

## Medición de $K^{40}$ en Suelo de Mina

**Salazar-Roman AR y Carrillo-Vega HR**

Universidad Autónoma de Zacatecas

Ciprés # 10, Fraccionamiento la Peñuela, Zacatecas, Zac., 98068

rosy\_ojitos@hotmail.com; fermineutron@yahoo.com

### Resumen

La radiactividad natural del suelo y la exposición externa de la radiación gamma dependen principalmente de las características geológicas del mismo. Sus niveles de radiactividad proporcionan información de la distribución de los radionúclidos en el ambiente y permite estimar el riesgo radiológico. Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de K-40 en cuatro muestras de suelo de una mina que produce Ag, Pb, Cu, Zn, en el Estado de Zacatecas, a través de espectrometría de rayos gamma usando un detector de Yoduro de Sodio dopado con Talio (NaI (TI)). Por lo que se encontró que para la muestra de suelo contaminado por los efluentes líquidos de la mina (AC) tiene una actividad específica de 353 Bq/kg, para tiro Los Ángeles (TA) de 55 Bq/kg, en la presa antigua (PA) de 307 Bq/kg y dentro de la mina (MA) fue de 485 Bq/kg, mencionando que todo estos lugares se refieren a la misma mina. Al usar un factor de conversión de  $0.043 \text{ nGy/h (Bq/kg)}^{-1}$  para calcular la dosis absorbida en aire del radionúclido natural como es el  $K^{40}$  en las muestras de suelo se encontraron las siguientes razones de dosis; de 15.18 nGy/h, 2.37 nGy/h, 13.2 nGy/h y 20.86 nGy/h, respectivamente. Estos resultados son similares a los reportados para muestras de suelo de Texas, USA, Karabuk (Turquía) y Kalpakam (India), cabe señalar que estas muestras no son muestras de mina, solo las usamos como referencia para este trabajo. Nuestros resultados son en un promedio de 300 Bq/kg que corresponde a una de razón de dosis de 12.9 nGy/h, comparándola con el valor más alto reportado en el caso de china que es de 580 Bq/kg (24.94 nGy/h) lo que arroja una diferencia de 48.3 % y comparada con el valor promedio más pequeño que pertenece a Tripoli (Libya) que es de 270 Bq/kg (11.61 nGy/h) es de 10 %. El promedio de la concentración de la actividad del K-40 se encontró por debajo del promedio mundial de dosis absorbida, el cual es de 55 nGy/h del promedio reportado para el mundo, por lo que estos resultados pueden ser utilizados como una referencia para el análisis de la radiactividad en los suelos de esta mina.

### 1. INTRODUCCIÓN

La radiactividad natural fue descubierta a fines del siglo XIX por H. Becquerel, Pierre y Marie Curie y es el fenómeno por el cual núcleos atómicos que poseen combinaciones de protones y neutrones que no conducen a una configuración estable (radionúclidos), se desintegran espontáneamente mediante la emisión de partículas  $\alpha$  o  $\beta$  generalmente acompañada de fotones de radiación  $\gamma$  hasta que alcanzan una configuración nuclear estable [1].

Por otro lado, la radiactividad natural es la radiación procedente de las desintegraciones que ocurren en la corteza terrestre por radionúclidos como el  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  y el  $^{40}\text{K}$ , o de origen extraterrestre, procedente de las reacciones termonucleares que se dan en el Sol y otras Estrellas. Sin embargo los radionúclidos presentes en la naturaleza se han clasificado como, primordiales, cosmogénicos y antropogénicos [1].

De esta manera, la principal fuente de radionúclidos en la corteza terrestre es el magma subyacente. A diferencia de un compuesto como el Agua, que cristaliza a cierta temperatura, el magma por su diversa composición química cristaliza en un intervalo de temperatura que abarca hasta  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de tal manera que a lo largo del proceso de enfriamiento y solidificación del mismo se van formando rocas ígneas que varían en su composición mineral [1].

Por lo tanto, en las primeras etapas de la cristalización, se forman las rocas ricas en Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y con concentraciones bajas de Uranio (U) y Torio (Th), por consiguiente, el magma remanente acumula material radiactivo y en las últimas etapas de la cristalización forma rocas ricas en minerales que tienen U y Th, tales como la pechblenda. Ahora bien, los radionúclidos presentes en otros tipos de rocas como las sedimentarias y metamórficas se encuentran allí, debido a los procesos de meteorización y compactación que sufren las rocas ígneas [1].

Los valores promedios de actividad en suelo de los principales radioisótopos naturales en el mundo son: 32 Bq/kg para  $^{226}\text{Ra}$ , 25 Bq/kg para  $^{232}\text{Th}$  y 370 Bq/kg para  $K^{40}$  [2].

