

Distribución espacial de radionucleídos en sedimentos marinos de Bahía Culebra y el Golfo de Nicoya, Pacífico, Costa Rica

Omar G. Lizano^{1,2,3,4}, Luis Guillermo Loría^{4,5}, Eric J. Alfaro^{1,2,3,4} & Mauricio Badilla^{4,5}

1. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San José 2060, Costa Rica.
 2. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica, San José 2060, Costa Rica.
 3. Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria (DFAOP), Universidad de Costa Rica, San José 2060, Costa Rica.
 4. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José 2060, Costa Rica.
 5. Centro de Investigación en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares (CICANUM), Universidad de Costa Rica, San José 2060, Costa Rica.
- omar.lizano@ucr.ac.cr; erick.alfaro@ucr.ac.cr; guillermo.loria@ucr.ac.cr; mauricio.badilla@ucr.ac.cr

Recibido 18-VI-2008. Corregido 06-XI-2008. Aceptado 03-XII-2008.

Abstract: Spatial distribution of radionuclides in marine sediments from Culebra Bay and the Gulf of Nicoya, Pacific coast, Costa Rica. Ten natural and artificial radionuclides (K^{40} , Cs^{137} , Bi^{212} , Pb^{212} , Bi^{214} , Pb^{214} , Ra^{226} , Ac^{228} , Pa^{234} , U^{235}) in marine sediments were studied in Culebra Bay and the Gulf of Nicoya, both on the Pacific coast of Costa Rica. A freshwater marsh and an offshore island (Coco Island) were used as reference sites. The concentration of radioactive elements from the time of Earth's formation diminishes in older continental blocks. Higher concentrations are expected in the offshore island, as found in this study. The range of values of these elements are considered normal according to global reports. Some of them, like Potassium 40, seem to have an anthropogenic contribution in the Gulf of Nicoya, possibly related to the activities developed in the adjacent hydrographic basins. In all sampled sites, the artificial element Cesium-137 has been detected within normal ranges and values are very similar to those measured in the coast and in the interior of Costa Rica in previous studies. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Suppl. 4): 83-90. Epub 2009 June 30.

Key words: Costa Rica, radionuclides, Culebra Bay, Gulf of Nicoya, Cocos Island, marine sediments.

Las fuentes de sedimentos marinos son la tierra, la atmósfera y el océano mismo. En la tierra, debido a la descomposición química y a la desintegración mecánica, los constituyentes minerales son reducidos a partir de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas para luego ser transportados al mar en solución o suspensión. Las rocas contienen nucleídos naturales primordiales, que se formaron durante la nucleosíntesis, con un período de semidesintegración suficientemente largo (Loría *et al.* 2002a) para estar aún presentes en sedimentos, como el U^{238} , U^{235} y Th^{232} y sus respectivos descendientes. Estos elementos se incorporan al medio arrastrados por los ríos.

Los mares como integrantes de la hidrósfera, también tienen incorporados estos nucleídos. El U^{238} es un elemento radiactivo natural, con un semiperíodo de 4.51×10^9 años. Es un emisor de partículas alfa con una energía de 4.2MeV. El uranio y sus descendientes son inestables, por lo que forman una cadena de desintegración, proceso mediante el cual un isótopo radiactivo decae en otro isótopo, llamado *hija*, y este a su vez decae o se desintegra en otro isótopo y así sucesivamente hasta alcanzar un isótopo estable (Friedlander *et al.* 1981). En el caso de la cadena de U^{238} , el Pb^{206} es el último miembro de esa serie (Loría *et al.* 1998). Dada la alta solubilidad del uranio en el agua, este

