

## **Análisis de la concentración de elementos radioactivos en la parte central de la Cordillera de Guaniguanico. Cálculo de los índices de favorabilidad.**



CU-ID: 2144/v13e09

### **Analysis of the concentration of radioactive elements in the central part of the Guaniguanico Range. Calculation of the indices of favorability.**

**Elizabeth Hechavarria Govin \***, **Magaly Fuentes Rodríguez**

**RESUMEN:** El método aerogamma-espectrométrico constituye un método de prospección geofísica importante en la búsqueda de yacimientos minerales radioactivos y no radioactivos. También puede ser útil en el análisis de la concentración de elementos radioactivos en una determinada área, en la cartografía y en otras tareas geológicas. En este trabajo se utilizan los datos resultados del levantamiento aerogamma-espectrométrico y magnético (LAGEM) de la República de Cuba, de una zona de la región occidental correspondiente al Terreno Guaniguanico, donde existen una serie de sucesiones geológicas con una estructura compleja y una litoestratigrafía constituida fundamentalmente por rocas sedimentarias. Se realizó un procesamiento estadístico a las variables de potasio (K) en %, uranio equivalente (eU) y torio equivalente (eTh) en ppm, para determinar el comportamiento de los datos en el sector. Se realizó el cálculo de los índices de favorabilidad de eU, eTh y K en las diferentes unidades de rocas para ubicar las zonas que tienen el mayor potencial de radioelemento para determinar áreas con mayor comportamiento anómalo. Con estos resultados se confeccionaron histogramas para identificar las unidades litológicas con mayor índice. Como resultado de la interpretación de los datos se pudieron identificar zonas favorables para la concentración de elementos radioactivos las que deberían ser consideradas como futuros objetivos de exploración de yacimientos de minerales radioactivos.

**Palabras claves:** concentración, formaciones, índices, radioelementos.

**ABSTRACT:** The aerogamma-spectrometric method constitutes an important geophysical prospecting method in the search for radioactive and non-radioactive mineral deposits. It can also be useful in analyzing the concentration of radioactive elements in a certain area, in mapping and in other geological tasks. This work uses the data obtained from the aerogamma-spectrometric and magnetic survey (LAGEM) of the Republic of Cuba, from an area in the western region corresponding to the Terreno Guaniguanico, where there are a series of geological successions with a complex structure and a lithostratigraphy mainly made up of sedimentary rocks. Statistical processing was performed on the variables of potassium (K) in%, uranium equivalent (eU) and thorium equivalent (eTh) in ppm, to determine the behavior of the data in the sector. The calculations of the favorability indices of eU, eTh and K were carried out in the different rock units to locate the areas that have the greatest radioelement potential to determine areas with the greatest anomalous behavior. With these results histograms were made to identify the lithological units with the highest index. As a result of the interpretation of the data, favorable areas for the concentration of radioactive elements could be identified, which should be considered as future exploration targets for radioactive mineral deposits.

**Key words:** concentration, formations, indexes, radioelements.

Recibido: 19/09/2020

Aprobado en su forma original: 07/12/2021

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1002, entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11 000, La Habana, Cuba.

\*Correo electrónico: [elizabeth.e@igp.minem.cu](mailto:elizabeth.e@igp.minem.cu)

## INTRODUCCIÓN

La espectrometría de rayos gamma como herramienta de prospección geofísica se basa fundamentalmente en detectar las anomalías superficiales inducidas producto de la radiación emitida por los elementos radioactivos. La espectrometría de rayos gamma se ha aplicado ampliamente en apoyo a la cartografía geológica, la prospección de minerales, así como en la solución de otras tareas geológicas, a nivel mundial.

Este método se fundamenta en la variabilidad y características propias de los espectros energéticos de cada elemento, diseñándose equipos y métodos que permiten identificar las energías provenientes de las partículas cargadas y los cuantos gamma ( $\gamma$ ) de los elementos.

La espectrometría gamma mide los conteos y las concentraciones de potasio (K), de uranio (U) y de torio (Th) de los primeros 30-40 cm de material intemperado y de los suelos y las rocas que afloran, mediante la detección de la radiación emitida por estos elementos. Como la concentración de estos radioelementos varía entre los diferentes tipos de rocas, su distribución puede ser utilizada para asignar y distinguir las diferentes litologías.

