

# Integración de las técnicas analíticas nucleares en la caracterización de peloides cubanos. Caso de estudio: San Diego de los Baños

Margaret Suárez Muñoz<sup>1</sup>, Oscar Díaz Rizo<sup>1</sup>, Patricia González Hernández<sup>2</sup>, Clara Melián Rodríguez<sup>1</sup>, Alina Gelen Rudnikas<sup>1</sup>, Cristina Díaz López<sup>2</sup>, Aurora Pérez-Gramatges<sup>3</sup>, Nadia Martínez-Villegas<sup>4</sup>, Josiel de Jesús Barros Cossio<sup>5</sup>, Wael Badawy<sup>6</sup>, Marina Frontasieva<sup>6</sup>, Keila Isaac Olive<sup>7</sup>, Rebeca Hernández Díaz<sup>8</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (Instec), Universidad de La Habana. Cuba,

<sup>2</sup>Facultad de Química, Universidad de la Habana. Cuba,

<sup>3</sup>Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC-Rio). Brasil,

<sup>4</sup>Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). México,

<sup>5</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional, México,

<sup>6</sup>Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares, Dubna, Rusia,

<sup>7</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, México,

<sup>8</sup>Universidad "Hermandad Saíz", Pinar del Río, Cuba.

margaret@instec.cu; odrizo@instec.cu

## Resumen

Los peloides son productos naturales (sedimentos) que se utilizan en el tratamiento médico de diferentes patologías y debido a su empleo terapéutico en humanos, su caracterización química es de gran importancia para esclarecer la presencia de elementos o compuestos con posible acción biológica que fundamenten su uso terapéutico y lograr un uso más eficiente de los mismos; y controlar su calidad, con vistas a su empleo con fines terapéuticos. En el presente trabajo se presentan los principales resultados alcanzados en la aplicación integrada de las técnicas analíticas nucleares en la caracterización de peloides cubanos (fangos medicinales), ejemplificados a través del caso de estudio del peloide de San Diego de los Baños (Pinar del Río). El empleo de técnicas nucleares para la caracterización del peloide de San Diego de los Baños, ha permitido la determinación de su composición inorgánica (incluidos los elementos radioactivos) con cuatro objetivos fundamentales: (1) datación (2) establecimiento de los cambios ocurridos durante un fenómeno meteorológico (3) evaluar la calidad para su uso terapéutico y (4) calcular las dosis para establecer la seguridad radiológica. Se utilizaron las técnicas nucleares de Fluorescencia de Rayos X (FRX), la Espectrometría Gamma de Bajo Fondo (EGBF), el Análisis por Activación Neutrónica (AAN) y la Emisión de Rayos X Inducida por Partículas (PIXE, por sus siglas en inglés).

**Palabras clave:** sedimentos; usos terapéuticos; composición química; análisis por fluorescencia de rayos X; análisis por activación neutrónica; Cuba.

## Integration of the nuclear analytical techniques for the characterization of Cuban peloids. Case of study: San Diego de los Baños

### Abstract

Peloids are natural products (sediments) used in the medical treatment of different pathologies and due to its use in humans, the chemical characterization has become of great importance to establish the presence of elements or compounds with biological action to support its therapeutic use and to control their quality for therapeutic purposes. In this work, are shown the main results of the integrated application of the nuclear analytical techniques in the characterization of Cuban peloids exemplified through the case of study of San Diego de los Baños peloid. The use of nuclear analytical techniques for the characterization San Diego de los Baños peloid has allowed the determination of the inorganic composition (included the radioactive elements) with four fundamental purposes: (1) sediment dating, (2) establishment of the changes in chemical composition occurring during a meteorological natural process (3) evaluation of the quality of the peloid for its therapeutic use and (4) dose calculation to establish the radiological security. The analytical techniques employed were X-ray fluorescence (XRF),

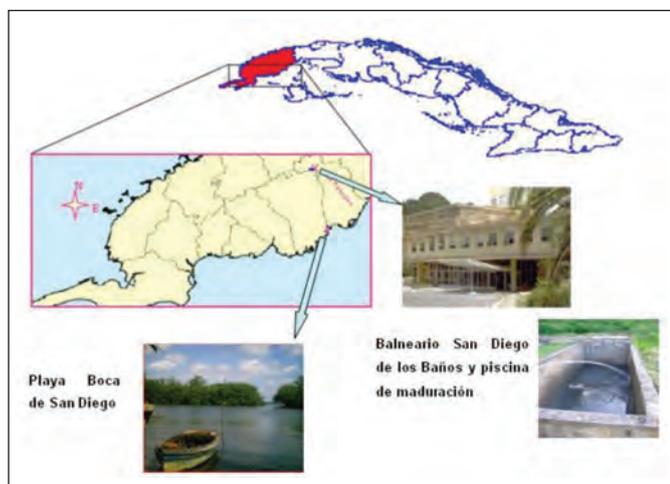
## Low Background Gamma-Ray Spectroscopy (LBGS), Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) and Particle-Induced X-ray Emission (PIXE).