elemento tiene un gran tiempo de residencia en el océano. Se estiman valores de 10^5 a 10^7 años (Burton 1974) para este elemento. La radiactividad artificial o antropogénica en los océanos lo constituyen el Sr^{90} , el Cs^{137} y sus hijas (Burton 1974). Estos provienen de procesos nucleares (en gran parte por explosiones en la atmósfera), o de plantas generadoras de electricidad e industrias nucleares. En Costa Rica las cuencas hidrográficas presentan una gran actividad agrícola en la que al remover las tierras, descendientes de U^{238} pueden ser dirigidos hacia el mar a través de las escorrentías y los ríos. Los nucleidos se encuentran tanto en la columna de agua como en el fondo, pero los sedimentos marinos son más eficientes en concentrar estos elementos (Burton 1974). En Costa Rica se ha realizado, hasta el momento, muy pocos estudios de nucleidos naturales y artificiales en sedimentos marinos. Algunos estudios sobre muestras de coral se realizaron por Loría *et al.* (1998). También en Loría *et al.* (2002a) se muestran resultados de concentraciones de radionucleidos en sedimentos costeros alrededor del Golfo de Nicoya. En este estudio se analizó la distribución espacial de los radionucleidos naturales y antropogénicos en

sedimentos marinos superficiales de dos cuerpos de agua de la costa Pacífica de Costa Rica. Con el objetivo de crear una base de información para el establecimiento de estándares, se recolectó muestras en una bahía considerada limpia (Bahía Culebra), y sobre el cuerpo de agua que mayor influencia antropogénica en esta costa (Golfo de Nicoya). Algunos valores tomados en la Isla del Coco y en Palo Verde (Bajo Tempisque) son usados como referencia e indicadores de los procesos naturales y/o artificiales de estos elementos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se extrajeron muestras de sedimentos marinos en dos ecosistemas costeros del Pacífico de Costa Rica, así como en la Isla del Coco (Fig. 1) utilizando una draga Van Veen. Las estaciones de muestreo en Bahía Culebra y del Golfo de Nicoya están indicadas en las figuras 2 y 3, respectivamente. En la Isla del Coco se tomaron muestras en las zonas de entre-mareas de las bahías Chatham y Wafer (Fig. 1), y en Palo Verde en el Bajo Tempisque (Fig. 1). Se recolectó un total de 164 muestras. Las posiciones geográficas de cada sitio de muestreo se

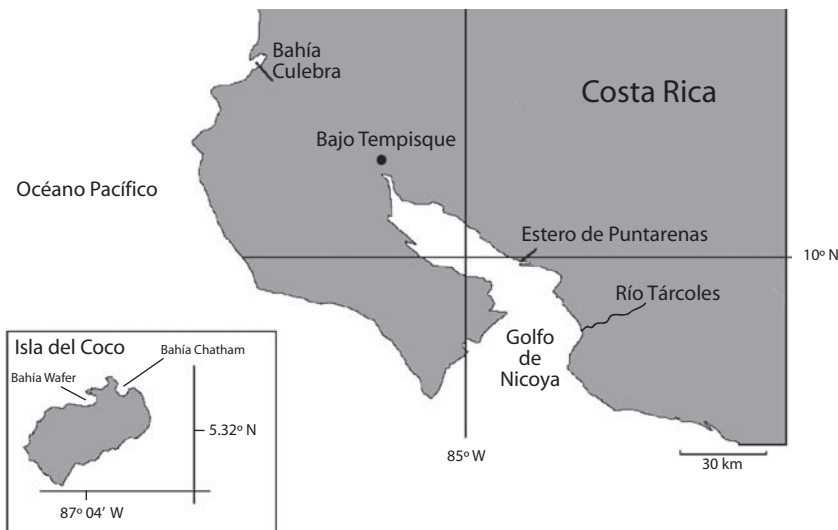


Fig. 1. Ubicación de regiones de muestreo, en la costa del Pacífico de Costa Rica y en la Isla del Coco.

