

Revista Electrónica Nova Scientia

Cuantificación de radón (^{222}Rn) en aire y dosis
de radiación en baños termales del norte de
México

Quantification of radon (^{222}Rn) in air and dose of
radiation in hot springs in northern
Mexico

**María de Lourdes Villalba¹, Luis Colmenero-Sujo², Héctor
Rubio-Arias¹, Adán Pinales-Munguía¹, María del Socorro
Espino Valdés¹, Rodrigo de la Garza¹, Humberto Silva-
Hidalgo¹ y Oscar Viramontes-Olivas¹**

¹Departamento de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Chihuahua,
Chihuahua

²Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico de Chihuahua,
Plantel II, Chihuahua

México

María de Lourdes Villalba. E-mail: mvillalb@uach.mx

Resumen

La radiación en aguas termales utilizadas como zonas recreativas puede representar un problema de salud pública. El objetivo fue cuantificar el nivel de radón (^{222}Rn) en aire y evaluar la dosis de radiación en los baños termales establecidos en San Diego de Alcalá, Chihuahua, México. Se seleccionó un espacio de esparcimiento, se cerró puerta y ventana para simular la utilización del baño termal por el público. El nivel de ^{222}Rn en aire se detectó utilizando un instrumento AlphaGUARD (Professional Radon Monitor) de la marca GENITRON. Éste se cuantificó en Bq m^{-3} en diferentes tiempos 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, se realizaron tres mediciones; la primera en la época de invierno 2014 (enero) y dos en la época de primavera de 2015 (mayo y junio). El análisis estadístico fue mediante una regresión para cada medición. Se estimó la Dosis Promedio Anual (DPA) efectiva de inhalación de radón a la que se encuentran expuestas las personas que acuden a los baños termales dependiendo del número de visitas y tiempo de permanencia, el rango varió de $0.0005 \pm 4 \times 10^{-4}$ mSv cuando se visitan los baños 12 veces al año con un permanencia de 10 minutos, hasta $0.0352 \pm 1.1 \times 10^{-2}$ mSv visitando una vez a la semana por un periodo de 60 minutos.

