

## Niveles de Radioactividad en Tres Regiones de Costa Rica

Patricia Mora y Alfonso Salazar  
Laboratorio de Física Nuclear  
Escuela de Física, Universidad de Costa Rica

### Resumen:

Se han establecido y valorado los niveles de radiactividad natural en tres regiones del territorio de Costa Rica, durante el período de 1991-1994. Los radionucleidos son evaluados en muestras de diferente tipo de suelos que son característicos de cada región seleccionada. Se utilizó la técnica de conteo de bajo nivel para medir la actividad específica en las cadenas naturales de  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , y en el  $^{40}\text{K}$ , en 120 muestras durante el período indicado. Se cuantificó la actividad del radionucleido artificial  $^{137}\text{Cs}$ , proveniente de la lluvia radiactiva. Los valores nacionales promedio en  $\text{BqKg}^{-1}$  encontrados para las hijas del  $^{238}\text{U}$ , son 11.66 para  $^{214}\text{Bi}$ , 34.42 para  $^{226}\text{Ra}$  y 10.73 para  $^{214}\text{Pb}$ . Para las hijas del  $^{232}\text{Th}$  son, respectivamente, 4.08 para  $^{208}\text{Tl}$ , 9.65 para  $^{212}\text{Bi}$  y 7.62 para  $^{228}\text{Ac}$ . Para el radionucleido  $^{40}\text{K}$  es de 95.14 y para el radionucleido artificial  $^{137}\text{Cs}$  es de 2.38. Los valores encontrados indican que Costa Rica es un país que presenta bajos niveles de radiación natural y del  $^{137}\text{Cs}$ . Estos valores son inferiores a la media de los valores reportados a escala mundial.

**Encabezado de materia:** actividad específica,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , conteo de bajo nivel.

### Abstract:

The establishment of the first radioactivity levels of natural radiation was carried out during the period 1991 to 1994 in three different regions of Costa Rica. The radionuclides studied belong to different soil types related to each selected region. Utilizing low level counting techniques the specific activity of the natural radioactive chains  $^{238}\text{U}$  daughters,  $^{232}\text{Th}$  and the element  $^{40}\text{K}$  were measured for a total of 120 samples during this period. The amount of  $^{137}\text{Cs}$ , a fall out radionuclide, was also studied. The average national values in  $\text{Bq.kg}^{-1}$  measured for  $^{238}\text{U}$  were 11.66 for  $^{214}\text{Bi}$ , 34.42 for  $^{226}\text{Ra}$  and 10.73 for  $^{214}\text{Pb}$ , for  $^{232}\text{Th}$  daughters were 4.08 for  $^{208}\text{Tl}$ , 9.65 for  $^{212}\text{Bi}$  and 7.62 for  $^{228}\text{Ac}$ . The specific activity value for  $^{40}\text{K}$  was 95.14  $\text{Bq.kg}^{-1}$  and for  $^{137}\text{Cs}$  was 2.38  $\text{Bq.kg}^{-1}$ . It is found that Costa Rica is not a highly natural radioactive country and that the values for  $^{137}\text{Cs}$  are well below international reported values.

**Subject headings:** specific activities,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , low level counting.

## 1. Introducción

El ser humano está continuamente expuesto a las radiaciones ionizantes presentes en el medio ambiente. El origen de esta radiación se debe a la presencia de radionucleidos tanto naturales como artificiales, que en conjunto forman la radiación de fondo o *background*. La componente de origen natural de esta radiación de fondo corresponde aproximadamente a un 70% del total, el resto corresponde a radiaciones artificiales.

La medida de los niveles base de la radiactividad ambiental se fundamenta en la evaluación de los radionucleidos naturales y artificiales. Se establece una red nacional de medición y evaluación que crea el primer banco de datos, esto permite valorar los niveles de radiactividad natural y artificial presente en las zonas seleccionadas. La técnica de conteo y los procesos de valoración de la radiactividad, corresponden a los medios fundamentales para un adecuado monitoreo de la radiación, ante eventuales accidentes radiológicos. La dosis de radiación de fondo que se incorpora al ser humano proviene de dos grandes grupos de fuentes radiactivas naturales que se clasifican en

- a) fuentes externas: de origen extraterrestre (rayos cósmicos) y de origen terrestre.
- b) fuentes internas: radionucleidos incorporados en el aire inhalado o ingeridos en los alimentos.

