



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

**POSGRADO EN GEOCIENCIAS APLICADAS**

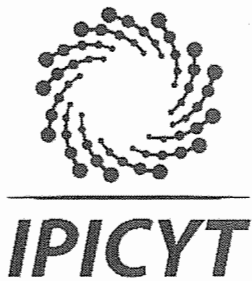
**Distribución Espacio-Temporal de Radón en  
Interiores Urbanos de San Luis Potosí**

Tesis que presenta  
**Felipe Aguilera Gaspar**

Para obtener el grado de  
**Maestro en Geociencias Aplicadas**

**Director de la Tesis:**  
**Dr. José Alfredo Ramos Leal**

San Luis Potosí, S.L.P., Julio de 2018



## Constancia de aprobación de la tesis

La tesis "***Distribución Espacio-Temporal de Radón en Interiores Urbanos de San Luis Potosí***" presentada para obtener el Grado de Maestro en Geociencias Aplicadas, fue elaborada por **Felipe Aguilera Gaspar** y aprobada el seis de julio del dos mil dieciocho por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

**Dr. José Alfredo Ramos Leal**  
Director de la tesis

**Dr. José Noel Carbajal Pérez**  
Miembro del Comité Tutorial

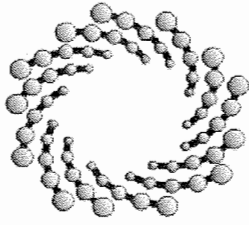
**Dr. Vsevolod Yutis**  
Miembro del Comité Tutorial



## **Créditos Institucionales**

Esta tesis fue elaborada en la División de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección del Dr. José Alfredo Ramos Leal.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 597447 y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.



**IPICYT**

# Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

## Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 035 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Geociencias Aplicadas está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 6 días del mes de julio del año 2018, se reunió a las 11:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

<b>Dr. Vsevolod Yutsis _</b>	<b>Presidente</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dr. José Alfredo Ramos Leal</b>	<b>Secretario</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dr. José Noel Carbajal Pérez</b>	<b>Sinodal</b>	<b>IPICYT</b>
<b>Dr. Sanjeet Kumar Verma _</b>	<b>Sinodal</b>	<b>IPICYT</b>

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN GEOCIENCIAS APLICADAS**

sustentó el C.

**Felipe Aguilera Gaspar**

sobre la Tesis intitulada:

*Distribución Espacio-Temporal de Radón en Interiores Urbanos de San Luis Potosí*

que se desarrolló bajo la dirección de

**Dr. José Alfredo Ramos Leal**

El Jurado, después de deliberar, determinó

**APROBARLO**

Dándose por terminado el acto a las 12:15 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición del interesado y para los fines que al mismo convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 6 días del mes de julio de 2018.

**Mtra. Ivonne Lizette Cuevas Vélez**  
Jefa del Departamento del Posgrado

**Dr. Horacio Flores Zúñiga**  
Secretario Académico



**A mis padres Felipe y Yula**  
**Por su amor y motivación que siempre me**  
**brindaron a lo largo de esta travesía.**

## **Agradecimientos**

A mi familia, padres y hermano que siempre me apoyaron en las decisiones que tome a lo largo de este proyecto, por su cariño y consejos que me brindan siempre.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) y el personal que me oriento y apoyo durante todo este proceso de formación académica.

Al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada.

Al Dr. Alfredo, por su gran apoyo, orientación y dirección que me brindo en el proceso de la realización de este trabajo.

Al Dr. Carbajal, Dr. Yutsis y Dr. Sanjeet por su asesoría y consejos que ayudaron al desarrollo final de esta investigación en tiempo y forma.

A mis compañeros del IPICYT que de alguna u otra forma con su asesoría contribuyeron a enriquecer este trabajo de tesis.

# INDICE GENERAL

<b>Director de la Tesis:</b> .....	1
<b>Dr. José Alfredo Ramos Leal</b> .....	1
San Luis Potosí, S.L.P., Julio de 2018.....	1
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	IX
CAPITULO 1: INTRODUCCION.....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	6
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Objetivo general.....	7
1.5 Área de estudio .....	7
1.6 Geología .....	9
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO .....	12
2.1 Radiactividad .....	12
2.2 Mitigación.....	13
CAPITULO 3: METODOLOGÍA .....	19
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	26
4.1 Distribución espacial .....	26
4.2 Distribución temporal .....	27
4.3 Eventos sísmicos de septiembre de 2017 .....	33
4.4 Potencial radiactivo.....	35
CAPITULO 5: CONCLUSIONES .....	40
BIBLIOGRAFIA.....	42
ANEXOS .....	46

## RESUMEN

El Radón es un gas noble el cual no reacciona con ningún otro elemento y es de origen natural, se encuentra en el suelo, rocas y en el agua, el cual asciende a través del basamento por fallas o fracturas hasta llegar al aire que respiramos. Es incoloro, inodoro e insípido y procede de la desintegración radiactiva del Uranio 238. Es importante mencionar que la unidad de medida del radón es en  $Bq/m^3$ , es decir, el número de desintegraciones que se producen en 1 segundo en un metro cubico. La presente investigación expone los resultados obtenidos después de haber realizado un muestreo en interiores urbanos de 50 puntos seleccionados al azar dentro de la “Zona Urbana de San Luis Potosí” (ZUSLP) y 29 muestreos en subsuelo correspondientes a áreas cercanas (patio, calle, jardín, etc.) de algunos muestreos realizados en interiores, durante el periodo de febrero a octubre de 2017. Los puntos muestreados fueron realizados en interiores de casas, escuelas y lugares de trabajo, así como en subsuelo. En base a las concentraciones obtenidas en los 50 muestreos, se concluye que: Las concentraciones altas de radón 222 en interiores dentro de la ZUSLP, dependen principalmente al tipo de estructura de la edificación, ventilación y material de construcción. Sin embargo, el tipo de subsuelo del cual está constituida la ZUSLP, aluvión, coluvión, material de relleno, etc., no es un factor importante que determine concentraciones altas en interiores para este estudio. Con estos datos se creó el “Mapa de riesgo por radiactividad de radón en interiores urbanos de San Luis Potosí”. Comienza con una revisión estadística que permite ver el grado de cumplimiento de los niveles de radón con respecto al límite permisible, en base a la recomendación realizada



por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, la cual establece un máximo permisible de 148 Bq/m<sup>3</sup> de promedio anual. La investigación se encuentra estructurada en 5 capítulos. Dichos capítulos comienzan con una breve introducción sobre que es el radón, cuáles son sus características de transportación y que es lo que lo hace dañino para la salud. Después se desarrollará el tema para la explicación de las características del subsuelo y el porqué de algunas zonas con mayores niveles de concentración en la zona urbana de San Luis Potosí. Esto para poder tomar medidas preventivas en las zonas que el radón se encuentre encima de los límites permisibles y evitar daños a la salud de la población.

## ABSTRACT

The radón is a noble gas which does not react with any other element and it is of natural origin, it is found in soil, rocks and water, which rises through the basement to faults or fractures until reaching the air we breathe. It is colorless, odorless and insipid and comes from the radioactive decay of Uranium 238. It is important to mention that the radon unit of measurement is  $\text{Bq/m}^3$ , that is, the number of disintegrations that occur in 1 second in a cubic meter. The present investigation exposes the results obtained after having made a sample in urban interiors of 50 randomly selected points within the "Urban Zone of San Luis Potosí" (ZUSLP) and 29 subsoil samples corresponding to nearby areas (yard, street, garden, etc.) of some samples taken indoors, during the period from February to October 2017. The sampled points were made inside homes, schools and workplaces, as well as in the subsoil. Based on the concentrations obtained in the 50 samplings, it is concluded that: The high concentrations of radon 222 in interiors inside the ZUSLP, depend mainly on the type of structure of the building, ventilation and construction material. However, the type of subsoil of which the ZUSLP, alluvium, colluvium, filling material is constituted, etc., is not an important factor that determines high indoor concentrations for this study. With these data, the "Radon risk map of radón in urban interiors of San Luis Potosí" was created. Begins with a statistical review that allows to see the degree of compliance of the radon levels with respect to the permissible limit, based on the recommendation made by the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States, which establishes an allowable maximum of  $148 \text{ Bq/m}^3$  annual average. The investigation is structured

in 5 chapters. These chapters begin with a brief introduction about what radon is, what are its transportation characteristics and what makes it harmful to health. Later the subject will be developed for the explanation of the characteristics of the subsoil and the reason of some areas with higher levels of concentration in the urban area of San Luis Potosí. This is to be able to take preventive measures in areas where radon is above the permissible limits and avoid damage to the health of the population.

# CAPITULO 1: INTRODUCCION

## 1.1 Generalidades

El Radón es un gas incoloro, inodoro e insípido y es de origen natural, procede del uranio 238 que contienen las rocas de la corteza terrestre y en el agua, el cual asciende a través del basamento por fallas o fracturas; al emanar del subsuelo, el radón se acumula en interiores de lugares cerrados (casas y lugares de trabajo) hasta llegar al aire que respiramos (**Fig. 1**). Se sabe por estudios ambientales y médicos que el radón pueden ser un riesgo a la salud, principalmente como una causa de cáncer pulmonar. Se cree que el radón y sus productos de decaimiento (Polonio, Bismuto y Plomo) son la causa del 5% del cáncer de pulmón en el Reino Unido, evaluación realizada por el Consejo Nacional de Protección Radiológica, National Radiological Protection Board (NRPB) por sus siglas en inglés (**Bowie & Bowie, 1991**).

El radón se puede filtrar desde el basamento hasta el interior de un edificio a través de la misma estructura de la edificación como: pequeñas fracturas en bardas, tuberías de agua, cimientos, entre otros (**Otton, 1992**), como se observa en la siguiente figura.

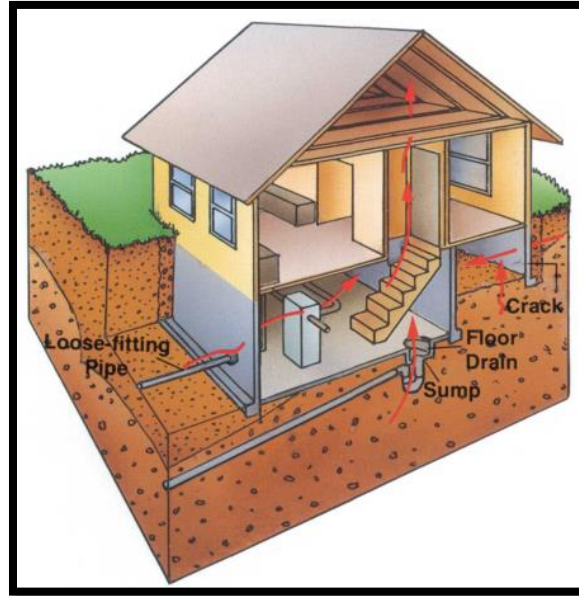


Figura 1.- Mecanismos de entrada del radón en interiores.

Así mismo, el radón  $^{222}\text{Rn}$  tiene una vida media de 3.8 días y es más denso que el aire, por ello su concentración es más alta en pisos bajos y en sótanos (**Ruano et al., 2014**). Debido a que los niveles de radón varían de un lugar a otro y a que los interiores de los diferentes edificios difieren en su vulnerabilidad al radón, es importante realizar el monitoreo en diferentes áreas de la zona urbana de San Luis Potosí, ya que como menciona Otton; “Algunas casas en áreas con mucho uranio en el suelo tienen bajos niveles de radón en interiores y otras casas en suelos pobres de uranio tienen altos niveles de radón en interiores”, debido a que algunos tipos de rocas contienen más uranio que el promedio (1-100ppm); estas incluyen las rocas volcánicas de color claro como lo son: granitos, lutitas oscuras, rocas sedimentarias que contienen fosfato y rocas metamórficas derivadas de estas rocas; mientras que el promedio contiene 1 a 3 partes por millón (**Otton, 1992**).