Palabras clave: Contaminación de aire, radiación, dosis, salud

Recepción: 18-04-2015

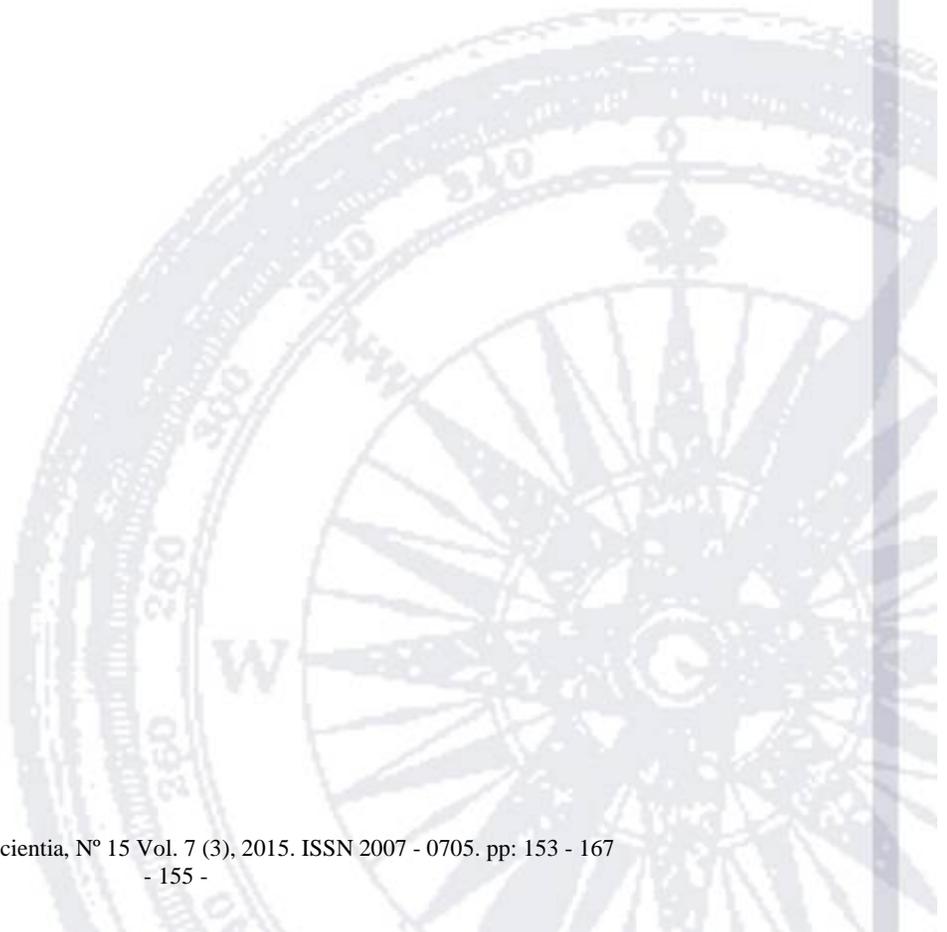
Aceptación: 04-09-2015

Abstract

The Radiation in thermal springs used in recreational areas may represent a public health problem. The objective of this study was to quantify the radon (^{222}Rn) level in air and to measure the total radiation intensity in a natural thermal pool located in San Diego de Alcalá, Chihuahua, Mexico. A thermal spring was selected and the door and window were closed to simulate the bathing pool used for the public. The ^{222}Rn level in air was detected using an AlphaGUARD (Professional Radon Monitor) from GENITRON brand. This parameter was quantified in Bq m^{-3} at different times 10, 20, 30, 40, 50 and 60 min, three measurements were made; the first in the 2014 winter season (January) and two in the time of spring 2015 (May and June). Statistical

analysis was by regressing for each measurement. Average annual effective dose (DPA) inhalation of radon to which are exposed those who come to the hot springs depending on the number of visits and length of stay was estimated, the range varied from $0.0005 \pm 4 \times 10^{-4}$ mSv when the baths are visited 12 times a year with a stay of 10 min until $0.0352 \pm 1.1 \times 10^{-2}$ mSv visiting once a week for a period 60 min.

Keywords: Air pollution, radiation, dose, health



Introducción

Las aguas termales de origen natural han sido valoradas y usadas en diversas partes del mundo por sus propiedades curativas (Thorolfsson y Marteinsson, 2013). Una piscina de agua termal natural se define como aquel ambiente recreativo que contiene aguas geotermales que no han sido esterilizadas, irradiadas o que no han recibido ningún tipo de tratamiento (WHO, 2005). Los romanos construyeron diversos tipos de baños, los cuales con el tiempo se convirtieron en centros de reunión, entretenimiento, cultura, gimnasia, arte, debate, limpieza, e incluso de curación (Lagarto-Parra y Bernal-Sologuren, 2002).

Los balnearios termales han promovido los potenciales efectos benéficos para la salud humana y se sugieren como un tratamiento para trastornos o enfermedades como artritis reumatoide, trastornos endocrinos y metabólicos, afecciones vasculares y padecimientos geriátricos (Uzunov *et al.*, 2009). La utilización de aguas termales en aspectos de salud humana se identifica bajo diversas modalidades terapéuticas como hidroterapia, fisioterapia, fangoterapia y balneoterapia (Bender *et al.*, 2005). Las aguas termales pasan a través de fallas geológicas asociadas con algunas anomalías radiactivas (Santiago, 2004). El agua normalmente proviene de capas profundas ricas en radio (^{226}Ra); las cuales, además, transportan radón (^{222}Rn) disuelto que proporciona la mayor parte de ^{222}Rn en el aire.

De acuerdo a Martínez-Leyva (1983) las aguas termales se deben a la infiltración de aguas meteóricas que al descender a través de fracturas o fallas geológicas, aumentan su temperatura debido al gradiente geotérmico. Este mismo autor sugirió la presencia de focos calientes y cuerpos magmáticos emplazados durante la etapa de distensión tectónica. La circulación profunda enriquece a estas aguas termales con elementos radiactivos procedentes de minerales uraníferos emplazados en diferentes partes de la sección geológica, principalmente en su porción volcánica.

Ayala (2009) señaló que los pacientes que inhalan directamente en baños termales, pueden adquirir una importante dosis de radiación en su sistema respiratorio debido a la desintegración del radón en el epitelio bronquial, aumentando en consecuencia, el riesgo de contraer cáncer de pulmón (UNSCEAR, 2000; Marsh *et al.*, 2010; Muhammad *et al.*, 2010; Walsh *et al.*, 2010; Cevik *et al.*, 2011).

Incluso, una pequeña cantidad de radionúclidos ya sea ingerida o inhalada puede ocasionar una amenaza para la salud. Las partículas alfa, con bajo poder de penetración del radón tienen un alto poder ionizante y su energía varía de 4 a 6 MeV (Navarro y Martín, 2010). Dentro del cuerpo, las partículas alfa ionizan y excitan los átomos del tejido depositando su energía a medida que el ^{222}Rn decae (ICRP, 1990) y, en consecuencia, se pueden presentar efectos bionegativos según lo documentado por la comunidad médica de los Estados Unidos de Norteamérica (Navarro y Martín, 2010). Por esta razón, algunos países han establecido criterios sanitarios referentes a los niveles máximos de radón presentes en agua y aire. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece una concentración de 100 Bq L^{-1} en agua y 148 Bq m^{-3} en aire como límite máximo, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-International Commission on Radiological Protection) sugiere un monitoreo constante en balnearios termales (ICRP, 1990). La Norma Oficial Mexicana no establece criterios para los niveles máximos de radón en agua y aire.

