

Migración del uranio en la parte central del Terreno Guaniguanico



Uranium migration in the central part of the Terreno Guaniguanico

<https://eqrcode.co/a/jHR192>

Magaly Fuentes Rodríguez^{1*}, **René Yasmany Cobas Torres¹**,
 Willy Roberto Rodríguez Miranda²

RESUMEN: La abundancia del uranio en la corteza terrestre es de 0.0004% y su distribución es amplia debido a sus propiedades químicas y mineralógicas, encontrándose en rocas, suelos y agua. Esta investigación, en la parte central del Terreno Guaniguanico, que en su mayor parte está constituida por rocas sedimentarias, con una extensión de 2857.61 km², se desarrolla para determinar mediante la utilización de técnicas analíticas, la migración y acumulación del uranio, en las sucesiones estratigráficas del área en cuestión. En esta ocasión, se utilizan los datos de los resultados del Levantamiento Aero-gamma-espectrométrico (LAGE), de la República de Cuba, esencialmente, los mapas de las variables básicas: potasio (K), uranio equivalente (eU), torio equivalente (eTh), y sus relaciones. Como resultado, se determinan aquellas áreas donde existe la posibilidad de acumulación de uranio, y se evidencia si la concentración de este radioelemento, es producto de procesos de migración o forma parte del contenido original de la roca.

Palabras clave: uranio, migración del uranio, acumulación del uranio, espectrometría gamma, radioelemento.

ABSTRACT: The uranium abundance in the earth's crust is 0.0004% and its distribution is wide due to its chemical and mineralogical properties. It is found in rocks, soils and water. This investigation, in the central part of the Guaniguanico Terrain, which for the most part is made up of sedimentary rocks, with an extension of 2857.61 km², is developed to determine, using analytical techniques, the migration and accumulation of uranium, in stratigraphic successions of the area in question. On this occasion, the data from the results of the Aero-gamma-spectrometric survey (LAGE) of the Republic of Cuba are used, essentially, the maps of the basic variables: potassium (K), uranium equivalent (eU), thorium equivalent (eTh), and their relationships. As a result, those areas where there is the possibility of uranium accumulation are determined, and it is evident whether the concentration of this radioelement is the product of migration processes or is part of the original content of the rock.

Key words: uranium, uranium migration, uranium accumulation, gamma spectrometry, radioelement.

INTRODUCCIÓN

El método gamma-espectrométrico, es uno de métodos radiactivos aplicados en la cartografía geológica y la prospección de minerales, así como en la solución de otras tareas geológicas. La espectrometría gamma mide los conteos y las concentraciones de potasio (K), de uranio equivalente (eU) y de torio equivalente (eTh) de los primeros 30-40 cm de material meteorizado,

de los suelos y las rocas que afloran, mediante la detección de la radiación gamma emitida por estos elementos. Los valores anómalos de concentración de estos tres radioelementos pueden ser usados para cartografiar zonas mineralizadas, identificar estructuras geológicas, delimitar unidades litológicas, así como identificar zonas de posibles depósitos de los mismos ([IAEA, 2003](#)).

Recibido: 05/01/2020

Aprobado en su forma original: 01/07/2020

¹Instituto de Geología y Paleontología, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

²Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echevarría, Marianao, La Habana, Cuba.

*Autor para correspondencia: *Magaly Fuentes Rodríguez*. E-mail: magaly@igp.minem.cu

Los datos de espectrometría gamma, han sido muy utilizados a nivel mundial para resolver diferentes problemas geológicos (Shaban, 2008; Asfahani *et al.*, 2010a; Aboelkhair & Gaafar, 2013; Al-Hilal & Al-Ali, 2016; Asfahani *et al.*, 2016; Asfahani, 2018; El-Mezayen *et al.*, 2018; Hassan *et al.*, 2019; Adabanija & Oladunjoye, 2020; Gaafar *et al.*, 2020).