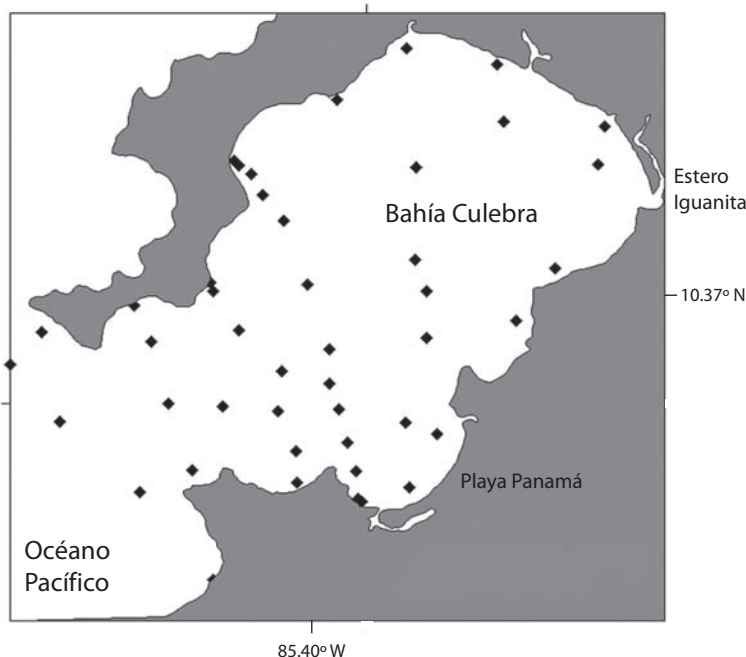


Fig. 2. Posiciones de muestreo en Bahía Culebra, costa del Pacífico de Costa Rica (2002, 2003 y 2005).

determinaron con un GPS (Global Positioning System) portátil.

Los nucleídos que se analizaron en el laboratorio de Espectroscopia Gamma del Centro de Investigación en Ciencias Atómicas Nucleares y Moleculares (CICANUM) son: K^{40} , Cs^{137} , Bi^{212} , Pb^{212} , Bi^{214} , Ac^{228} , Pa^{234} y el U^{235} . Las muestras se prepararon y analizaron siguiendo procedimientos técnicos armonizados (Fernández *et al.* 2006), los cuales forman parte del Manual del Sistema de Gestión de Calidad del CICANUM (Loría *et al.* 2007, Mora & Loría 1997, Salazar & Loría 1997), protocolos CICANUM-I-E-LEG-16, versión 1 y CICANUM-I-ME-LEG-01, versión 1. Contornos de la costa de Bahía Culebra y del Golfo de Nicoya se digitalizaron desde las cartas náuticas 1030 y CR-006 respectivamente.

RESULTADOS

Las características estadísticas de los elementos analizados en este estudio se indican

en los Cuadros 1 (Bahía Culebra), 2 (Golfo de Nicoya) y 3 (Isla del Coco). Observando los valores en estos cuadros se desprende que el K^{40} es el isótopo natural de mayor concentración en los sedimentos marinos. Al norte de la Isla Chira (Fig. 3) se encuentra un máximo de $500 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ y al frente de Playa Naranja (Fig. 3) un máximo de $700 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Bahía Culebra: Excepto quizás el K^{40} , que muestra una mayor concentración sobre el borde noreste de la bahía (alrededor de $300 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$), posiblemente a través de descargas desde el Estero de Iguanita (Fig. 2), el resto de elementos muestra valores que difícilmente puedan asociarse a una fuente o rasgo oceánico conocido (Cuadro 1). El Ra^{226} y su hija, el Pb^{214} , muestran patrones de distribución diferentes, ya que el Ra^{226} decae en Rn^{222} , el cual es gaseoso y por ende, se dispersa en el agua fácilmente, por lo que solamente es posible medir una fracción de radio transformado en plomo. El Cs^{137} tiene un máximo de $4.4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ al