Los datos se adquieren en conteos por segundo (cps), pero son convertidos en concentraciones por procedimientos de calibración, de modo que los resultados se presentan como porcentaje (%) de potasio (K) y ppm de uranio equivalente (eU) y el torio equivalente (eTh). La intensidad gamma total es dada en  $\mu\text{R/h}$  (microRoentgen por hora).

La interpretación de los datos de espectrometría de rayos gamma requiere una comprensión de los principios físicos del método, de la exactitud de la adquisición de los datos, de la corrección y los procedimientos de calibración de los mismos.

Dentro de este método el cálculo del índice de favorabilidad de uranio equivalente (eU), torio equivalente (eTh) y potasio (K) posibilita localizar las rocas de las diferentes unidades litológicas que poseen un alto potencial de elementos radioactivos.

Para el análisis de la concentración de estos elementos en la parte central de la Cordillera de Guaniguanico se tienen como objetivos:

- Obtener los mapas resultantes del procesamiento de los datos aerogamma-espectrométricos de la región de estudio a partir de técnicas analíticas.
- Determinar los índices de favorabilidad de cada elemento para identificar zonas favorables para la concentración de elementos radioactivos.

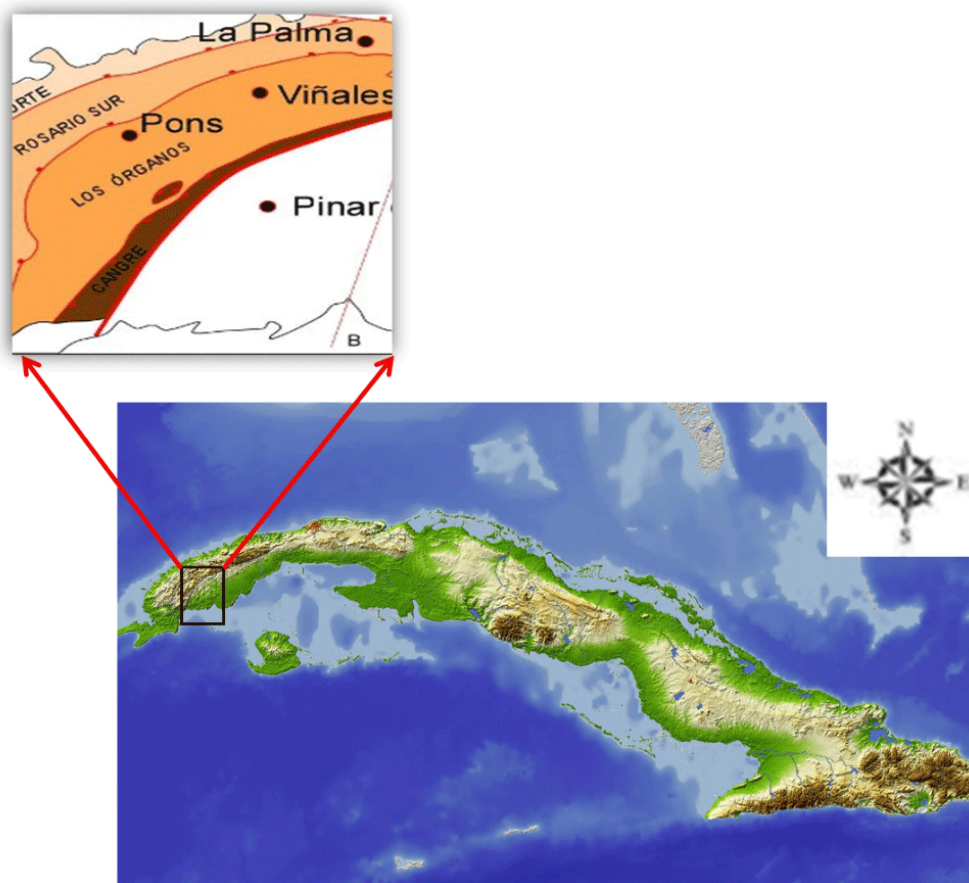
### Caracterización geográfica y geológica del área de estudio

El área de estudio se ubica en la parte central de la cordillera de Guaniguanico, en la provincia de Pinar del Río, por lo que comprende las sucesiones geológicas del terreno Guaniguanico ([Figura 1](#)). La [tabla 1](#) muestra las coordenadas del área.