**Key words:** *sediments; therapeutic uses; chemical composition; x-ray fluorescence analysis; neutron activation analysis; Cuba.*

### Introducción

Los peloides son productos naturales (sedimentos) que se forman a partir de aguas minerales, y que han sido utilizados desde la antigüedad para el tratamiento médico de diferentes patologías [1]. Debido a su empleo terapéutico en humanos, la caracterización química de los peloides cobra gran importancia ya que permite establecer la composición química con dos fines fundamentales: esclarecer la presencia de elementos o compuestos con posible acción biológica que fundamenten su uso terapéutico logrando un uso más eficiente de los mismos; y controlar su calidad, con vistas a su empleo con fines terapéuticos.

En el presente trabajo se agrupan los principales resultados obtenidos por el Grupo de Técnicas Nucleares y Conexas del InSTEC-UH, en colaboración con otras instituciones, en la integración de las técnicas analíticas nucleares para la caracterización de peloides (fangos medicinales) nacionales. Los resultados son ejemplificados a través del caso de estudio de uno de los peloides con mayor tradición de uso en el país, el proveniente del Balneario de San Diego de los Baños, en Pinar del Río. Este Peloide de San Diego (PSD) es el único de su tipo en Cuba, ya que se forma por la maduración artificial del sedimento de la desembocadura del Río San Diego (Boca de San Diego), empleando las aguas minerales del Balneario que son del tipo mesotermales (33°C), de patrón hidrogeoquímico del tipo sulfatadas cálcicas, radónicas, con presencia de F y H<sub>2</sub>S [2], lo que define la composición inorgánica y radioisotópica del peloide obtenido. El yacimiento del sedimento se encuentra en la desembocadura del Río San Diego, en la costa sur de la provincia de Pinar del Río (22°19'34,00"N - 83°16'04,43"W), mientras que el peloide final se forma a 40 km, tierra adentro, en las piscinas de maduración del Balneario (figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación. Ubicación panorámica del sedimento y del peloide de San Diego de los Baños.

Dentro de las técnicas analíticas nucleares, se consideran aquellas que están relacionadas con las excitaciones nucleares y de los electrones de las capas internas de los átomos, las reacciones nucleares y/o el decaimiento radiactivo [3]. La técnica de Espectrometría Gamma de Bajo Fondo (EGBF) está relacionada con el decaimiento radiactivo y se ocupa del estudio cuantitativo del espectro energético de las radiaciones que se emiten, permitiendo la determinación de la concentración radioactiva de los elementos inorgánicos emisores gamma. Por su parte las técnicas nucleares de análisis, como el Análisis por Activación Neutrónica (AAN), la Emisión de Rayos X Inducidos por Partículas (PIXE, por sus siglas en inglés) y la Fluorescencia de Rayos X (FRX), se relacionan más íntimamente con la excitación nuclear y las reacciones nucleares, por lo que permiten el análisis cuantitativo elemental [4].

El empleo de técnicas nucleares en la caracterización de muestras ambientales, específicamente de sedimentos, ha estado vinculado a la caracterización y el esclarecimiento de los procesos que ocurren en los medios sedimentarios, constituyendo, en los últimos años, una potente herramienta para determinar su pasado y origen, monitorear muestras en el presente y predecir la composición futura, a partir de los procesos estudiados [4, 5].

En el caso de los peloides, y particularmente en la caracterización del peloide PSD, el empleo integrado de las técnicas analíticas nucleares ha permitido la determinación de la composición inorgánica (incluidos los elementos radioactivos) con cuatro objetivos fundamentales: (1) la datación (2) el establecimiento de los cambios ocurridos durante un fenómeno meteorológico (3) evaluar la calidad del peloide para su uso terapéutico y (4) calcular las dosis para establecer la seguridad radiológica.