Por lo cual, la radiación gamma del potasio es procedente del isótopo  $^{40}\text{K}$ , donde decae por  $\beta^{-}$  a el núcleo estable  $^{40}\text{Ca}$ , pero el isótopo  $^{40}\text{K}$  también decae por captura electrónica en el núcleo estable  $^{40}\text{Ar}$ , emitiendo rayos gamma de 1460 KeV [3].

Así mismo, el promedio anual internacional de la radiación de dosis efectiva por cápita es de 2.46 mSv. En este valor de dosis debido a la radiación cósmica es de 0.39 mSv, de radiación interna es 0.29 mSv, para la radiación gamma externa 0.48 mSv y debido al gas radón es de 1.3 mSv [4].

La radiactividad natural de fondo y la exposición externa de la radiación gamma dependen principalmente de las condiciones geológicas y geográficas y son distribuidos al azar en el suelo en diferentes regiones del mundo. De tal manera que las mediciones de radiactividad del suelo pueden proveer información de la distribución de los radionúclidos en el ambiente que es esencial en la evaluación radiológica de riesgo a la salud humana [4].

En este trabajo se estudió una región de la Ciudad de Zacatecas, en la cual, la principal industria es la minería, en la cual los minerales que principalmente se extraen son plata (Ag), oro (Au), mercurio (Hg), hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb), bismuto (Bi), cobre (Cu), cuarzo, caolín, ónix, cantera, cadmio (Cd), Wollastonita (mineral del grupo de silicatos) y algunas sales [5].

La mina Capstone Gold, se encuentra situada en la ciudad de Zacatecas, en el Cerro San Roberto ejido Hacienda Nueva. Está localizada en  $22.8971999\text{ N}$ ,  $102.6853001\text{ W}$ , mina en la cual se extraen minerales tales como Plata (Ag), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Plomo (Pb), teniendo como objetivo de este estudio medir la concentración de  $K^{40}$  en muestras de suelo de la mina Capstone

Gold, mediante espectrometría gamma con NaI(Tl), y compararlas con las reportadas en otro tipo de muestras de suelos de diferentes partes del mundo [5].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron 4 muestras de suelo en diferentes puntos, como son dentro de la mina (MA), en un tiro cerca de está, el cual sirve de respiración para la misma (TA), en la presa antigua (PA) y en una lugar donde en el pasado ocurrió una contaminación por efluentes líquidos (contienen metales pesados Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Níquel (Ni)) de la mina (AC), esto para determinar la radiactividad del suelo fuera y dentro de esta industria.

### 2.1. Recolección de Muestras

Estas muestras fueron recolectadas de 1-10 cm de profundidad. Estas mismas fueron secadas con gran cuidado durante 15 días bajo el sol, después de esto las muestras se cernieron en dos coladores tamaño de malla diferente, el primer para retirar los sólidos más grandes (100 MESH) y el segundo para obtener un tamaño de partícula más pequeño (200 MESH). Posteriormente las muestras se pasaron a un recipiente tipo Marineli (0.5 L) para enseguida analizar la cantidad de  $K^{40}$  presente en estas. Los pesos de estas fueron de 218 g para MA, 253 g para TA, 216 g para PA y 317 g para AC.

Cabe señalar que antes de todo esto se calibró el equipo, que en este trabajo se uso un yoduro de sodio dopado con talio (NaI(Tl)), este sistema fue acoplado a un analizador multicanal, tal como se observa en la Figura 1. Se calibró con algunas fuentes, como son las que se muestran en la Tabla 1, a un voltaje de 650 V.



Figura 1. Esquema experimental de NaI, para el análisis de

**Muestras en suelo de mina.****Tabla 1. Datos de calibración de equipo NaI (TI)**

| E (KeV) | No. Canal | Fuente |
|---------|-----------|--------|
| 662     | 83        | Cs-137 |
| 1173    | 144       | Co-60  |
| 1332    | 163       | Co-60  |
| 511     | 58        | Na-22  |
| 1274    | 140       | Na-22  |