Es importante mencionar que en algunos países europeos, así como en Japón e Israel se han utilizado con éxito para el tratamiento, prevención o curación de diversas enfermedades y, de hecho, los consideran como un tratamiento eficaz principalmente para problemas reumáticos y respiratorios (Fioravanti *et al.*, 2011). En el caso especial de Latinoamérica, desde épocas prehispánicas, algunos países han empleado las fuentes termales para el tratamiento de diversas enfermedades; por ejemplo, en México la ciudad de Tequisquiapan en el estado de Querétaro es ampliamente reconocida desde hace siglos por los tratamientos termales que ofrece (Garzón, 2006).

En el estado de Chihuahua, México, a partir del año 2000 se han realizado estudios referentes a la radiactividad en sedimentos, suelo, aire y agua (superficial y subterránea) en diferentes localidades (Villalba *et al.*, 2011; Colmenero-Sujo *et al.*, 2004). Sin embargo, los estudios que involucran aspectos de radiación en aguas recreacionales y salud humana, han sido poco documentados. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue cuantificar el radón (^{222}Rn) en aire y evaluar la dosis de radiación en baños termales del norte de México en dos estaciones del año. Los resultados permitirán el cálculo de la dosis promedio anual (DPA) de inhalación de radón a la que se encuentran expuestas las personas que acuden a estos baños termales y establecer medidas preventivas o correctivas en su caso.

Método

El estudio se realizó en los baños termales que se encuentran en la comunidad de San Diego de Alcalá (SDA), en el municipio de Aldama, Chihuahua, México (**Fig. 1**). Las coordenadas geográficas del sitio de estudio son $28^{\circ} 35' 41''$ N y $105^{\circ} 34' 17''$ O, a una altitud de 1119 msnm.

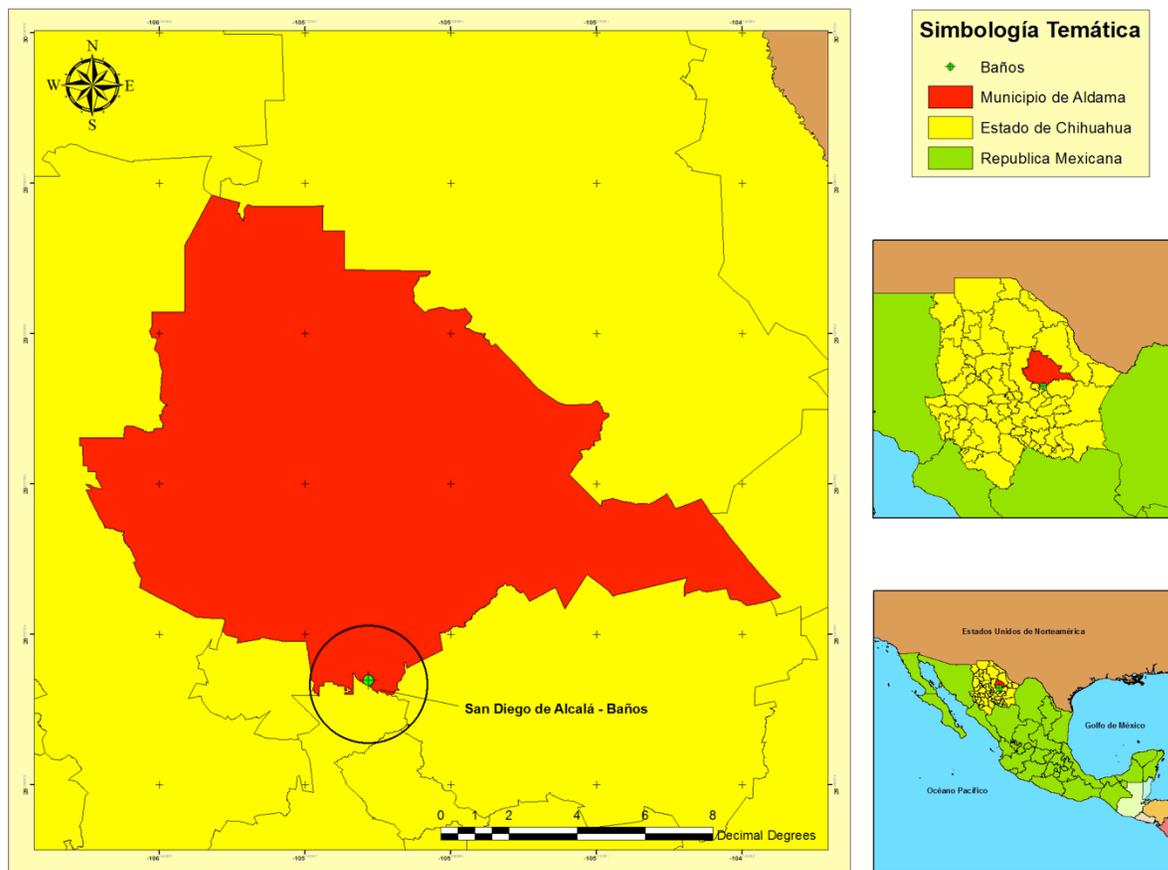


Fig.1. Localización del área de estudio en el municipio de Aldama en el estado de Chihuahua.

