

Interpretación del comportamiento log-normal del tenor de uranio en el contexto de rocas ígneas

Jacinto Valencia*, Andrés Palacios, José Maguiña

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Servicios. Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, Perú

Resumen

Se aborda el análisis y tratamiento de los resultados del tenor de uranio obtenidos de una roca intrusiva por el método de espectrometría gamma, los que resultan en una buena correlación entre el uranio y torio cuando se utiliza el logaritmo de estos análisis y se le representa en un diagrama torio/uranio obteniendo una mejor respuesta. Así se establece que la expresión de la distribución log-normal ofrece una mayor aproximación respecto a la distribución espacial del uranio en un depósito mineral. Se muestra la representación de una distribución normal y una distribución log-normal. En la parte interpretativa se explica mediante diagramas el comportamiento de la relación torio/uranio y con relación al potasio a partir de mediciones directas de tenores obtenidos en campo de puntos de muestreo de un sector del granito de San Ramón (SR), y volcánicos del Grupo Mitu (GM) donde se ha identificado al granito de esta unidad como roca fuente de uranio.

Palabras claves: Yacimientos de uranio; Log-normal; Granito; Fuentes de uranio

Behaviour interpretation log-normal tenor of uranium in the context of intrusive rocks

Abstract

Analysis and processing of the results of the tenor of uranium obtained from a rock intrusive by the method of gamma spectrometry, which result in a better correlation between uranium and thorium when the logarithm of these analyzes is used is discussed and is represented in a thorium/uranium diagram obtaining a better response. This is provided that the expression of the lognormal distribution provides a closer relation to the spatial distribution of uranium in a mineral deposit. The representation of a normal distribution and a log-normal distribution is shown. In the interpretative part explained by diagrams the behavior of the thorium/uranium and relation to potassium from direct measurements of tenors obtained in the field of sampling points of a section of granite San Ramón (SR) relationship, and volcanic Mitu Group (GM) where it has identified the granite rock of this unit as a source of uranium.

Keywords: Uranium deposits; Log-normal; Granite; Uranium sources

1. Introducción

En la corteza de la tierra, la concentración de elementos radiactivos generalmente siguen una distribución log-normal; lo mismo sucede cuando se analizan muestras de prospección o exploración no importa que elemento sea, la distribución que estos muestran por lo general son tenores mayormente bajos, los cuales conforme se van incrementando en valores más altos estos se hacen cada vez menos frecuentes (distribución sesgada positiva), hecho que ocurre casi siempre en cualquiera que sea el tipo de yacimiento mineral [1].

Con relación a la medición de radiación gamma, se debe indicar que la información radimétrica suministrada por la actividad de

los elementos integrantes de la cadena de desintegración del uranio está condicionada a una situación de equilibrio entre los citados elementos, vale decir que todos ellos deben de estar presentes en el mineral y en determinadas proporciones.[†]

Tres son los elementos de la cadena de desintegración radiactiva del uranio que pueden migrar produciendo desequilibrio: el U-234 y Ra-226 solubles en agua, y el Rn-222 un gas de gran movilidad. El U-234 pertenece al grupo del uranio y el Ra-226 y

*Correspondencia autor: jvalencia@ipen.gob.pe

[†] Las razones entre las cantidades de radionucleidos que la integran permanecen constantes, durante un tiempo determinado.

Rn-222 al grupo del radio; la migración de los mismos ocasiona la ausencia de un elemento que se encuentra *a posteriori* en la cadena, el Bi-214 cuyo nivel de energía de 1.762 MeV presenta un pico característico dentro del espectro.

Si se tiene presente que del 100 % de la información gamma total, el 2 % pertenece al grupo del uranio y el 98 % restante al grupo del radio, se deduce que los dos elementos más importantes a considerar como causa del desequilibrio son el Ra-226 y el Rn-222.

En el tratamiento de resultados de uranio procedentes de mediciones por espectrometría gamma *in situ* se observa que los valores al ser interpretados en un diagrama Th/U, el logaritmo de estos valores son los que mejor

responden al establecer la correlación secular de la proporción $\text{Th/U} = 4$. Sin embargo, un desbalance de esta relación nos indica que los minerales de uranio presentes en el granito han sufrido modificación por efectos de removilización; en consecuencia, esto determina como roca fuente de uranio facies del granito, indicando desde el punto de vista geoquímico diferenciación magmática.

La Figura 1 se muestra los diagramas de la distribución normal y distribución log-normal, ésta última distribución generalmente está caracterizada en términos de la variable log-transformada, utilizando como parámetro el valor de la media de su distribución o la desviación estándar [2].