### Datación

Para la datación se utilizaron los resultados obtenidos en las mediciones de EGBF de la concentración radioactiva de <sup>137</sup>Cs y <sup>210</sup>Pb de perfiles en profundidad (figura 2), para determinar la edad en los niveles del sedimento de la Boca de San Diego [6] debido a que el mismo constituye la materia prima para la formación del peloide PSD. El <sup>137</sup>Cs, radionucleido antropogénico producido por las explosiones y pruebas nucleares en el pasado siglo, se utiliza como marcador para verificar la edad del <sup>210</sup>Pb. Este último es de origen natural y se deposita desde la atmósfera, permitiendo determinar la velocidad de sedimentación y, por tanto, la edad en los perfiles estudiados. A partir de estas mediciones, integradas con los resultados obtenidos posteriormente por FRX de los valores de concentración total de los meta-

les a las diferentes profundidades, se establecieron los valores de fondo geoquímico de la zona de San Diego de los Baños que permiten subsiguientemente evaluar la calidad del peloide PSD [6].

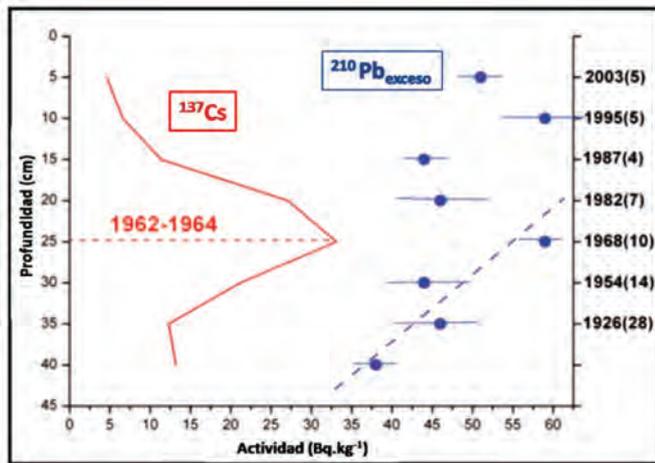


Figura 2. Actividad promedio de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{210}\text{Pb}$  en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  en el perfil en profundidad del sedimento. El eje de la derecha muestra el año de formación del sedimento (error en años) (Tomada de [6]).

### Estudio del impacto inducido por un fenómeno meteorológico mediante técnicas nucleares

En septiembre del 2008, la desembocadura del Rio San Diego, principal fuente del sedimento base que se utiliza para la formación del peloide de PSD, fue impactado por dos huracanes de categoría 4 en la escala de Saffir-Simpson (Gustav e Ike). Con el objetivo de evaluar el impacto de estos dos eventos meteorológicos extremos sobre la composición del sedimento, se utilizó la técnica de FRX para determinar la concentración de los elementos mayoritarios, minoritarios y trazas (Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn y Fe), así como la técnica de EGBF para establecer los cambios ocurridos en la composición de los elementos radioactivos ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{40}\text{K}$ ). Un resumen de los resultados obtenidos muestra, en la figura 3, que los principales cambios, luego del paso de los huracanes, están relacionados con los elementos mayoritarios Ca, K, y Fe, los cuales presentan diferencias significativas en sus concentraciones antes y después de ambos meteoros. El contenido de Ca se incrementa, como resultado de una mayor influencia del agua de mar [7], mientras que el K, asociado a las partículas del suelo removidas, disminuye, efecto este confirmado también a partir de los resultados obtenidos por la EGBF, por la disminución de radionucleido  $^{40}\text{K}$  (figura 3). De manera similar ocurre con la remoción del Fe, cuyo origen es esencialmente terrestre. No se observaron cambios significativos ni movilización de los metales pesados (elementos trazas) o radionucleidos, de gran importancia para la evaluación de la calidad de los peloides debido a su posible toxicidad [7].

### Evaluación de la calidad

Aunque Cuba es el único país del mundo que posee una norma de peloides [8], el alcance de la misma es limitado ya que no regula los valores permisibles de los elementos inorgánicos (incluidos los radionuclei-