Esta región se encuentra en la porción suroriental del acuífero denominado Valle de Aldama-San Diego, el cual está formado por sedimentos continentales de la edad Cuaternaria-Terciario Superior. Los baños termales pertenecen al Ejido de San Diego de Alcalá y en su totalidad son suministrados con agua natural.

Para cuantificar el ^{222}Rn así como la dosis de radiación, en una primera etapa se seleccionó un cuarto de 23 m^3 en donde se encontraba una tina de baño, se cerró la puerta y la ventana con el fin de representar de una manera real la acción que efectúan los usuarios que acuden a estos

baños. En una segunda etapa, se estimaron el contenido de radón en aire y la dosis de radiación de acuerdo con la siguiente metodología.

La determinación del ^{222}Rn fue utilizando un instrumento AlphaGUARD (GENITRON Instrumentos GmbH), el cual dispone de una cámara de ionización de 0.62 L en la cual, el radón ambiental se difunde a través de una membrana de fibra que tiene un factor de retención de 99.9%. Este equipo pertenece al Lawrence Berkeley National laboratory de los Estados Unidos de Norteamérica y es calibrado en dicha Institución cada cinco años. La concentración de radón fue medida en Bq m^{-3} . Se tomaron lecturas a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, realizándose tres mediciones; la primera en la época de invierno 2014 (enero) y dos en la época de primavera de 2015 (mayo y junio). Los intervalos de 10 min fueron tomados debido a que el equipo está calibrado para lecturas en estos tiempos y las estaciones fueron seleccionadas como contrastantes (lluvias y estío) para detectar potenciales efectos por época.

El análisis estadístico consistió en correlacionar, mediante regresión lineal por el método de mínimos cuadrados no ponderados, la actividad de ^{222}Rn por unidad de volumen y el tiempo de medición para cada conjunto de mediciones. La Dosis Promedio Anual (DPA) efectiva, en mSv año^{-1} (H), debida a la inhalación directa de radón, se realizó utilizando la ecuación 1 (UNSCEAR, 2000):

$$H = C \times E \times T \times D \quad (1)$$

Donde: C es la concentración del radón medido en Bq m^{-3} ; E es el factor de equilibrio (0.4); T es el número de horas en un año (hora-año) y; D es el factor de conversión entre la concentración de radón y la dosis ($9 \times 10^{-6} \text{ mSv/hr/Bq/m}^3$).

Resultados y Discusión

En la cuantificación de invierno de 2014, la concentración de radón en aire varió de 26 Bq m^{-3} que fue detectado a los 10 min, hasta 812 Bq m^{-3} observados a los 60 min (**Fig. 2**). Se encontró que existe una regresión lineal positiva, lo cual se muestra con la ecuación 2.

$$A(t) = -198.7 + 15.97 (t) \quad (2)$$

Donde A es utilizado para denotar el valor de predicción por unidad de volumen de ^{222}Rn en Bq/m^3 y t es el tiempo transcurrido a partir de cerrar el recinto (min). En la Fig. 2, el valor de 79.5599 representa el valor de la desviación estándar (S) del conjunto de datos bajo el modelo lineal. Su coeficiente de variación ($\text{CV} = S/\mu$) de 0.22 representa el porcentaje de la desviación con respecto a la media, cuyo valor es aceptable. El valor R-Sq de 94.6% (r^2) identifica el porcentaje de variación en la concentración de ^{222}Rn que es explicada por el tiempo y se considera que las variables están altamente correlacionadas. El valor R-Sq (adj) de 93.3% corresponde a r^2 ajustada esta indicando que los grados de libertad en el modelo no afectan de manera importante a la r^2 .