En esta investigación se utilizan los datos de los resultados del Levantamiento Aero-gamma-espectrométricos (LAGE) de la República de Cuba, esencialmente, los mapas de variables básicas K, eU, eTh, y sus relaciones, con el objetivo de determinar aquellas áreas donde existe la posibilidad de acumulación de uranio y evidenciar si la concentración de este radioelemento, es producto de procesos de migración geoquímica o forma parte del contenido de la roca. Por lo que se plantean las siguientes tareas:

- Confeccionar los mapas de contenido de K y concentraciones de eU, eTh para la región de estudio.
- Confeccionar el Mapa de la relación eU/eTh para la región de estudio.
- Obtener los estadígrafos de interés para evaluar las concentraciones de uranio a partir del procesamiento estadístico de los datos aero-gamma espectrométricos de la región de estudio.
- Calcular los coeficientes necesarios para determinar los estados de migración del uranio a partir de técnicas analíticas.
- Representar y discutir los resultados.

La región de investigación se encuentra en la parte central de la cordillera de Guaniguanico en la provincia de Pinar del Río (Figura 1). Abarca una extensión total de 2857.61 km². La Tabla 1 muestra las coordenadas del área de estudio.

El área se caracteriza por una estructura geológica compleja, que en su mayor parte está constituida por rocas sedimentarias y en menor grado ígneo y metamórfico. De acuerdo con su corte estratigráfico y la posición estructural, dentro del terreno Guaniguanico se distinguen varias unidades tectono-estratigráficas (en orden estructural ascendente), con una estratigrafía

particular que la caracteriza: Alturas de Pizarras del Norte, Sierra de los Órganos y Alturas de Pizarras del Sur, representando los terrenos metamórficos, está la faja Arroyo Cangre y al sur de la falla Pinar las secuencias sinorogénicas y secuencias de cobertura neoplatafórmica o neoa autóctona (Iturralde & García, 2011).

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio. Proyección NAD 27, Cuba-Norte.

Vértice	X	Y
1	190243.094	244627.336
2	191712.734	318428.072
3	243088.760	317490.267
4	241864.036	243685.060

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados en esta investigación fueron:

- Información geológica disponible sobre el área de los trabajos.
- Mapas regionales de aero-gamma espectrometría de la república de Cuba a escala 1: 100 000.
- Mapa Geológico digital del sector a escala 1:100 000.
- Modelo Digital de Elevación (MDE).
- Red de drenaje.

Los métodos geofísicos fueron:

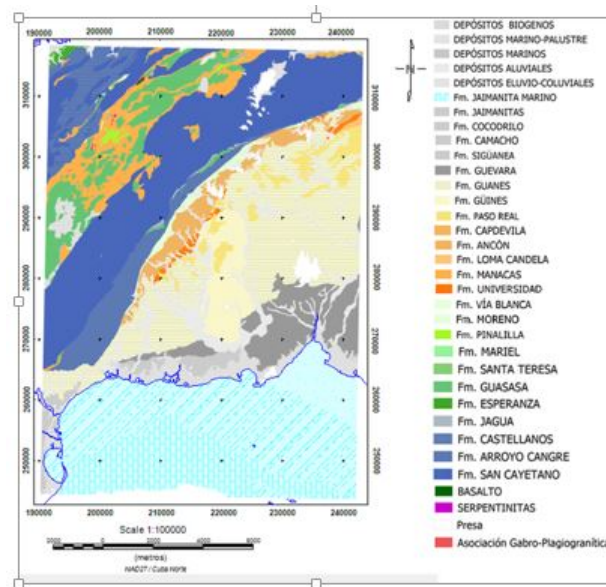
- Espectrometría gamma aérea.

Las técnicas utilizadas fueron:

- El programa Minitab 16 para el procesamiento estadístico y el cálculo de los coeficientes.
- El programa de procesamiento e interpretación de datos geofísicos Oasis Montaj, para la confección de los mapas de los radioelementos K, eU, eTh y sus relaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se confeccionaron los mapas de contenido de K en % (Figura 2), concentración de eTh en ppm (Figura 3), concentración de eU, en ppm (Figura 4) y la relación eU/eTh, que representa un indicador muy importante en la migración del uranio (Asfahani *et al.*, 2007; El-Galy, 2007;