Existen diferentes características que aumentan o disminuyen la vulnerabilidad al paso del radón en las diferentes edificaciones como lo son: la geología de la localidad, temperatura, humedad, presión atmosférica y las condiciones del viento en la superficie; además del tipo de estructura de la edificación, ventilación y material de construcción **(Bowie & Bowie, 1991)**. Cabe mencionar que, hasta fines de 1970, la radiación del radón y sus productos de decaimiento se consideraban un peligro para la salud que solo se presentaba en la extracción y tratamiento del uranio; este concepto cambio al detectarse en muchas partes del mundo niveles generalizados de radón en interiores. Un ejemplo ocurre en viviendas de países con regiones templadas, ya que, al mantener puertas y ventanas cerradas herméticamente, ocurre un aumento de las concentraciones de radón en sus interiores.

En base a lo mencionado anteriormente, las evaluaciones realizadas por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), el radón presente en el medio ambiente constituye alrededor del 53% de la exposición del hombre a la radiación natural **(Ahmed, 1994)**.

Las altas concentraciones del radón-222 en el subsuelo pueden ser acumulados en interiores de casas y lugares de trabajo poco ventilados, sobre todo en lugares cercanos a fallas o fracturas, debido a que las concentraciones altas de radón son asociadas a estos lugares; Ya que la ruptura de la roca genera mayor permeabilidad y una mejor distribución del gas desde el basamento. Teniendo en cuenta que el radón no se puede oler o percibir, es importante llevar a cabo el

monitoreo de concentraciones de radón en los interiores de hogares, escuelas y lugares de trabajo en la zona urbana de San Luis Potosí, debido a que no se cuentan con estudio previos realizados en interiores.

Cabe destacar que la radiación natural en materiales de construcción contribuye a la exposición radiactiva de dos maneras:

- Radiación externa, que proviene de la radiación gamma ( $\gamma$ ) de las series de decaimiento Uranio ( $^{238}\text{U}$ ) y Torio ( $^{232}\text{Th}$ ), y del Potasio ( $^{40}\text{K}$ ).
- Radiación interna (interiores), debida a la inhalación del radón, lo que lleva a la deposición de sus productos de decaimiento en el tracto respiratorio.

Con referencia a lo anterior (**Ngachin et al., 2007**) comentan que, el conocimiento de esta radiactividad es útil para establecer los estándares y normativas nacionales de construcción en base a las recomendaciones internacionales, es decir, para evaluar el riesgo de radiación asociado por la ingesta del radón.

Por ejemplo, algunas de las características físicas del radón es su alta solubilidad en agua y su estado gaseoso le confiere una gran capacidad para poder desplazarse a través del basamento por grietas, fracturas o fallas. Es debido a estas características que el radón se puede encontrar en todas partes de la corteza terrestre ya sea en mayores o menores concentraciones de un territorio a otro, ya que cada territorio de la corteza está hecho en diferentes proporciones de diferentes materiales de relleno, rocas o minerales; pero en todos esos componentes existe cierto contenido de uranio.

En cuanto a la radiactividad, los seres vivos están expuestos a 2 tipos de radiación ionizante:

1. Radiación natural. - originada por la radiación cósmica y de la corteza terrestre, materiales radiactivos que existen en el organismo y alimentos (carbono 14 y potasio 40).
2. Radiación artificial. – plantas nucleares y actividades médicas. (**Pascual, n.d.**)

Por otra parte, en la figura 2, se observa el decaimiento del uranio, el cual pasa de encontrarse en un estado sólido al gaseoso, para terminar en estado sólido nuevamente al final de todo su proceso de desintegración. Se observa el periodo que tiene la cadena de desintegración del Uranio-238, donde pasa por un proceso de decaimiento (desintegración) de uranio a radio y posteriormente a radón; continuando con el polonio y terminando en el plomo, el cual es un elemento estable e inocuo (**Juango, 2017**).



Figura 2.- Ciclo de desintegración del uranio-238.



Es importante mencionar que los humanos al respirar el gas radón, este tarda aproximadamente 3.8 días en decaer hasta elementos sólidos los cuales nunca vuelven a salir de nuestros pulmones y que, a su vez, al estar teniendo una ingesta prolongada de altos niveles de concentración de radón por encima de la permitida ( $150 \text{ Bq/m}^3$ ) a lo largo de 1 año, el cuerpo humano tiende a generar cáncer pulmonar por todas las pequeñas radiaciones emitidas en cada desintegración que pasa el radón a sus siguientes progenitores.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la ciudad de San Luis Potosí no existen estudios previos de mediciones del radón en interiores. Debido a que el radón no se puede oler o percibir, es importante realizar mediciones de las concentraciones del radón en interiores de casas y lugares de trabajo de la Zona Urbana de San Luis Potosí (ZUSLP); ya que el principal riesgo que existe es por la ingesta prolongada de este gas, la exposición residencial al radón es el segundo factor de riesgo de contraer cáncer pulmonar en fumadores y el primer factor de riesgo en nunca fumadores, siendo el causante de miles de muertes al año en todo el mundo **(Torres-Durán et al., 2014)**.

Es importante mencionar que García en 2015, reporta valores muy altos por encima de los  $2500 \text{ Bq/m}^3$  en el subsuelo de la ZUSLP. Siendo que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), considera un nivel de acción de  $148 \text{ Bq/m}^3$  (máximo permisible) en interiores, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reducido el nivel de acción a  $100 \text{ Bq/m}^3$  **(Ruano-Raviña et al., 2014)**.

### **1.3 Hipótesis**

Las altas concentraciones de radón-222 en el subsuelo pueden ser acumulados en interiores de casas y lugares de trabajo poco ventilados, sobre todo en lugares cercanos a fallas o fracturas, debido a que las concentraciones altas de radón son asociados a estos lugares; Ya que la ruptura de la roca genera mayor permeabilidad y una mejor distribución del gas desde el basamento.

### **1.4 Objetivo general**

Debido a que no existen estudios previos en el monitoreo de radón-222 en interiores de San Luis Potosí, es necesario realizar una evaluación espacial y temporal de las concentraciones de radón-222 en interiores de la zona urbana de San Luis Potosí; Permitiendo así, la elaboración de un mapa de radiación natural por niveles de radón en interiores de la zona urbana de San Luis Potosí.

### **1.5 Área de estudio**

El área de estudio se localiza en el municipio de San Luis Potosí, la cual se encuentra enmarcada dentro de las coordenadas geográficas 22.10° a 22.21° de latitud norte y 101.05° a 100.89° de longitud oeste, con 1870 msnm. aproximadamente. La zona de interés con aproximadamente 156 km<sup>2</sup> está delimitada por los siguientes rasgos orográficos: ubicada sobre la provincia de la Mesa Central, al oriente por la Sierra de Álvarez, al poniente por la Sierra de San Miguelito y al sur por el Eje Neovolcánico (**Figura 3**).

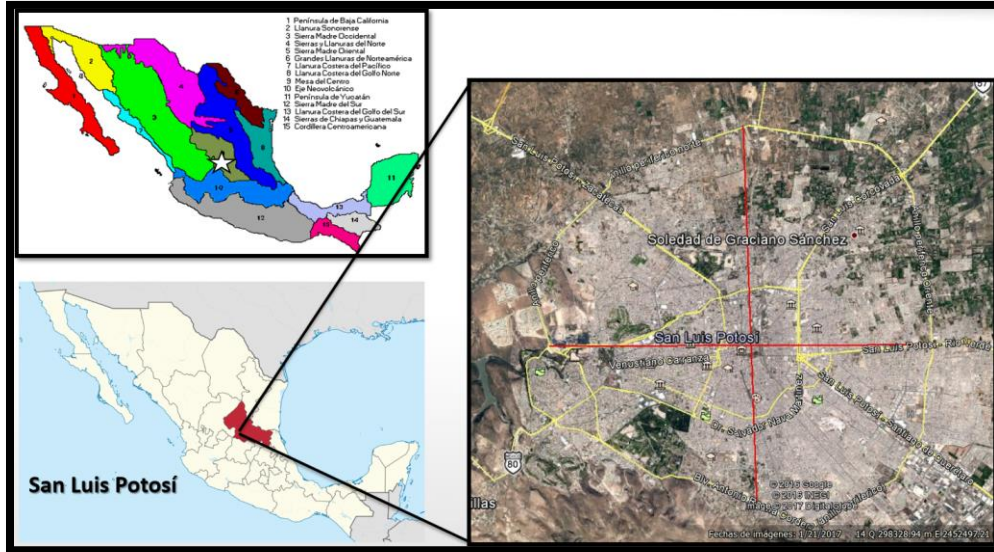


Figura 3.- Ubicación del área de estudio, dentro de la zona urbana de San Luis Potosí. Imagen obtenida y modificada del INEGI<sup>1</sup> y Google Earth.

El área de estudio se encuentra ubicado dentro de la zona de la Mesa Central (MC), localizada en la parte centro-norte de México, siendo una región semidesértica donde el principal objetivo de estudios realizados en esta zona es para localizar y explorar yacimientos minerales como lo son el oro y plata. Así mismo, esta provincia fisiográfica se caracteriza por ser una región elevada en donde internamente se divide en 2 regiones. La región sur tiene cotas las cuales se encuentran por encima de los 2000 msnm, exceptuando el valle de Aguascalientes, la cual es una zona montañosa cubierta principalmente por rocas volcánicas cenozoicas. Mientras que la parte norte de mayor extensión muestra más erosión que la región sur; presentando grandes cuencas continentales rellenas de sedimentos aluviales y lacustres; mostrando cotas por debajo de los 2000 msnm (Nieto-Samaniego et al., 2005).