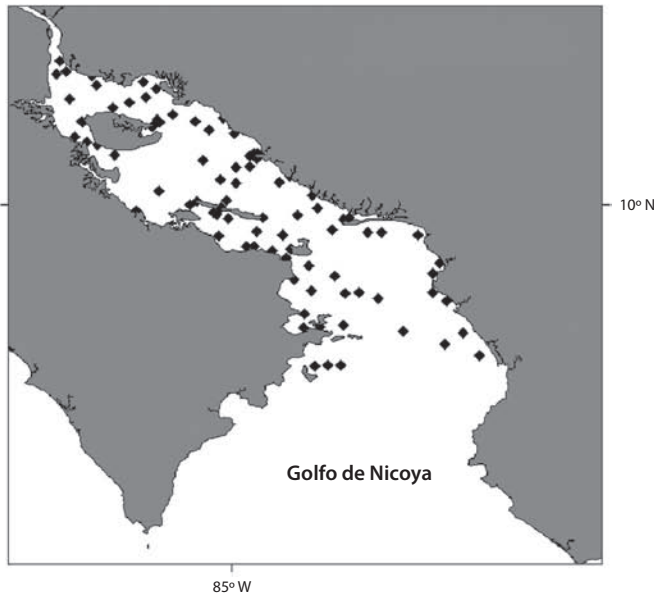
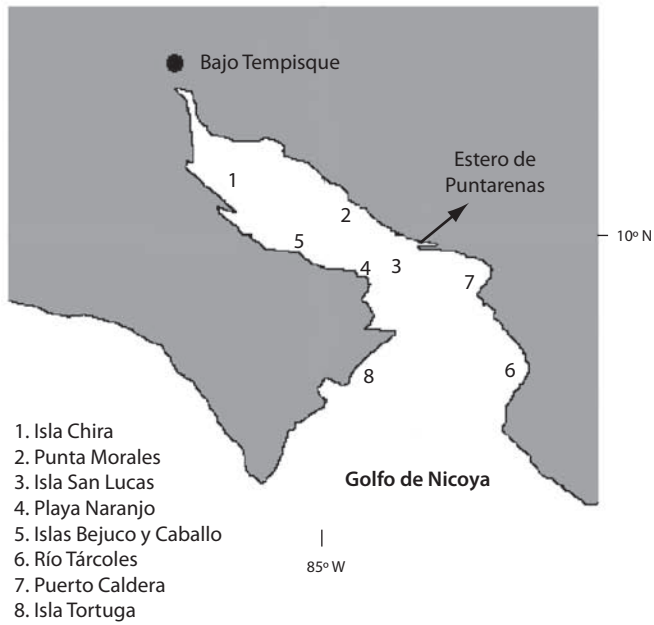


Fig. 3. Posiciones de muestreo en el Golfo de Nicoya, costa del Pacífico de Costa Rica (2003, 2004).

CUADRO 1
Concentraciones específicas de los radionucleidos en Bq.kg⁻¹, en Bahía Culebra, Costa Rica

	BAHÍA CULEBRA									
	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Bi ²¹²	Pb ²¹²	Bi ²¹⁴	Pb ²¹⁴	Ra ²²⁶	Ac ²²⁸	Pa ²³⁴	U ²³⁵
Mínimo	2.3	0.2	1.2	0.3	0.8	0.9	4.0	1.1	-	0.4
Máximo	330.0	4.4	7.2	10.9	9.0	7.0	20.3	10.0	-	9.8
Promedio	120.0	0.7	3.7	2.1	3.3	3.0	9.2	3.6	-	1.3
Desviación	66.1	0.8	1.6	1.6	1.6	1.2	4.5	2.1	-	1.7

CUADRO 2
Concentraciones específicas de los radionucleidos en Bq.kg⁻¹, Golfo de Nicoya, Costa Rica

	GOLFO DE NICOYA									
	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Bi ²¹²	Pb ²¹²	Bi ²¹⁴	Pb ²¹⁴	Ra ²²⁶	Ac ²²⁸	Pa ²³⁴	U ²³⁵
Mínimo	331.0	0.3	3.2	1.3	2.3	2.0	3.5	2.3	45.0	0.4
Máximo	700.0	1.9	42.9	42.9	20.0	19.0	85.2	26.7	73.0	5.0
Promedio	352.1	0.9	10.0	10.5	10.6	10.3	24.5	10.9	59.0	1.6
Desviación	30.4	0.4	6.8	5.6	4.5	4.3	19.4	5.2	19.8	0.8

1 Bqkg⁻¹ de Cs¹³⁷es equivalente a 10⁻¹⁰ ppm

	ESTERO DE PUNTARENAS (2004)									
	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Bi ²¹²	Pb ²¹²	Bi ²¹⁴	Pb ²¹⁴	Ra ²²⁶	Ac ²²⁸	Pa ²³⁴	U ²³⁵
Mínimo	261	n.d.	7.4	9	11	10.5	13	10	n.d.	0.8
Máximo	409	n.d.	11	15	15	15	15	15	n.d.	1.3
Promedio	322.3	0.5	9.0	11.5	12.7	12.4	13.8	12.0	-	1.0
Desviación	77.2	0.0	1.8	3.1	2.1	2.3	1.1	2.6	-	0.3