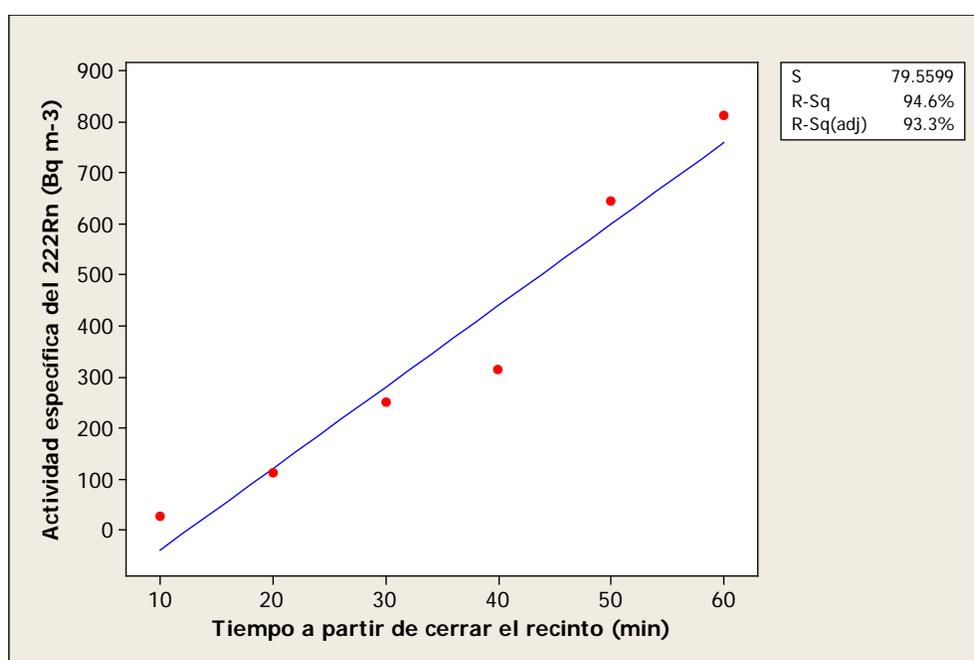


Fig.2. Concentración de ^{222}Rn (Bq m^{-3}) en función del tiempo de medición en el muestreo de invierno (enero)

En el muestreo de mayo de 2015 la concentración de radón varió de 153 Bq m^{-3} a los 10 min hasta $1,696 \text{ Bq m}^{-3}$ observados a los 60 min (**Fig. 3**). Al igual que para el muestreo de invierno, se encontró una regresión lineal positiva lo cual se muestra en la ecuación 3.

$$A(t) = -376.1 + 33.24 (t) \tag{3}$$

Para estos datos que se muestran en la Fig. 3 el valor de la desviación estándar (S) es mayor que en el muestreo de invierno, pero menor el CV con un valor de 0.19 lo cual es aceptable. El valor

de $r^2=95.3\%$ identifica el porcentaje de variación en la concentración de ^{222}Rn que es explicada por el tiempo y se considera que las variables están altamente correlacionadas. El valor de 94.1% que corresponde a r^2 ajustada esta indicando que los grados de libertad en el modelo no afectan de manera importante a la r^2 .

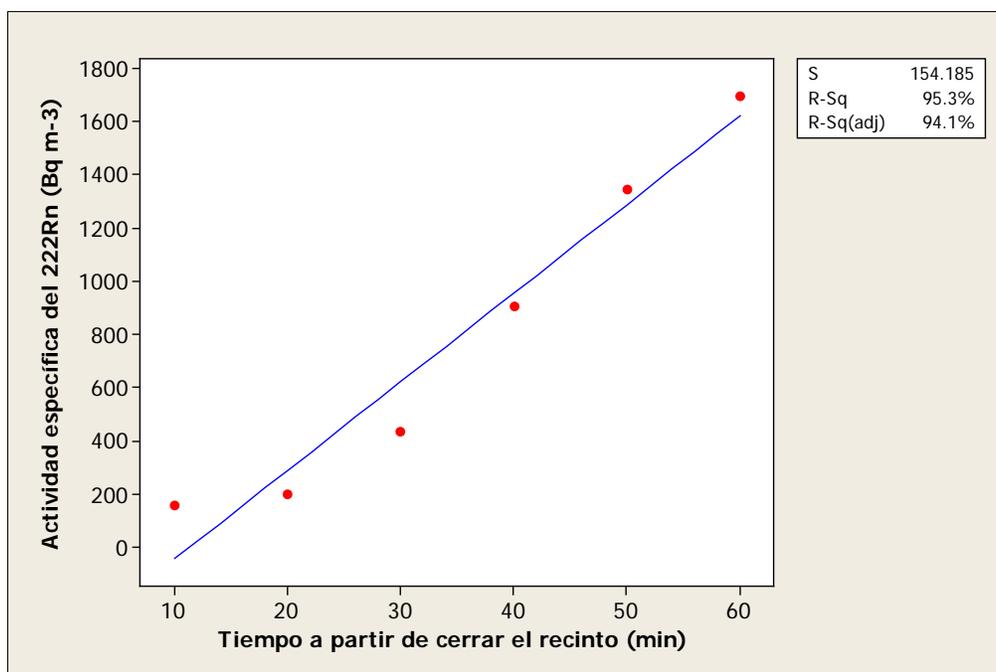


Fig.3. Concentración de radón en aire (Bq m^{-3}) en el muestreo de primavera (mayo)

Para el caso del muestreo realizado en junio de 2015 se tuvo un rango de concentración de 32 a 880 Bq m^{-3} para las mediciones a los 10 y 60 min respectivamente (**Fig. 4**) y se encontró también una regresión lineal positiva, lo cual se muestra en la ecuación 4.