<sup>1</sup> <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=24>

## 1.6 Geología

Las cartas geológicas que le corresponden a SLP son: carta F14A83 hacia el lado poniente del municipio; y la carta F14A84 hacia el oriente del municipio. Las cartas hechas por el Servicio Geológico Mexicano<sup>2</sup> nos presentan que el municipio de San Luis Potosí en gran mayoría está compuesto por material de relleno como lo es el aluvión, coluvión y arenas; mientras que en las partes del oriente y poniente encontramos roca de origen volcánico en la superficie de la corteza terrestre. Esto no quiere decir que en el basamento del municipio no encontremos rocas volcánicas; cómo podemos observar en la siguiente imagen:

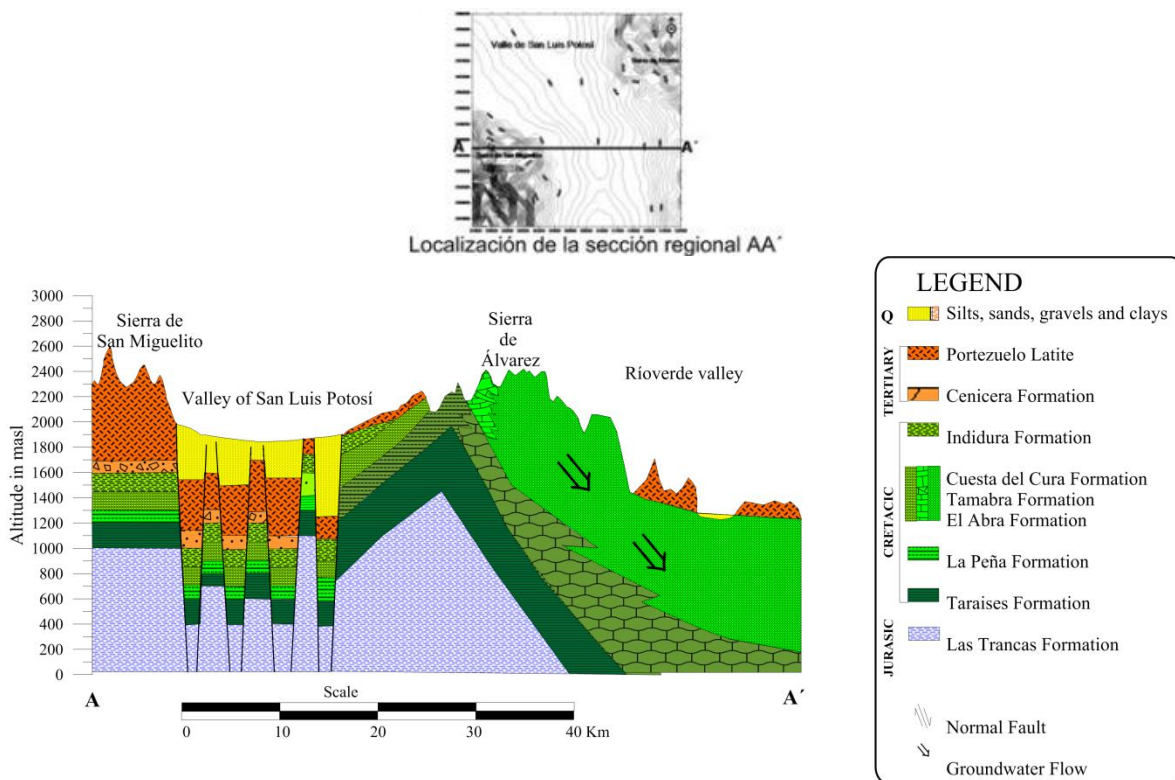


Figura 4.- Columna estratigráfica del Valle de San Luis Potosí (VSLP). Imagen modificada de (Ramos et al., 2009).

<sup>2</sup> [http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas\\_Ed50.jsp](http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed50.jsp)

Como se puede observar en la **figura 4**, se trazó una sección geológica que abarca de oeste a este, pasando a través de la Sierra de San Miguelito, Valle de San Luis Potosí, Sierra de Álvarez y finalmente el Valle de Rio Verde. En la figura se observa la distribución de unidades carbonatadas en el graben del VSLP y en la región del este se encuentran rocas con mejores características hidráulicas. Se observan fallas normales las cuales forman fosas y pilares dentro del valle; a partir de los estratos de las formaciones Indidura y Cuesta del Cura, se localizan formaciones como la Peña, Taraises y Trancas, las cuales tienen la característica en común de ser material arcilloso, por lo tanto, baja permeabilidad.

Complementando lo anterior mencionado, se realizó la digitalización del territorio geológico de San Luis Potosí en el programa ARCGIS, utilizando las dos cartas geológicas del SGM F14A83 Y F14A84 mostrando algunos puntos representativos de la ZURSLP, como se muestra en la siguiente imagen:

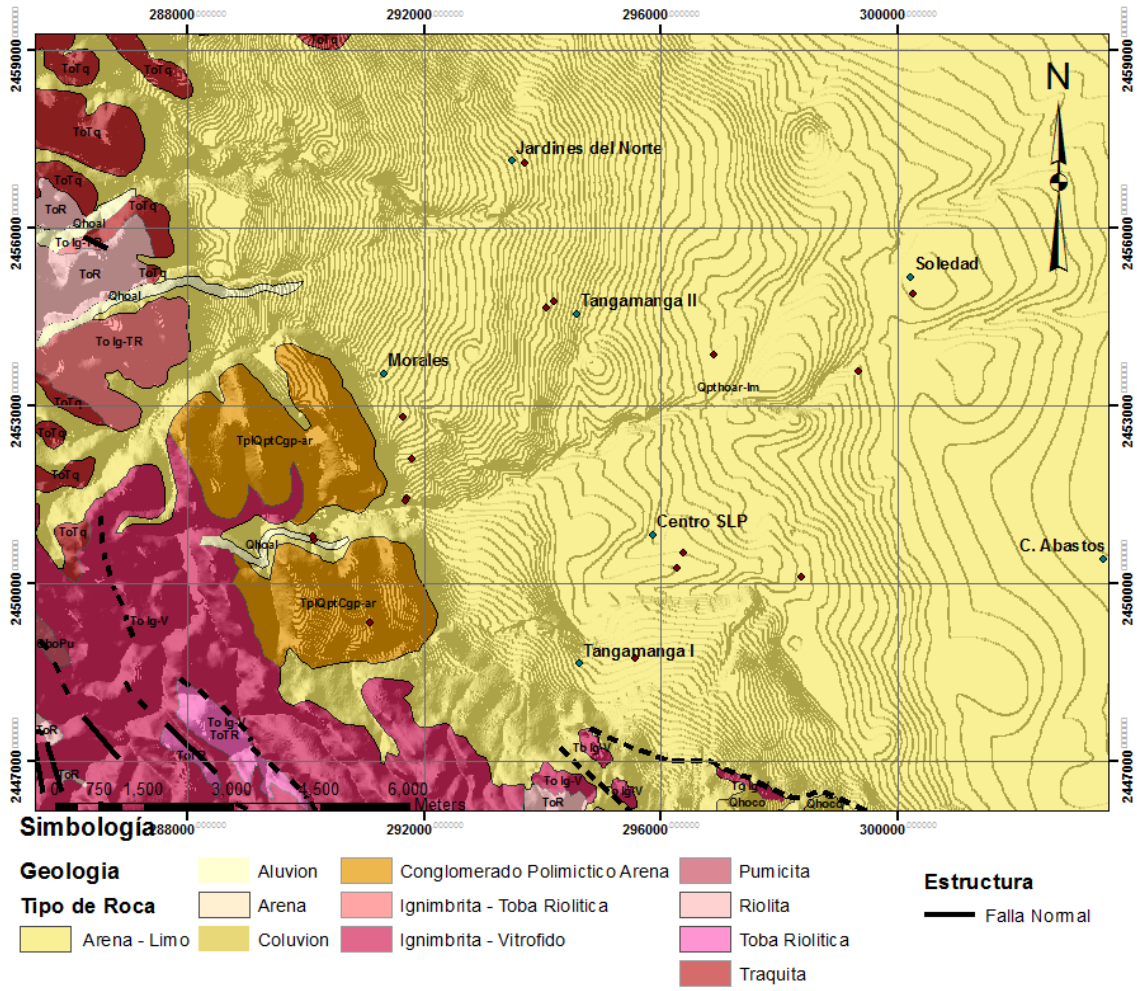


Figura 5.- Territorio Geológico de la Zona Urbana de San Luis Potosí.

## CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Radiactividad

La radiactividad juega un papel importante de mencionar ya que es el causante de las alteraciones en tejido pulmonar asociadas a la generación de cáncer pulmonar. Es por esto la importancia de mencionar estudios previos que se han realizado con respecto a la investigación y monitoreo de los efectos adversos del radón en interiores.

Por ejemplo, en un estudio realizado en la compañía minera de uranio "Wismut" al este de Alemania, donde su total de empleados fue de 58,982 hombres que trabajaron al menos 6 meses dentro de los años 1946 a 1989. Los análisis que se realizaron para ese estudio fueron realizados con mineros que trabajaron del 1 de enero de 1960 al 31 de diciembre del 2008. Dentro de este estudio se menciona que de los 26,766 mineros muestreados 22,357 (83.5%) siguen vivos, 3,820 (14.3%) fallecidos y 589 (2.2%) sin seguimiento; de los mineros examinados el 23% fueron no fumadores, 19%, fumadores ligeros y 58% moderados/grandes fumadores. Donde los resultados correspondientes de los mencionados anteriormente los cuales presentan cáncer pulmonar son: 5%, 8% y 87% respectivamente. En base a los resultados obtenidos en el estudio, se encontró una significativa relación entre la mortalidad del cáncer pulmonar y la baja exposición acumulativa del radón en los mineros de uranio alemanes (**Kreuzer, 2015**).

Así mismo, en muchos estudios se han confirmado que la inhalación del radón y sus progenitores son un gran factor de riesgo para la generación de cáncer pulmonar en mineros subterráneos de uranio (**Lubin et al., 1995**). Se menciona que las altas concentraciones de radón en interiores usualmente dependen de la capacidad de penetración del radón desde el suelo circundante hacia el interior de los edificios. Los resultados encontrados en esta investigación muestran que: La aplicación de materiales de construcción convencionales contribuyen de en proporciones bajas para la filtración del gas radón en interiores, ya que diferentes materiales de construcción presentan de manera natural diferentes concentraciones de radiación de forma natural; por ejemplo, materiales de construcción mezclados con cenizas, piedra pómez o piedras de escoria exhalan menos radón debido a su configuración de vidrio (estructura de superficie cerrada) que otros materiales muy porosos con un menor contenido de radiación natural (**Keller et al., 2001**).

## **2.2 Mitigación**

Es así como, en el Reino Unido (UK) se aplica en el reglamento de construcción desde 1992 medidas de mitigación del radón durante la construcción de edificios; sin embargo, actualmente no existe un requisito legislativo para el monitoreo de la efectividad de estas medidas de mitigación. Aunado a esto, en los trabajos de remediación en post-construcciones de 73 casas, utilizando tecnología convencional asistida por ventilador, demostró ser una medida extremadamente efectiva por debajo del máximo permisible para todos los casos; esto quiere decir que no hace falta mucho para poder mitigar grandes concentraciones de radón,



tan solo con tener una buena aeración en el área afectada puede reducir drásticamente los valores del contaminante (**Groves-Kirkby et al., 2006**).

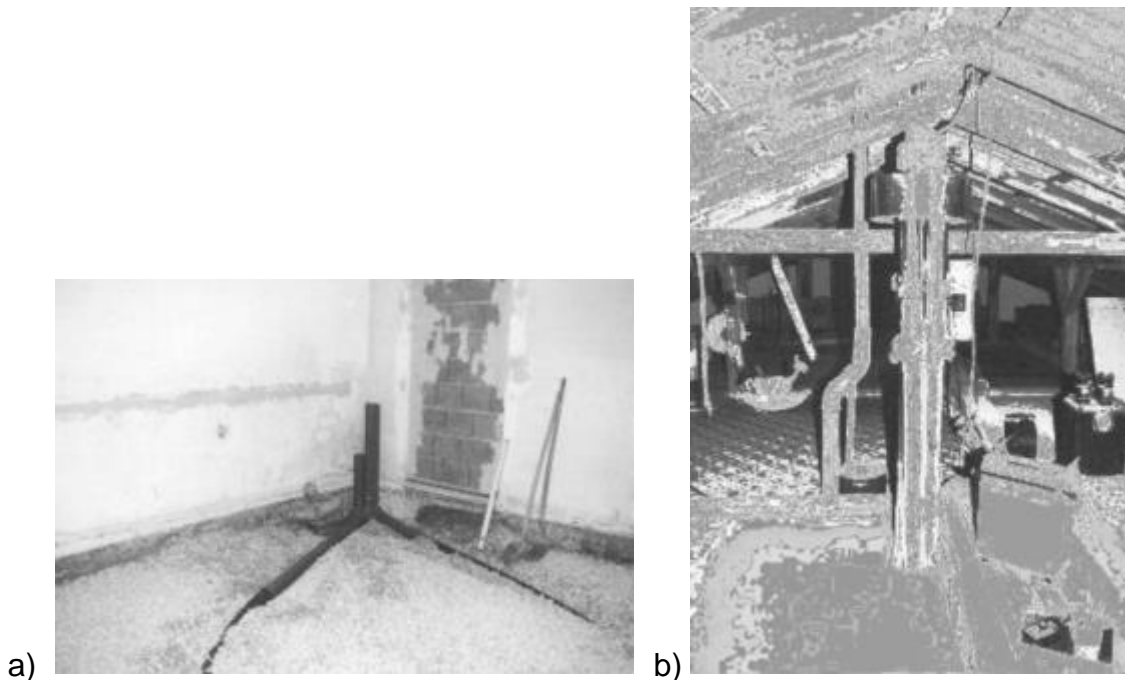
En base a lo mencionado anteriormente, Groves-Kirby menciona que, de las 64 casas construidas después de 1992, contando con una mitigación de membranas de barrera contra el radón instaladas durante la construcción. Sin embargo, el 11% presentan concentraciones altas de radón por encima del nivel de acción; Esto nos indica que la instalación de membranas no ha resultado en la reducción de las concentraciones medias anuales del radón. Es por esto que existe una necesidad constante de investigación para resolver la cuestión de mitigación del radón y definir medidas efectivas contra el radón, de fácil instalación en el momento de ser construidas. Es por esto que se recomienda realizar pruebas obligatorias para las casas nuevas en zonas afectadas por el radón.