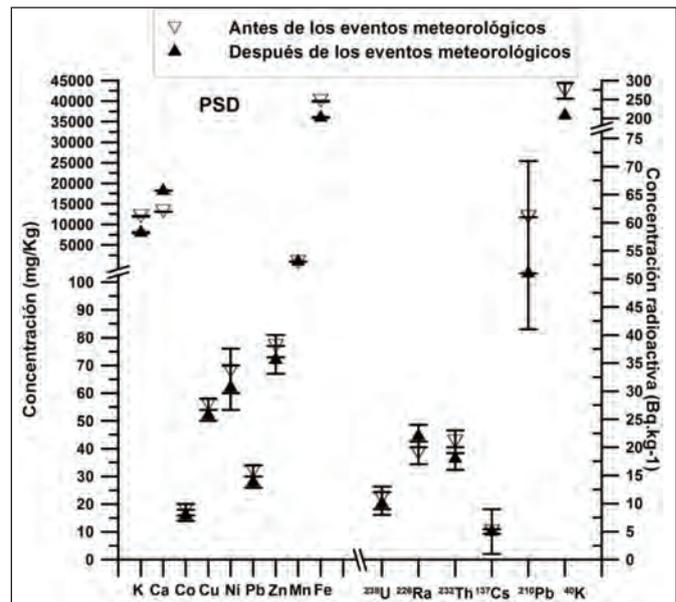


Figura 3. Comparación de las concentraciones de elementos minoritarios y trazas medidas por FRX (a la izquierda del eje X) y de las actividades de los radionucleidos medidos por Espectrometría Gamma (a la derecha del eje X) antes y después de los eventos meteorológicos Gustav e Ike.

dos), que pueden estar presentes en los peloides como indicadores de contaminación o de posibles acciones tóxicas sobre el ser humano. Debido a esto, en el país no se cuenta con niveles guías ni índices para evaluar la calidad referida al contenido de metales pesados en peloides, y hasta el momento, tampoco se ha encontrado una referencia internacional que establezca estos niveles [2, 9]. Por tanto, para evaluar la calidad de un peloide con fines terapéuticos, la primera aproximación sería hacer uso de los parámetros que se utilizan para establecer la calidad de un sedimento [2].

La evaluación de la calidad de un sedimento en relación con elementos inorgánicos específicos, se puede abordar en base a la comparación de los contenidos totales de estos elementos contra los niveles de las guías internacionales como la USEPA [10] o contra los llamados índices de riesgo ecológico como el nivel umbral de efecto (TEL) y el nivel de efecto probable (PEL) establecidos por la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA, por sus siglas en inglés) en el 2008 [11, 12]. Sin embargo, contar con valores del fondo natural de la zona de estudio, también llamado fondo geoquímico, es de gran utilidad ya que permite el cálculo de índices geoquímicos que ofrecen un acercamiento más realista del enriquecimiento de los elementos estudiados, y por tanto permite establecer con mayor seguridad la clasificación del sedimento en función de la contaminación. Los índices geoquímicos de enriquecimiento respecto al fondo natural comúnmente utilizados son el Factor de Enriquecimiento (FE), el Índice de Geoacumulación (Igeo), el factor de contaminación (Cf, por sus siglas en inglés) y el grado de contaminación (Cd, por sus siglas en inglés) [2, 13].

Por su parte, los radionucleidos en sedimentos están regulados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones (UNSCEAR), que establece los valores medios y el

intervalo de concentraciones radioactivas presentes en los sedimentos de las zonas consideradas con fondo radioactivo normal. Sin embargo, teniendo en cuenta que el potencial riesgo radiológico para los usuarios que utilizan el peloide en las prácticas médicas, ocurre a partir no sólo de la absorción de los elementos sino de la radiación que emiten, es necesario establecer y regular además la dosis para cada tipo de actividad [14].

### Riesgo por la presencia de metales pesados

Debido a la importancia del sedimento de la Boca de San Diego como precursor de PSD, uno de los primeros trabajos reportados en Cuba de las aplicaciones de las técnicas nucleares estuvo relacionado con el empleo de la FRX y EGBF en la determinación de la variación temporal de la concentración total de metales pesados (Co, Ni, Cu, Zn y Pb) en un perfil vertical de este sedimento [6], con el fin de determinar el patrón y la historia del enriquecimiento en los metales pesados, y evaluar la calidad del mismo en el tiempo. Los resultados de este trabajo mostraron bajos niveles de concentración de los metales analizados y un bajo impacto antropogénico en este sedimento en los últimos 100 años, lo que permite evaluar su calidad, y se establece que el mismo no presenta riesgo por la presencia de metales pesados y puede ser usado como materia prima para la obtención de PSD, el cual tiene un uso terapéutico [6].