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

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

El área se caracteriza por una estructura geológica compleja ([Figura 2](#)), constituida por sucesiones con una estratigrafía particular que la caracterizan: Los Órganos, Rosario Sur, Rosario Norte y el terreno metamórfico Arroyo Cangre (representado por metamorfitas de alta presión), situado al sur del terreno Guaniguanico. Esas sucesiones estratigráficas están constituidas por formaciones con litologías diferentes, entre las cuales se encuentran San Cayetano, Jagua, Guasasa, Ancón, Manacas, Santa Teresa. Además, se encuentran las formaciones Camacho, Cocodrilo, Esperanza, Guane, Guevara, Güines, Jaimanitas, Mariel, Moreno, Paso Real, Sigüanea, Universidad y Vía Blanca. Existe presencia de basaltos, depósitos no consolidados, metagabros y la asociación gabro-



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio.

plagiogranítica. El rasgo tectónico importante que caracteriza esta zona es la falla Pinar que separa dos zonas estructurales.

En el área de estudio se encuentran recursos minerales metálicos, fundamentalmente en las unidades de las sucesiones de Rosario Norte constituidos por metales como cobre, plata y oro. También existe presencia de bauxita, fosforita y manifestaciones de asfaltita. Existen recursos de agua minero-medicinales bien reconocidos en San Vicente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de la concentración de los elementos fue utilizado el método de la espectrometría de rayos gamma utilizando los datos de los canales de IGT, eU, eTh y K.

Para el análisis de los datos espectrométricos fue utilizado el sistema de procesamiento e interpretación de datos geofísico-geológicos (Oasis Montaj), y los sistemas de información

geográfica ArcGis y QGis. También se realizó la estadística descriptiva y la confección de histogramas empleando los programas Microsoft Excel.

Los materiales empleados en esta investigación fueron:

- Información geológica disponible sobre el área de estudio.
- Mapas regionales de espectrometría aerogamma de la República de Cuba

En el procesamiento de la información se seleccionaron los datos de IGT, eU, eTh y K de cada una de las unidades geológicas, a los cuales se les realizó un tratamiento estadístico determinando la media, desviación estándar, así como los valores máximos y mínimos. A partir de ese análisis se determinaron los valores anómalos de cada elemento en cada formación para posteriormente calcular los índices de favorabilidad.