En otro estudio, se llevó a cabo el proyecto de mitigación del radón en Austria "SARAH", donde realizaron una evaluación técnica y económica para la implementación de acciones para la remediación de altas concentraciones de radón en interiores de hogares en Austria. Para llevar a cabo esta investigación se realizó la identificación de regiones con niveles elevados de radón en interiores con una media anual por encima de los 400 Bq/m<sup>3</sup>; donde encontraron que las rocas de granito donde están asentados los hogares muestreados en Austria junto con las construcciones típicas de edificios tienden a tener elevadas concentraciones de radón en interiores. Después, se contactaron 40 casas por correo y personalmente, de las cuales fueron seleccionadas de entre 1400

hogares; posteriormente 5 casas fueron examinadas detenidamente, donde se realizaron técnicas de mitigación para el radón(**Maringer et al., 2001**).

Continuando con el procedimiento de mitigación en una de las casas ubicada en Gutau Austria, se seleccionó el sistema de despresurización en sótano: se perforo el basamento de la casa para poder instalar el sistema de 3 pipas de succión en el sótano, conectadas a un ventilador de extracción en el ático del hogar, procedimiento el cual podemos observar en las siguientes imágenes.

En la primera foto "A" (Gutau) se observa la instalación de las tuberías de succión perforadas en el sótano, en la siguiente foto "B" (Gutau) extractor de radón en el ático. Imágenes obtenidas del artículo Results and conclusions of the Austrian radon mitigation Project "SARAH" (**Maringer et al., 2001**).

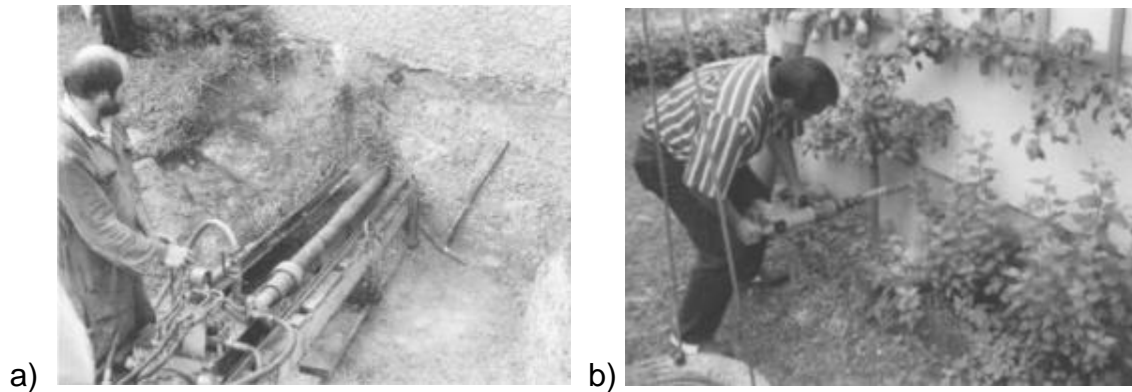


*Figura 6.- Instalación de tuberías de mitigación.*

Así mismo, se llevó a cabo otro procedimiento de mitigación en el sótano de una granja cerca de Konigsweiesen Austria, debido a la buena permeabilidad en el basamento de la casa. En esta ocasión se optó por realizar un sistema de tubos de succión subsuelo; se perforaron 2 hoyos con un diámetro de 10cm con una longitud de 8m, los cuales fueron perforados a una profundidad aproximada de 1.5 – 2m bajo el sótano de la granja. Después se instalaron tubos de succión con un diámetro de 5cm en los hoyos y finalmente un extractor fue conectado, véase figura 7 (a). Una gran ventaja de este sistema es que durante su instalación no existe ningún efecto negativo para los habitantes durante la instalación de este sistema.

La tercer y última técnica que se llevó a cabo en este proyecto fue la implementación de un sistema de ventilación pasiva subsuelo en Traun Austria; el cual consistía que cada 2m se perforaba un hoyo de 5cm en la base del hogar, figura. 7 (b).

En la **figura 7** del inciso “A” (Konigsweiesen) se observa la instalación del sistema de tubos de succión subsuelo, mientras que en la imagen “B” (Traun) se observa la realización del sistema de ventilación pasiva subsuelo. Imágenes obtenidas del artículo Results and conclusions of the Austrian radon mitigation Project “SARAH” (Maringer et al., 2001).



*Figura 7.-Sistema de tubos de succión subsuelo y de ventilación pasiva subsuelo.*

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron:

- La tasa de entrada de radón en las casas es aproximadamente 2.7 veces mayor en la temporada de invierno que en la de verano.
- La reducción promedio de radón después de la implementación de las medidas de mitigación tomadas en el edificio de Gutau es aproximadamente  $1/10$  durante la función del extractor y  $1/2$  sin el extractor.
- Las mitigaciones aplicadas en los 3 edificios fueron exitosas. Sin embargo, los resultados obtenidos en Traun muestran la necesidad de instalación de un sistema de ventilación activa.
- Se identificaron 3 razones principales para los niveles altos de radón en interiores para los edificios de Austria: (1) suelo granítico erosionado por el clima con alta permeabilidad; (2) edificios construidos en laderas; y (3) viviendas asentadas directamente sobre el suelo sin un firme por debajo del edificio.

Como podemos observar en la imagen anterior en las líneas de arriba hacia abajo, el promedio de las concentraciones de radón antes de la mitigación fue de 457 Bq/m<sup>3</sup>, después de la mitigación sin la ventilación del extractor (233 Bq/m<sup>3</sup>) y finalmente las concentraciones obtenidas con el extractor en funcionamiento. Datos que dejan ver claramente que este sistema de despresurización en el subsuelo es una excelente técnica para disminuir drásticamente los altos niveles de concentraciones del radón en interiores, ya que de tener 457 Bq/m<sup>3</sup>, después de la extracción del aire bajaron los niveles hasta obtener un promedio de 48 Bq/m<sup>3</sup>.

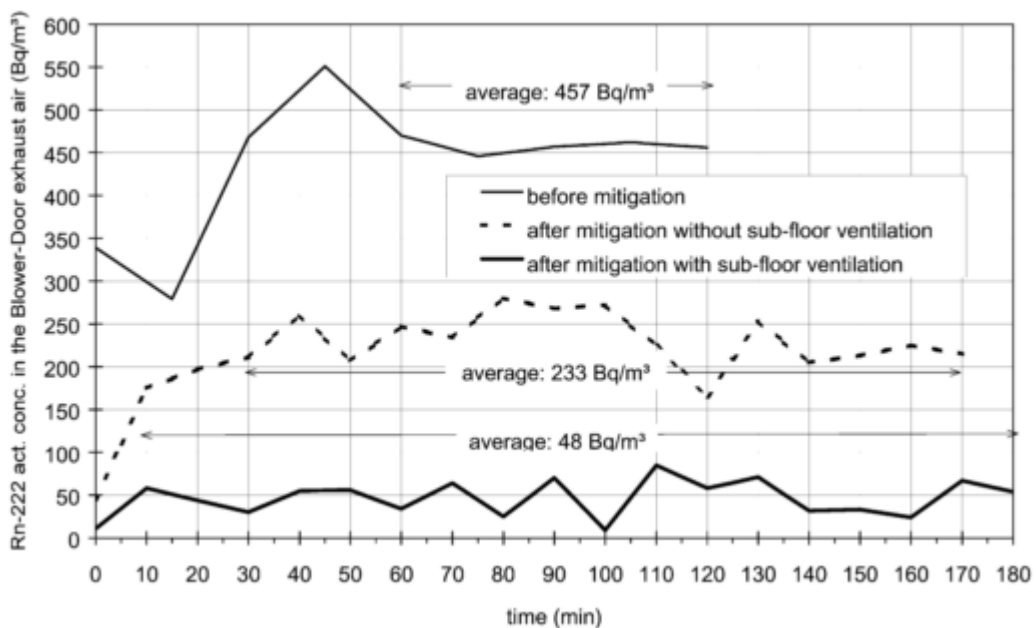


Figura 8.- Resultados de la medición de la verificación del extractor de aire para la determinación de la reducción del radón en el edificio de Gutau. Imagen obtenida de (Maringer et al., 2001).

## CAPITULO 3: METODOLOGÍA

Para la determinación de las concentraciones de radón presentes en el aire se utilizan diferentes métodos, los cuales se basan en la detección de las partículas alfas ( $\alpha$ ) emitidas por el radón como de sus progenitores (Polonio, plomo y bismuto). La elección de un método u otro depende del instrumento disponible, el costo y por la duración de la medición a realizar en determinada zona de estudio.

Existen 3 métodos de medición para la toma de concentraciones de radón en función del tiempo de muestreo: Instantáneos, continuos e integrados.

### 1. Métodos instantáneos:

La utilidad de este método ocurre cuando se desean obtener resultados puntuales y en cortos periodos de tiempo, que van desde 1 segundo hasta los 20 minutos. Se recogen muestras de aire con estos equipos para su posterior análisis en el laboratorio; el instrumental es sencillo, de bajo costo y brindan resultados inmediatos. Método el cual permite identificar rutas de entrada del gas radón y comprobar la eficacia de acciones correctivas.

### 2. Métodos continuos:

Método que proporciona amplia información en tiempo real, estudiar las variaciones de concentraciones de radón a lo largo del día, su relación entre las actividades realizadas y el edificio. Para eso, se hace pasar un flujo de aire constante a través de un detector de centelleo durante largos periodos de tiempo, realizando continuas evaluaciones de las concentraciones del radón;

Sin embargo, resultan ser equipos costosos, poco prácticos y son limitados a trabajos de investigación.

### 3. Métodos integrados:

Se basan en el empleo de dispositivos que cuentan con detectores trazas y/o cartuchos de carbón activado, los cuales permiten obtener concentraciones promedio durante días, semanas o meses (**Berenguer, n.d.**).