Una vez evaluada la calidad del sedimento de la boca de San Diego, el uso de las técnicas analíticas nucleares integradas permitió en posteriores trabajos evaluar la calidad del peloide final que se emplea, con fines terapéuticos, en el Balneario San Diego de los Baños (PSD), a partir de la determinación de su composición inorgánica total [12, 13]. En la figura 4 se muestra un resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de diferentes técnicas nucleares (PIXE, AAN y FRX), en la determinación de metales pesados en diferentes muestras de PSD, tomadas entre 2008 y 2018. Se representa la media de todas las mediciones realizadas para cada elemento, y en las cajas, el intervalo de valores obtenidos y cuya dispersión se debe a las diferencias entre las muestras, así como las peculiaridades intrínsecas que presentan las técnicas, respecto a los parámetros analíticos [15, 16].

Los resultados de la figura 4 muestran la comparación de los valores de concentración total obtenidos, respecto a los niveles establecidos por la USEPA [10] y con los índices TEL y PEL [11, 12] en la evaluación de la calidad de PSD. Como se puede apreciar, el mismo clasifica como no contaminado con respecto a los elementos Pb y Zn, moderadamente contaminado por Cu y Ni, y contaminado respecto al Fe.

Apoyándonos en los valores obtenidos en la datación del sedimento de la Boca de San Diego, se seleccionaron como valores de fondo geoquímico de cada metal, los correspondientes a la etapa más antigua (1926) a profundidades entre 30–35 cm [6]. A partir de estos valores de fondo de los elementos Cu, Ni, Pb, Ni, Zn y Fe, y de los valores de concentración total, obtenidos utilizando las técnicas de PIXE, AAN y FRX en PSD,

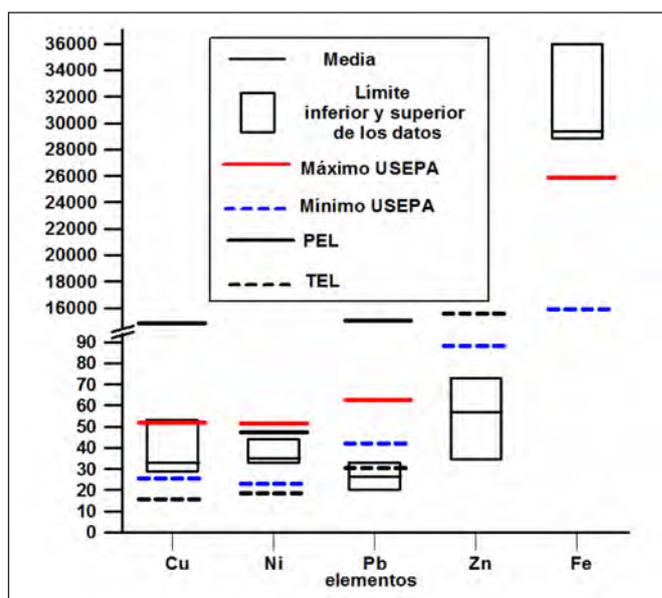


Figura 4. Intervalo y concentración promedio de los metales pesados determinados por tres técnicas nucleares y su comparación con la data reportada por la USEPA y la NOAA [9, 10]: Valores obtenidos de [6, 12, 13 y 17].

se calcularon los diferentes índices geoquímicos [2, 13]: FE, Igeo, Cf, y Cd (tabla 1).

Aunque los valores de los contenidos de Fe total, determinados por las técnicas nucleares utilizadas en PSD, superan los límites establecidos por la USEPA (fig. 4), los valores de los índices Cf, Cd e Igeo (tabla 1), indican que no existe enriquecimiento de este elemento ni contaminación en el peloide. En el caso del Fe, es particularmente importante, el contar con el valor del fondo geoquímico, teniendo en cuenta que la zona donde se origina el sedimento que se utiliza de base para la obtención de PSD se caracteriza por suelos de tipo ferralíticos [18] que aportan elevadas concentraciones de Fe al mismo, y por tanto el uso de los índices geoquímicos aporta mayor seguridad en la evaluación de su calidad.

Los valores de concentración total de Pb son inferiores al límite establecido por la USEPA, y a los índices TEL y PEL establecidos por la NOAA para considerar a un sedimento como contaminado (figura 4), sin embargo, el uso de los índices geoquímicos Cf y FE permiten identificar un enriquecimiento moderado de Pb respecto al fondo geoquímico (tabla 1). Según Díaz y et. al. [6], este enriquecimiento por Pb, se debe a la presencia de un asentamiento poblacional en el lado oeste del río San Diego, que podría generar residuos de combustible utilizado en las plantas eléctricas y cocinas, o al tráfico de botes de motor en el área.