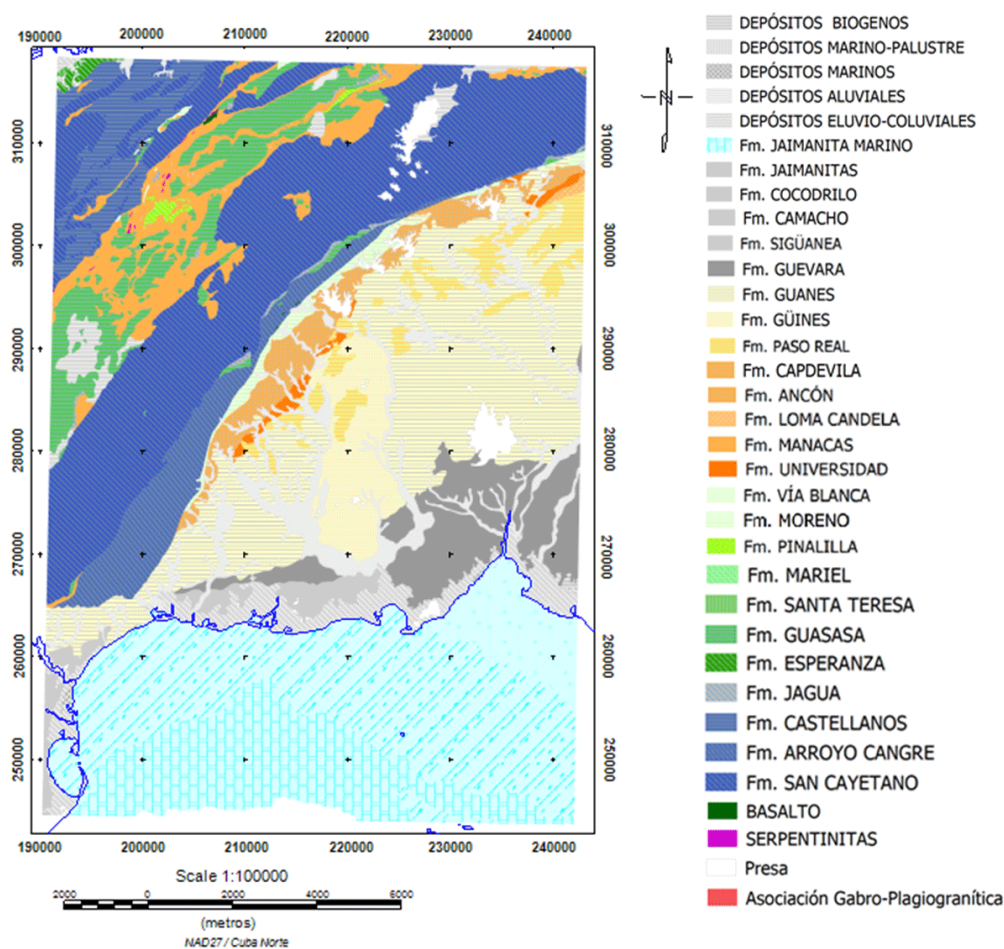


Figura 2. Mapa geológico del área de investigación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los mapas de IGT, concentración de eU y eTh, y contenido de K (Figura 3 y 4) se muestran con claridad los límites de las sucesiones estratigráficas del terreno Guaniguánico; hacia el sureste con tonos claros, las rocas de la formación Guevara y los depósitos palustres con valores bajos. Los altos valores se observan en forma de franja larga y ancha en dos zonas del mapa: la zona central y la noroeste; en la central corresponden a las aleurolitas y argilitas de la formación San Cayetano, mientras que hacia el noroeste se deben a las rocas de la formación Castellanos.

Se confeccionó el mapa ternario del tipo RGB (Figura 5) que combina los datos de K (en rojo), eTh (en verde) y eU (en azul), el cual muestra la variación de las concentraciones de los elementos radioactivos, reflejando la variedad litológica del área.

En el mapa ternario se muestra que hacia el sureste existe mayor concentración de torio en el área abarcada por la cobertura sedimentaria, el mayor contenido de potasio corresponde a la formación Arroyo Cangre, y los altos valores de uranio se distribuyen hacia el noroeste fundamentalmente en el miembro Castellanos de la formación San Cayetano. La presencia de los tres radioelementos se indica en color blanco en el área que abarca la formación Arroyo Cangre.

Se realizó un análisis estadístico a los datos aerogamma-espectrométricos donde se determinaron los principales estadígrafos como se muestra en la tabla 2. A partir de este análisis los datos del canal de torio (eTh) presentan la mayor dispersión.

Fueron identificadas las anomalías radioactivas de cada radioelemento utilizando el criterio de que los valores anómalos son considerados aquellos iguales o que sobrepasan al menos una,