Es importante mencionar que en este trabajo de tesis se llevaron a cabo los métodos continuos e integrados para la obtención de las concentraciones de radón en la ZUSLP, utilizando los equipos RAD7 y el RadScoutV32



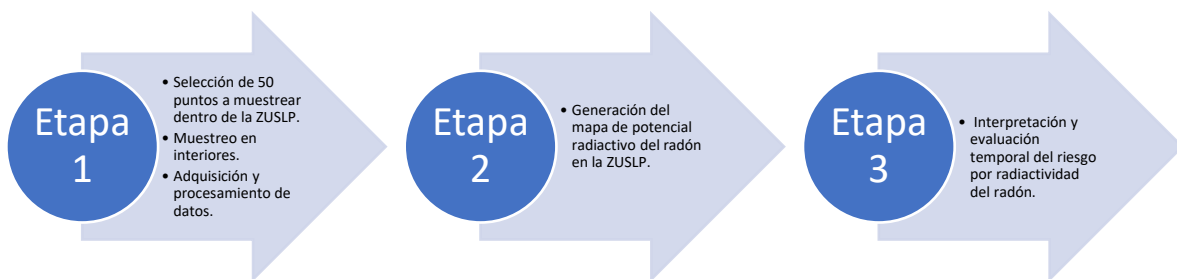
Figura 9.- Detector de radón, RAD7.



Figura 10.- Detector de radón, RadScoutV32

El procedimiento seguido de este trabajo está dividido en 3 etapas, las cuales incluyen actividades que se describen a continuación:

Esquema 1. Etapas de este trabajo.



Los 50 puntos muestreados se seleccionaron al azar, tomando en cuenta que siempre abarcaran diferentes áreas de la ZUSLP y así poder cubrir la mayor parte



del territorio de la zona de estudio; cabe mencionar que al término de cada muestreo, se procedía a realizar una toma de muestra en el subsuelo en los lugares que se pudiera tener acceso a tierra (jardines, patios, etc.) y con el permiso del dueño del territorio muestreado; en algunos casos no se contaba con acceso al subsuelo, esto debido a que algunos sitios muestreados se trataban de oficinas, escuelas, entre otros que solo contaban con suelo firme (concreto). Después se realizaban 2 mediciones de 15 minutos cada una y al final hacer un promedio entre las 2 mediciones para obtener una concentración de radón en subsuelo, y así finalmente poder comparar valores en interiores contra las obtenidas en el subsuelo.

Con respecto al muestreo en interiores, a continuación, se describe paso a paso las técnicas que se llevaron a cabo entre cada muestreo:

*Tabla 1. Técnica de muestreo en interiores.*

TÉCNICA DE MUESTREO				
1.- PREPARACIÓN	2.- PURGA	3.- CONFIGURACIÓN	4.- INICIO MUESTREO	5.- FINAL MUESTREO
1.- Conectar la fuente de corriente.  2.- Llenar la	1.- Encender equipo y esperar el Menú "Test"	1.- Buscar "Setup",[Enter].  2.- Buscar "Cicle",[Enter],	1.- Llevar el RAD7 a la locación de muestreo y conectar a	1.- Presionar [Menu],  Apagar RAD7 [Off].

<p>unidad de secado con silica.</p> <p>3.- Colocar la unidad de secado al RAD7 (<i>inlet</i>)</p>	<p>2.- Buscar “Purga”, presionar [Enter]</p> <p>*Presionar [Enter], [→], [→], [→], [Enter].</p> <p>3.- Esperar 5 minutos y “terminar purga” *Presionar [→], [Enter].</p>	<p>seleccionar “01:00”, [Enter].</p> <p>3.- Buscar “Recycle”, [Enter], seleccionar “24”, [Enter].</p> <p>4.- Buscar “Unites”, seleccionar “Bq/m<sup>3</sup>”, [Enter].</p> <p>5.- Buscar “Save user”, [Enter].</p>	<p>CE.</p> <p>2.- Encender el RAD7.</p> <p>3.- En el menú “Test”, presionar [Enter], buscar “Start”, presionar [Enter] *Presionar [Enter], [→], [Enter].</p> <p>Da inicio monitoreo de 24hrs.</p>	
---	--	--	---	--



Figura 11. Etapas representativas de las técnicas de muestreo. Donde se representan secuencialmente las etapas de la técnica de muestreo llevadas a cabo para cada muestreo de este trabajo de tesis.

Como se menciona anteriormente, entre cada muestreo realizado se hace el cambio de silica para evitar la acumulación de humedad en el tubo y así obtener resultados confiables; Para el procedimiento de secado de silica, la silica se coloca en un vaso de precipitado el cual se hace calentar en una parrilla eléctrica a 170 °C durante 1hr. 30min. cómo se observa en la **Fig. 12**.

Este procedimiento se llevó para toda la silica utilizada en los 50 muestreos realizados en la ZUSLP, procedimiento el cual garantizaba que la silica utilizada durante los muestreos estuviera totalmente fuera de humedad, permitiendo así, la obtención de resultados confiables en las concentraciones de radón registradas por el equipo RAD7.



*Figura 12. Calentamiento de silica en parrilla eléctrica.*

Con respecto a la imagen anterior, se observa en la parte derecha silica de color rosa la cual está saturada por el oxígeno, mientras que la silica que está en el vaso de precipitado presenta un color azul, el cual nos indica que la silica está lista para poder ser utilizada nuevamente, disminuir la saturación de la humedad y obtener resultados sean confiables sin alto niveles de humedad relativa.

# CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIONES

## 4.1 Distribución espacial

A continuación, se presenta la distribución espacial de los 50 muestreos realizados en este trabajo de tesis; donde cada uno de ellos fue seleccionado al azar cubriendo la mayor parte posible de la ZUSLP, cabe mencionar que se contactó a cada dueño del edificio muestreado personalmente y se contó con su consentimiento para poder llevar a cabo los muestreos en sus respectivas propiedades.

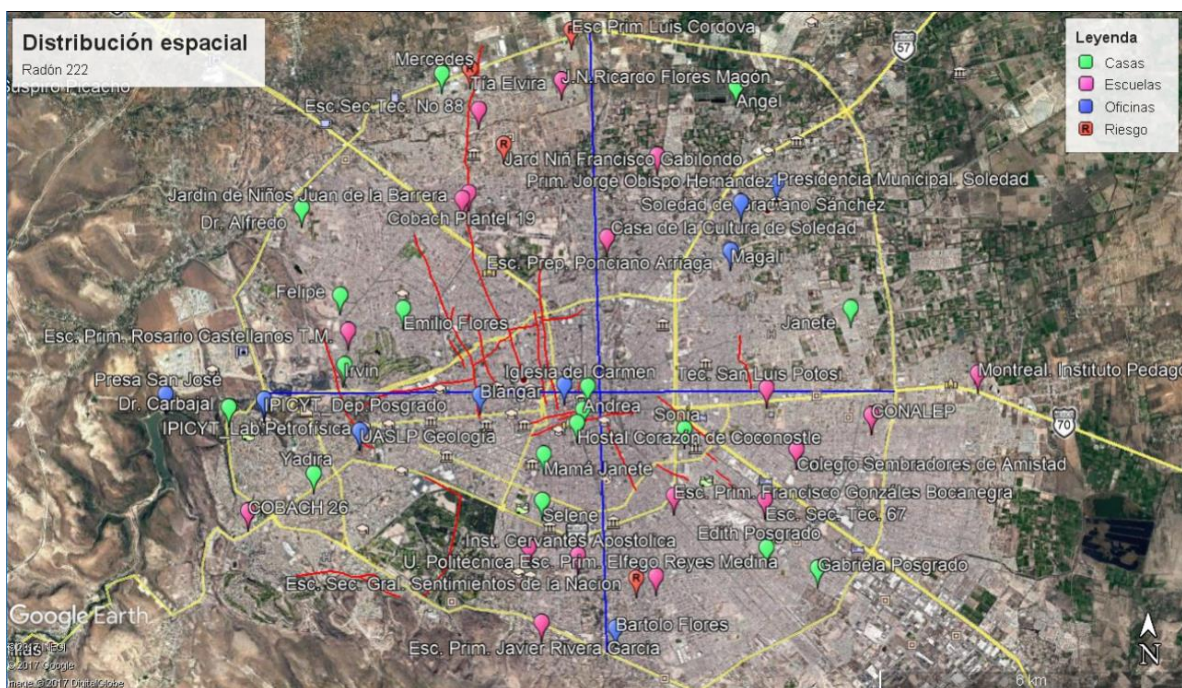


Figura 13.- Distribución espacial de 50 puntos muestreados en la ZUSLP.

## 4.2 Distribución temporal

### 1. Monitoreos de 24 horas:

Como podemos observar en la siguiente figura, existe una característica en común con 49 muestreos, los cuales siempre presentan 3 concentraciones altas de radón, donde existe la media que estos valores ocurren aproximadamente cada 6 horas entre cada concentración alta. Esto ocurre alrededor de las 12, 18 y 24 horas. Sin embargo, existe un muestreo que no coincide con el resto de los muestreos, ya que presentó valores caóticos en toda la medición de 24 horas.

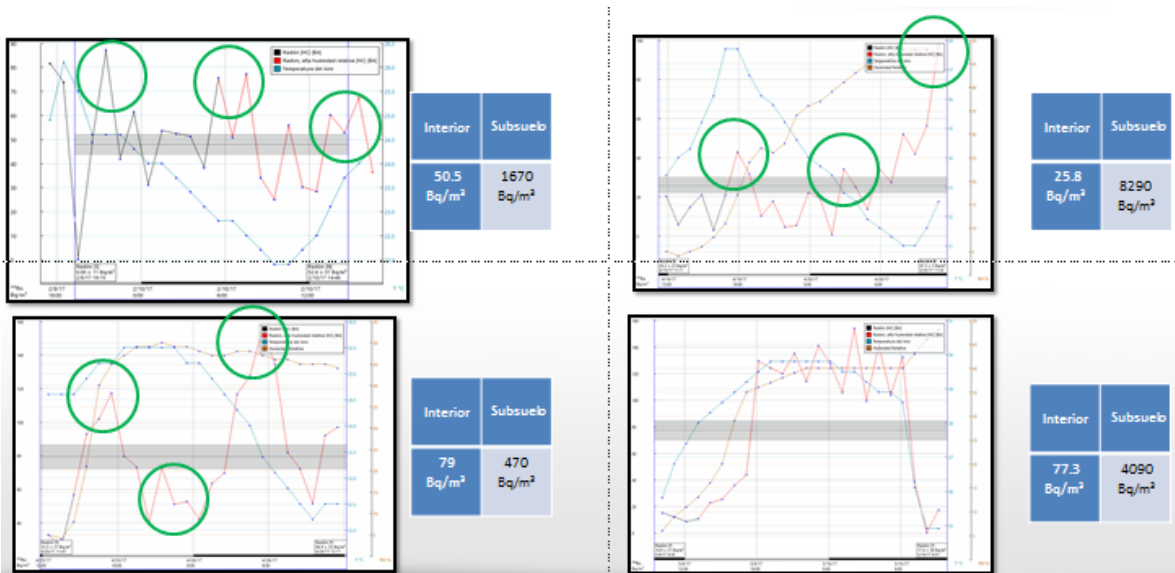


Figura 14.- Distribución temporal de 4 puntos muestreados.

En las siguientes **figuras 15 y 16** Se comparan 2 muestras las cuales tienen parámetros muy similares, como lo son humedad relativa, temperatura del aire y mismo tiempo muestreado (24horas). Sin embargo, el valor obtenido en la Esc. Sec. Gral. Sentimientos de la Nación fue de  $234 \text{ Bq/m}^3$ , estas concentraciones altas se pueden deber en general a dos grandes razones; la primera es la ventilación del lugar muestreado y la segunda el tipo de piso del edificio. Como se observa en la *figura 17*, la ventilación en los 2 lugares muestreados era casi nula, ya que las únicas entradas de aire que existían para los 2 edificios solo era la puerta de entrada y salida; por otro lado, la gran diferencia es el tipo de piso que se presentó en la escuela, ya que solo está hecho de concreto y entre cada junta existe un pequeño espacio donde permite la filtración del radón con mayor facilidad que al atravesar el concreto. Caso contrario en el segundo edificio ya que aparte del concreto el piso cuenta con azulejo, mismos que se encuentran pegados entre sí con sellador de azulejos, por lo tanto, no existe una fácil filtración del gas radón hacia la superficie del edificio.