En cuanto a los elementos Cu y Ni, que sobrepasan los límites inferiores establecidos por la USEPA, y al índice TEL establecido por la NOAA, el cálculo de los índices geoquímicos indica que no existe contaminación ni enriquecimiento por estos metales. En el caso del Zn, se comprueba que no existe contaminación a partir del cálculo de los índices geoquímicos coincidiendo con los resultados de la comparación de los valores de concentración total con los límites establecidos por la USEPA y la NOAA (tabla 1 y figura 4).

**Tabla 1.** Índices geoquímicos calculados a partir de la integración de las técnicas analíticas nucleares: Valores obtenidos de [6, 12, 13 y 17].

Elemento	Factor de contaminación (Cf)			I <sub>geo</sub>	FE
	PIXE	AAN	FRX		
Cu	1,2	0,7	0,8	-	1
Ni	0,7	0,6	0,6	-1	1
Pb	1,2	nd	1,9	-	2
Zn	0,5	0,8	1,0	0,3	1
Fe	0,7	0,7	0,9	0,9	-
<b>Grado de contaminación (Cd)</b>	<b>4,3</b>	<b>2,8</b>	<b>5,0</b>		

**Notas:**  
 $C_f \leq 1$  bajo factor de contaminación;  $1 < C_f \leq 3$  moderado factor de contaminación;  $3 < C_f \leq 6$  considerable factor de contaminación;  $C_f > 6$  alto factor de contaminación.  
 $C_d < 5$  bajo grado de contaminación;  $5 < C_d < 10$  moderado grado de contaminación;  $10 < C_d \leq 20$  considerable grado de contaminación;  $C_d > 20$  muy alto grado de contaminación.  
 $I_{geo} < 0$  no contaminado;  $0 < I_{geo} < 1$  no contaminado a moderadamente contaminado;  $1 < I_{geo} < 2$  moderadamente contaminado;  $2 < I_{geo} < 3$  de moderado a fuertemente contaminado;  $3 < I_{geo} < 4$  fuertemente contaminado;  $4 < I_{geo} < 5$  de fuertemente a extremadamente contaminado;  $I_{geo} > 5$  extremadamente contaminado.  
 $EF \leq 1$  no existe enriquecimiento;  $EF < 3$  pequeño enriquecimiento;  $EF = 3-5$  enriquecimiento moderado;  $EF = 5-10$  enriquecimiento moderadamente severo;  $EF = 10-25$  enriquecimiento severo;  $EF = 25-50$  enriquecimiento muy severo;  $EF > 50$  enriquecimiento extremadamente severo.  
 nd - No determinado

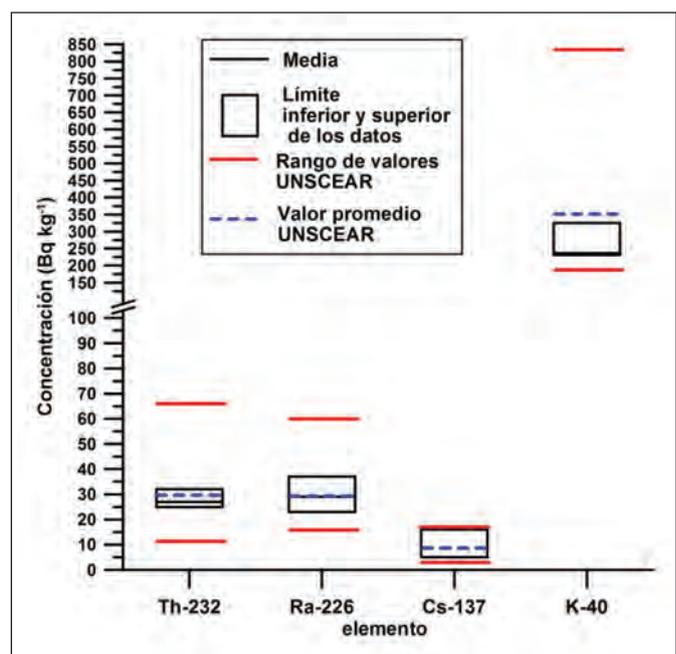
Los valores calculados para  $C_d$ , índice que tiene en cuenta el efecto combinado de todos los elementos químicos estudiados, indican que PSD presenta un bajo grado de contaminación ( $C_d \leq 5$ ), analizando los valores obtenidos para cada técnica analítica (tabla1).