IGP, 2016

Figura 1. Mapa geológico del área de investigación a escala 1:100 000

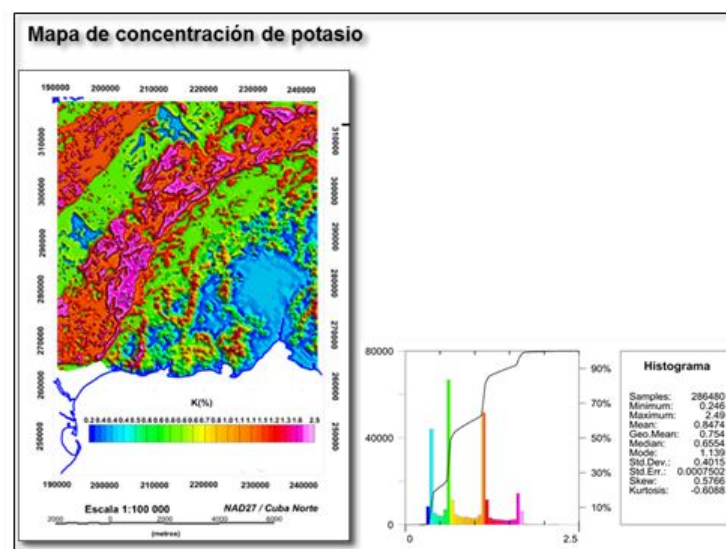
[Asfahani et al., 2010b](#); [Aboelkhair & Gaafar, 2013](#)), (Figura 5).

Utilizando las expresiones establecidas, se calcularon los estadígrafos que fueron empleados para obtener los coeficientes que permiten evaluar la migración del uranio a partir de las concentraciones original y equivalente de este elemento. Los estadígrafos de interés y la relación eU/eTh encontrados para la región de estudio se muestran en la [Tabla 2](#).

El uranio es un radioelemento móvil que migra bajo la acción del oxígeno que se encuentra en el

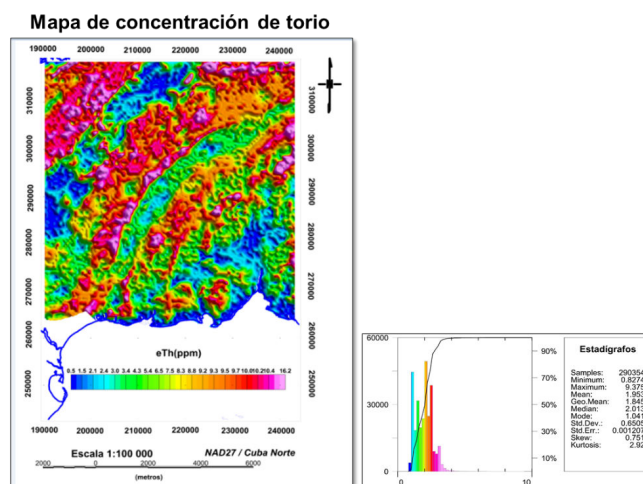
agua subterránea durante su evolución y acumulación. Los depósitos de uranio se encuentran en una gran variedad de ambientes geológicos. La mayoría de los yacimientos secundarios (sedimentarios) lixivian el uranio en condiciones oxidadas de acuerdo con la movilidad del uranio en forma hexavalente (U^{6+}) y lo redepositan en ambientes reductores, en forma tetravalente (U^{4+}) el cual tiende a ser insoluble ([IAEA, 2003](#)) (Figura 6).

El uranio y el torio tienen el mismo radio iónico y carácter de enlace, también se forman en



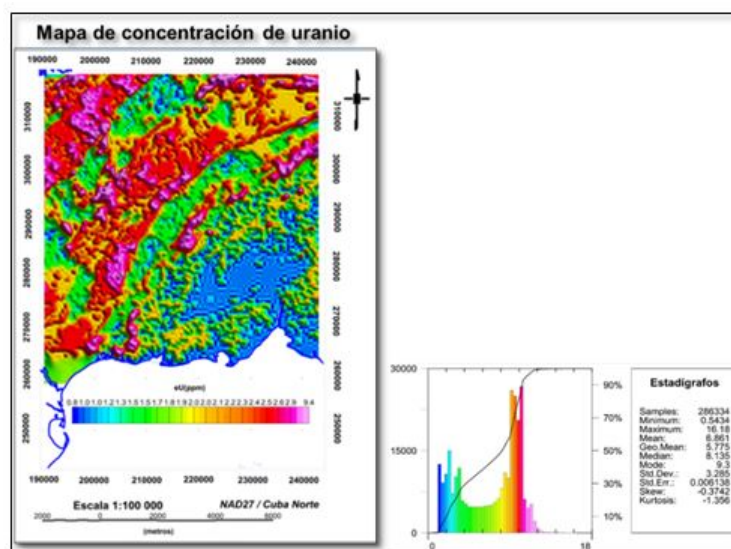
modificado de [Mondelo et al., 2005](#)