Los rayos cósmicos primarios son radiaciones de alta energía (protones, partículas alfa, electrones, neutrinos y fotones) que provienen del espacio exterior y penetran nuestra atmósfera. Cuando esta radiación interactúa con los núcleos de los átomos de la atmósfera se producen partículas secundarias y radiación electromagnética (radiación secundaria). La dosis equivalente en un año debido a la radiación cósmica tiene un valor promedio de 0.4 mSv. (1)

Las fuentes terrestres externas de radiación más importantes son  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  y las dos series de elementos radiactivos del decaimiento del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ . Los radionucleidos presentes en los suelos y rocas son las principales fuentes de radiación recibida al descubierto. En el caso de las rocas, su grado de radiactividad depende del tipo de roca, por ejemplo, las rocas de granito son más radiactivas que las sedimentarias. Existen diversos lugares de la geografía terrestre que presentan valores 1000 veces más altos de la radiación natural de fondo, como Kerala y Tamil Nadu en India (2) o lugares con valores 100 veces más altos como Guarapari, Meaibe y Poços de Caldas en Brasil (3). El Comité Científico de Naciones Unidas en los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR 1982) estima que el 95% de la población mundial recibe una dosis equivalente de 0.4 mSv debido a las fuentes naturales terrestres. Las fuentes internas se deben principalmente al gas radón ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  y sus hijas), estas son responsables por más de la mitad de la dosis efectiva total anual, que corresponde a 1.3 mSv. (1)

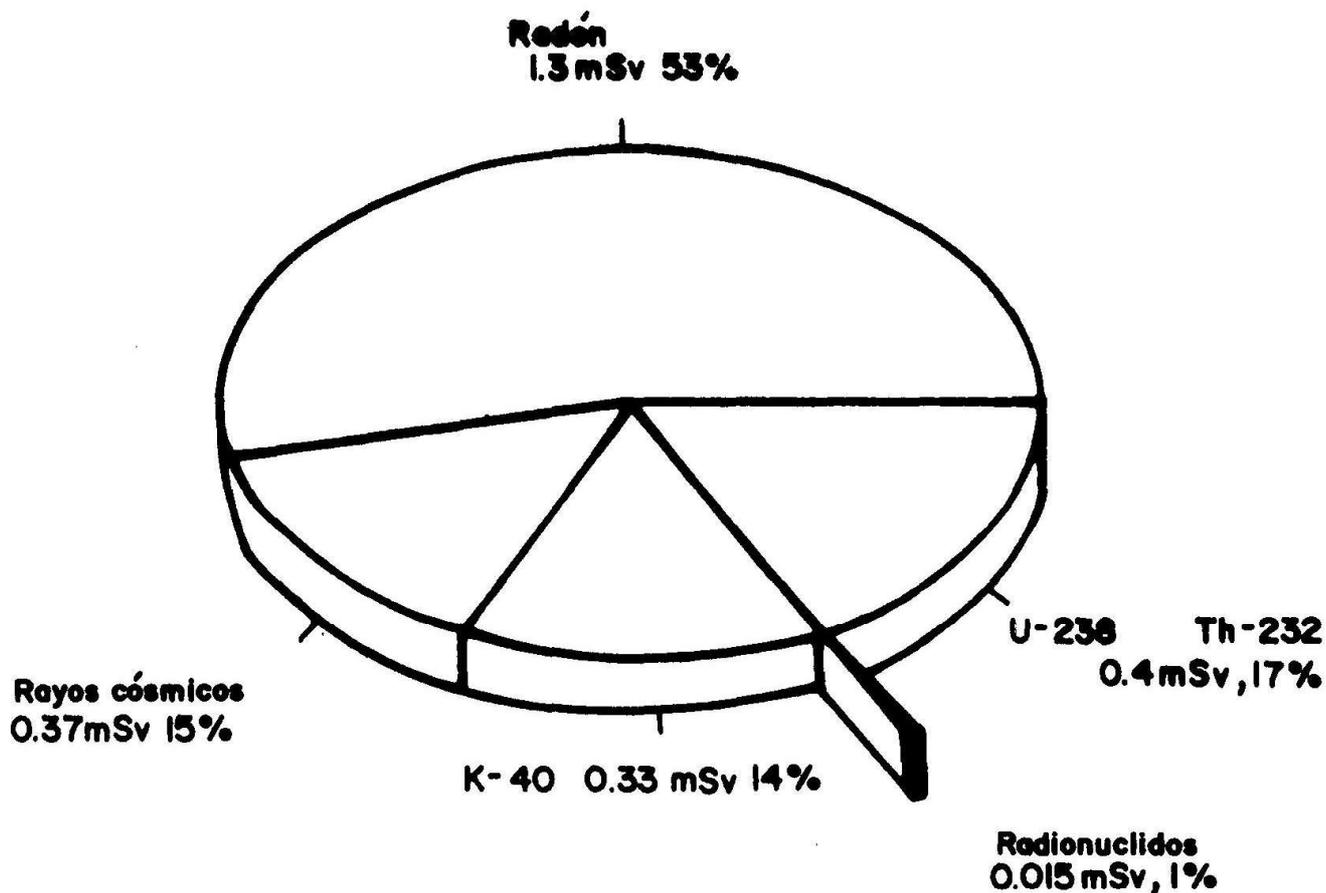


Figura 1: Componentes de la dosis anual de radiación natural

Los radionucleidos que por medio de la ingestión y la inhalación entran a nuestro cuerpo se dividen en dos grupos: cosmogénicos ( $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  y  $^{22}\text{Na}$ ) y primordiales (series radiactivas del  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  y  $^{87}\text{Rb}$ ). En la Figura 1 se muestran las diferentes componentes de la dosis anual recibida por la población mundial (1).

