

Tech note: exploratory analysis of the radioactive activity in the El Baúl Massif (Cojedes State-Venezuela)

Richard Barrios^{*,a}, Nelson Falcón^b

^a*Laboratorio de Física de la Atmósfera y el Espacio Ultraterrestre, Departamento de Física, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología – FACyT, Universidad de Carabobo, Venezuela.*

^b*Grupo de Física Computacional, Departamento de Física, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología – FACyT, Universidad de Carabobo, Venezuela.*

Abstract.- Studies related to oil exploration in Venezuela suggest that the El Baúl area (Edo Cojedes) contains uranium deposits and other strategic materials. The present work was oriented to the search, location and detection of rock samples, with high levels of radioactivity in areas near the El Baúl Massif, as well as the estimation of their levels of radioactive activity. Using Geiger-Muller detectors, measurements were taken at previously selected sites. The detected radioactive activity values range from a minimum value of 214CPM (563Bq) to a maximum value of 367CPM (966Bq). It is concluded that this radioactive activity exceeds the normal values for natural radioactivity due to cosmic rays and indicate the presence of uraninite deposits. It is necessary to carry out new research to certify and quantify the reserves of radioactive materials in the area.

Keywords: natural radioactivity; uraninite; thorium-uranium; El Baúl Massif.

Nota técnica: análisis exploratorio de la actividad radiactiva en las Galeras de El Baúl (Estado Cojedes–Venezuela)

Resumen.- Estudios relacionados con la exploración petrolífera en Venezuela sugieren que la zona de El Baúl (Edo. Cojedes) alberga yacimientos de uranio y otros materiales estratégicos. El presente trabajo se orientó a la búsqueda, localización y detección de muestras de rocas, con niveles de radiactividad elevados en zonas cercanas al Macizo de El Baúl así como la estimación de sus niveles de actividad radiactiva. Empleando detectores Geiger-Muller se realizaron mediciones en sitios previamente seleccionados. Los valores de actividad radioactiva detectados van desde un valor mínimo de 214 CPM (563Bq) hasta un valor máximo de 367 CPM (966Bq). Se concluye que esta actividad radiactiva supera los valores normales para la radiactividad natural debida a rayos cósmicos e indican la presencia de yacimientos de uraninitas. Se plantean la necesidad de profundizar la exploración para certificar y cuantificar las reservas de yacimientos de materiales radiactivos de la zona.

Palabras clave: radiactividad natural; uraninitas; uranio-torio; Macizo de El Baúl.

Recibido: 30 de noviembre, 2018.

Aceptado: 25 de junio, de 2019.

1. Introducción

El Baúl es una localidad ubicada en el Municipio Girardot, al sur del estado Cojedes. Se ubica entre los 8°32'27" y 9°13'29" de latitud norte y los 67°59'21" y 68°47'8" de longitud oeste, limita por el Norte con los municipios Ricaurte, Rómulo Gallegos y Pao de San Juan Bautista, por el Sur con el estado Barinas, limita por el

Este con el municipio Pao de San Juan Bautista y con el estado Guárico y por el Oeste con el estado Portuguesa. Se trata de una formación geológica del periodo pérmico, con datación entre 300 y 500 millones de años muy diferenciada geomorfológicamente del Macizo Guayanes y de los Andes Venezolanos [1, 2]. Se trata una formación de macizos circundada por los llanos centrales de origen aluvial mucho más tardío; las Galeras del Baúl como toponímicamente se les conoce, conforman un cinturón pericratónico Paleozoico de rocas ígneas y metamórficas [3,4] elevadas unos centenares de metros sobre la extensa llanura de los Estados Cojedes, Portuguesa,

*Autor para correspondencia:

Correo-e:richbr2014@gmail.com (R. Barrios)

Guárico y Barinas con los cuales colinda. Por su antigüedad es considerada con gran potencial para la ubicación, exploración y explotación de recursos uraníferos junto a otras zonas igualmente antiguas en nuestro país tales como El Escudo Guayanes y los Andes.