	ISLA TORTUGA (2004)									
	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Bi ²¹²	Pb ²¹²	Bi ²¹⁴	Pb ²¹⁴	Ra ²²⁶	Ac ²²⁸	Pa ²³⁴	U ²³⁵
Mínimo	369.0	1.0	4.9	4.8	9.2	8.6	9.5	8.4	n.d.	1.0
Máximo	524.0	1.2	7.2	9.6	10.8	11.1	24.5	11.0	n.d.	1.7
Promedio	423.7	1.1	6.2	7.0	10.0	10.2	17.7	9.7	-	1.4
Desviación	87.0	0.0	1.2	2.4	0.8	1.4	7.6	1.8	-	0.5

	BAJO TEMPISQUE, PALO VERDE (2003)									
	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Bi ²¹²	Pb ²¹²	Bi ²¹⁴	Pb ²¹⁴	Ra ²²⁶	Ac ²²⁸	Pa ²³⁴	U ²³⁵
Mínimo	102.0	0.8	3.5	4.6	4.7	4.5	n.d.	5.3	n.d.	0.8
Máximo	497.0	2.2	40.3	29.6	20.7	22.4	n.d.	16.7	n.d.	2.2
Promedio	246.4	1.2	13.1	13.7	11.5	11.5	n.d.	10.2	n.d.	1.4
Desviación	119.5	0.6	11.4	7.8	6.1	6.6	n.d.	5.1	n.d.	0.6

n.d.: no detectable.

CUADRO 3
Concentraciones específicas de los radionucleídos en Bq.kg⁻¹, en la Isla del Coco, Costa Rica (2003)

	ISLA DEL COCO									
	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Bi ²¹²	Pb ²¹²	Bi ²¹⁴	Pb ²¹⁴	Ra ²²⁶	Ac ²²⁸	Pa ²³⁴	U ²³⁵
Mínimo	29.0	1.1	3.9	3.3	6.3	3.8	21.1	5.6	58.8	1.5
Máximo	370.0	1.1	41.4	49.0	57.0	52.0	68.4	57.0	137.0	4.1
Promedio	165.8	1.1	18.5	22.0	33.7	27.1	47.0	25.4	91.6	2.7
Desviación	118.6	0.0	14.8	18.2	23.1	22.1	19.5	20.8	38.0	1.0

oeste de Bahía Culebra (Fig. 2). El Ra²²⁶ muestra máximos en el centro de la bahía y sobre el borde norte de Playa Panamá (alrededor de 18 Bq.kg⁻¹). Su hija, el Pb²¹⁴ tiene un patrón de distribución diferente, con máximos en el centro de la bahía y sobre el borde cercano al Estero Iguanita.

Golfo de Nicoya: Comparando la concentración de los descendientes de Uranio y Torio, se nota que el promedio de las concentraciones en el Estero de Puntarenas, tal vez el sitio con más impacto antropogénico en el Golfo, no difiere del resto del Golfo de Nicoya (Cuadro 2). Sin embargo, se encuentra una menor concentración de estos elementos en Bahía Culebra (Cuadro 1). El K⁴⁰ muestra los valores más altos en todos los sitios muestreados, con valores de hasta 700 Bq.kg⁻¹ (Cuadro 2). Concentraciones máximas fueron identificadas al norte de Isla Chira, sobre los bordes costeros al sureste de Punta Morales y alrededor de Playa Naranjo (Fig. 3). La distribución de Cs¹³⁷ muestra máximos al frente de Punta Morales y al sur de Isla Chira. También se encuentran otros valores máximos de este elemento cerca de la desembocadura del Estero de Puntarenas, frente a Caldera y al sur de la isla San Lucas (Fig. 3). El Ra²²⁶ mostró máximos alrededor de las islas Bejuco y Caballo (Fig. 3), y su hija el Pb²¹⁴, más bien tuvo concentraciones máximas al sureste del los manglares de Punta Morales y al frente de la desembocadura del río Grande de Tárcoles (Fig. 1).

Isla del Coco: Los sedimentos extraídos de la Isla del Coco poseen, en general

concentraciones más altas que en los otros lugares donde se tomó muestras (Cuadro 3).