De los radionucleidos artificiales, el  $^{137}\text{Cs}$ , por sus características especiales, es de gran importancia. El  $^{137}\text{Cs}$  emite un rayo gamma de 661.6 KeV con un período físico de 30.2 años. La presencia de  $^{137}\text{Cs}$  en suelo de Costa Rica se debe exclusivamente a la lluvia radiactiva de

este radioisótopo; inyectado en la estratósfera por las pruebas de armas nucleares realizadas en las décadas de 1950 y 1960, y más recientemente por el accidente de Chernobyl en 1986. La cantidad total de  $^{137}\text{Cs}$  depositada en la estratósfera debido a los ensayos nucleares es de 9.6 PBq (4).

El transporte de material radiactivo en la atmósfera es controlado por los procesos de mezcla atmosférica. Las partículas más grandes caen rápido por la acción de la gravedad y cercanas al punto de producción; mientras que las partículas pequeñas caen a distancias mayores.

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de los radionucleidos en la atmósfera a grandes distancias no contemplan variables puntuales. Por ejemplo, para un radionucleido de largo período físico con una velocidad de deposición de  $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , solo un 4% permanece a 3000 km si no hay lluvia o turbulencias locales (4). La precipitación de las partículas radiactivas desde la estratósfera es el agente de polución radiactiva más significativo (1) (5). Al caer el  $^{137}\text{Cs}$  en el suelo este es fuertemente absorbido y no se esperar cambios (6). Este se localiza preferentemente en los primeros 10 cm de tierra (7).

El objetivo de este trabajo consiste en establecer y valorar los niveles de la radiación natural y artificial presentes en muestras de suelo. Utilizando la técnica nuclear de espectrometría gamma de bajo nivel se mide en  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  los radionucleidos  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ . También se miden los niveles de fondo para el radionucleido  $^{137}\text{Cs}$  que proviene de la lluvia radiactiva que ha llegado a nuestro país desde las primeras incursiones atómicas del hombre en el Siglo XX.

## 2. Materiales y Método

### 2.1. Muestras de suelo

Las muestras de suelo fueron recolectadas en doce puntos a lo largo del territorio nacional como se muestra en la Figura 2. Las muestras fueron recolectadas por personal técnico capacitado del Instituto Costarricense de Electricidad de setiembre de 1991 a mediados de 1994. Se recolectaron un total de 120 muestras de suelo. El suelo fue recolectado de una área plana, con o sin vegetación que no tuviera estructuras vegetales o edificios que le proporcionaran abrigo. El área total de recolección fue de  $400 \text{ cm}^2$  para una profundidad de 10 cm. En el laboratorio las muestras se secan a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas para luego ser molidas en partículas no mayores de 3 mm. Aproximadamente un kilogramo de la muestra se introduce en un recipiente tipo Marinelli para su correspondiente análisis.



Figura 2: Localización de los sitios de recolección de datos

La Tabla 1 presenta información detallada de los diferentes lugares de recolección. Las altitudes de los puntos de recolección varían desde los 13 a los 1024 metros sobre el nivel del mar, la temperatura en el período de recolección varió de 19.9°C a 28°C. La textura de los suelos varía desde arcillosa a franco arenoso. Las muestras se agruparon en tres zonas geográficas del país: atlántico, central y pacífico.

Tabla 1. Características de los lugares de recolección

Número	Lugar del Muestreo	Altitud sobre el nivel del mar (m)	Textura de la Tierra
1	Río Frío: Guatuzo.	44	Franco Arenoso
2	Río Sarapiquí: Puerto Viejo.	22	Franco
3	Río Reventazón: Pascua.	247	Franco Arenoso
4	Río Blanco: Limón.	15	Arcilloso
5	Río Telire: Bratzi Talamanca.	35	Franco Arenoso
6	Río Tempisque: Guardia de Liberia.	13	Franco Arcilloso Arenoso
7	Río Abangares: Limonal Viejo.	97	Franco Arcilloso
8	Río Grande de Tárcoles: Alumbre Orotina.	101	Arcilloso
9	Río Itiquis: Itiquis Alajuela.	1024	Arcilloso
10	Universidad de Costa Rica: San José.	1100	Arcilloso
11	Río Savegre: Poblado Río Blanco.	270	Arcilloso
12	Río General: El Brujo.	137	Franco Arcilloso

## 2.2. Técnica de espectrometría gamma de bajo nivel

El conteo de bajo nivel por espectrometría gamma es empleado como método analítico. Se utiliza un detector de germanio hiperpuro marca Intertechnique EGPC20 rodeado por un castillo de plomo y conectado a un analizador Multicanal (MCA Canberra 35+), para realizar el conteo de la radiación. La eficiencia del detector fue calculada utilizando un cocktail de radionucleidos certificado por el Instituto de Radioprotección y Dosimetría de Río de Janeiro, Brasil. Las muestras son contadas ante el detector por un período de 60000 s, siendo el error estadístico inferior al 10%. Por medio de programas de computo se procede a hacer la valoración de los fotopicos del espectro gamma, lo que permite encontrar las actividades de los radionucleidos de interes, en  $Bq \cdot kg^{-1}$  (8) (9).

