,42	0,84	0,13	0,38	8,41	16,82	2,52	7,57	1,01	2,02	0,30	0,91
TOTORACOCHA	0,46	0,39	0,04	0,18	9,25	7,85	0,84	3,64	1,11	0,94	0,10	0,44
TOTORACOCHA	2,37	2,54	1,37	1,63	47,37	50,74	27,47	32,52	5,68	6,09	3,30	3,90
TOTORACOCHA	0,50	0,88	0,01	0,08	10,09	17,66	0,28	1,68	1,21	2,12	0,03	0,20
EL VECINO	1,63	1,60	0,06	0,17	32,52	31,96	1,12	3,36	3,90	3,83	0,13	0,40
EL VECINO	0,04	0,07	0,17	0,29	0,84	1,40	3,36	5,89	0,10	0,17	0,40	0,71
EL VECINO	0,25	0,17	0,85	0,39	5,05	3,36	17,10	7,85	0,61	0,40	2,05	0,94
EL VECINO	0,49	0,39	0,32	0,56	9,81	7,85	6,45	11,21	1,18	0,94	0,77	1,35
EL VECINO	0,36	0,49	0,57	0,98	7,29	9,81	11,49	19,62	0,87	1,18	1,38	2,35
MACHANGARA	0,22	0,31	0,31	0,08	4,49	6,17	6,17	1,68	0,54	0,74	0,74	0,20
MACHANGARA	0,36	0,21	0,27	0,28	7,29	4,20	5,33	5,61	0,87	0,50	0,64	0,67
MACHANGARA	0,22	0,32	0,24	0,43	4,49	6,45	4,77	8,69	0,54	0,77	0,57	1,04
MACHANGARA	0,42	0,17	0,06	0,21	8,41	3,36	1,12	4,20	1,01	0,40	0,13	0,50
YANUNCAY	0,39	0,20	0,18	0,31	7,85	3,92	3,64	6,17	0,94	0,47	0,44	0,74
YANUNCAY	1,46	1,29	0,56	0,31	29,15	25,79	11,21	6,17	3,50	3,09	1,35	0,74
YANUNCAY	0,32	0,36	0,31	0,42	6,45	7,29	6,17	8,41	0,77	0,87	0,74	1,01
YANUNCAY	1,40	1,56	0,76	0,52	28,03	31,12	15,14	10,37	3,36	3,73	1,82	1,24
YANUNCAY	0,25	0,59	0,10	0,13	5,05	11,77	1,96	2,52	0,61	1,41	0,24	0,30
YANUNCAY	0,74	1,33	2,62	1,63	14,86	26,63	52,42	32,52	1,78	3,20	6,29	3,90
SAN SEBASTIAN	0,27	0,46	0,78	0,22	5,33	9,25	15,70	4,49	0,64	1,11	1,88	0,54
SAN SEBASTIAN	0,21	0,17	0,13	0,10	4,20	3,36	2,52	1,96	0,50	0,40	0,30	0,24
SAN SEBASTIAN	0,29	0,20	0,18	0,34	5,89	3,92	3,64	6,73	0,71	0,47	0,44	0,81
SAN SEBASTIAN	0,46	0,55	0,27	0,10	9,25	10,93	5,33	1,96	1,11	1,31	0,64	0,24
SAN SEBASTIAN	0,80	1,33	0,17	0,08	15,98	26,63	3,36	1,68	1,92	3,20	0,40	0,20
SAN SEBASTIAN	0,27	0,20	0,01	0,31	5,33	3,92	0,28	6,17	0,64	0,47	0,03	0,74
SAN SEBASTIAN	0,71	0,45	0,34	0,10	14,30	8,97	6,73	1,96	1,72	1,08	0,81	0,24