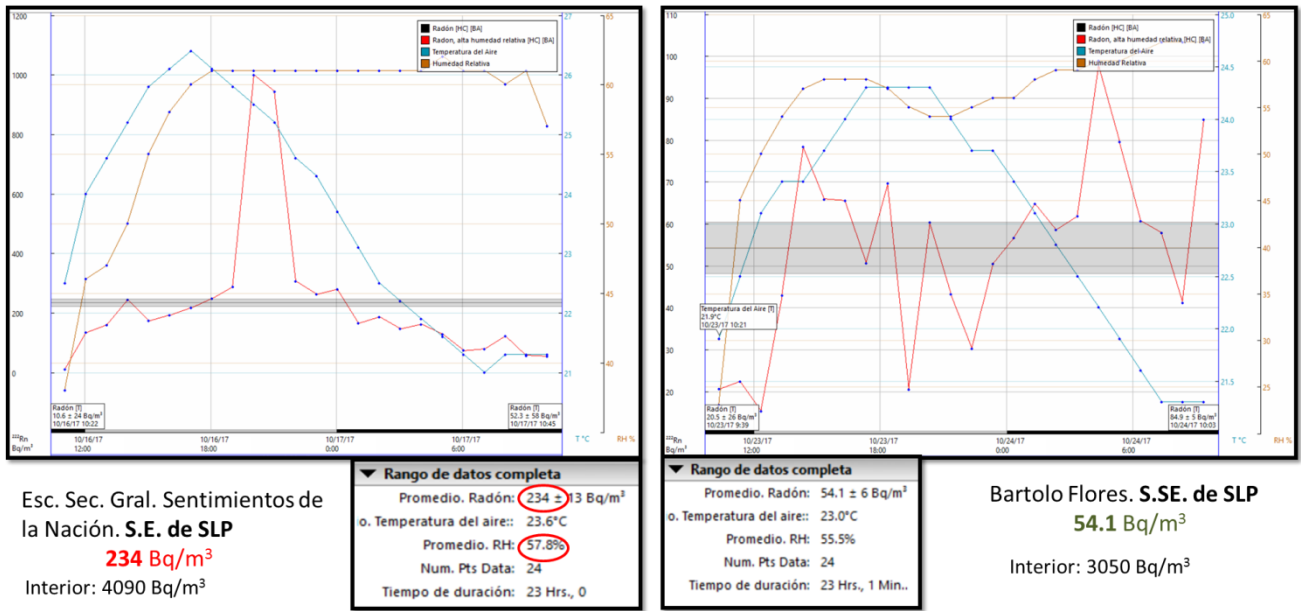


Figura 15.- Comparativa entre 2 muestreos, "concentraciones de radón".



Figura 16.- Comparativa entre 2 muestreos, "tipo de piso".



Los resultados obtenidos en el muestreo realizado en la Esc. Prim. Luis Córdova Rey se muestran en la **figura 17** ubicada al Norte de la ZUSLP, obteniendo como resultado 187 Bq/m<sup>3</sup> sobrepasando los 148 Bq/m<sup>3</sup>, concentración que por encima de ésta se considera riesgosa para la salud. Por tal motivo se realizó una intervención en esta escuela el día 30 de agosto de 2017, donde se les presentó los resultados obtenidos al director y maestros en turno de esta escuela. Se les explicó que el salón donde fue muestreado y se imparten clases corren el riesgo los alumnos y maestros de generar cáncer pulmonar debido a las concentraciones altas de radón. Después de presentar los resultados, se optó por realizar medidas básicas de mitigación en los interiores de la escuela, donde se les recomendó establecer una buena ventilación en los salones manteniendo puertas y ventanas abiertas todo el tiempo en horario escolar. Este mismo día se dejó el detector de radón radscoutv32 el cual permaneció en el sitio de muestreo durante 22 días.

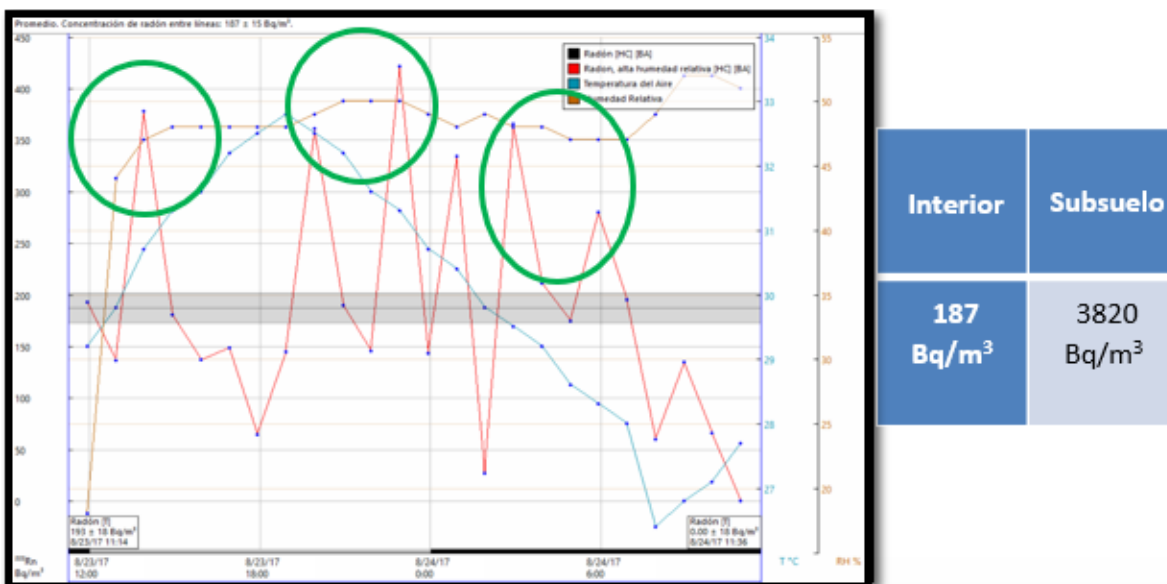


Figura 17.- Distribución temporal con valores por encima del máximo permisible (Esc. Prim. Luis Córdova Reyes).

## 2. Monitoreo de 22 días:

Después de haber realizado una intervención en la Esc. Prim. Luis Córdova Reyes, las altas concentraciones de radón descendieron drásticamente hasta un nivel de bajo riesgo. Como se observa en la **figura 18**, el nivel que se registró después de un monitoreo de 24 horas fue de 187 Bq/m<sup>3</sup> y después de la intervención y los consejos que se les dio a los profesores los niveles quedaron en 97Bq/m<sup>3</sup>.

Sin duda alguna, se pueden observar en la siguiente imagen que existen valores altos registrados por el equipo a lo largo de los 22 días muestreados y que debido a que los maestros y directivo trabajaron en tener una buena ventilación en los salones, observamos como la media baja drásticamente, y los valores altos se le pueden atribuir a la proximidad de esta escuela con una falla registrada al norte de la ZUSLP.

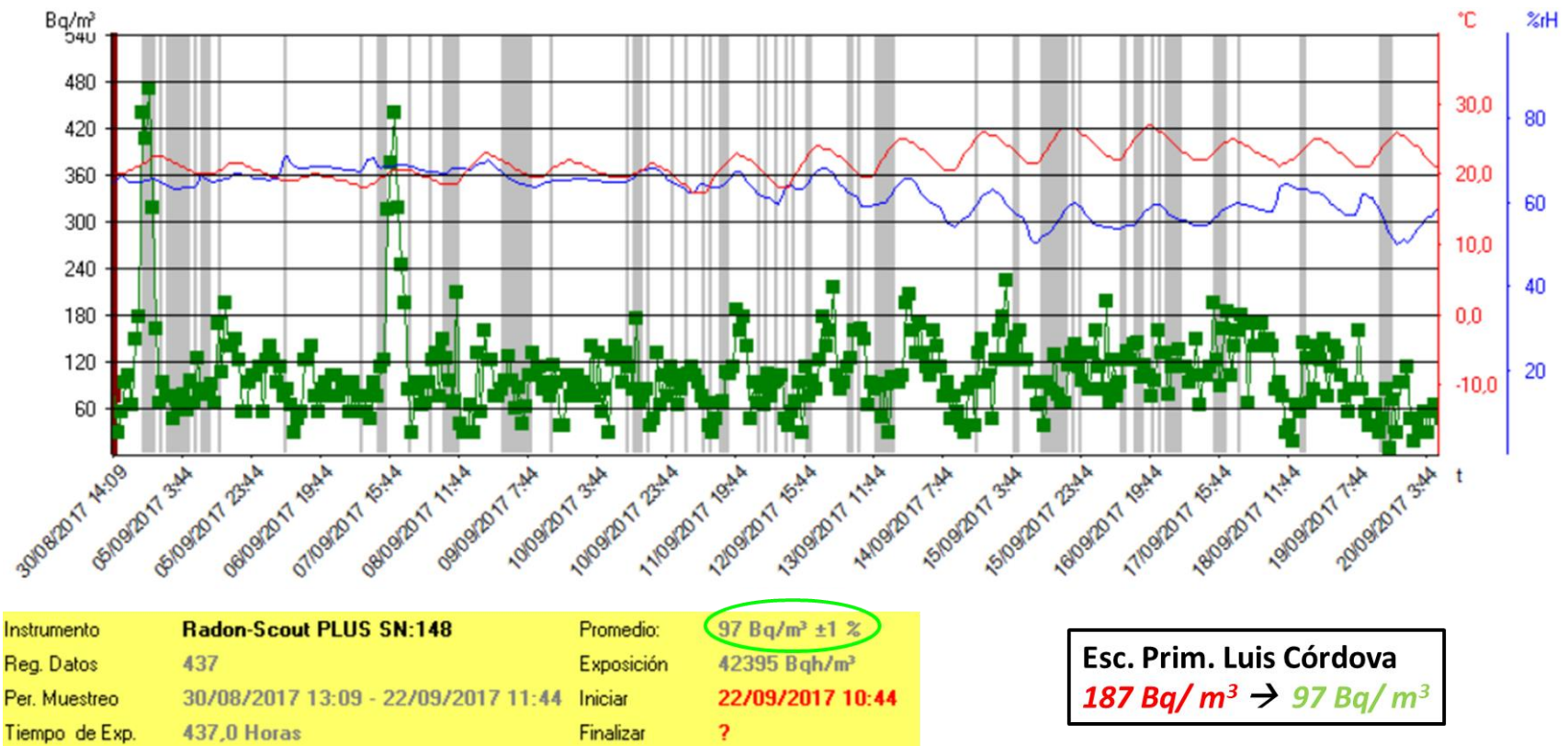


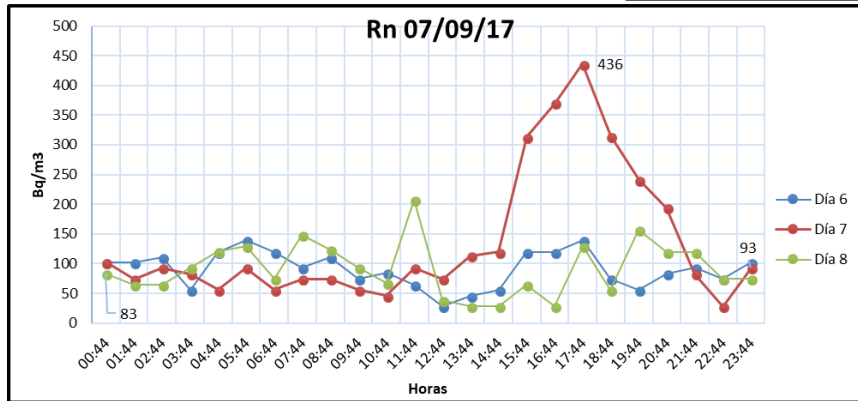
Figura 18.- Disminución de concentraciones de radón después de una intervención.