La actividad media por kilogramo de muestra seca para los diferentes picos de los radionucleidos se calcula con la ecuación:

$$[A_n = R_n(\epsilon m P_\gamma)^{-1}]$$

donde  $A_n$  es la actividad media del radionucleido en  $Bq \cdot kg^{-1}$ .

$R_n$  es la intensidad del radionucleido en cuentas por segundo.

$\epsilon$  es la eficiencia de conteo del sistema.

$P_\gamma$  es la probabilidad absoluta de transición de un decaimiento gamma para una energía específica.

### 3. Resultados y Conclusiones

#### 3.1. Radionucleidos naturales

Los resultados de la radiactividad específica de las cadenas de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  para los años de recolección se presentan en las Tablas 2 - 8 respectivamente.

**Tabla 2.** Actividad específica en  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  de la cadena de Uranio -238

Bi - 214										
	Set-91		May-92		Nov-92		Nov-93		May-94	
Zona Atlántica		+/-		+/-		+/-		+/-		+/-
R.Frío-Guatuzo	8,38	3,52	19,19	11,26	12,69	5,83	0,95	0,05	0,81	0,06
R.Sarapiquí-Pto Viejo	22,00	0,02	16,66	2,73	19,00	11,87	1,37	0,67	2,37	0,71
R.Reventazón-Pascua	26,46	5,06	32,05	14,86	12,83	6,08	1,16	0,21	1,92	0,35
R.Blanco-Limón	13,25	1,96	24,49	12,69	21,33	1,79	1,13	0,06	2,38	0,36
R.Telire-Bratzi	13,75	1,70	14,65	0,35	22,06	5,61	0,94	0,06	2,07	0,60
Zona Pacífica										
R.Tempisque-G.Liberia	4,07	0,25	25,57	0,72	27,66	16,29	0,88	0,03	1,42	0,10
R.Abangares-Limonal V.	8,29	0,96	0,27	5,67	14,20	9,10	1,02	0,04	0,93	0,13
R.Savegre Pres Cedral	10,75	3,77	9,37	0,90	11,29	9,88	0,99	0,12	1,71	0,37
R.General-Brujo	16,92	1,95	17,25	7,42	15,99	10,82	0,98	0,20	1,02	0,16
Zona Central										
Gde.Tárcoles-Alajuela	16,35	11,13	27,63	1,90	11,39	9,93	1,04	0,01	0,96	0,16
R.Itiquis-Alajuela	30,26	9,55	35,26	10,33	21,80	16,16	1,48	0,62	2,45	1,28
Lafna	34,67	29,02	15,37	0,16	21,12	7,38	1,79	0,22	2,73	0,60

En las muestras recolectadas en noviembre de 1993 y mayo 1994 se observa una disminución en los resultados de casi un orden de magnitud; debido principalmente a un cambio en el detector de Germanio y a la eficiencia de conteo. Los radionucleidos naturales localizados en las tres regiones no varían en el tiempo. Los radionucleidos naturales de las dos series radiactivas naturales en la región central del país presentan valores de radiación un poco superiores a las otras dos regiones.

**Tabla 3.** Actividad específica en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de la cadena de Uranio -238

Ra - 226										
	Set-91		May-92		Nov-92		Nov-93		May-94	
Zona Atlántica	+/-		+/-		+/-		+/-		+/-	
R.Frío-Guatuzo	32,72	17,09	49,04	15,48	30,98	2,38	11,31	0,98	8,07	0,52
R.Sarapiquí-Pto Viejo	74,46	12,50	69,26	8,85	69,01	3,74	22,00	5,90	25,10	5,17
R.Reventazón-Pascua	70,13	4,22	64,69	26,42	31,31	5,23	12,58	0,13	13,46	1,22
R.Blanco-Limón	51,40	4,55	71,65	0,07	23,12	6,86	20,52	2,10	14,55	4,82
R.Telire-Bratzi	47,98	7,99	41,87	6,27	26,83	6,02	8,45	0,82	9,20	1,41
<b>Zona Pacífica</b>										
R.Tempisque-G.Liberia	13,92	3,68	55,14	1,75	34,38	14,78	13,05	3,11	13,34	3,90
R.Abangares-Limonal V.	22,23	2,30	15,74	6,34	31,55	11,47	12,22	0,49	8,84	1,19
R.Savegre Pres Cedral	30,94	17,73	19,63	6,06	40,18	33,68	20,16	2,15	10,67	0,80
R.General-Brujo	52,62	1,82	29,81	14,95	25,78	8,27	14,27	4,26	13,14	2,80
<b>Zona Central</b>										
Gde.Tárcoles-Alajuela	49,78	6,90	64,59	21,81	42,26	16,55	17,00	4,65	17,95	8,87
R.Itiquis-Alajuela	117,40	17,68	95,97	9,95	66,47	51,53	35,05	1,68	31,07	4,20
Lafna	0,00	0,00	55,59	3,98	33,89	17,92	29,25	16,63	31,96	7,05