DISCUSIÓN

El K⁴⁰ representa aproximadamente un 90% de la radiactividad natural en el océano (Burton 1974). Por eso se encuentra en gran cantidad en cualquier parte de nuestro territorio continental u oceánico (Loría *et al.* 1992). Es de origen terrestre o geogénico, pero a través de actividades humanas puede ser agregado al océano (Ramos-Lerate *et al.* 1998). El Golfo de Nicoya muestra las concentraciones más altas de este elemento (Cuadro 2). El ámbito de valores considerados normales es de 100-700 Bq.kg⁻¹ (Ramos-Lerate *et al.* 1998). Las concentraciones que alcanzan este límite superior se encuentra al sureste del los manglares de Punta Morales. Los muestreos de Loría *et al.* (1992) en varios lugares de Guanacaste, tanto en tierra firme de la península como en la costa, oscilan entre 8 y 470 Bq.kg⁻¹. Mediciones también de Loría *et al.* (2002a) sobre las zonas entre mareas del exterior del Golfo de Nicoya, no superaron los 420 Bq.kg⁻¹. Las altas concentraciones por lo tanto, encontradas en el Golfo de Nicoya, podrían indicar un aporte antropogénico del K⁴⁰ desde las conocidas prácticas agrícolas o industriales (artesanales) que se desarrollan en la zona (Loría *et al.* 2002b).

Las sustancias radiactivas naturales han estado presentes desde el origen de la Tierra. El complejo de Nicoya es una de las regiones más antiguas de Costa Rica (Denyer & Kussmaul

2000). Es por esto, que no es de extrañar, que la mayoría de los elementos radiactivos estudiados tengan concentraciones mayores en la Isla del Coco, que es una región geológicamente más joven (aproximadamente Plioceno) que el Complejo de Nicoya (finales Jurásico-principio Cretácico) (Denyer & Kusmaul 2000). Las concentraciones habituales del Ra²²⁶ se encuentran en el ámbito de 2.96-141 Bq·kg⁻¹ (Ramos-Lerate *et al.* 1998). Todas las concentraciones mostradas en este estudio son menores que el valor máximo, por lo que están dentro del ámbito natural. Este elemento es de origen geogénico, se distribuye según la dinámica de las corrientes en el lugar. También es relacionado con el tipo de sedimento: grava, arena o lodo (Ramos-Lerate *et al.* 1998), y este a la vez, está relacionado con las corrientes marinas, las cuales determinan el tamaño de partícula del sedimento en el fondo marino. Los lodos son los que retienen más concentración de este elemento, y estos se encuentran en regiones de corrientes más calmas. No se dispone de un estudio de corrientes en Bahía Culebra para relacionarlo con la distribución espacial del Ra²²⁶ en este lugar. Lizano & Alfaro (2004) indican que en el Golfo de Nicoya las corrientes son fuertes a lo largo de eje del Golfo y se aceleran en las zonas de restricciones al flujo, como por ejemplo entre San Lucas y Puntarenas. Los máximos de la distribución de Ra²²⁶, se encuentran entre las islas Bejuco y Caballo en el Golfo de Nicoya (Fig. 3), podrían ser un indicativo de zonas de calma y de sedimentos finos en el fondo marino. Esto último también es válido para Bahía Culebra.

Según Burton (1974) el Pb²¹⁴ disminuye con la profundidad porque es removido desde la columna de agua por las partículas o sólidos disueltos. Tiene una naturaleza muy reactiva con diferentes partículas, por lo que su concentración es baja en el fondo. El Ra²²⁶ es muy soluble y no tiene afinidad con partículas. Por eso siempre hay un exceso de radio respecto del plomo en el fondo, situación contraria en la superficie. A la superficie el Pb²¹⁴ llega desde la atmósfera a través del decaimiento

del Rn²²². Los resultados encontrados en este estudio reflejan este comportamiento en todos los sitios estudiados. Sus máximos por lo tanto encontrados en el fondo marino, no pueden ser ligados a procesos oceánicos, sino más bien a la contribución atmosférica.

Las concentraciones de Cs¹³⁷ medidas en este estudio también están dentro de los ámbitos considerados normales (Anónimo 1982). Muestras de Loría *et al.* (1992) en suelos de la Guanacaste presentan valores cercanos a 1 Bq·kg⁻¹. Estos valores son muy pequeños comparados con los valores encontrados en sitios de descarga de reactores nucleares donde los valores encontrados en sedimentos de ríos, según Greenpace (www.greenpace.es) alcanzan valores hasta de 3 000Bq·kg⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el apoyo con los proyectos No. 808-A4-513, No. 905-A4.011, No. 808-A6-050, No. 808-A6-053 y No. 808-A7-520. Al CONICIT por el apoyo a través de los fondos FORINVES II con el proyecto código: FV-021-03.

RESUMEN

Los radionucleídos naturales y artificiales de los sedimentos marinos fueron estudiados en Bahía de Culebra y en el Golfo de Nicoya, ambos en la costa Pacífica de Costa Rica. Muestreos en un humedal y en una isla oceánica, fueron usados como sitios de referencia. La concentración de los elementos radiactivos originados durante la formación de nuestro planeta disminuye en los bloques continentales viejos. Dado que una isla oceánica es de formación más joven, se espera encontrar altas concentraciones de estas sustancias, como muestran los resultados de este estudio. Los ámbitos de estos elementos son considerados normales según los informes globales. Algunos, como el Potasio-40, parecieran tener una contribución antropogénica en el Golfo de Nicoya, posiblemente relacionada a las actividades que se desarrollan en sus cuencas hidrográficas adyacentes. En todos los sitios de muestreo, la concentración del elemento artificial Cesio-137 se ha detectado dentro de ámbitos normales y sus valores son muy similares a los medidos en la costa y en el interior del país en estudios anteriores.

Palabras clave: Costa Rica, radionucleidos, Bahía Culebra, Golfo de Nicoya, Isla del Coco, sedimentos marinos.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1982. La radiación ionizante: fuentes y efectos biológicos. Informe del Comité Científico de Naciones Unidas a la Asamblea General para el estudio de los efectos de las radiaciones atómicas. Informe a la Asamblea General.
- Burton, J.D. 1974. Radioactive nuclides in the marine environment. *Chemical Oceanography* 3: 91-191.
- Denyer, P. & S. Kussmaul. 2000. Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Fernández, I., A. Iglicky, A. De Melo, I. Tomici, L.G. Loria & J. Aguirre. 2006. Determinación de la Contaminación Radiactiva. Memorias del II Simposio Internacional de Transferencias de Tecnología. Cuba.
- Friedlander, G., J. Kennedy, E. Macias & J. Malcom. 1981. Nuclear and radiochemistry, John Wiley and Sons, Nueva York, EEUU.
- Loría, L.G., P. Mora & M. Badilla. M. 1999. K^{40} y Cs^{137} en banano exportado por Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23: 157-163.
- Loría, L.G., A. Banichevich & O.G. Lizano. 2002a. Radionucleidos naturales y antropogénicos en el estuario del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanog.* 9: 74-78.
- Loría, L.G., R. Jiménez & M. Badilla. 2002b. Análisis por espectroscopia gamma en fertilizantes de uso en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26: 22-25.
- Loría, L.G., A. Banichevich & J. Cortés. 1998. Radionucleidos en corales de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46: 81-90.
- Loría, L.G., R. Jiménez & M. Badilla. 2007. Evaluación radiológica de alimentos y de agua de consumo humano en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 31: 53-59.
- Loría, L.G., R. Jiménez & M. Gallardo. 1992. Cuantificación de la concentración de elementos naturales y contaminantes radiactivos emisores gamma en suelos de la península de Nicoya, Guanacaste, utilizando la técnica de conteo de bajo nivel. *Tecnología en Marcha* 11: 61-72.
- Lizano, O.G. & E.J. Alfaro. 2004. Algunas características de las corrientes marinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 77-94.
- Mora, P. & L.G. Loría. 1997. Radioactive assessment of fish products marketed by Costa Rica. *J. Microprobe Techn.* 15: 307-310.
- Ramos-Lerate, I, M. Barrera, R.A. Ligeró & M. Casas-Ruiz. 1998. Use of gamma radionuclides as tracers to investigate transport of sediments in the bay of Cádiz. *Appl. Sci. Environ.* 217-221.
- Salazar, A. & L.G. Loría. 1997. Control de calidad en espectrometría gamma de bajo nivel. *Ciencia y Tecnología* 21: 35-44.