### 4.3 Eventos sísmicos de septiembre de 2017

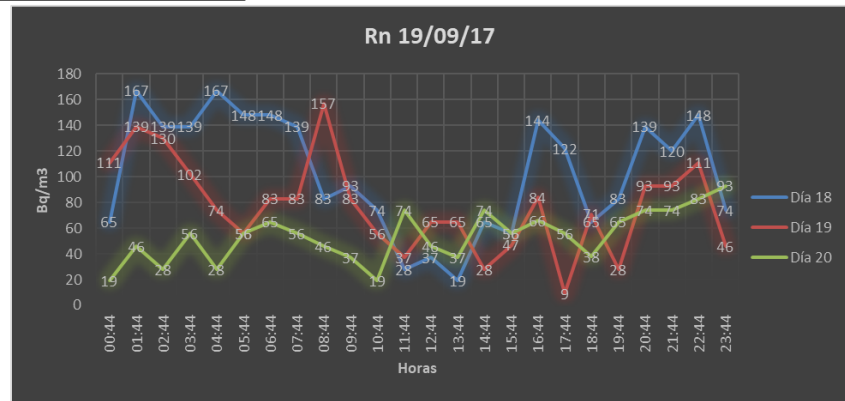
Durante el periodo del 30 de agosto de 2017 hasta el 22 de septiembre de 2017 que se dejó el equipo radscoutv32 monitoreando la escuela, se registraron 2 eventos sísmicos ocurridos el 7 de septiembre y el 19 de septiembre de 2017. En donde se registraron anomalías en las concentraciones de radón para el primer evento sísmico; donde se observa que 6 hrs. antes de sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017 con magnitud de 8.2 con epicentro en Chiapas, ocurre un pico de concentración muy alta de radón en el interior del edificio, registrando 436 Bq/m<sup>3</sup>, donde las concentraciones antes y después de ese se mantuvieron con una media de alrededor de los 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Se sabe que los gases terrestres han sido estudiado con anterioridad en áreas sísmicamente activas, en busca de cambios premonitorios que pueden ser utilizados para la predicción de terremotos. Se sabe que las concentraciones altas de gases provenientes del subsuelo son asociados a fallas activas, lo que sugiere que pueden ser un camino de menor resistencia para los gases generados o atrapados en la tierra (King, 1986). Razón que puede explicar el porqué de la anomalía registrada en el sismo del 7 de septiembre de 2017 (*figura 19*).

## Sismos de Septiembre 2017.



07/09/2017 Sismo 23:49hrs. de 8.2  
Epicentro Chiapas.



19/09/2017 Sismo 13:14hrs. de 7.1  
Epicentro Puebla.

Figura 19.- Concentraciones de radón durante 2 eventos sísmicos de septiembre de 2017.

#### 4.4 Potencial radiactivo

Se digitalizaron las fallas reportadas por **Arzate, 2006** para la ZUSLP en el programa ARCGIS, posteriormente se digitalizaron las concentraciones obtenidas de radón en los edificios muestreados, mediante el programa digital SURFER, donde se realizó una interpolación Kriging el cual nos dio como resultados valores de concentraciones por encima de la recomendación de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA) en 1986 ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ); mostrando así que las concentraciones altas de radón están relacionadas a lugares cercanos a fallas como podemos observar en la figura 17, donde los valores más altos encontrados fueron al norte y al sur-este de la ZUSLP. Es importante destacar que estos valores altos encontrados al sur-este coinciden con los estudios realizados por **García, 2015**, los cuales presentan concentraciones altas de radón en subsuelo al sur-este de la ZUSLP.

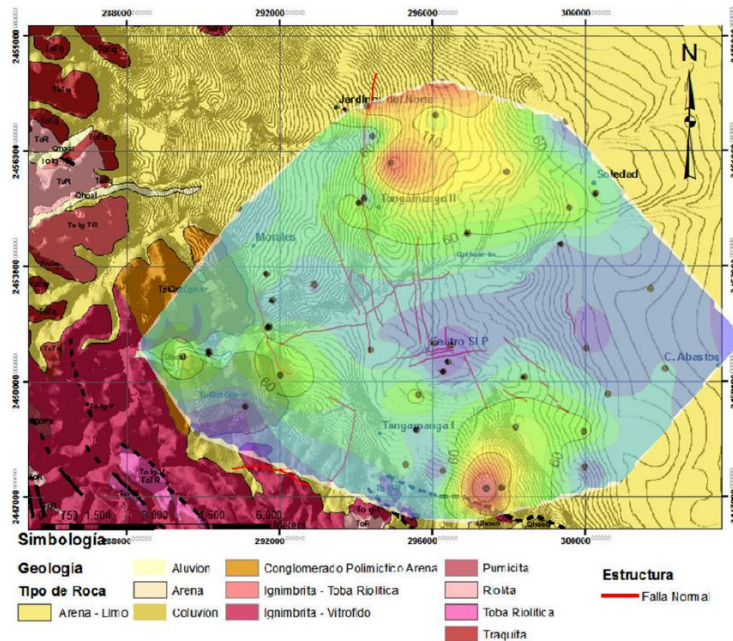


Figura 20.- Mapa de potencial radiactivo por el radón en interiores.

Finalmente se presenta el trabajo final de este trabajo de tesis, el cual consiste en llevar a cabo una digitalización de las concentraciones de radón encontradas en los interiores urbanos de la ZUSLP, y así poder crear un mapa de gestión de riesgos por radiactividad natural del radón en interiores. Como se puede observar en la siguiente figura, al norte y al sur este de la ZURSLP encontramos los valores con mayor riesgo para la salud pública, ya que se registraron valores por encima de la máxima permisible ( $148 \text{ Bq/m}^3$ ). Teniendo el conocimiento de estos valores altos y que están asociados a fallas como podemos observar; se pueden llevar a cabo acciones preventivas para poder disminuir estas concentraciones altas de radón en los interiores de San Luis Potosí, y así evitar pérdidas humanas por la acción de la radiactividad natural proveniente del radón el cual es propenso a generar cáncer pulmonar en los habitantes que frecuentan la ingesta de este gas y sus progenitores.

Es importante mencionar que los valores altos de radón en interiores al sureste de la ZUSLP coinciden con los resultados encontrados en el trabajo realizado por (**García, 2015**), los cuales se encuentran en la misma zona al sureste de la zona industrial, el Blvd. Río Españita y Av. Salk encontrando valores entre los 1000 y  $4000 \text{ Bq/m}^3$  en subsuelo; mientras que en interiores oscilan para esta zona entre los 40 hasta los  $234 \text{ Bq/m}^3$ , valor más alto encontrado en una escuela secundaria la cual se asocia al tipo de suelo (concreto) y una mala ventilación ya que el edificio muestreado presenta muchos mecanismos de entrada del radón pero no de salida, por lo tanto el gas tiende a acumularse elevando así sus concentraciones.

En las siguientes imágenes podemos observar la comparación entre 2 trabajos realizados para el monitoreo del radón, uno en subsuelo y otro en interiores:

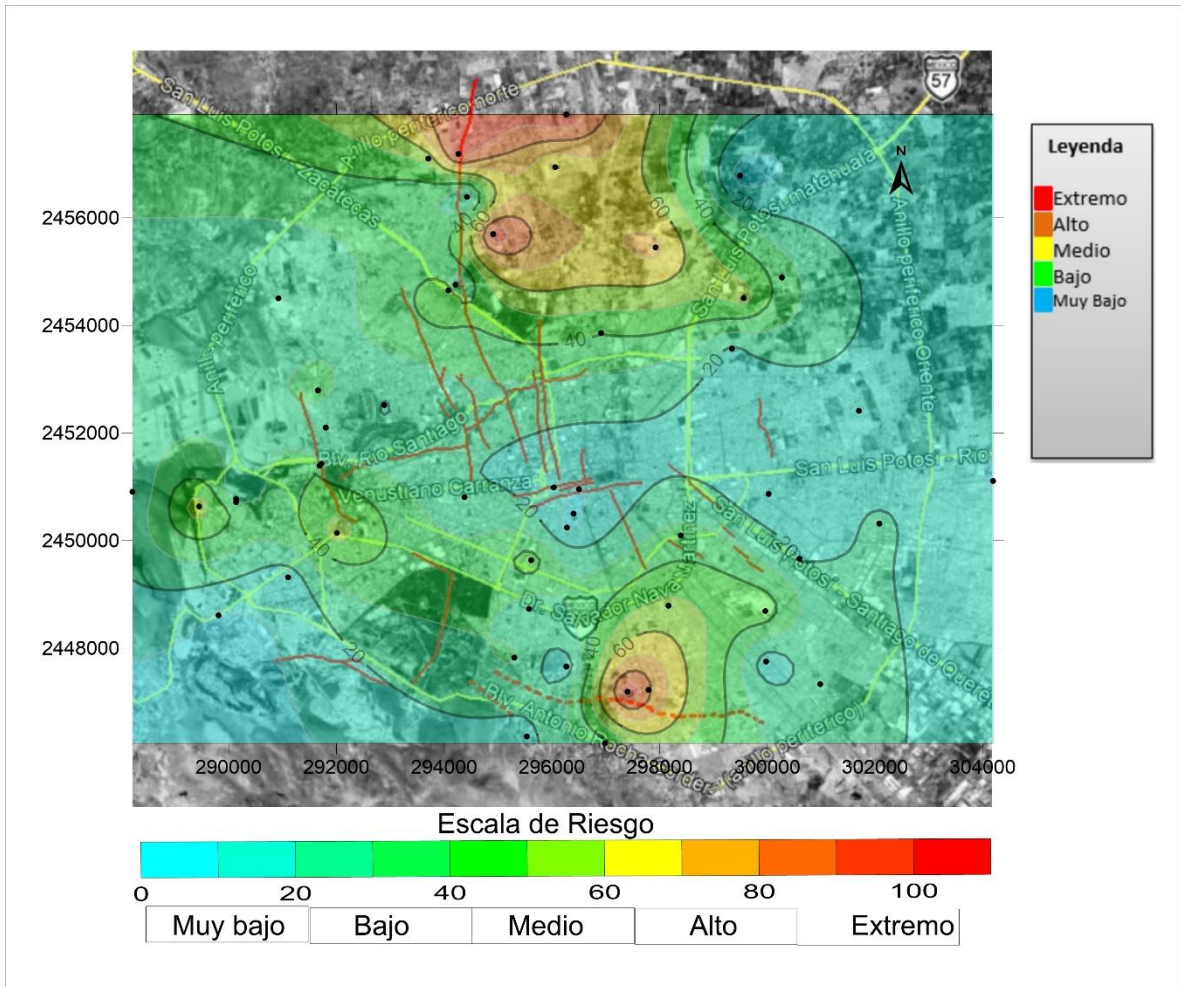


Figura 21.- Mapa de riesgo por radiactividad de radón en interiores urbanos de S.L.P.