$$A(t) = -63.33 + 17.34 (t) \quad (4)$$

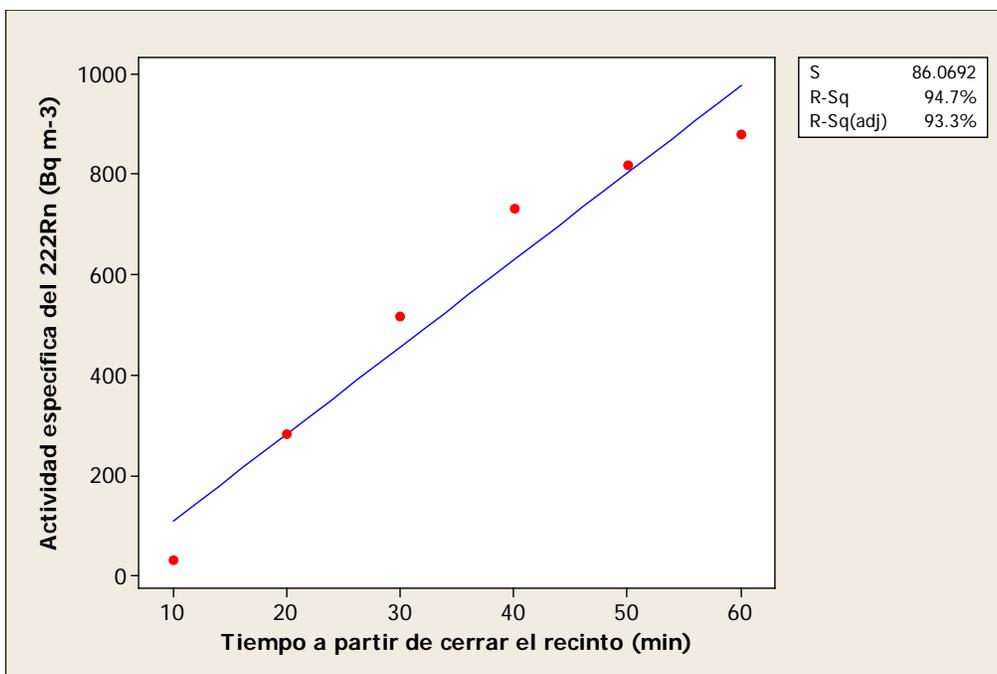


Fig.4. Concentración de radón en aire (Bq m⁻³) en el muestreo de primavera (junio)

Este modelo de predicción presentó una desviación estándar (S) de 86.0692 y un CV de 0.15 lo cual es un valor también aceptable. Es notorio que los valores de r^2 y de r^2 ajustado que se especifican en la Fig. 4 son similares a los encontrados en las mediciones de invierno (enero) y primavera (mayo).

Las concentraciones encontradas fueron superiores a las reportadas por Labidi *et al.* (2006) que notaron concentraciones en un rango de 33 Bq m⁻³ hasta 589 Bq m⁻³ en un baño de Túnez, mientras que Sola *et al.* (2013) encontraron niveles en un rango de 11 Bq m⁻³ a 147 Bq m⁻³ en la provincia de Ratchaburi, Tailandia. Estos resultados, así como los obtenidos en este estudio permiten reafirmar que un incremento de los niveles de ^{222}Rn se presenta en un periodo corto de tiempo, lo cual potencialmente puede presentar un problema de salud. La diferencia encontrada en la concentración de radón al comparar las estaciones, podría ser debido a factores externos e internos los cuales son explicados ampliamente por García-Tobar (2014). Este autor especifica que los parámetros externos son variables meteorológicas como la presión atmosférica, la temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad y dirección del viento mientras que los internos se refieren a la infraestructura del lugar y geología. En las ecuaciones de predicción, se observa que en el mes de mayo la actividad fue mayor, disminuyó en junio y la menor se encontró en enero. Estas diferencias pueden ser explicadas por diferencias meteorológicas, toda

vez que la región de estudio, presenta altos contrastes por efecto de la estación. Por ejemplo, en invierno (enero) se pueden presentar temperaturas de -10°C en contraste con temperaturas hasta de 40°C en primavera (mayo).

El radón detectado en este estudio puede ser producto de una relación directa del acuífero Aldama–San Diego con la continuidad tectónica estructural al noroeste de las sierras de Peña Blanca-El Cuervo, la cual es la región denominada provincia uranífera de Aldama. Los investigadores Villalba *et al.* (2010) encontraron que el agua de los manantiales que se encuentran en la región de estudio presentaban un alto contenido de ^{226}Ra (5.6 Bq L^{-1}), que luego se convertía en radón, el cual presenta un alto coeficiente de solubilidad que le permite ser transportado por las aguas termales (Quindós *et al.*, 1989) y después ser liberado al aire. Además, algunos factores como las características físicas, el proceso de agitación, las altas temperaturas propias del agua (Rábago, 2013), el contenido de elementos radiactivos de los materiales de construcción (Ramírez *et al.*, 2011) y la escasa ventilación originan la acumulación de radón hasta niveles de $1,696\text{ Bq m}^{-3}$. Estos resultados son importantes cuando se analiza que Mestre *et al.* (2013) establecieron que por cada incremento de 100 Bq m^{-3} de radón en locales cerrados, el riesgo de contraer cáncer de pulmón aumentaba un 16%. La dosis promedio de radiación a la que están expuestos los visitantes que acuden a los baños depende del número de visitas que realizan durante el año. Las visitas consideradas en este trabajo fueron 12, 26 y 52 veces que son las más comunes que practican las personas que visitan estos baños y el tiempo de permanencia son de 10 hasta 60 min como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Promedio de la DPA efectiva anual [mSv/año] en función del tiempo de uso del baño termal