En Venezuela fueron realizados los primeros estudios de exploración de yacimientos de uranio en el año de 1952 intensificándose los mismos con la creación de la Comisión Nacional de Asuntos Nucleares y con la preparación de un plan nacional de exploración. Posteriormente fueron publicados los avances obtenidos aunque disminuyeron las actividades exploratorias debido a la disminución del interés en la exploración y explotación de la energía nuclear en nuestro país [3]. En el caso del presente estudio, se considera que los yacimientos de uranio se encuentran asociados a discordancias de rocas pertenecientes al cretácico reciente sobre un basamento que pudiera ser del precámbrico o perteneciente a un período mas joven predominando entonces las condiciones relacionadas con el tipo de roca y ambiente mencionado anteriormente. El estudio de la historia geológica del macizo de El Baúl ha sido profundizado mediante el desarrollo de geocronología U-Pb en cristales de zircón hallados en esta importante zona del país [4], sin embargo en tales estudios geocronológicos no se realizaron medidas in situ de radiactividad natural para corroborar la presencia de materiales radiactivos, más allá de la datación por cuantificación isotópica de Uranio-Plomo en las rocas ígneas encontradas.

Una situación semejante a la ya descrita se presenta en torno a la zona donde se elabora el presente estudio en la cual se ha verificado la existencia de rocas reconocidas como anómalas en su concentración de uranio. Son estas zonas en las que se detecta uranio como producto de la meteorización, con presencia de Uraninita (mineral en rocas metamórficas, de dióxido y trióxido de uranio). Estas zonas se caracterizan por sus cambios de ambiente de oxidante a reductor, convenientes para la realización de estudios prospectivos de yacimientos de uranio. La zona de El Baúl está compuesta por tres grandes grupos geológicos los cuales comprenden una

importante asociación granítica [3, 5].

El estudio de las concentraciones de uranio en ciertas zonas con potencial petrolero es otra de las áreas que debe ser desarrollada en el país [6, 7]. Las consideraciones relativas a la búsqueda de uranio en El Baúl están relacionadas con estudios mas generales, de búsqueda de uranio, realizados en otras zonas consideradas de gran importancia económica tal como la faja petrolífera del Orinoco [8, 6].

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la investigación exploratoria realizada en las cercanías del Hato Piñero, principal promontorio de las galeras de El Baúl, adyacente a la localidad homónima con el fin de medir los niveles de radiactividad natural superficial a fin de detectar depósitos naturales de rocas graníticas con actividad radiactiva. El estudio se fundamenta en la presunción [3] de la existencia de yacimientos de uraninitas, sugerida por la geocronología y la petrología exploratoria descrita.

La posible existencia de depósitos de uraninitas en las galeras de El Baúl, toda vez que son promontorios naturales de apenas unos centenares de metros, nos induce a pensar que de existir tales yacimientos los mismos deben mostrar una actividad radioisotópica superficial asociada a la existencia de rocas circundantes contentivas de materiales radiactivos. Se trata pues de verificar in situ, mediante mediciones exploratorias, si el nivel de actividad radiactiva superficial es superior a los valores medios esperados en la zona, debido a rayos cósmicos y a la muy escasa presencia de uranio en los sedimentos mas tardíos que conforman los llanos venezolanos circundantes.

Varios países poseedores de limitadas reservas de petróleo han desarrollado la energía nuclear como fuente primaria de energía para sus sociedades, por esta razón el uso de materiales radiactivos tales como el uranio se ha convertido en un aspecto fundamental en el sostenimiento de dichas sociedades. En tal sentido conviene referirnos brevemente a los elementos radiactivos y al uranio particularmente. Todos los elementos pesados ($Z > 83$) hallados en la naturaleza son radiactivos y decaen por emisión alfa o beta. Los elementos mas pesados que el $^{209}_{83}\text{Bi}$ decaen en otros

elementos radiactivos descendientes integrantes de series de radionúclidos que finalizan al formarse nuevas especies estables. La serie del uranio comienza con $^{238}_{92}\text{U}$ y finaliza en el elemento estable $^{206}_{82}\text{Pb}$. El uranio en su estado natural puede hallarse en equilibrio con descendientes de vidas mas cortas siempre que estos no sean afectados por procesos químicos o físicos. Es probable que el equilibrio se presente entre ciertos subconjuntos del núclido de la serie.