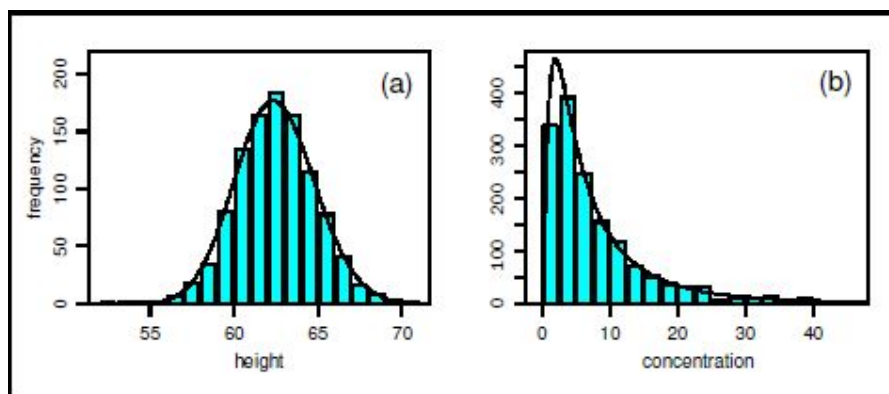


Figura 1. Ejemplos: (a) distribución normal (b) distribución log-normal.

2. Metodología

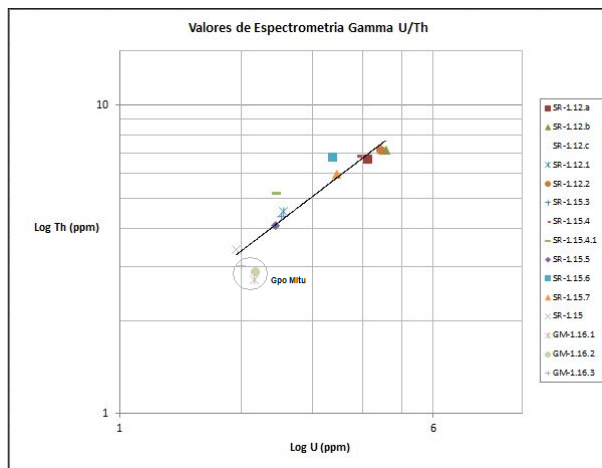
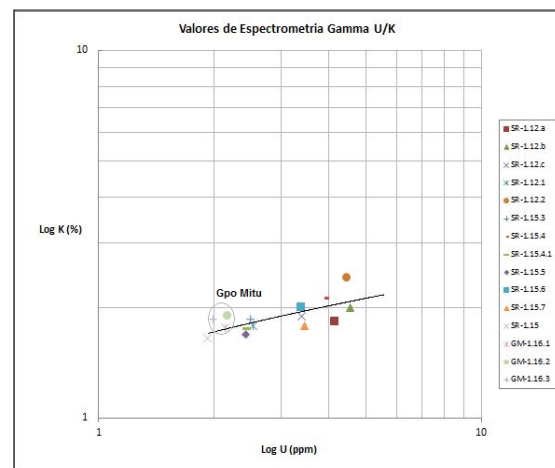
El estudio se basa en información levantada en campo de mediciones por espectrometría gamma *in situ* en la zona “Villa Progreso” en el granito de San Ramón-La Merced, Región Junín, referenciada por un posicionador satelital de coordenadas (N 8°789,133 E 469,862), donde se han efectuado determinaciones de la concentración de actividad de uranio equivalente (U_e), en este caso en un espectrómetro portátil modelo RS-230 BGO. Igualmente, se han realizado mediciones de las concentraciones de la actividad de los elementos Th y K, las lecturas corresponden a un perfil de campo sobre afloramiento del

granito, de las que no ha sido necesario tomar la muestra.

Los tenores de U-Th-K obtenidos en las mediciones de campo, como el logaritmo calculado de estos valores se muestran en la (Tabla 1) se puede apreciar que tanto los tenores de uranio y torio medidos en campo por el espectrómetro gamma no guardan la proporcionalidad del equilibrio secular (relación $\text{Th/U} = 4$) sus logaritmos de estos han sido utilizados para elaborar los diagramas de la relación Th-U y U-K que se ilustran en la Figuras 2 y 3. A partir de estos diagramas se han efectuado las interpretaciones del comportamiento del uranio en la roca granito bajo estudio.

Tabla 1. Tenores de espectrometría gamma de U-Th-K, Granito de San Ramón.

Nº Muestra	Código	Espectrometría gamma						Observaciones
		K (%)	Log	U (ppm)	Log	Th (ppm)	Log	
1	SR-1.12.a	6.3	1.84	62.8	4.13	820	6.7	roca intrusiva, granito rojo
2	SR-1.12.b	7.3	1.98	96.5	4.56	1256	7.13	roca intrusiva, granito rojo
3	SR-1.12.c	6.6	1.88	30.7	3.42	365	5.89	roca intrusiva, granito rojo
4	SR-1.12.1	5.9	1.77	12.9	2.55	92.3	4.52	roca intrusiva, granito rojo
5	SR-1.12.2	11.3	2.42	85.7	4.45	1263	7.14	roca intrusiva, granito rojo
6	SR-1.15.3	6.4	1.85	12.4	2.51	77.6	4.35	granito rojo grano grueso, biotítico
7	SR-1.15.4	8.4	2.12	49.5	3.9	921.3	6.82	granito rojo grano grueso, biotítico
8	SR-1.15.4.1	5.8	1.75	16	2.44	176.4	5.17	granito rojo grano grueso, biotítico
9	SR-1.15.5	5.4	1.68	11.4	2.43	59.6	4.08	granito rojo grano grueso, biotítico
10	SR-1.15.6	7.5	2.01	29.3	3.37	880	6.77	granito rojo grano grueso, biotítico
11	SR-1.15.7	5.9	1.77	32	3.46	388.5	5.96	granito rojo grano grueso, biotítico
12	SR-1.15	5.2	1.64	7	1.94	30.2	3.4	granito rojo grano grueso, biotítico
13	GM-1.16	5.8	1.75	8.6	2.15	15.2	2.72	base contacto granito/Gpo. Mitu
14	GM-1.16	6.7	1.9	8.8	2.17	17.9	2.88	base contacto granito/Gpo. Mitu
15	GM-1.16	6.4	1.85	7.4	2	20.6	3.02	base contacto granito/Gpo. Mitu