Tabla 4. Actividad específica en Bq.kg<sup>-1</sup> de la cadena de Uranio -238

Pb - 214										
	Set-91		May-92		Nov-92		Nov-93		May-94	
	+/-		+/-		+/-		+/-		+/-	
<b>Zona Atlántica</b>										
R.Frío-Guatuzo	8,94	1,88	11,98	3,27	6,40	3,11	0,99	0,06	0,93	0,12
R.Sarapiquí-Pto Viejo	25,43	1,30	19,63	5,25	13,97	10,28	2,47	1,05	2,94	0,97
R.Reventazón-Pascua	28,29	5,13	25,93	8,55	7,93	0,55	2,45	1,80	2,22	0,10
R.Blanco-Limón	16,19	2,17	21,34	9,38	7,71	2,31	2,50	0,63	3,69	1,30
R.Telire-Bratzi	17,45	1,82	13,30	1,63	19,11	5,85	2,41	1,04	3,06	0,17
<b>Zona Pacífica</b>										
R.Tempisque-G.Liberia	5,09	0,79	19,23	3,59	9,19	5,81	2,10	0,35	1,64	1,04
R.Abangares-Limonal V.	8,61	0,95	4,31	1,15	6,91	6,81	1,31	0,40	7,18	8,34
R.Savegre Pres Cedral	12,51	2,68	6,27	0,85	7,15	7,50	1,63	0,14	2,41	0,23
R.General-Brujo	19,45	1,58	13,48	7,23	6,90	0,99	3,41	0,07	3,26	0,08
<b>Zona Central</b>										
Gde.Tárcoles-Alajuela	18,62	11,22	19,67	1,85	9,05	8,93	1,10	0,00	1,48	0,54
R.Itiquis-Alajuela	32,70	9,64	29,68	7,44	15,25	12,08	3,24	0,46	3,66	0,58
Lafna	48,05	40,22	18,72	1,92	15,72	6,55	13,30	11,75	4,31	1,64

Tabla 5. Actividad específica en Bq.kg<sup>-1</sup> de la cadena de Uranio -238

Tl - 208										
	Set-91		May-92		Nov-92		Nov-93		May-94	
Zona Atlántica	+/-		+/-		+/-		+/-		+/-	
R.Frío-Guatuzo	2,01	0,11	3,05	1,90	1,53	0,52	0,39	0,12	0,41	0,03
R.Sarapiquí-Pto Viejo	10,50	0,87	9,25	1,36	5,37	4,12	1,44	0,34	1,26	0,51
R.Reventazón-Pascua	7,23	0,79	6,73	3,59	1,15	0,27	0,63	0,03	0,65	0,26
R.Blanco-Limón	2,26	0,36	3,86	1,68	1,20	0,56	1,02	0,07	0,55	0,10
R.Telire-Bratzi	4,06	0,25	3,70	0,04	3,98	2,04	0,68	0,24	0,47	0,07
Zona Pacífica										
R.Tempisque-G.Liberia	1,42	0,20	4,85	0,81	2,17	1,19	0,56	0,19	0,40	0,03
R.Abangares-Limonal V.	2,59	0,39	1,05	0,75	2,43	2,36	0,49	0,02	0,75	0,50
R.Savegre Pres Cedral	1,85	0,36	0,73	0,05	1,53	1,00	0,56	0,20	0,44	0,01
R.General-Brujo	6,91	0,86	4,87	1,70	1,96	0,24	0,63	0,90	0,62	0,35
Zona Central										
Gde.Tárcoles-Alajuela	6,45	1,96	6,91	1,33	2,85	2,49	1,15	0,13	0,59	0,17
R.Itiquis-Alajuela	13,76	3,06	14,13	0,98	9,35	5,90	2,22	0,04	1,80	0,16
Lafna	56,90	47,62	8,02	0,78	6,33	1,90	1,82	0,16	1,72	0,18

Para el  $^{40}\text{K}$  se encuentran valores de la actividad radiactiva específica que oscilan entre los 3,7 y los  $377 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . La región atlántica presenta el promedio más alto respecto a las otras regiones seleccionadas del país.