Figura 2. Mapa de concentración de potasio



modificado de [Mondelo et al., 2005](#)

Figura 3. Mapa de concentración de torio



modificado de [Mondelo et al., 2005](#)

Figura 4. Mapa de concentración de uranio

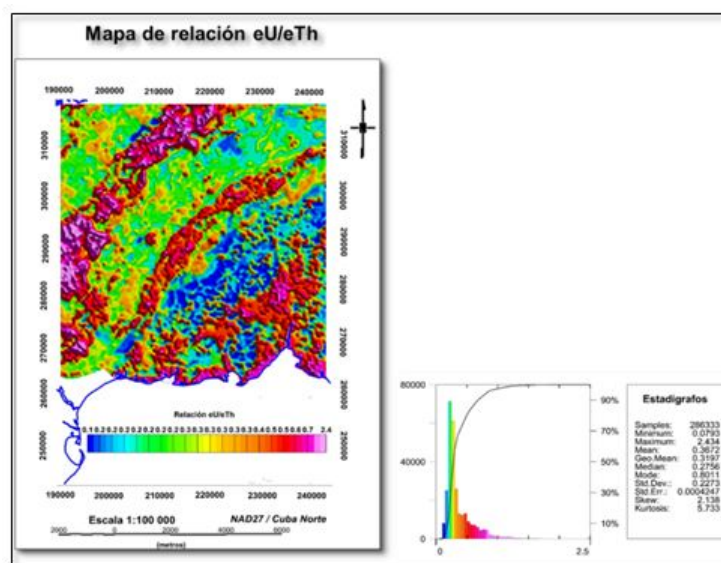
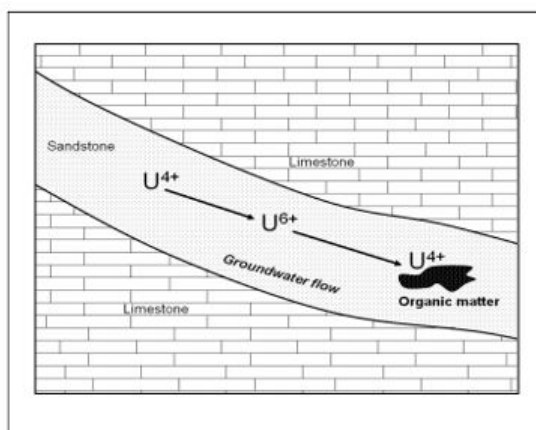


Figura 5. Mapa de la relación eU/eTh



tomado de [Shaban, 2008](#)

Figura 6. Esquema que muestra la movilidad del uranio

la misma condición en la cámara magmática.

Esto explica por qué tienden a ocurrir juntos en rocas y depósitos de minerales. Para evaluar el proceso de migración de los elementos radioactivos se han establecido relaciones que permiten su estudio. De esta manera y utilizando la relación eU/eTh se definen elementos importantes que permiten realizar una estimación de los contenidos de uranio en los diferentes ambientes geológicos ([El Galy, 2007](#); [Asfahani et al., 2010b](#); [Tamer & El Arabi, 2013](#); [Mohamed et al., 2017](#); [El-Qassas & Abu-Donia, 2019](#); [Hassan et al., 2019](#); [Saleh et al., 2019](#)) y que parten de la siguiente relación matemática:

$$U_0 = eTh^* \left[\frac{eU}{eTh} \right]$$

Donde:

U : es el contenido de uranio original

eTh : es la media de torio equivalente en ppm

$\left[\frac{eU}{eTh} \right]$ es la media de la relación eU/eTh

Una vez que se tuvieron los mapas de eU y eTh fue posible obtener el mapa de la relación eU/eTh . De esta manera y empleando los valores que se ofrecen en la [Tabla 2](#) fue posible estimar el contenido de uranio original en la región de Guaniguanico.