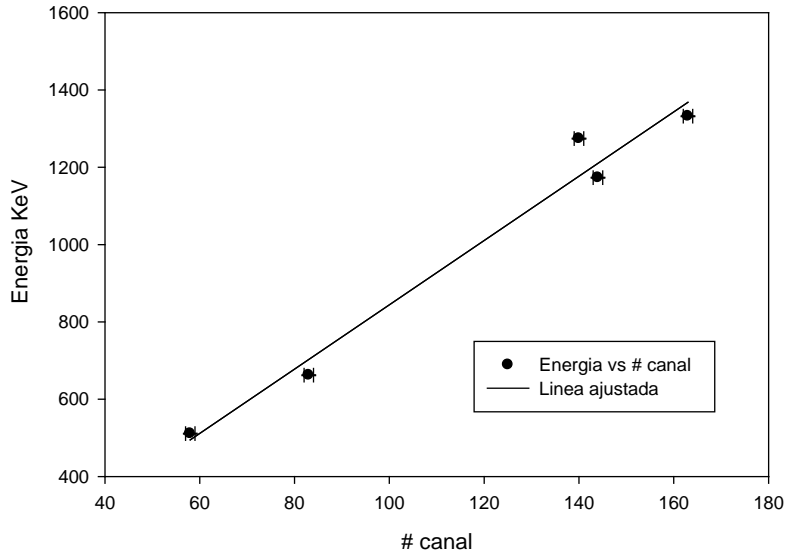
**2.1.1. Calibración de Equipo de Laboratorio**

Después de calibrar el equipo en energía se midió el fondo durante varias horas, esto con ayuda de geometría Marineli pero ahora lleno de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), debido a que el ácido bórico tiene un coeficiente de atenuación parecido al del suelo, dando como resultado 54,183.98 s como tiempo real y 30,932.75 s como tiempo vivo.

Para calibrar en actividad el sistema de espectrometría gamma, se utilizó un estándar de cloruro de potasio (KCl) grado reactivo de la marca comercial J.T. Baker<sup>®</sup>, con una pureza de 99.3% de acuerdo al fabricante. Finalmente se colocaron las 4 diferentes muestras de suelo en el NaI (TI), para llegar al objetivo anteriormente planteado y en el siguiente apartado se reporta la concentración así como la eficiencia de conteo del  $K^{40}$ .

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Primero se obtuvo la calibración en energía para encontrar la relación entre la posición en el número de canal del fotopico y la energía del fotón que se produce. Con los resultados de la energía y el canal, se construyó la curva de calibración en energía, los datos se ajustaron a una línea recta, utilizando el método de mínimos cuadrados ponderados, esto se puede observar en la Figura 2, donde se muestran los datos experimentales de cada fuente, así como la línea ajustada por mínimos cuadrados ponderados [6].



**Figura 2. Calibración en energía, usando las fuentes mostradas en la Tabla 1.**

La ecuación encontrada con el MCP, se obtiene la Ecuación 1, donde Ch es el número de canal por el MCP;

$$E = (8.3175 \pm 0.0111)Ch + (12.258 \pm 1.388) \quad \text{Ecuación 1}$$

Con un coeficiente de correlación de 0.9987

Ahora para el cálculo de la actividad de 1g de KCl debido al decaimiento de  $K^{40}$ , se hizo uso de los datos de la Tabla 2.

**Tabla 2. Valores utilizados para el cálculo de actividad en las diferentes muestras.**

|   |          |
|---|----------|
| $T_{\frac{1}{2},K40} (a)$                   | 1.28e9   |
| Pureza muestra KCl ( $p$ )                  | 0.993    |
| $p\gamma$ (1.46 MeV)                        | 0.107    |
| Fracción atómica K/molécula KCl ( $f_a^k$ ) | 1        |
| Fracción isotópica ( $f_{iso}^{K40}$ )      | 1.18e-4  |
| Peso molecular KCl (g/g mol) ( $M_{KCl}$ )  | 74.60    |
| # de avogadro                               | 6.022e23 |
| Fondo B (cps)                               | 2.79     |

Para la actividad por cada gramo de la muestra estándar (STD) de KCl, se usó la Ecuación 2, como se puede observar enseguida:

$$A = \frac{\ln 2 w_{KCl} N p f_a^k f_{iso}^{K40}}{T_{\frac{1}{2},K40} M_{KCl}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$A = 16.25 \frac{\text{Bq}}{\text{g de muestra STD}}$$

La sal de KCl de 251 g, se midió usando geometría marineli, donde la rapidez de conteo neta (N) fue de 11.67 cps y al hacer uso de las ecuaciones 3 y 4 se encuentra la concentración de KCl por unidad de tiempo, por lo tanto:

$$\dot{c} = \frac{N}{w_{\text{KCl}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\dot{c} = 4.65 \times 10^{-2} \frac{\text{cps}}{\text{g de muestra}}$$

$$k_{\text{STD}} = \frac{A}{\dot{c}} = 349.54 \frac{\text{Bq}}{\text{cps}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Con ayuda de este último valor se calculo la concentración, debida al K<sup>40</sup> en las 4 muestras de suelo, realizando los cálculos apropiados para cada caso:

**Tabla 3. Resultado de concentración de K<sup>40</sup> en muestras de suelo**

| Muestra | Peso (g) | Conteo (cps) | Normalizar (cps) | cps/g   | A (Bq/Kg) | Dosis Absorbida (nGy/h) |
|---------|----------|--------------|------------------|---------|-----------|-------------------------|
| AC      | 317      | 3.11         | 0.32             | 1.01e-3 | 353±10    | 15.2±0.4                |
| TA      | 253      | 2.83         | 0.04             | 1.58e-4 | 55±1      | 2.4±0.04                |
| PA      | 216      | 2.98         | 0.19             | 8.80e-4 | 307±8     | 13.2±0.3                |
| MA      | 281      | 3.18         | 0.39             | 1.39e-2 | 485±10    | 20.9±0.4                |
| STD KCl | 251      | 14.46        | 11.67            | 4.65e-2 | 349.6±6   | 15±0.26                 |

De tal manera, con los resultados de la tabla 3, se obtiene que la eficiencia de detección es de 2.67 %, la cual se calcula como se muestra en la Ecuación 5 y tomando en cuenta la probabilidad de fotón de la actividad de K<sup>40</sup>:

$$\eta = \frac{\frac{\text{cps}}{\text{g}} \text{ STD KCl}}{A_{\text{K}40} \text{ p}\gamma} \times 100 \% \quad \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\eta = 2.67 \%$$

Con los resultados presentados en esta misma, se encontró un valor promedio de concentración en actividad (A) de 300 Bq/Kg y al usar un factor de conversión de 0.043 nGy/h (Bq/kg)<sup>-1</sup> para calcular la dosis absorbida en aire del radionúclido natural como es el K<sup>40</sup> en las muestras de

suelo [4], se encontró la dosis absorbida de 12.9 nGy/h. Al comprar este último valor con resultados reportados para muestra de suelo de Texas, USA, Karabuk y Egipto [7,8] se observa una gran similitud en concentración en actividad. Por lo contrario, para China que fue el valor más alto reportado de muestras de suelo para el análisis de  $K^{40}$  con un valor de 580 Bq/kg (24.94 nGy/h) se obtuvo una diferencia de 48.3 % por arriba de nuestro valor promedio y para el caso de Tripoli que fue el valor más pequeño con una concentración de 270 Bq/kg (11.61 nGy/h) se encontró una diferencia de 10 % por debajo del valor de este trabajo.

#### 4. CONCLUSIONES

Se midió la concentración de  $K^{40}$  en muestras de suelo de la mina estudiada. Las concentraciones en actividad de las muestras analizadas fueron para AC, TA, PA y MA de 353 Bq/kg, 55 Bq/kg, 307 Bq/kg y 485 Bq/kg, respectivamente. Siendo este último valor el más alto el cual corresponde a la muestra tomada dentro de la mina. El valor promedio de concentración de las 4 muestras analizadas en este trabajo fue de 300 Bq/kg que es muy cercano al valor promedio reportado para  $K^{40}$  en muestras de suelo.

Además, se encontró que la Dosis absorbida para cada muestra de AC, TA, PA y MA es de 15.2 nGy/h, 2.4 nGy/h, 13.2 nGy/h y 20.9 nGy/h, respectivamente, con un valor promedio de 12.9 nGy/h que está por debajo del promedio mundial de dosis absorbida, el cual es de 55 nGy/h [7]. Por lo tanto, estos resultados pueden ser utilizados como una referencia para el análisis de radiactividad en los suelos de esta mina.

#### AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento que proporcionó durante la elaboración de este proyecto.

#### REFERENCIAS

1. Magill, J. y Galy, J., *Radioactivity Radionuclides Radiation*, Springer, Germany, (2005).
2. "Página United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", <http://www.unscear.org/unscear/es/publications/1993.html> (1993)
3. Hannan, A.H., Nguyen, N., Rivas, M., "Natural radioactivity and its gamma dose rate in Mission (Texas) soils", *Springer*, **295**, p. 229-236 (2012).
4. "Página United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", <http://www.unscear.org/docs/reports/annexb.pdf> (2000)
5. "Página de gobierno del estado de Zacatecas", <http://www.zacatecas.gob.mx/> (2014).
6. Vega, H.R. (2012). Regresión por Mínimos Cuadrados Ponderados. Documento UAEN/07/LMN-RPMCP2/07090912, Universidad Autónoma de Zacatecas
7. "Página de United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", [http://www.unscear.org/docs/reports/1988/1988b\\_unscear.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/1988/1988b_unscear.pdf) (1988)
8. Ebaid, Y.Y., Tahawy, M.S., Lakany, A.A., Garcia, S.R., "Environmental radioactivity measurements of Egyptian soils", *J Radioanal Nucl Chem*, **243(2)**, 543-550 (2000).