En resumen, los resultados obtenidos de la aplicación integrada de cuatro técnicas nucleares (PIXE, AAN, FRX, EGBF), permitieron clasificar al peloide PSD como no contaminado respecto a los metales pesados estudiados y, por tanto con la calidad requerida para su uso terapéutico. Los resultados de la evaluación de la calidad de PSD mediante técnicas nucleares, coincidieron con los resultados obtenidos por Suárez y et. al., 2015, empleando técnicas convencionales, para la determinación de metales pesados en PSD [2].

**Riesgo por la presencia de radionucleidos**

Un resumen de los resultados obtenidos en los estudios por espectrometría gamma, se muestra en la figura 3. De modo general, la concentración radioactiva promedio de los radioisótopos fundamentales que contribuyen a la radioactividad en PSD, se encuentran en el mismo orden de concentración de los valores de otros peloides reportados a nivel mundial [19, 20] y de las concentraciones radioactivas promedios mundiales que aparecen en el UNSCEAR [21] y que regula los niveles de radionucleidos en sedimentos (figura 5). En el peloide PSD se determinaron, mediante EGBF, radionucleidos de origen natural, correspondientes a las familias del <sup>238</sup>U y <sup>232</sup>Th (<sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra), además del radionucleido primordial <sup>40</sup>K y del radionucleido artificial <sup>137</sup>Cs.

Los resultados obtenidos en las muestras de PSD permitieron el cálculo de la tasa de dosis promedio (40 nGy.h<sup>-1</sup>), los valores de actividad equivalente de Ra (82 Bq.kg<sup>-1</sup>), y el índice de riesgo externo (0,23), los que resultaron inferiores a los valores internacionales recomendados (51 nGy.h<sup>-1</sup>, 370 Bq.kg<sup>-1</sup> y 1, respectiva-



**Figura 5.** Intervalo y concentración radioactiva promedio de (en Bq.kg<sup>-1</sup>) de los radionucleidos determinados por espectrometría gamma en diferentes fechas y su comparación con la data reportada por el UNSCEAR [21]. Valores obtenidos de [17, 19, 20].

mente [19]. También se calculó la tasa de dosis anual efectiva con un valor promedio de 48,5  $\mu$ Sv.y<sup>-1</sup>, inferior al valor promedio mundial de dosis efectiva equivalente por radiación gamma terrestre en interiores (70  $\mu$ Sv.y<sup>-1</sup>) y a la dosis anual efectiva que recibe la población cubana por la radiación terrestre (180  $\mu$ Sv.y<sup>-1</sup>) [19]. Para establecer el potencial riesgo radiológico para los usuarios que utilizan el peloide, se calcularon la dosis absorbida en el aire y la dosis equivalente anual para la piel. La dosis absorbida calculada, no excede los valores límites de dosis específicas para cada tipo de actividad (60 nGy.h<sup>-1</sup> [20]), mientras que el valor de dosis anual

equivalente para la piel, es dos órdenes de magnitud inferior a la dosis límite equivalente para el público, debido a prácticas con el empleo de fuentes de radiación y, por tanto, no son significativas desde el punto de vista de la protección radiológica [20].

## Conclusiones

La integración de las técnicas nucleares EBF y FRX permitió la datación en el sedimento de la Boca de San Diego de los Baños, que es la base para la formación de PSD. Con los resultados de la datación fue posible establecer el fondo geoquímico de la zona de estudio y calcular los índices para la evaluación de la calidad de PSD.

El uso integrado de las técnicas nucleares fue utilizado para establecer los cambios en la composición inorgánica del sedimento de la Boca de San Diego producto del impacto de fenómenos meteorológicos severos, evidenciándose cambios significativos en la composición mayoritaria, sin que se afectara la composición de los elementos trazas y de los radionucleidos, elementos estos de gran importancia en cuanto a la evaluación de la calidad debido a su posible toxicidad.

Con la integración de los resultados anteriores se puede establecer que el peloides de San Diego de los Baños, así como del sedimento que le da origen, pueden ser clasificados como no contaminados y sin riesgo con respecto a los metales pesados y a los radionucleidos estudiados, y por tanto aptos para su uso terapéutico.