Tabla 2. Valores medios de los elementos radiactivos y su relación

Elementos	Media
Uranio	1.953
Thorio	6.681
Potasio	0.8474
Relación eU/eTh	0.3672

$$U_0 = 2.453$$

Como se observa el coeficiente U_0 , tiene un valor de 2.453 ppm y graficando esa información sobre el mapa geológico ([Figura 7](#)), se observa en color rojo los sitios de concentración de uranio.

Esa concentración de uranio, puede ser producto de la migración de este radioelemento o propia de las rocas que se formaron en ese ambiente geológico. Para evaluar la migración existen dos estados que se basan en el parámetro U_m .

- Si $U_m > 0$: el uranio migrado forma parte de la unidad geológica
- Si $U_m < 0$: el uranio migrado no forma parte de la unidad geológica

Este parámetro está definido por la relación:

$$U_m = U_p - U_0$$

Donde:

U_m : es la cantidad de uranio migrado

U_p : es la media de uranio equivalente

En el caso de la región de Guaniguanico, al evaluar la expresión, se obtiene el siguiente resultado a partir del comportamiento de los contenidos equivalentes de uranio y torio en el área.

$$U_m = U_p - U_0$$

$$U_m = 1.953 - 2.453$$

$$U_m = -0.5 < 0$$

Como se observa el parámetro U_m es menor que 0 lo que implica que el uranio migrado no forma parte de la unidad geológica. Entonces es posible afirmar que la presencia de valores anómalos de contenido de uranio en la zona

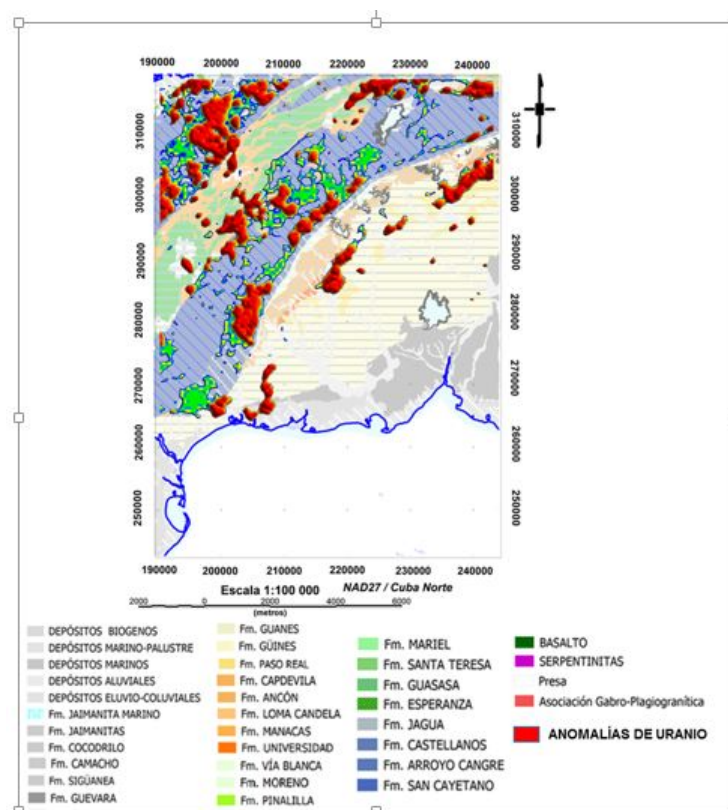


Figura 7. Mapa de anomalías de uranio.

septentrional de la cordillera de Guaniguanico, asociados a la formación Manacas, se atribuye a la migración de dicho elemento desde las calizas ricas en materia orgánica de la formación Guasasa, las cuales a pesar de que no presentan anomalías de uranio, si contienen contenidos medios de este elemento. Los resultados de las mediciones de espectrometría gamma en las muestras estudiadas se reflejan en la [Tabla 3](#).