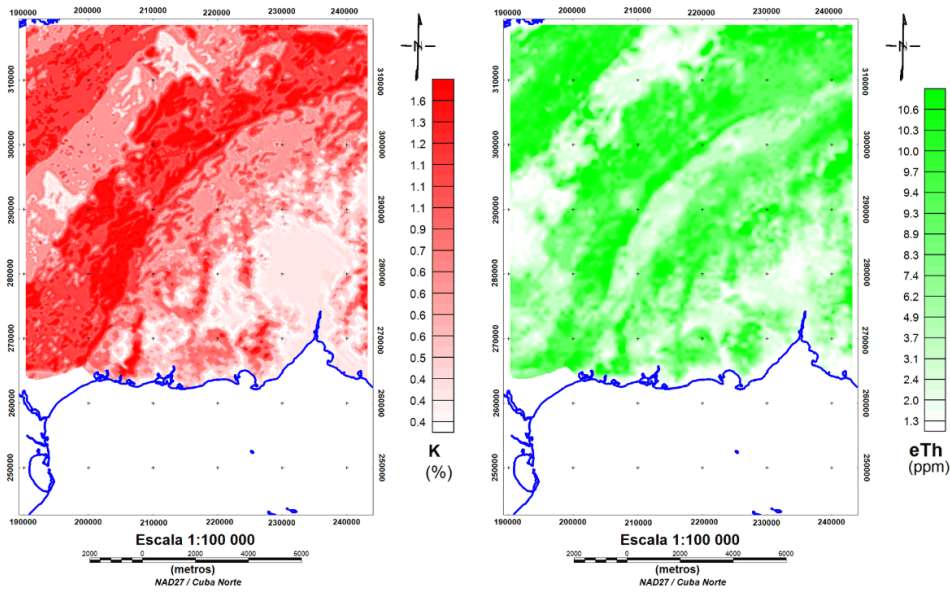


Figura 3. Mapas de contenido de potasio (K) y de concentración de torio (eTh).

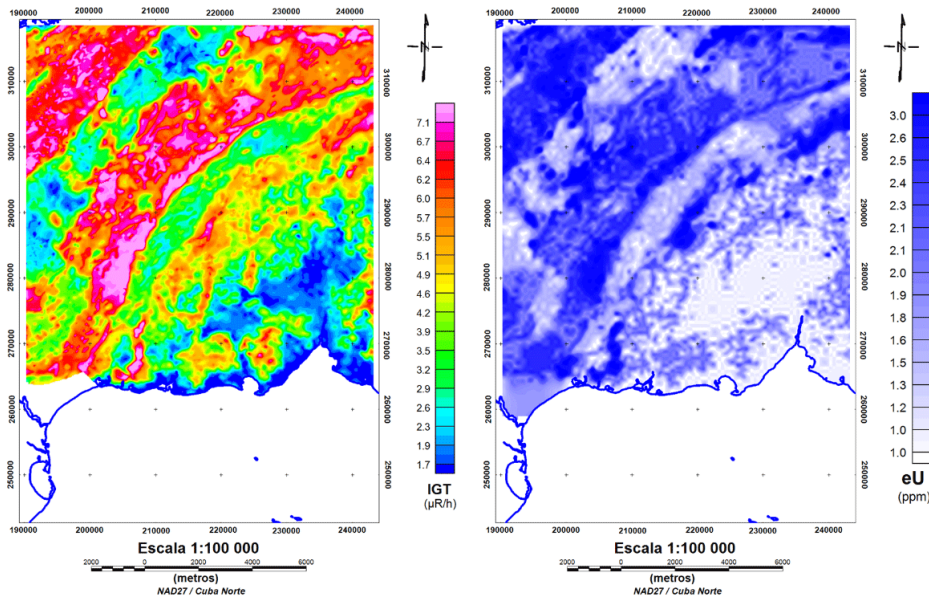


Figura 4. Mapas de concentración de uranio (eU) y de intensidad gamma total (IGT).

dos y tres desviación estándar ( $\sigma$ ) de los valores de la media calculada ( $X$ ) como se observa en la [tabla 3](#). Fue seleccionado el segundo nivel anómalo (con un 94.7% de datos confiables) para el análisis de las anomalías lo que fue representado en la [Figura 6](#).

En el mapa anterior se muestra que las anomalías de potasio se encuentran, en su mayoría, al norte de la Falla Pinar, fundamentalmente en la zona que ocupa la sucesión estratigráfica de Rosario Sur. Las anomalías de torio resultan ser más escasas y se ubican principalmente en la formación Manacas

constituida por areniscas polimícticas, limolitas, argilitas y depósitos caóticos policomponentes de matriz terrígena. Las anomalías de uranio se encuentran fundamentalmente en pequeñas zonas de las formaciones Paso Real y Manacas.

Para identificar las posibles zonas favorables de concentración de radioelementos se calcularon los índices de favorabilidad de cada canal ( $eTh_2$ ,  $K_2$ ,  $eU_2$ ) como se observa en la [tabla 3](#), cuyos resultados fueron representados en histogramas. El cálculo de este índice se realizó para localizar las unidades que tienen las más altas potencialidades de radioelementos.