Min/ veces año	12	26	52
10	$0.0005 \pm 4 \times 10^{-4}$	$0.0011 \pm 9 \times 10^{-4}$	$0.0022 \pm 1.7 \times 10^{-3}$
20	$0.0014 \pm 4 \times 10^{-4}$	$0.0031 \pm 9 \times 10^{-4}$	$0.0061 \pm 1.8 \times 10^{-3}$
30	$0.0029 \pm 7 \times 10^{-4}$	$0.0062 \pm 1.6 \times 10^{-3}$	$0.0125 \pm 3.1 \times 10^{-3}$
40	$0.0047 \pm 1.6 \times 10^{-3}$	$0.0101 \pm 3.5 \times 10^{-3}$	$0.0203 \pm 7 \times 10^{-3}$
50	$0.0067 \pm 2.0 \times 10^{-3}$	$0.0146 \pm 4.2 \times 10^{-3}$	$0.0292 \pm 8.5 \times 10^{-3}$
60	$0.0081 \pm 2.7 \times 10^{-3}$	$0.0176 \pm 5.9 \times 10^{-3}$	$0.0352 \pm 1.1 \times 10^{-2}$

Los resultados relativos a la DPA efectiva variaron en un rango de $0.0005 \pm 4 \times 10^{-4}\text{ mSv}$ cuando se visitan los baños 12 veces al año con un permanencia de 10 minutos, hasta $0.0352 \pm 1.1 \times 10^{-2}\text{ mSv}$ visitando una vez a la semana por un periodo de 60 minutos.

Estas dosis de radiación se suman a las recibidas por la radiación natural que depende de tipo de rocas y yacimientos de minerales radiactivos entre otras (Manosalva, 2006) y a los hábitos, como el fumar. La EPA (2015) ha reportado hasta 21,000 casos anuales de muerte por cáncer de pulmón donde 2,900 eran no fumadores. El aumento de la dosis por estas causas puede desarrollar en el futuro, un proceso que genere células cancerígenas a lo largo de los años (Ruano y Barros, 2013; Al-Jundi *et al.*, 2011). Para reducir este riesgo, es necesario que el tiempo de permanencia y el número de visitas sean las menores posibles. Otro aspecto importante a considerar es lo especificado por los investigadores Tómas *et al.* (2011) quienes señalaron que el personal que labora en los balnearios termales son los más irradiados por radón. Por esta razón, es recomendable establecer mecanismos de discusión y análisis a diferentes niveles para la protección de trabajadores con más exposición a la radiación. Cabe mencionar que los trabajadores de los baños termales bajo estudio se encuentran en el exterior de los mismos y solo vigilan esporádicamente, por lo que la dosis que reciben es debido a la radiación natural (fondo).

Conclusiones

El nivel de radón en los baños termales de San Diego de Alcalá no representa un peligro de salud pública para visitantes que utilicen este servicio los primeros 10 minutos de permanencia. Las dosis promedio anual variaron conforme al tiempo y al número de visitas, donde la mayor fue a los 60 min., con 52 visitas al año ($0.0352 \text{ mSv año}^{-1}$). Lo recomendable sería que los usuarios, quienes buscan un efecto benéfico con este tipo de tratamiento, reduzcan el tiempo de permanencia y la frecuencia de visitas.

Agradecimientos

A los alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua Luis Alejandro Colmenero Chacón y José Elías Villa Herrera por su participación en la medición de radón en los baños.

Referencias

Al-Jundi J., Li W.B., Abusini M., Tschiersch J., Hoeschen C. and Oeh U. (2011). Inhalation dose assessment of indoor radon progeny using biokinetic and dosimetric modeling and its application to Jordanian population. *J. of Environmental Radioactivity*. 102, 574-580.

Ayala A. (2009). Medición de Rn-222 en Ambientes Geohidrológicos en la Fracción central de México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

Bender T., Karagülle Z., Bálint G.P., Gutenbrunner C., Bálint P.V., and Sukenik S. (2005). Hydrotherapy, balneotherapy, and SPA treatment in pain management. *Rheumatology International*. 25, 220-224.

Cevik U., Kara A., Celik N., Karabidak M. and Celik A. (2011). Radon survey and exposure assessment in Karaca and Cal Caves, Turkey. *Water Air Soil Pollut*. 214, 461-469.

Colmenero-Sujo, L., Montero Cabrera, M.E., Villalba, L., Villalobos, R.M., Torres Moya, E., García León, M., García Tenorio, R., Mireles García, F., Herrera Pedroza, E.F., Sánchez Aroche, D. (2004). Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil, radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of Aldama, Chihuahua, Mexico. *Journal of Environmental Radioactivity* 77:205-219.