Este resultado se logró a partir de la superposición del mapa de modelo de elevación digital del terreno (MDE) y la red de drenaje sobre el mapa de anomalías de uranio, donde se comprobó que las zonas anómalas coinciden con las áreas bajas del MDE (valles intramontanos, poljas), mientras las zonas elevadas (mogotes) están desprovistas de anomalías, coincidiendo con las calizas de la formación Guasasa ([Figura 8](#)).

Este comportamiento en la distribución de las anomalías de uranio pudiera estar dado por la lixiviación de las calizas del Fm. Guasasa, transportando el uranio a las soluciones resultantes para luego ser redepositado y concentrado en las partes más bajas del relieve donde se encuentran las rocas de la Fm. Manacas, las cuales a su vez, debido a su mayor contenido en minerales arcillosos favorecen aún más este proceso. En los sedimentos aluviales de algunos ríos que discurren por la llanura sur de Pinar del Río, también se presentan algunas zonas con valores anómalos de uranio, lo cual pudiera ser atribuible al hecho de que gran parte de las rocas que conforman los tramos superiores de los ríos pertenecen al terreno de Guaniguanico, derivadas de protolitos sedimentarios de origen continental, permitiendo que estas litologías contengan cierta concentración de uranio el cual posteriormente es

Tabla 3. Contenido de U, Th, K y CT en las muestras estudiadas.

X	Y	Muestra	K	U ppm	Th ppm	Dose nSv/h
201604	303061	4219	0.6	2.4	1.7	30.7
202643	301826	4320	0.6	2.8	1.9	33.5
202929	304647	3515	0.7	2.1	1.9	30.3
204303	305752	3916	0.7	2.2	1.6	30.3
203332	299120	4522	0.7	2.6	2.7	36.3

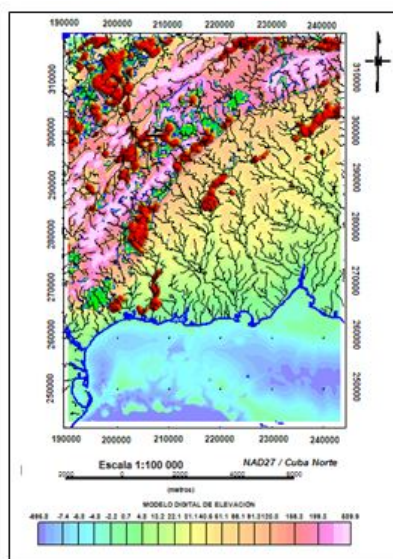


Figura 8. Anomalías de uranio sobre el MDE y la red de drenaje.

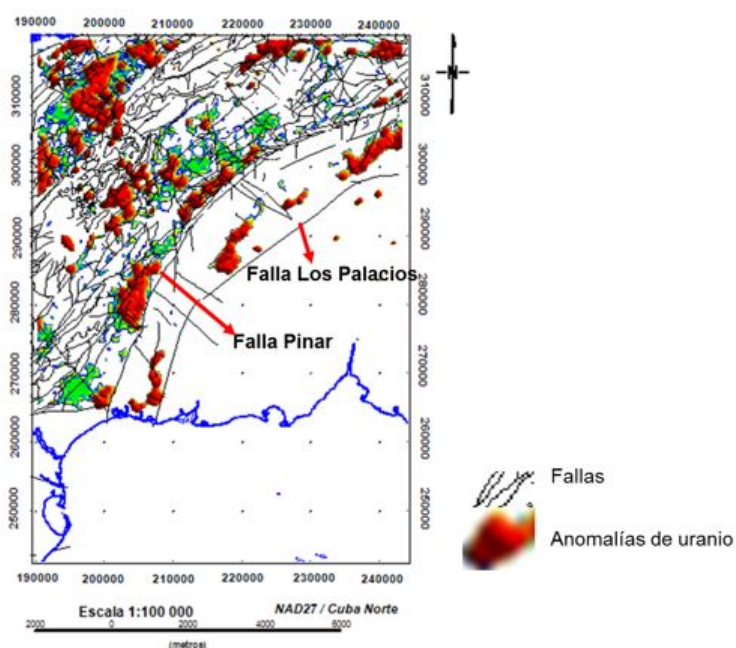


Figura 9. Mapa de anomalías de uranio sobre el mapa tectónico.

removilizado y concentrado, en otras zonas, con predominio de sedimentos con granulometría fina. Al superponer los mapas de anomalías de uranio y el tectónico (Figura 9) se observa que en las cercanías de las fallas regionales Pinar y Los Palacios aparecen anomalías de uranio que pudieran estar vinculadas al ascenso por dichas estructuras de soluciones que pueden contener uranio.