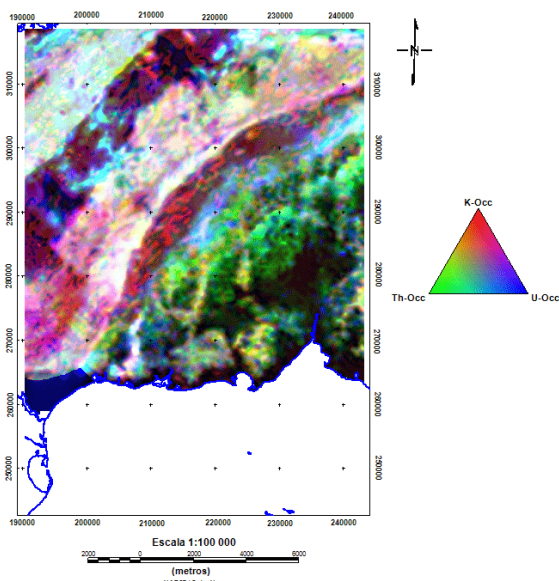


Figura 5. Mapa ternario RGB (K/eTh/eU).

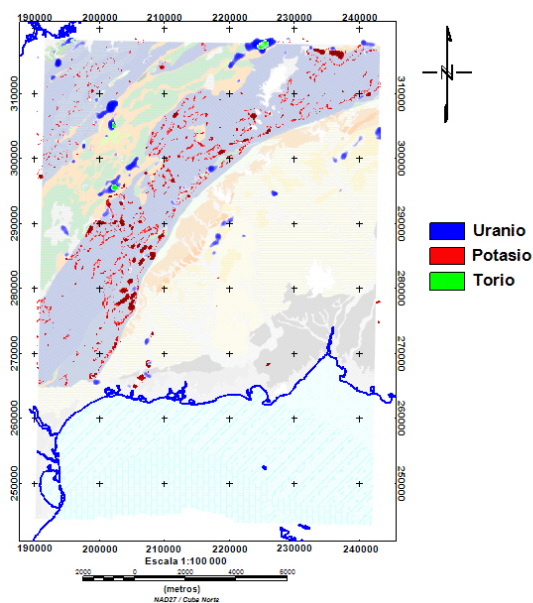


Figura 6. Mapa de las anomalías geofísicas.

Este análisis mostró que el mayor índice de favorabilidad en el caso del potasio (K) le corresponde a la formación Esperanza (Figura 7) hacia el noroeste del área constituida por dos secuencias: una carbonatada-terrígena con calizas arenosas y otra terrígena-carbonatada con areniscas y limolitas cuarcíferas. Las formaciones Arroyo Cangre (metareniscas cuarcíferas y filita) y Guasasa (calizas micríticas masivas) poseen el mayor índice de favorabilidad en el caso del torio (Figura 8). El alto índice de favorabilidad del uranio corresponde a la formación Arroyo Cangre y San Cayetano, esta última constituida por limolitas y argilitas intercaladas con areniscas cuarzosas y cuarzo-micáceas (Figura 9).

## CONCLUSIONES

1. A partir de los datos aerogamma-espectrométricos se confeccionaron los mapas de los elementos radioactivos y el ternario para la interpretación espectrométrica de las diferentes unidades de rocas. El análisis de las anomalías se realizó a partir del cálculo de los tres niveles anómalos para cada elemento radioactivo seleccionándose el segundo nivel para la interpretación.
2. Los índices de favorabilidad de los radioelementos calculados para las diferentes unidades indican que la formación San Cayetano y Arroyo Cangre refleja

Tabla 2. Principales estadígrafos de los datos aerogamma-espectrométricos.

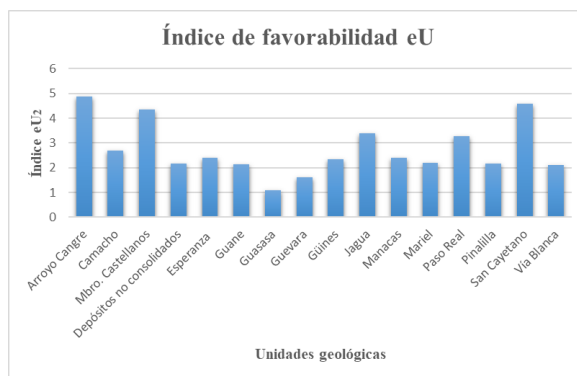
Radioelementos	Valor mínimo	Valor máximo	Media (X)	Desviación estándar ( $\sigma$ )	Coefficiente de variabilidad (CV en %)
eU	0.871	8.435	1.945	0.644	33.13
eTh	0.889	15.24	6.852	3.275	47.80
K	0.280	2.205	0.846	0.402	47.52

Tabla 3. Valores anómalos calculados a partir de la media y la desviación estándar.