## Referencias bibliográficas

- [1]. VENIALE F, BETTERO A, JOBSTRAIBIZER PG, SETTI M. Thermal muds: Perspectives of innovations. *Applied Clay Science* (2007) 36:141-147.
- [2]. SUÁREZ MUÑOZ M, MELIÁN RODRÍGUEZ C, GELEN RUDNIKAS A, DÍAZ RIZO O, MARTÍNEZ-SANTOS M, et. al. Physicochemical characterization, elemental speciation and hydrogeochemical modeling of river and peloid sediments used for therapeutic uses. *Applied Clay Science* (2015) 104:36-47.
- [3]. SIEGBAHN K (editor). Alpha, beta and gamma-ray spectroscopy. Volume 1. American Elsevier Publishing Company INC. 1968. Última Impresión 1979.
- [4]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Analytical applications of nuclear techniques. Book. Vienna: IAEA, 2004. ISBN 92-0-114703-1.
- [5]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Nuclear Technology for a sustainable future. Vienna: IAEA, 2012.
- [6]. DÍAZ RIZO O, GELEN RUDNIKAS A, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, LÓPEZ PINO N, ARADO LÓPEZ JO, et. al. Assessment of historical heavy metal content in healing muds from San Diego river (Cuba) using nuclear analytical techniques. *Nucleus* (2013) 53:19-23.
- [7]. DÍAZ RIZO O, GELEN RUDNIKAS A, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, MELIÁN RODRÍGUEZ CM, SUÁREZ MUÑOZ M, et. al. Evaluation of the hurricanes Gustav and Ike impact on mud from San Diego River using nuclear and geochemical techniques. *Nucleus*. 2011; (50): 7-11.
- [8]. KOMAR D, DOLENEC T, DOLENEC M, VRHOVNI P, LOJEN S, et. al. Physico-chemical and geochemical characterizations of Makirina Bay peloid mud and its evaluation for potential use in balneotherapy (N Dalmatia, Republic of Croatia). *Indian Journal of Traditional Knowledge*. 2015; 1(1): 5-12.
- [9]. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Pollution Classification of Great Lakes Harbor Sediments. Region V, Great Lakes Surveillance Branch, Chicago IL, US: 8. 1977.
- [10]. BUCHMAN MF. NOAA Screening Quick Reference Tables. NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008. 34 pages
- [11]. DÍAZ RIZO O, SUÁREZ MUÑOZ M, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ P, GELEN RUDNIKAS A, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, et. al. Assessment of heavy metal content in peloids from some Cuban spas using X-ray fluorescence. *Nucleus* 2017; (61): 1-5.
- [12]. DÍAZ RIZO O, BARRIOS COSSIO J, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ P, SUÁREZ MUÑOZ M, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, et. al. Instrumental neutron activation analysis of peloids from main Cuban spas. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2018; 317: 1079-1087.
- [13]. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación. normas básicas internacionales de seguridad. Límites de dosis para situaciones de exposición planificada (personal ocupacionalmente expuesto y público. 2011.
- [14]. CALZOLAI G, CHIARI M, LUCARELLI L, MAZZEI F, NAVA S, et. al. PIXE and XRF analysis of particulate matter samples. An inter-laboratory comparison. *Nucl. Inst. Met. Phys. Res. B.* 2008; 266: 2401-2404.
- [15]. BODE P. Nuclear analytical techniques for environmental research. Chapter 1. *EncyclAtmosSci* (Internet) 2001; 4:1-16. Disponible en [http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/GLODAP/glodap\\_pdfs/Thermohaline.web.pdf](http://cdiac.esd.ornl.gov/oceans/GLODAP/glodap_pdfs/Thermohaline.web.pdf).
- [16]. DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ R, SUÁREZ MUÑOZ M, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, MELIÁN RODRÍGUEZ C, ISAAC OLIVÉ K, et. al. Inorganic and natural occurring radioactive material characterization of a Cuban peloid by nuclear techniques. *Memorias del 2nd International Nuclear Chemistry Congress (2nd INCC)*. México. 2008.
- [17]. HERNÁNDEZ CA, MORENO I. Characteristics and classification of soils rice cultivation in La Palma, Pinar del Rio. *Cultivos Tropicales*. 2010; 31(2):14-21.
- [18]. DÍAZ RIZO O, GELEN RUDNIKAS A, ARADO LÓPEZ JO, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, et. al. Radioactivity levels and radiation hazard of healing mud from San Diego River, Cuba. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2013; 295: 1293-1297.
- [19]. DÍAZ RIZO O, SUÁREZ MUÑOZ M, GONZÁLEZ HERNÁNDEZ P, GELEN RUDNIKAS A, D'ALESSANDRO RODRÍGUEZ K, et. al. Radioactivity levels in peloids used in main Cuban spas. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018; 316: 95-99.
- [20]. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes I. United Nations. 2010.
- [21]. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana-6. Peloides. La Habana, 1988.

**Recibido:** 29 de mayo de 2021

**Aceptado:** 21 de julio de 2021