EPA, 2015. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/radon/healthrisks.html>

Fioravanti A., Cantarini L., Giacomo M.G. and Galezzi M. (2011). Mechanisms of action of spa therapies in rheumatic diseases: what scientific evidence is there? *Rheumatol International*. 31, 1-8.

García-Tobar, J. (2014). Influencia de las condiciones meteorológicas sobre el nivel de radón a corto plazo en un laboratorio subterráneo. *Nova Scientia* 6 (12):78-107.

Garzón G. (2006). El gas radón y la hormesis. [en línea] http://entornogeografico.univalle.edu.co/numero4/gas_radon.pdf. [11 julio 2014].

ICRP. (1990). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann. ICRP* 21, 1-3.

Labidi S., Essafi F. and Mahjoubi H. (2006). Estimation of the radiological risk related to the presence of Radon 222 in a hydrotherapy centre in Tunisia. *Journal of Radiological Protection*. 26, 309-316

Lagarto-Parra A. y Bernal-Sologuren I. (2002). Utilización terapéutica de las aguas y fangos mineromedicinales. [en línea]

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003475152002000100009&lng=es&nrm=iso [11 julio 2014].

Manosalva, J. (2006). Radiación ambiental en la zona central del Perú. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. 9, 78-81

Martínez-Leyva P. (1983). Aplicación de trazadores químicos en el aforo de la descarga de los manantiales de San Diego de Alcalá, Chih. Boletín de Investigación Geohidrológica. 2, 1-5.

Marsh J.W., Harrison J.D. and Laurier D. (2010). Dose conversion factors for radon: Recent developments. Health Physics. 99, 511–516.

Mestre F., Carrizales L., Sajó-Bohus L. y Díaz C. (2013). Dosis estimada por concentraciones de ^{222}Rn en Bunker de Radioterapia y de almacenamiento de isótopos radiactivos. IX Latin America IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety-IRPA. Río de Janeiro, Brazil. 15 al 19 de abril.

Muhammad R., Rahman S.U., Rahman, S., Matiullah Shahzad, M.I., Ahmed N., Iqbal J., Ahmed B., Anmed T. and Akntar N. (2010). Assessment of indoor radon doses received by the students in the Azad Kashmir school, Pakistan. Radiation Protection Dosimetry. 142, 339-346.

Navarro M. y Martín A.I. (2010). Aguas radiactivas, ¿Fe peligrosa o beneficio demostrado?. Anales de Hidrología Médica. 3, 109-129.

Quindós L.S., Soto J., Fernández P.L., Villar E., Newton G., Peña, J.J., Gálvez, M. y Arteché, J. (1989). Radón, principal fuente de radiación natural. Revista Española de Física. 3, 22-27

Rábago D. (2013). Aplicación de un sistema de monitorización de la concentración de gas radón en el agua de una instalación termal. Tesis de Licenciatura en Física. Universidad de Cantabria. Santander, España.

Ramírez P., Morón C., García A. y Correa E. (2011). Estudio de las concentraciones y mecanismos de desplazamiento de radón y descendientes en recintos cerrados. Congreso de Innovación Tecnológica en la Edificación CITE. Madrid, España. 14 al 16 de noviembre, 2011.

Ruano A. y Barros J.M. (2013). Radón interior y cáncer laboral. Archivos de Prevención de Riesgos Laborales. 16, 5-6

Santiago P.M. (2004). Determinación de los parámetros dinámicos del gas radón en aguas

termales y potables del Distrito Miranda, Estado Falcon. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad de Zulia. República Bolivariana de Venezuela.

Sola, P., Srisuksawad, K., Loaharojanaphand, S., O-Manee, A., Permnamtip, V., Issarapam, P., Thummagarun, I. (2013). Radon concentration in air, hot spring water, and bottled mineral water in one hot spring area in thailand. *Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 297:183-187

Thorolfsdottir B.O.T. and Marteinsson V.T. (2013). Microbiological Analysis in Three Diverse Natural Geothermal Bathing Pools in Iceland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10, 1085-1099.

Tómas J., Fernández I.M., Carranza J., Capote E. y Rodríguez G. (2011). Evaluación de la carga radiacional sobre pacientes y trabajadores en el balneario Elguea, Cuba. *Ciencias Nucleares*. 48, 9-14.

UNSCEAR. (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Sources and effects of Ionizing Radiation, 2. 64-136.

Villalba L., Colmenero L., Manjon G. y Chávez R. (2010). Radium presence on spring water from San Diego de Alcalá, Chihuahua, México. *Proceeding of the International Workshop on Environmental Hydraulics, IWEH09, Valencia, Spain*.

Walsh L., Tschense A., Schnelzer M., Dufey F., Grosche B. and Kreuzer M. (2010). The influence of radon exposures on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946-2003. *Radiation Research*. 173, 79-90.

WHO. (2005). World Health Organization. Guidelines for safe recreational water environments. 2, Swimming pools, Spas and similar recreational-water environments. WHO, Geneva, Switzerland.