Radioelementos	X+ $\sigma$	X+2 $\sigma$	X+3 $\sigma$
eU	2.59	3.23	3.88
eTh	10.13	13.40	16.68
K	1.25	1.65	2.05

**Tabla 4.** Índices de favorabilidad de los radioelementos en las diferentes unidades geológicas del área.

Unidades geológicas	K <sub>2</sub>	eTh <sub>2</sub>	eU <sub>2</sub>
Depósitos no consolidados	14,17	0,19	2,17
Camacho	18,34	0,20	2,70
Guevara	13,20	0,15	1,62
Guane	19,23	0,13	2,14
Güines	17,49	0,13	2,33
Paso Real	27,29	0,19	3,28
Manacas	19,58	0,27	2,39
Vía Blanca	7,85	0,34	2,11
Pinalilla	31,25	0,20	2,18
Mariel	7,68	0,31	2,20
Guasasa	8,70	0,36	1,09
Esperanza	43,17	0,20	2,41
Jagua	21,10	0,34	3,40
Mbro. Castellanos	23,45	0,30	4,35
Arroyo Cangre	16,38	0,36	4,87
San Cayetano	15,92	0,33	4,59



**Figura 9.** Índice de favorabilidad del uranio.

probabilidad alta de la potencialidad del uranio, mientras que la unidad litológica con mayor índice de favorabilidad de torio es Arroyo Cangre. Por otro lado, la formación Esperanza posee las principales unidades de roca con alto índice potencial de potasio.

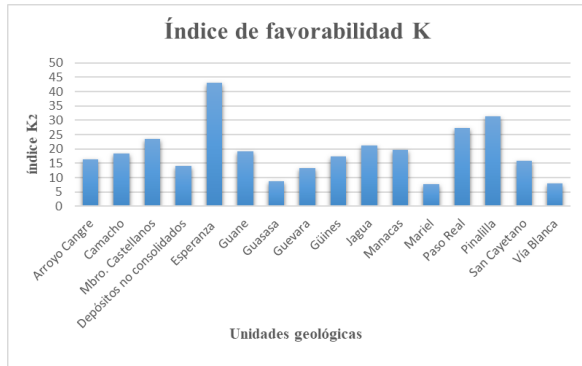
### BIBLIOGRAFÍA

Colectivo de autores. 2013. Léxico estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, 459 p., ISBN: 978-959-7117-58-2.

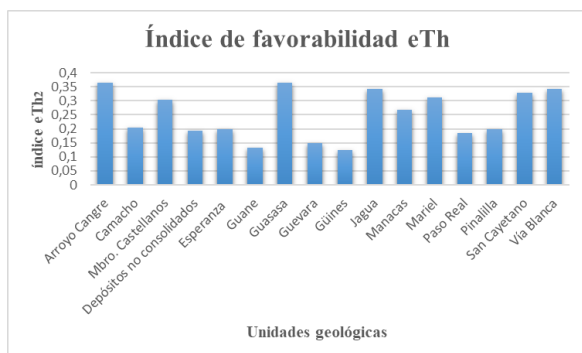
Instituto de Geología y Paleontología. 2016. Mapa Geológico Digital de la República de Cuba, 1: 100 000.

Iturralde-Vinent, M. 2012. Compendio de Geología de Cuba y del Caribe. La Habana, Cuba.

Ferreira, F.J.; Weihermann, J.D.; Barão, L.M.; Fedalto, G.; Castro, L.G. & Stevanato, R. 2015. "Gamma Espectrometría Aérea y su aplicación en la cartografía geológica". Brasil, pp. 303-334.



**Figura 7.** Índice de favorabilidad del potasio.



**Figura 8.** Índice de favorabilidad del torio.

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/)