**Tabla 6.** Actividad específica en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de la cadena de Torio -232

Bi - 212										
	Set-91	May-92		Nov-92		Nov-93		May-94		
Zona Atlántica	+/-		+/-		+/-		+/-		+/-	
R.Frío-Guatuso	7,92	0,70	10,23	2,03	11,83	1,58	5,13	0,37	4,36	0,25
R.Sarapiquí-Pto Viejo	24,00	3,49	22,77	7,62	18,46	8,27	5,31	0,77	5,83	1,31
R.Reventazón-Pascua	17,66	3,80	13,79	1,87	8,77	2,33	4,99	0,75	3,98	0,15
R.Blanco-Limón	7,82	0,03	8,70	0,48	7,55	1,77	5,37	0,50	4,86	0,67
R.Telire-Bratzi	9,28	1,78	9,62	2,91	7,51	0,67	4,81	0,53	3,00	0,36
Zona Pacífica										
R.Tempisque-G.Liberia	6,99	1,93	11,95	3,30	9,66	2,67	4,64	0,04	3,98	1,01
R.Abangares-Limonal V	6,49	0,46	6,47	0,56	8,49	0,13	5,41	0,28	4,48	0,02
R.Savegre Pres Cedral	8,46	2,91	8,14	0,31	10,08	1,27	5,36	0,83	4,85	0,00
R.General-Brujo	15,48	2,50	10,62	2,70	7,98	2,59	4,32	0,18	3,38	0,16
Zona Central										
Gde.Tárcoles-Alajuela	17,43	5,70	15,08	2,06	5,13	1,56	2,42	0,01	1,39	0,77
R.Itiquis-Alajuela	35,49	8,84	38,00	3,79	20,34	9,33	4,62	0,05	4,11	0,48
Lafna	0,56	0,41	23,22	1,23	16,39	6,96	4,86	0,06	5,82	3,25

Tabla 7. Actividad específica en Bq.kg<sup>-1</sup> de la cadena de Torio -232

Ac - 208										
	Set-91	May-92		Nov-92		Nov-93		May-94		
Zona Atlántica	+/-		+/-		+/-		+/-		+/-	
R.Frío-Guatuzo	5,33	0,47	5,35	3,65	5,54	1,94	1,54	0,06	1,24	0,09
R.Sarapiquí-Pto Viejo	21,96	8,08	26,36	1,90	10,13	7,19	3,81	0,80	2,19	0,67
R.Reventazón-Pascua	19,90	3,93	15,60	6,27	4,43	0,02	1,56	0,14	1,14	0,03
R.Blanco-Limón	6,36	0,14	8,56	7,93	3,56	0,27	1,81	0,08	1,87	0,21
R.Telire-Bratzi	8,27	0,18	5,74	2,40	8,23	1,12	1,64	0,22	1,08	0,14
Zona Pacífica										
R.Tempisque-G.Liberia	3,58	0,15	12,38	2,52	3,62	0,29	1,64	0,21	1,28	0,06
R.Abangares-Limonal V.	6,55	2,05	2,60	1,20	4,61	2,84	1,64	0,08	1,26	0,00
R.Savegre Pres Cedral	4,27	0,02	2,53	0,11	3,27	0,42	1,58	0,29	1,36	0,00
R.General-Brujo	17,24	2,26	12,00	4,79	5,03	2,75	1,28	0,12	1,45	0,58
Zona Central										
Gde.Tárcoles-Alajuela	17,43	6,51	15,08	1,51	5,13	1,90	2,42	0,36	1,39	0,19
R.Itiquis-Alajuela	35,49	8,74	38,00	3,20	20,34	20,00	4,62	0,62	4,11	0,40
Lafna	0,56	0,47	23,22	0,40	16,39	7,89	4,86	1,06	5,82	1,66

Tabla 8. Actividad específica en  $Bq.kg^{-1}$  de la cadena de Potasio -40

Potasio - 40	Datos de variación temporal									
	Set-91	May-92		Nov-92		Nov-93		May-94		
Zona Atlántica	+/-		+/-		+/-		+/-		+/-	
R.Frío-Guatuzo	34,4	32,2	59,9	67.	126.	13,4	15,5	0,54	11,9	7,76
R.Sarapiquí-Pto Viejo	103	107	156	13,8	70	81,6	24,4	0,08	27,8	5,37
R.Reventazón-Pascua	300	25	199	122	176	53,5	26,6	27,6	35,2	3,78
R.Blanco-Limón	126	31,4	217	149	291	9,69	46,7	0,45	45,4	0,79
R.Telire-Bratzi	176	10,3	154	1,56	254	174	55,5	3,69	49,7	6,83
Zona Pacífica										
R.Tempisque-G.Liberia	104	2,05	200	7,28	120	35,9	28,8	4,24	24,2	5,22
R.Abangares-Limonal V.	152	38,7	34,4	40	141	182	18,2	0,58	16,8	2,63
R.Savegre Pres Cedral	242	31,9	61,5	7,82	174	49,7	24,3	3,44	24,1	2,1
R.General-Brujo	107	4,38	29,5	30,9	79	62,9	52,8	16,5	44,1	9,52
Zona Central										
Gde.Tárcoles-Alajuela	116	130	141	4,38	131	27,5	22,1	0,43	10,2	4,65
R.Itiquis-Alajuela	72,8	85,4	144	62,6	131	86,8	6,78	0,93	13,4	3,46
Lafna	3,68	3,08	152	3,32	225	56,6	32,2	5,72	46,2	1,03

### 3.2. Radionucleido artificial, $^{137}Cs$

La Tabla 9 presenta los resultados obtenidos de la radiactividad específica para el  $^{137}Cs$  en las tres regiones seleccionadas del territorio nacional, para el período de los años de recolección. Los valores encontrados varían desde 0.3 hasta  $15 Bq.kg^{-1}$ .