CONCLUSIONES

1. En la región del Terreno Guaniguanico se calculan los estadígrafos necesarios para obtener los parámetros que definen el proceso de migración del uranio una vez confeccionados los mapas de las concentraciones de eU y eTh en ppm.
2. Se evalúan los parámetros que definen el proceso de migración del uranio en la región estudiada.

3. La aplicación de las técnicas analíticas utilizadas confirman que el uranio presente en la región central del terreno Guaniguanico es producto de los procesos de arrastre de este material, desde las zonas montañosas o más elevadas, hacia las zonas más bajas por poseer el parámetro Um un valor menor que 0.

BIBLIOGRAFÍA

- Aboelkhair, H. & Gaafar, I. 2013. "The use of gamma ray spectrometry as an aid for uranium exploration in Kab Amiri Area, central eastern Desert, Egypt". *Resource Geology*, 63 (1):72-83. ISSN: 1751-3928, DOI: 10.1111/j.1751-3928.2012.00211x.
- Adabanija, M.A., Anie, O.N. & Oladunjoye, M.A. 2020. "Radioactivity and gamma ray spectrometry of basement rocks in Okene area, southwestern, Nigeria". *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 9 (1): 71-84, DOI: 10.1080/20909977.2020.1711695
- Al-Hilal, M. & Al-Ali, A. 2016. "Investigation for uranium dispersion adjacent to cretaceous phosphatic outcrops in Al-Nassrieh Basin, southern Palmyrides, Syria". *Journal of Earth Science*, 27(5): 786-795, ISSN: 1867-111X, DOI: 10.1007/s12583-016-0916-9.
- Asfahani, J. 2018. "Multifractal approach for delineating uranium anomalies related to phosphatic deposits in Area-3, Northern Palmyrides, Syria". *Applied Radiation and Isotopes*, 137: 1078-1086. ISSN: 1867-111X, DOI: 10.1016/j.apradiso.2018.03.012
- Asfahani, J., Aissa, M. & Al-Hent, R. 2007. "Uranium migration in sedimentological phosphatic environment in Northern Palmyrides, Al Awabed Area, Syria". *Applied Radiation and Isotopes*, 65(9): 225-235, ISSN: 1867-111X, DOI: 10.1016/j.apradiso.2007.04.019
- Asfahani, J., Aissa, M. & Al-Hent, R. 2010. "Aerial spectrometric survey for localization of favorable structures for uranium occurrences in Al-Awabed area and its surrounding, Northern Palmyrides, Syria". *Applied Radiation and Isotopes*, 68(1): 219-228, ISSN: 0969-8043, DOI: 10.1016/j.apradiso.2009.08.001
- Asfahani, J., Al-Hent, R. & Aissa, M. 2010. "Geological and Hydrogeological Conditions for Forming Uranium Occurrences in the Fraqlos-Jabal Abou Rabah Region, Palmyrides, Syria". *Exploration and Mining Geology*, 19 (1-2): 1-12. ISSN: 0964-1823, DOI: 10.2113/gsemg.19.1-2.1
- Asfahani, J., Al-Hent, R. & Aissa, M. 2016. "Favourable uranium-phosphate exploration trends guided by the application of statistical factor analysis technique in the aerial gamma spectrometric data in Syrian desert (Area-1), Syria". *Journal of Earth System Science*, 125(1): 203-216, ISSN: 0973-774X, DOI: 10.1007/s12040-015-0642-1
- El-Galy, M.M. 2007. "Mobilization of some radioelements and its implications on their favorability: case study on selected granitic plutons, central eastern desert, Egypt". *Science Journal Faculty Science Minufia University*, XXI: 19-38.
- El-Qassas, R.A.Y. & Abu-Donia, A.M. 2019. "Uranium mobility and its implication on favourable potentiality concentration in Gabal Um-Araka area, Northern Eastern Desert, Egypt". *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 707 (2019), ISSN: 1866-7538, DOI: 10.1007/s12517-019-4902-2.
- El-Mezayen, A.M., Heikal, M.A., El-Feky, M.G., Shahin, H.A., Abu Zeid, I.K. & Lasheen, S.R. 2018. "Petrology, geochemistry, radioactivity, and M-W type rare earth elements tetrads of El Sela altered granites, south eastern desert, Egypt". *Acta Geochim*, 38 (1): 95-119, ISSN: 2365-7499, DOI: 10.1007/s11631-018-0274-7.
- Gaafar, I., El-Ghar, M.A., Ibrahim, T. & Diab, M. 2020. "Mineralogy and ground gamma-ray spectrometric investigations for phosphates of Gabal Abu Had area, Central Eastern Desert, Egypt". *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 9 (1): 375-392, DOI: 10.1080/20909977.2020.1746893
- Hassan, M., Ramadan, F.S., Omran, A.A., El-Nahas, H.A. & Abu Zeid, E.K. 2019. "Radiometric and mineralogical dataset of microgranite dykes and stream sediments of Ras Abda area, north Eastern Desert, Egypt".