**Figura 2.** Muestra la relación, en el eje de las abscisas el log de los valores de U y en el eje de las ordenadas el log de los valores de Th.**Figura 3.** Muestra la relación en el eje de las abscisas el log de los valores de U y en el eje de las ordenadas el log de los valores de K.

3. Resultados y discusión

En el presente estudio el tratamiento de los valores de uranio obtenidos por espectrometría gamma, cuando se les interpreta a partir del logaritmo (comportamiento log-normal del tenor de uranio) y se les representa en diagrama binario Th/U, muestran una correlación lineal positiva y se interpreta que estos dos elementos radiactivos tienen la misma filiación metalogenética y, orienta la prospección con mayor claridad en las etapas iniciales, donde predominan valores generalmente bajos en uranio posibilitando una mejor interpretación de su repartición espacial (concentración) y la orientación de la

prospección.

Con relación a la procedencia de las muestras pertenecen a ambiente ígneo y representada por la asociación magmática; el vulcanismo del grupo Mitu, integrada por andesitas y areniscas rojas, y la intrusiva el granito de San Ramón que por su contenido de uranio caracteriza a cada unidad ígnea cuando se establece la relación con el contenido de torio; en este caso, en los diagramas de las Figuras 2 y 3 se muestra una clara diferencia entre dos tipos de rocas, volcánicas e intrusivas, información que nos permite afirmar que si bien tienen un origen co-genético no muestran una correlación, debido a que en estas últimas se ha producido en el

tiempo de emplazamiento un gradual enriquecimiento en uranio por diferenciación magmática, pasando a constituirse en granito fértil a diferencia de la modalidad considerada por Roger & Adams [3].

Las anomalías de uranio de la zona en estudio tienen un claro control litológico. En la Tabla 1 las muestras de granito (SR) tienen tenor medio de 37.2 ppm de U y 527 ppm de Th, las muestras de rocas volcano-detriticas del paleozoico (GM) tienen tenor más bajo, 8.2 ppm de U y 17.9 de Th, y establece que se ha producido removilización de uranio en el seno del granito de San Ramón, dando lugar a formación de depósitos de uranio que en la etapa de exploración del granito se debe definir.

4. Conclusiones

- a. Mediciones de U, Th y K *in situ* por espectrometría gamma en rocas intrusivas ofrecen información útil en las etapas iniciales de la fase exploratoria determinado zonas anómalas en contenido de uranio.
- b. El logaritmo de tenores de uranio y torio, representados en un diagrama Th/U, permiten una mejor discriminación de tipos de rocas de un origen co-genético como en este contexto de rocas del Grupo Mitu integradas en este caso por andesitas y areniscas rojas, y facies del granito de San Ramón.
- c. Las muestras de rocas volcano-detriticas (andesitas y areniscas) del paleozoico (GM)

con un log medio de 2.10 de U y log 2.87 de Th; las muestras de facie granito rojo de log promedio de 3.82 de U y 6.27 de Th; el de facie granito biotítico el log promedio de 2.80 de U y log 5.22 de Th. Por la relación de proporcionalidad de estos se indica que la facie de granito rojo con una relación de log Th/U=1.64 representa la de mayor favorabilidad, por diferenciación y removilización de uranio.

d. Rocas del tipo volcáno-detriticas (andesitas, areniscas) e intrusivas (granito), pertenecientes al mismo contexto metalogénico, en estas últimas el contenido de uranio se debe a la ocurrencia de un proceso de enriquecimiento de este elemento por diferenciación en el ciclo magmático, dando lugar a un nuevo modelo de depósito de uranio en el país que eleva el potencial.

5. Bibliografía

- [1] Canchaya MS. Log-normalidad y efecto proporcional características frecuentes en los yacimientos de oro. XII Congreso Peruano de Geología. Lima, octubre, 2004.
- [2] Limpert E, Stahel WA, Abbt M. Log-normal distributions across the Sciences: Keys and clues. *BioScience*; 2001, 51(5): 341-352.
- [3] Roger JJW, Adams JA. Geochemistry of uranium. In: Wedepohl KH, ed. *Handbook of geochemistry*. Berlin: Springer-Verlag; 1969.