2. Metodología

La expedición exploratoria de conteo radiactivo se realizó los días 08-13 de Marzo de 2016. El grupo de trabajo se trasladó a la zona previamente identificada, ubicada en los predios de la Estación Biológica de la Fundación Hato Piñero, región de reserva botánica y forestal descrita en [9]. La Figura 1 muestra una vista panorámica del área estudiada, en las Galeras de El Baúl y una fotografía por satélite de la zona descrita. Se seleccionó esta área por tener el macizo mas elevado e icónico de las Galeras de El Baúl, ubicado al pie de la convergencia de los ríos San Carlos y Turbio colindante con la reserva forestal de la Estación Biológica Hato Piñero.

Al ser un área ecológicamente protegida el macizo se encuentra en estado natural y el mismo no presenta señales aparentes de intervención humana importante que afecte o contamine los resultados. Así, el área estudiada del macizo no cuenta con caminos, vías de penetración, torres, tendidos eléctricos, o urbanismos de algún tipo y la misma se ubica al pie de las Galeras de El Baúl. Para la realización de este estudio se recolectaron muestras en la mencionada zona.

En la detección de radiación ionizante emplearemos un detector de radiación INSPECTOR *cr* del tipo Geiger-Muller (sensibilidad a radiaciones gamma 3340 CPM/mR/hr relativo al Cs-137 y con eficiencia Sr(Y)-90 aproximada 38 %) para estimar la actividad en cuentas por minuto (CPM) (Figura 2) y para la ubicación de los puntos de medición se utilizaron geolocalizadores GPS marca Garmin *cr* de precisión aproximada de dos metros.



a) Vista desde el Hato Piñero.



b) Vista satelital tomada de Google Maps de las Galeras adyacente a la localidad de El Baúl.

Figura 1: Vista panorámica del área de estudio.

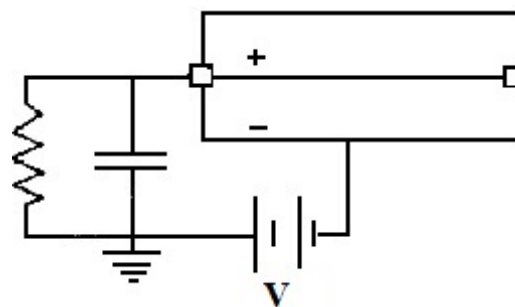


Figura 2: Representación esquemática básica de un dispositivo detector de radiación [10].

Las mediciones fueron efectuadas sobre afloramientos naturales de rocas a la intemperie, carentes de vegetación y ubicadas en las cercanías de la cima del macizo principal y/o en el interior mismo del macizo en la gruta natural conocida como Cueva El Ermitaño (Figura 3).

La actividad de una muestra radiactiva permite conocer el número de desintegraciones por segundo que se producen en la misma. Dado que



Figura 3: Entrada a la Gruta El Ermitaño en el macizo principal de las Galeras de El Baúl.

el contador empleado mide solamente una fracción de la totalidad de la radiación registrada (efic[%]) tendremos que realizar una conversión del valor detectado a la actividad radiactiva que nos interesa.

Para obtener los niveles de actividad (A [desintegración/min]) emplearemos los valores de radiación observada (RO [cuentas/min]) obtenidos con el contador de radiación y el factor de eficiencia (efic[%]) reportado por el fabricante (ver la ecuación (1)):

$$A = (RO \cdot \text{efic}) / 100 \quad (1)$$

Para conocer la tasa neta de desintegraciones de una muestra obtenida en la zona de interés debe medirse el número de eventos n_g ocurridos en un tiempo t_g . La tasa neta está dada por la razón $r_g = n_g / t_g$. La desviación estándar de esta razón está dada por la desviación de n_g . En este caso consideramos que las medidas obtenidas siguen una distribución de Poisson con media μ_g en cuyo caso la desviación estándar estará dada por la ecuación (2).

$$\sigma_g = \sqrt{\mu_g} \quad (2)$$

Para la determinación de σ_g hacemos $\mu_g = A$ [10].

Todas las medidas se tomaron en un campo abierto, a nivel superficial, en horas diurnas y en tres colinas o galeras adyacentes a la localidad de El Baúl (Figura 1). Los resultados preliminares dan cuenta de la presencia de afloraciones de Riolita, forma extrusiva afanítica del Granito, sin presencia

alguna de anomalías magnéticas y con valores de irradiancia solar promedio.