Tabla 9. Actividad específica en Bq.kg<sup>-1</sup> de la cadena del Cesio -137

Cesio - 137	Datos de variación temporal									
	Set-91	May-92		Nov-92		Nov-93		May-94		
Zona Atlántica	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	
R.Frío-Guatuzo	9,06	2,19	10,4	5,21	9,63	4,7	0,52	0,09	0,65	0,45
R.Sarapiquí-Pto Viejo	12	0,6	9,43	0,78	5,06	1,38	0,98	0,36	1,4	0,66
R.Reventazón-Pascua	11,1	9,48	10,2	5,28	1,01	0,71	0,43	0,21	0,27	0,01
R.Blanco-Limón	3,67	4,19	9	3,72	7,78	10,3	1,68	0,51	0,87	0,06
R.Telire-Bratzi	0,80	0,08	0,49	0,2	0,84	0,22	0,33	0,03	0,33	0,04
Zona Pacífica										
R.Tempisque-G.Liberia	5,11	0,07	1,31	0,35	0,86	0,22	0,44	0,05	0,39	0,02
R.Abangares-Limonal V.	2,58	0,48	0,48	0,43	0,74	0	0,32	0,02	0,3	0
R.Savegre Pres Cedral	1,53	1,57	1,57	0,05	1,22	0,62	0,42	0,21	0,34	0,02
R.General-Brujo	0,42	0,05	0,05	0,15	0,84	0,01	0,28	0,01	0,3	0,08
Zona Central										
Gde.Tárcoles-Alajuela	1,92	1,58	1,02	0,06	0,97	0,09	0,52	0,24	0,43	0,02
R.Itiquis-Alajuela	1,46	0,53	1,15	0,27	1,42	0,87	0,35	0	0,41	0,01
Lafna	2,41	1,79	0,75	0,08	0,88	0,03	0,34	0	0,45	0,05

No se localiza a lo largo de este período ningún lugar en particular que presente altos valores para el <sup>137</sup>Cs, se puede afirmar que no existe un foco radiactivo para este radionucleido en el territorio de Costa Rica. Tampoco se observa algún período de recolección que presente valores más altos de todos los estudiados, lo que permite determinar que el <sup>137</sup>Cs se depositó en el territorio de Costa Rica en los años previos al estudio.

La selección de tres regiones territoriales para la medición y evaluación de la radiactividad gamma natural y artificial ha permitido valorar los resultados obtenidos del muestreo a lo largo de 12 puntos distribuidos uniformemente en el territorio nacional. Se desconocían los valores

en  $Bq.kg^{-1}$  para los principales radionucleidos de las series naturales del  $^{238}U$  y el  $^{232}Th$  y si representaban valores altos de radiactividad natural, como un potencial de peligro inherente.

Mundialmente se reportan valores de  $^{40}K$  que oscilan entre los 110 y 740  $Bq.kg^{-1}$  (6). En Costa Rica se han encontrado valores entre 3.7 y 377  $Bq.kg^{-1}$ .

Comparando a nivel internacional los valores de radiactividad para el  $^{214}Bi$  y  $^{208}Tl$ , se encuentra que mientras Canada reporta valores en 10 y 29  $Bq.kg^{-1}$  y 4 y 13  $Bq.kg^{-1}$  respectivamente, en Costa Rica se encuentran valores promedio para los mismos radionucleidos de 12 y 4  $Bq.kg^{-1}$  respectivamente.

Una valoración de los datos obtenidos de radiación natural, para las tres regiones seleccionadas permite establecer algunas diferencias. La zona central del país tiene los promedios más altos (Tabla 10) para los radionucleidos de las cadenas radiactivas naturales. Se cree que esto se debe a un aumento de suelo volcánico en la zona aumentando la cantidad de minerales.

**Tabla 10.** Valores promedios nacionales de las actividades específicas en  $Bq.kg^{-1}$  para todos los radionucleidos estudiados

	U - 238			Th - 232		K -40	Cs - 137	
	Bi-214	Ra-226	Pb-214	Tl-208	Bi-212			Ac-228
Promedio nacional	11,6	34,42	10,73	4,08	9,65	7,62	95,14	2,38
Promedio Atlántico	11,75	35,98	10,69	2,95	9,34	6,93	111,25	4,32
Promedio central	14,95	45,88	15,64	8,93	13,23	12,99	83,23	4,95
Promedio Pacífico	9,07	23,88	7,1	1,84	7,36	4,46	83,93	1,03

De la radiación artificial, la zona atlántica presenta los valores más altos de  $^{40}\text{K}$ . Una de las posibles causas se debe al aumento agrícola en la zona y al uso cada vez mayor de fertilizantes ricos en potasio.