- Data in Brief*, 27 (Dec): 1-16, ISSN: 2352-3409, DOI: 10.1016/j.dib.2019.104711.
- Instituto de Geología y Paleontología, 2016. *Mapa Geológico de Cuba* [1:100 000]. La Habana, Cuba: IGP Servicio Geológico de Cuba.
- International Atomic Energy Agency, 2003. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. Vienna, Austria: IAEA-TECDOC-1363, ISBN: 92-0108303-3, 277 .
- Iturralde, M.A. & García, A. 2011. *Compendio de Geología de Cuba y del Caribe*. La Habana, Cuba, Editorial CITMATEL, 364 p., ISBN: 9-789592-572863, Segunda Edición, publicado diciembre 2012, DVD-ROM.
- Mohamed, A.S.Y., Mohamed, E.M.S., Abdelaziz, L.A., Alaa, A.M. & Salah, A.M. 2017. "Uranium migration and favourable sites of potential radioelement concentrations in Gabal Umm Hammad area, Central Eastern Desert, Egypt". *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 6(2): 368-378, ISSN: 2090-9977, DOI: 10.1016/j.nrjag.2017.10.004
- Mondelo, F.; Sánchez, R.; Pardo, M.; Prieto, F.; Alfonso, W.; Petrus, N.; Escobar, E.M.; Moya, J.; Pérez, P.H.; Fuentes, M.; Kessel, E. & Aragón, R.V. 2003. "Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba a escalas 1:2 000 000 hasta 1:50 000". In: *GEOCIENCIAS 2003, III Congreso de Geofísica*, La Habana, Cuba: Sociedad Cubana de Geología, pp. 101-134, ISSN: 2307-499X, Memorias en CD-Rom.
- Saleh, G.M., Ibrahim I.H., Salem I.A. & Kader I.B.A. 2019 . " *Geochemistry and Uranium Mineralization in Neoproterozoic Leucogranite of Gabal Homra Dom, South Eastern Desert, Egypt* ". *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 7(2): pp. 1-13 , ISSN: 2327-4581 , DOI: 10.4172/2327-4581.1000209.
- Shaban, A. 2008. "Geological prospects for uranium ore deposits in Lebanon". *Journal of Environmental Hidrology*, 16: pp. 1-12, ISSN: 1058-3912, Available: <http://www.hydroweb.com/protect/pubs/jeh/jeh2008/shaban.pdf> , [Consulted: June 30, 2020].
- Tamer, E.A. & El-Arabi, H.S. 2013. "Uranium migration history in the igneous and metamorphic rocks of Solaf-Umm Takha area, based on multi-variate statistical analysis and favorability indices, central south Sinai, Egypt". *Journal of Applied Geology and Geophysics*, 1(5): 9-20, ISSN: 2321-0990, DOI: 10.9790/0990-0150920.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)