3. Análisis y discusión de resultados

Se presenta a continuación una tabla resumen la cual describe con mayor detalle los valores de las dosis registradas (en CPM), la desviación estándar asociada (STDV), los valores de actividad radioactiva registrada (en Becquerelios) y algunos datos de interés relacionados con el sitio de estudio (ver Tabla 1). Los valores medidos de la radiactividad de las galeras adyacentes a El Baúl, fluctúan entre 4 y 6 veces el valor rms de la actividad radiactiva natural en los llanos, hasta alcanzar el máximo valor de 367CPM ($966 \pm 19Bq$), en un sitio localizado en las coordenadas N08.97587°, W68.28073° a 167 msnm en el borde exterior del Hato Piñero tal como puede apreciarse en la Tabla 1. La Figura 1 muestra de manera gráfica la distribución de los valores de las tasas observadas y su relación con los sitios donde se realizaron las mediciones (Figura 4).

Debe mencionarse que las medidas se efectuaron directamente sobre la superficie de las rocas, particularmente sobre a rocas ígneas de origen volcánico (la riolita es una forma extrusiva del granito) caracterizadas por su textura afanítica, sin embargo en la superficie del terreno y/o en el aire los valores de dosis estuvieron por debajo de las 100 CPM (563 Bq) medidos a la entrada y dentro de la gruta y sobre las rocas calizas-sedimentarias ubicadas en una zona adyacente al sitio de interés (Figura 3).

De manera referencial podemos resaltar que en una banca de concreto común se puede detectar (en promedio) una tasa aproximada de 54 CPM (~ 142 Bq) valor considerablemente menor al compararlo al mayor valor registrado en nuestro estudio, a saber 966 Bq.

Por definición un nanogramo de ^{226}R presenta actividad isotópica equivalente a 37Bq, de modo que los valores reportados en la Tabla 1, pueden compararse a los valores típicos de la actividad de la pechblenda y otras uraninitas, que presentan actividades en el rango $\{1..10\}$ Bq. La actividad específica sin embargo, requiere

Tabla 1: Medidas de los valores registrados de dosis en la zona de estudio.

	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	CPM	Actividad Registrada ^(**) (Bq)	STDV
1	N8,965 79°	W68,287 90°	100	214	563	15
2	N8,966 34°	W68,287 90°	160	245	645	16
3 (*)	N8,966 79°	W68,287 22°	182	216	568	15
4 (*)	N8,966 79°	W68,287 22°	182	246	647	16
5	N8,977 03°	W68,274 70°	97	280	737	17
6	N8,976 55°	W68,256 25°	139	240	632	16
7	N8,975 87°	W68,280 73°	167	367	966	19
8	N8,974 25°	W68,272 43°	195	340	895	18

CPM: cuentas/min.

(**) Eficiencia porcentual del instrumento = 0,38 %. STDV: Desviación estándar de la medida.

(*) Estos valores corresponden a muestras halladas a una distancia menor que la precisión reportada por el GPS.

conocer la composición isotópica de cada muestra, para estimar el número de desintegraciones por segundo y por unidad de masa de la especie química en cuestión. Esa limitación no pudo ser superada pues se requiere contabilizar la composición elemental de cada roca y además un conteo isotópico por medio de un espectrómetro de masas, para comparar con los valores típicos de actividad específica del ^{235}U y sus progenies. Adicionalmente habría que realizar estudios de prospección geológica a diferentes profundidades para cuantificar los yacimientos de uraninitas. En tal sentido, la Figura 4 muestra de manera gráfica la distribución de los valores de CPM medidos y las coordenadas geográficas donde se realizaron tales mediciones, donde los puntos representan los valores medios asociados a la misma geoposición.

Los resultados obtenidos confirman la presunción de la existencia de yacimientos de uranio-torio en las zonas de las Galeras del Baúl expuesta por algunos autores [3, 5], basados en la datación geológica y en las características geomorfológicas de diversos sitios del país, considerados como reservorios de minerales estratégicos.

La actividad radiactiva manifiesta en el macizo principal de las Galeras de El Baúl invita a la realización de una exploración mas exhaustiva, que incluya la realización de medidas de gammagrafía in situ y la extracción estratigráfica de muestras que permitan caracterizar el yacimiento. La certificación de reservas de minerales estratégicos requiere así mismo, especificar el tipo de Uraninitas

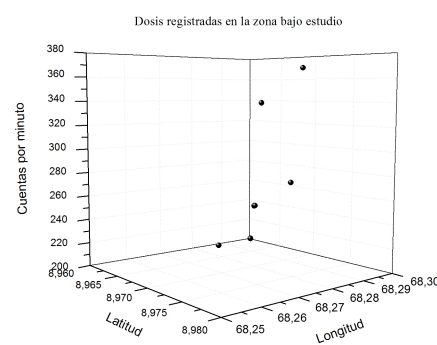


Figura 4: Distribución geográfica de actividad radioisotópica.

presentes, su cantidad y su grado de pureza en comparación con yacimientos similares reportados en otras regiones del país [3, 7, 8] y del continente.

4. Conclusiones

Los actividad radioisotópica natural encontrada en las Galeras de El Baúl muestran la potencialidad de la zona como reservorios de materiales estratégicos que podrían ser empleados tanto en la generación de energía, como en la producción de radioisótopos para la farmacopea, la medicina nuclear y la industria en general. Los valores de radiactividad obtenidos en la zona, en promedio, están por debajo de las dosis máximas permitidas capaces de afectar la salud humana y no presentan por sí mismas riesgo alguno para la biodiversidad de la zona ni para las actividades humanas que allí se desarrollan

($dosis < 0,025\mu Sv$) y los mismos revelan la gran importancia estratégica que poseen las Galeras de El Baúl como posible fuente de materiales de Uranio y Torio. Conviene mencionar que fueron descartadas posibles anomalías electromagnéticas o rayos cósmicos como responsables de la actividad radiactiva observada en las Riolitas colectadas.

Un aspecto que debe ser tomado en cuenta en la etapa de definición del área de estudio es la posible relación existente entre los niveles de radiación presentes en la zona y la actividad eléctrica debida a la ionización existente, conocida la capacidad de las radiaciones de separar electrones bien sea nucleares o de la corona del átomo.

La realización de estudios exploratorios en el área de los materiales radiactivos debe continuarse y profundizarse basándose en los resultados descritos. La etapa posterior a la ubicación de la zona contentiva de materiales radiactivos requiere de la realización de nuevos estudios en el área de la Física Nuclear, Atómica e Ingeniería Geológica.

Agradecimientos

El presente trabajo es financiado por el FONACYT, Proyecto de Investigación N°. FONACYT-MPPCTI 2011-000326. Caracterización de Fenómenos Transitorios en la Troposfera baja: Electrometeoros, Litometeoros, Microtornados y Trombas Marinas.

5. Referencias

- [1] P. Viscarret and F. Urbani. Petrography of El Baúl massif granitoids, Cojedes state, Venezuela. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 38(3):200–208, 2015.
- [2] P. Viscarret y F. Urbani. Revisión de las investigaciones geológicas realizadas en el Macizo de El Baúl, Estado Cojedes, Venezuela. *Boletín de Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, LXX(4):27–69, 2010.
- [3] J. Pasquali y R. Sifontes. Exploración de uranio en Venezuela. En *IX CONGRESO GEOLÓGICO VENEZOLANO*, page 74, Caracas, Venezuela, 2007. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- [4] P. Viscarret, F. Urbani y J. Wright. Una nueva geocronología del Macizo El Baúl, estado Cojedes, Venezuela. *GEOS Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, (42):1–14, 2012.
- [5] P. Viscarret, F. Urbani, R. Sifontes y T. Tosiani. Petrología y petrografía de las rocas del Macizo de El Baúl, estado Cojedes. *GEOS Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 42:118–121, 2012.
- [6] D. Palacios, H. Barros, J. Salas, E. Fusella, Y. Avila y D. Teixeira. Técnicas radiométricas superficiales en la exploración petrolera. *GEOS Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 44:83–92, 2013.
- [7] H. Barros, E. Fusella, Y. Avila, D. Teixeira, M. Bolivar, J. Regalado, D. Palacios y J. Salas. Radiactividad gamma y radón sobre un campo petrolero con aguas freáticas contaminadas por gas natural. *GEOS Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 44:93–104, 2013.
- [8] J. Pasquali. Cuantía de los hidrocarburos de la faja petrolífera del Orinoco: Consecuencias y futuro. *GEOS Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra*, 41:1–7, 2011.
- [9] F. Delascio. Los Mangles del Hato Piñero, Estado Cojedes, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 27(2):141–146, 2004.
- [10] J. Turner. *Atoms, Radiation and Radiation Protection*. Wiley, 2 edition, 1995.