Con los niveles del radionucleido artificial  $^{137}\text{Cs}$  que se encuentran en el país se puede concluir que no existe ningún foco radiactivo y no se dió una mayor deposición de este elemento en un tiempo específico. Los valores nacionales varían desde  $0.3 \text{ Bq.kg}^{-1}$  hasta  $15 \text{ Bq.kg}^{-1}$  con un promedio nacional de  $2.38 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Comparativamente se observa que Gran Bretaña reporta valores para el año 1988 que oscilan entre 9 y  $175 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , Francia reporta valores que oscilan entre 8.2 y  $43 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (10) para el mismo año y Dinamarca reporta en setiembre de 1986 valores entre 9.5 y  $69 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (11).

Desde el punto de vista de protección radiológica la presencia del  $^{137}\text{Cs}$  en Costa Rica da origen a una dosis efectiva en la población. La National Radiological Protection Board (NRPB) (10) (12) propone la comparación del valor encontrado con el límite derivado generalizado (LDG) que corresponde a  $900 \text{ Bq.kg}^{-1}$  para el  $^{137}\text{Cs}$  en muestras de suelo; el cual conlleva a una dosis efectiva equivalente anual de 1 mSv. El valor más alto encontrado en este estudio corresponde al 1.7% del LDG. Acciones a nivel de radioprotección deben tomarse si se sobrepasa un 30% del LDG. Comparativamente Costa Rica, posee valores muy bajos de contaminación radiactiva debido al  $^{137}\text{Cs}$ , que no representa peligro alguno para la población.

En caso un accidente radiactivo cercano a Costa Rica y que pueda provocar una contaminación atmosférica, se esta en condiciones de evaluar el aumento en la actividad del  $^{137}\text{Cs}$ , pues se conoce su valor a lo largo del país en un período largo de tiempo.

#### 4. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación todo el apoyo brindado al proyecto de investigación 112-91-260 para la realización de este trabajo, así como al Organismo Internacional de Energía Atómica por su cooperación a través del proyecto COS/002/004.

## 5. Referencias

- [1] International Advisory Committee IAEA, 1991, *The Intern. Chernobyl Project*, Technical Report, IAEA, Austria.
- [2] Gopal-Ayengar, A.R., Sundaram, K. and Misty, K.B., September, 1972, *Evaluation of the longterm effects of high background radiation on selected population groups of the Kerela Coast*, Peaceful uses of Atomic Energy, Proceedings of the Fourth International Conference Vol. 11.p.31-51, Geneva, IAEA, Vienna.
- [3] Penna - Franca, E., Costa - Ribeiro C and Cullen, P., 1972, *Natural radioactivity in Brazil: A comprehensive review with a model for dose effect studies*, p.929 - 940 the Natural Radiation Environment II. CONF - 720805 -P2.
- [4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, *United Nations*, New York, 1982.
- [5] Garland J. A., Johnson C.E. and Howorth J. M., 1989, *Transfer of radionuclides through the environment*, 4th Intern. Symposium, Malvern, UK,.
- [6] Kiss J.J., de Jong E. and Martz L. W., 1988, *Distribution of fallout <sup>137</sup>Cs in Southern Saskatchewan Canada* Journal of Environmental Quality, Vol. 17, No.3.
- [7] de Jong E., Villar H. and Bettany J.R., 1982, *Preliminary investigations on the use of <sup>137</sup>Cs to estimate erosion in Saskatchewan*, *Can. J. Soil Sci.*, 62: 673 - 683.
- [8] Loría G. and Mora P., 1994, *Specific activity and derived intervention levels for cesium-137 in Costa Rican export goods: tuna fish, coffee and powdered milk*, *Radiation Measurements*, Vol 23, No. 4.
- [9] Mora P. and Loría G., 1995 *Derived intervention levels for the Costa Rican diet*, *Radiation Measurements*, Vol 24, No. 2.
- [10] Cawse P.A., 1988 *Comparison of radionuclide deposition to soil and vegetation*, IV Symposium International de Radioecologie de Cadarache, Commissariat a L'Énergie Atomique.
- [11] Arkrog A, Botter-Jensen L., Jiang C., Dahlgard H., Hansen H., Holm E., Lauridsen b., Nielsen S.P. and Sogaard-Hansen J., 1988, *Environmental Radioactivity in Denmark in 1986*, Riso National Laboratory Riso-R-549.
- [12] Haywook S. M., 1997, *Revised generalized derived limits for radioisotopes of strontium, iodine, caesium, plutonium, americium and curium*, National Radiological Protection Board, Chilton, Oxon, Report GS8.