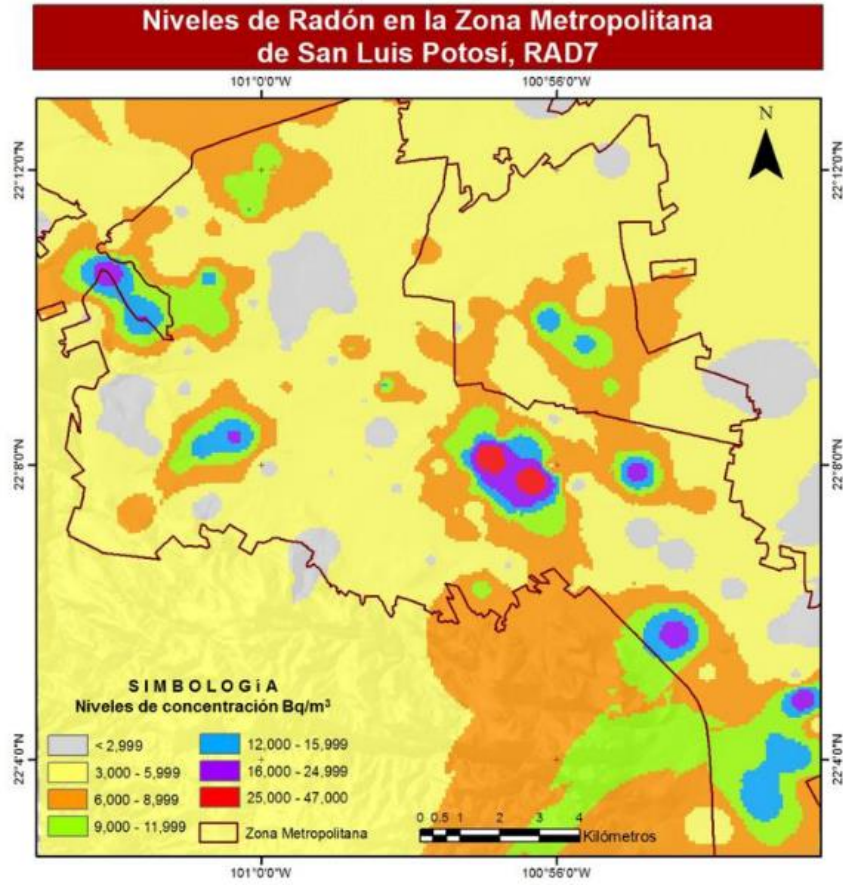
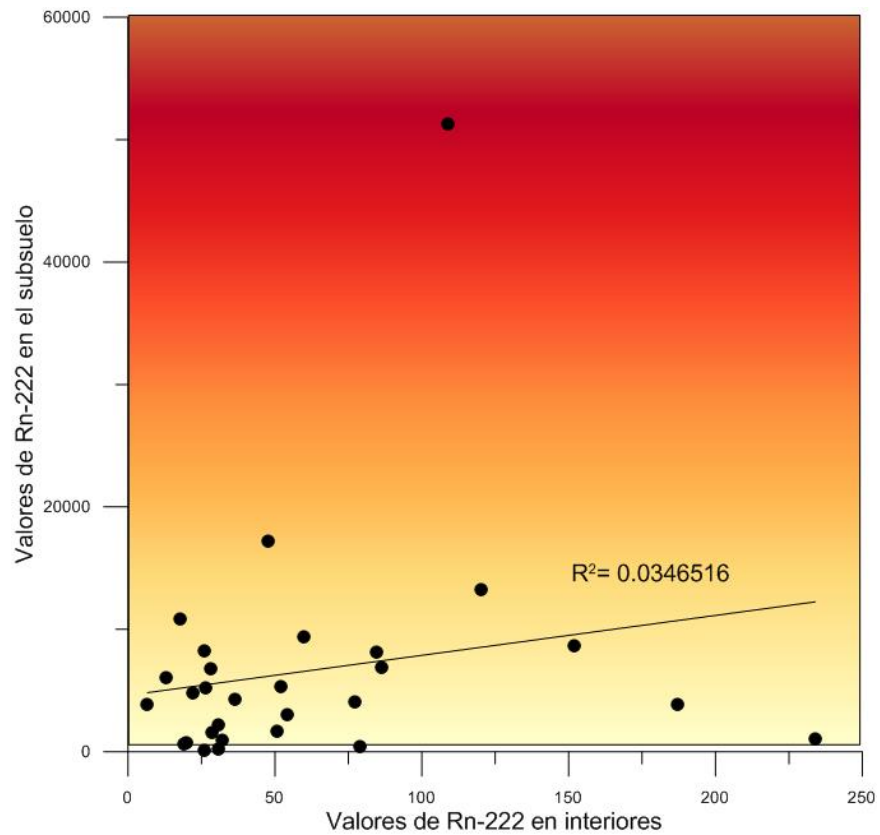


Figura 22.- Niveles de radón en subsuelo de la Zona Metropolitana de S.L.P. Imagen obtenida de (García, 2015).

El coeficiente de correlación encontrado para las concentraciones obtenidos en subsuelo e interiores en la ZUSLP no tienen relación alguna, ya que da como resultado:  $R^2= 0.034$ , ver Figura 23.



*Figura 23.- Coeficiente de correlación entre concentraciones de radón entre interiores urbanos y subsuelo.*

## CAPITULO 5: CONCLUSIONES

- Los elementos estructurales de la edificación, la geología de subsuelo, temperatura y ventilación, son algunos elementos que proporcionan información para poder establecer los niveles de concentración de Radón en la zona urbana de San Luis Potosí.
- Los altos niveles de concentración de Radón no siempre están asociados a lugares cercanos a fallas o fracturas.
- Aunque los niveles de radón son muy elevados en el subsuelo (hasta 51300 Bq/m<sup>3</sup>), en interiores urbanos bajan drásticamente a valores menores de 100 Bq/m<sup>3</sup> debido a la dispersión de este gas.
- No hay una correlación entre las concentraciones de radón 222 en interiores y los valores altos obtenidos en el subsuelo para la ZUSLP.
- En general los niveles de riesgo en la ZUSLP solo se detectaron en 2 zonas con riesgo alto, al Norte y Sureste de la ciudad, con niveles de radón de 182 y 234 Bq/m<sup>3</sup> respectivamente.
- Finalmente, se recomienda establecer una buena ventilación en casas o lugares de trabajo, es un factor primordial para obtener como resultado niveles bajos de Radón en interiores; así como del tipo de suelo encontrado en el interior.
- En base a los resultados obtenidos, y del conocimiento del potencial radiactivo en la ZUSLP., se permitirá poder trabajar en la obtención de una

***certificación libre de radón*** y *modificar* el “Reglamento de Construcción”  
para futuras construcciones de la ZUSLP.

## BIBLIOGRAFIA

Ahmed, J. U. (1994). El radón en el medio humano: Evaluación de la situación, 2.

Retrieved from [https://www.iaea.org/sites/default/files/36205643235\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/36205643235_es.pdf)

Arzate, J. (2006). Estudio Geológico-Geofísico para la evaluación de los

hundimientos y agrietamientos en el área metropolitana San Luís Potosí-

Soledad de Graciano Sánchez. Retrieved from

<http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/arzateSLP07.pdf>

Berenguer, M. J. (n.d.). NTP 440: Radón en ambientes interiores. Retrieved from

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT>

[P/Ficheros/401a500/ntp\\_440.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT)

Bowie, C., & Bowie, S. H. U. (1991). Radon and health. *The Lancet*, 337(8738),

409–413. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91177-V](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91177-V)

Francisco Nieto-Samaniego, Á., Alicia Alaniz-Álvarez, S., & Camprubí í Cano.

(2005). La Mesa Central de México La Mesa Central de México: estratigrafía,

estructura y evolución tectónica cenozoica. Retrieved from

[http://www.geociencias.unam.mx/~alaniz/SGM/Centenario/57-3/\(3\)Nieto.pdf](http://www.geociencias.unam.mx/~alaniz/SGM/Centenario/57-3/(3)Nieto.pdf)

García, J. (2015). Riesgo por Emisiones Radón en el Área Metropolitana de San

Luis Potosí.

Groves-Kirkby, C. J., Denman, A. R., Phillips, P. S., Crockett, R. G. M., Woolridge,

A. C., & Tornberg, R. (2006). Radon mitigation in domestic properties and its

health implications—a comparison between during-construction and post-

construction radon reduction. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.10.004>

Juango, J. A. (2017). Departamento de Edificación: Radón sin control en los edificios españoles –Parte I-. Retrieved May 21, 2018, from <https://edificacionpolitecnico.blogspot.mx/2017/09/radon-sin-control-en-los-edificios.html>

Keller, G., Hoffmann, B., & Feigenspan, T. (2001). Radon permeability and radon exhalation of building materials. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S0048969701006696/1-s2.0-S0048969701006696-main.pdf?\\_tid=204472d0-d38c-11e7-a793-00000aacb362&acdnat=1511798625\\_63a81d85fd44a014786ab8ecc26f2b0a](https://ac.els-cdn.com/S0048969701006696/1-s2.0-S0048969701006696-main.pdf?_tid=204472d0-d38c-11e7-a793-00000aacb362&acdnat=1511798625_63a81d85fd44a014786ab8ecc26f2b0a)

King, C.-Y. (1986). Gas geochemistry applied to earthquake prediction: An overview. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B12), 12269–12281. <https://doi.org/10.1029/JB091iB12p12269>

Kreuzer, M., Fenske, N., Schnelzer, M., & Walsh, L. (2015). Lung cancer risk at low radon exposure rates in German uranium miners. *British Journal of Cancer*, 113. <https://doi.org/10.1038/bjc.2015.324>

Lubin, J. H., Boice, J. D., Edling, C., Hornung, R. W., Howe, G., Kunz, E., ... Yao, S. X. (1995). RADON-EXPOSED UNDERGROUND MINERS AND INVERSE DOSE-RATE (PROTRACTION ENHANCEMENT) EFFECTS. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.6236&rep=rep1&type=pdf>

Maringer, F. J., Akisb, M. G., Kainederc, H., Kindld, P., Kralike, C., , H. Lettner f, S.

- Luegingerg, E. N., ... Winklerf. (2001). Results and conclusions of the Austrian radon mitigation project 'SARAH.'
- Ngachin, M., Garavaglia, M., Giovani, C., Kwato Njock, M. G., & Nourreddine, A. (2007). Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials. *Radiation Measurements*, 42(1), 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2006.07.007>
- Otton, J. K. (1992). The Geology of RADON. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/gip/7000018/report.pdf>
- Pascual, A. (n.d.). NTP 533: El radón y sus efectos sobre la salud. Retrieved from [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/501a600/ntp\\_533.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/501a600/ntp_533.pdf)
- Ramos, J. A., Cristina, M., Domínguez-Mariani, E., Pineda-Martínez, L. F., López-Loera, H., & Carbajal, N. (2009). *Factores que dan origen al minado de acuíferos en ambientes áridos: caso Valle de San Luis Potosí*. *Revista mexicana de ciencias geológicas* (Vol. 26). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742009000200010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000200010)
- Ruano-Raviña, A., Quindós-Poncela, L., Fernández, C. S., & Barros-Dios, J. M. (2014). Radón interior y salud pública en España. Tiempo para la acción Indoor radon and public health in Spain. Time for action. *Gaceta Sanitaria*, 28(6), 439–441. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.09.003>

Torres-Durán, M., Ruano-Ravina, A., Parente-Lamelas, I., Leiro-Fernández, V.,  
Abal-Arca, J., Montero-Martínez, C., ... Barros-Dios, J. M. (2014). Lung cancer  
in never-smokers: a case–control study in a radon-prone area (Galicia, Spain).  
<https://doi.org/10.1183/09031936.00017114>



# ANEXOS

## Concentraciones de <sup>222</sup>Radón en interiores urbanos de San Luis Potosí,

ejemplos:

