

CUANTIFICACION DE LA CONCENTRACION DE ELEMENTOS NATURALES Y CONTAMINANTES RADIATIVOS EMISORES GAMMA EN SUELOS DE LA PENINSULA DE NICOYA, GUANACASTE, UTILIZANDO LA TECNICA DE CONTEO DE BAJO NIVEL.

Luis Guillermo Loría M.*
Ricardo Jiménez D.*
Mauricio Gallardo Z.*

Utilizando la técnica de conteo de bajo nivel para radiación gamma, en muestras de tierra extraídas de estaciones de la península de Nicoya, Guanacaste y lugares vecinos se cuantifica la concentración en Bk/kg de: Ac^{228} , Ra^{226} , Pb^{214} , Bz^{214} , Bz^{212} , Pb^{212} y Tl^{208} , miembros de las cadenas de desintegración del U^{238} y Th^{232} , los cuales constituyen una de las principales fuentes de radiación natural.

El K^{40} como isótopo natural y el Cs^{137} como contaminante se incluyen en los resultados.

Utilizing the technique of low level counting for gamma radiation, one can evaluate the specific activity of the daughters of Uranium, Thorium, and Potassium-40 natural isotopes in the Península de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

Using the same technique one can measure the contamination of Cesium-137 at the same geographical region. This contamination probably originates from Atoloniun Bikini transferred from the South Pacific and resulting from atomic explosions in the atmosphere.

menor certidumbre respecto a los efectos de la exposición a las radiaciones de bajo nivel. Se sabe que, en alguna medida, éstas originan daños a los tejidos vivientes, sin embargo, el cuerpo tiene mecanismos —hasta cierto límite— para repararlos. Esta materia es motivo de amplio debate hoy día entre los científicos¹.

Uranio, Torio, sus descendientes y el Potasio-40 aportan una dosis anual de 2 mSv a los seres vivientes. Estas radiaciones conjuntamente con contaminantes radiactivos forman parte del ambiente natural y constituyen las denominadas radiaciones de bajo nivel^{1,4}.

U^{238} , U^{235} y Th^{232} , constituyen las cabezas de las principales series radiactivas, cuyas cadenas de desintegración se presentan en las Figuras 1 y 2. En estado de equilibrio la razón de emisión de cada miembro de la serie es esencialmente igual a la razón de la emisión del nucleido padre². Este y los radionucleidos de larga vida de sus series existen en el suelo y rocas en concentraciones de partes por millón, mientras que los de vida corta están en concentraciones extremadamente pequeñas³.

El desequilibrio entre ambos miembros de una misma serie puede ocurrir a causa de la erosión en el suelo, por lo que

INTRODUCCION

Los efectos de las grandes dosis de radiación son conocidos y están descritos en una amplia documentación, pero existe

* Escuela de Física. Laboratorio de Física Nuclear. Universidad de Costa Rica.

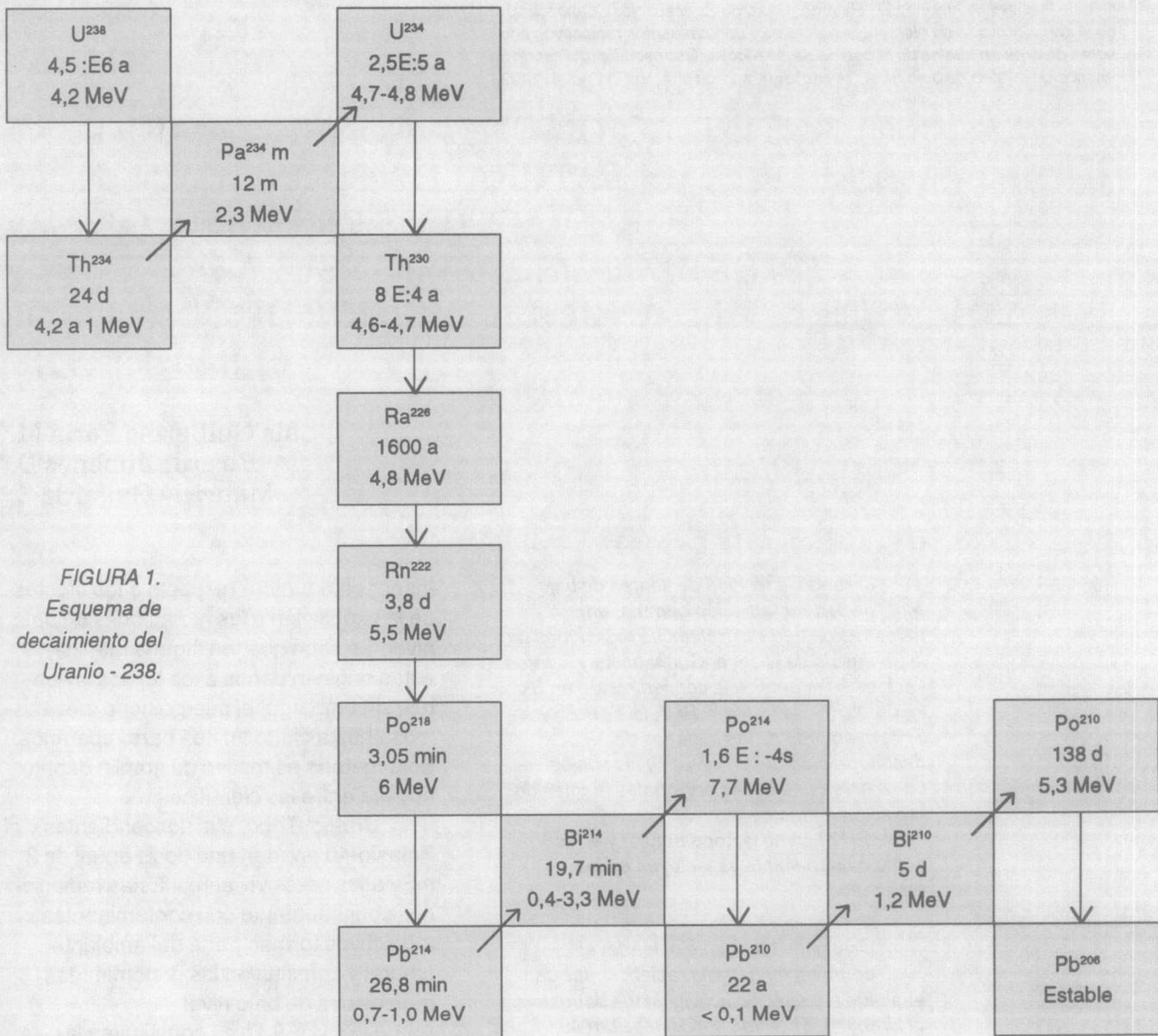


FIGURA 1.
Esquema de decaimiento del Uranio - 238.

la cadena se interrumpe completa o parcialmente.

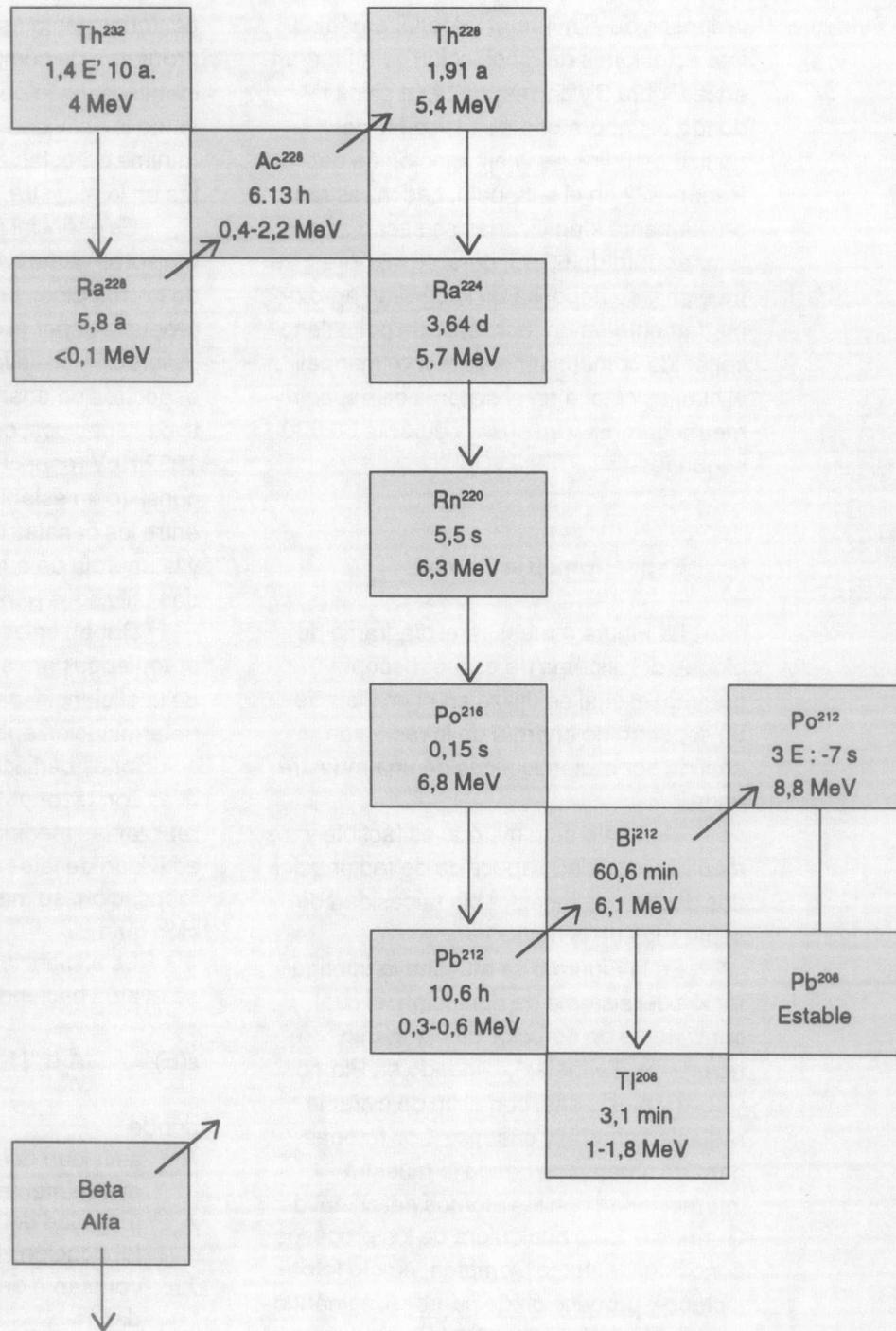
El Laboratorio de Física Nuclear Aplicada de la Universidad de Costa Rica, cuenta con un sistema computarizado de conteo de radiación gamma de bajo nivel (CBN), para la determinación de isótopos naturales y contaminantes radiactivos.

Esta técnica (CBN) permite evaluar la actividad específica o la concentración de los isótopos en muestras de suelos, pastos, granos, frutas, etc, sin separar los isótopos de la matriz original⁵.

En este trabajo se evalúa la actividad específica de radiación gamma en isótopos naturales descendientes del Uranio, Torio y Potasio-40, así como la contaminación del Cesio-137, en tierras de la península de Nicoya, Guanacaste y en algunas estaciones vecinas.

El Cesio-137 se cuantifica como contaminante generado por explosiones nucleares a cielo abierto o de accidentes en reactores termonucleares, transportado por el viento y precipitado por las lluvias⁶.

FIGURA 2.
Esquema de
decaimiento del
Torio -232.



El radionucleido Potasio-40 permite cuantificar el Potasio natural, el cual se utiliza como agroquímico en plantaciones de banano, café y piña, productos de exportación que pueden verse afectados por la emisión de este isótopo radiactivo.

MATERIALES Y METODOS

I. Recolección y preparación de muestras

Las muestras de suelos se tomaron a una profundidad superior a 30 cm con el

Los efectos de las grandes dosis de radiación son bien conocidos, pero existe menor certidumbre respecto a los efectos de la exposición a las radiaciones de bajo nivel.

propósito de eliminar el material orgánico. Las estaciones de recolección se muestran en la Figura 3 y corresponden a sitios donde el Laboratorio de Física Nuclear realiza estudios de la emanación de gas Radón-222 en el subsuelo. Las muestras previamente identificadas se secan a una temperatura de 60° C, durante 48 horas, se muelen y se deposita un kilogramo aproximadamente en un recipiente de polietileno conocido comercialmente como "marinelli", el cual se coloca en el sistema de espectrometría gamma y se cuenta durante 60 000 segundos.

II. Espectrometría Gamma

La Figura 4 muestra el diagrama de bloque del sistema de espectroscopía gamma, el cual se utiliza en el análisis de un espectro de energía de la radiación emitida por radionucleidos de una muestra dada.

Mediante este método es factible medir la actividad específica de radionucleidos desde una muestra sin necesidad de separarlos de la matriz.

En la Figura 5 se muestra la configuración del sistema de detección, el cual consiste de un detector de Germanio hiperpuro (Tennelec), blindado en Plomo, Cobre y plexiglass, con el fin de evitar la radiación natural y cósmica. Los fotones gamma emanados desde la muestra interactúan con los átomos del cristal de Germanio, bajo cualquiera de los procesos conocidos, —efecto Compton, efecto fotoeléctrico y producción de pares—, originándose un pulso eléctrico de voltaje proporcional a la energía entregada por el fotón incidente, el cual se conforma en un amplificador lineal, a un tamaño y forma compatible con el analizador multicanal (Canberra S-100), el cual los clasifica de acuerdo con su voltaje o energía en los canales correspondientes, obteniéndose el espectro de emisión de energía de la muestra; éste

posteriormente es analizado mediante un programa de cómputo que clasifica e identifica los fotopicos por energía, calculando la actividad específica y la cantidad mínima detectable, de los isótopos presentes en la muestra.

Es esencial para la medición de los emisores gamma una exacta identificación de los fotopicos presentes en el espectro producidos por el detector. El proceso de calibración se lleva a cabo utilizando los espectros de energías de emisores radiactivos conocidos, con energías entre 122 y 1332 KeV respectivamente. La calibración consiste en establecer una relación lineal entre los canales del analizador multicanal y la energía de emisión de los radionucleidos utilizados para este efecto.

Deben seleccionarse radionucleidos apropiados para ser usados en la medida de la eficiencia, dado que se realiza una determinación absoluta. Deben utilizarse soluciones certificadas de mezclas radiactivas con razonable larga vida media para realizar las medidas. Debe conocerse la actividad de tales patrones a la fecha de fabricación, su masa, pureza y composición química.

La eficiencia para una energía dada se evalúa haciendo uso de la ecuación⁷

$$\epsilon(E) = A [fA_0 e^{-\lambda t}]^{-1} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde

- A : actividad del estándar medida experimentalmente.
- A₀ : actividad del estándar al día de la fabricación.
- λ : constante de decaimiento del estándar.
- t : tiempo transcurrido de la fecha de fabricación al día de la medida de la actividad del estándar.
- f : probabilidad absoluta de transición del decaimiento gamma para esta energía.

Los valores de eficiencia medidos para cada uno de los patrones se grafican

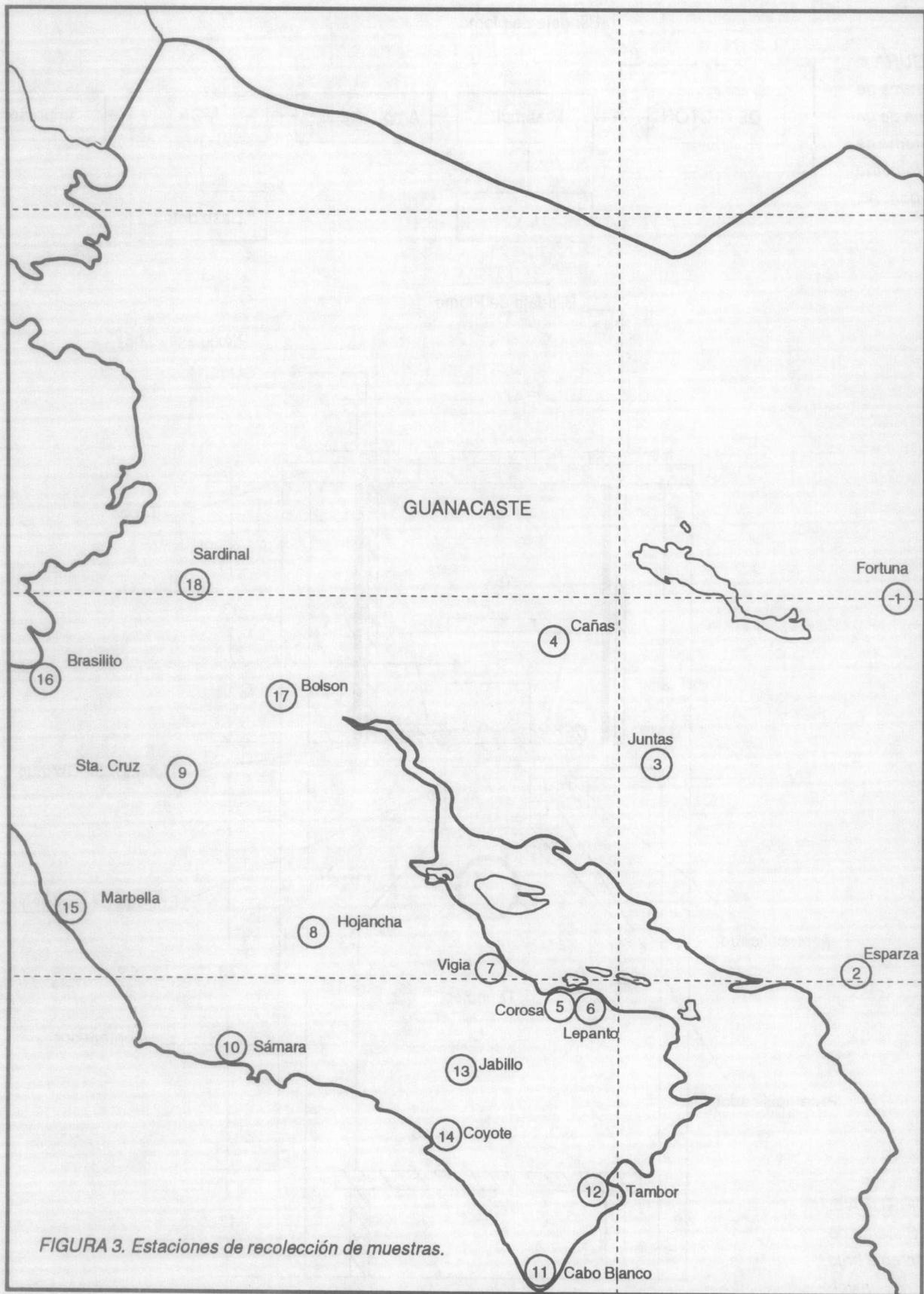


FIGURA 3. Estaciones de recolección de muestras.

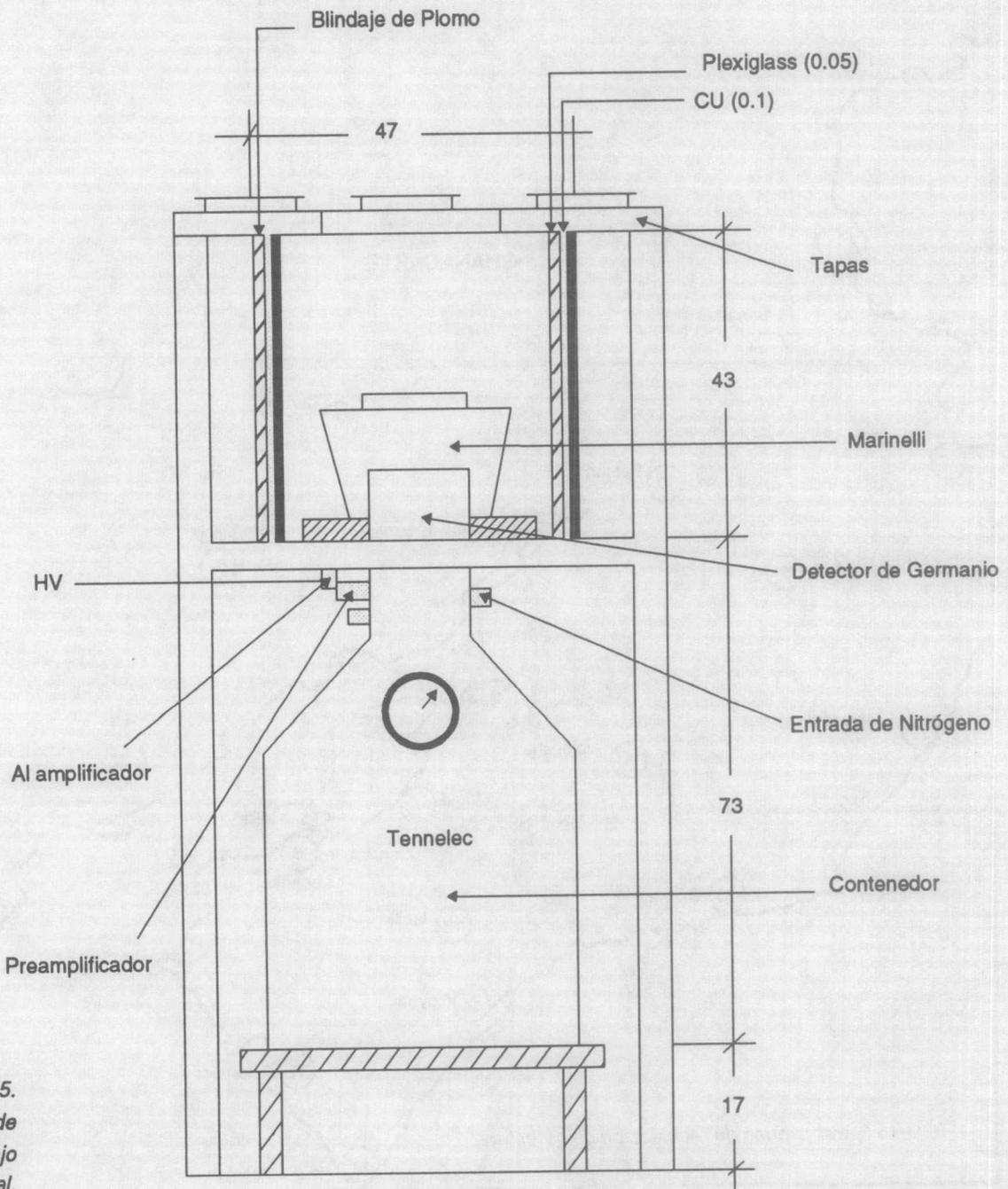
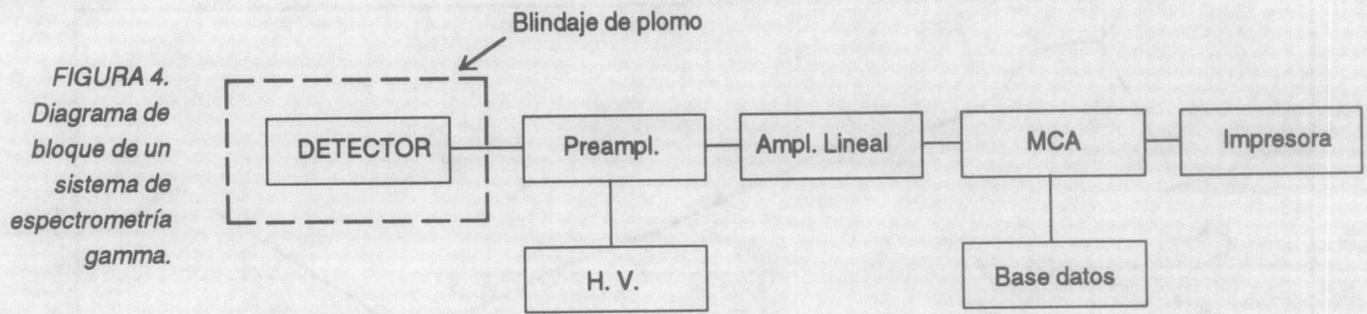


FIGURA 5.
 Sistema de conteo a bajo nivel.

La técnica de conteo de bajo nivel permite evaluar la actividad específica o la concentración de los isótopos en muestras de suelos, pastos, granos, frutas etc., sin separar los isótopos de la matriz original.

en función de la energía. La ecuación 2 da una expresión aceptada para la eficiencia:

$$\ln \epsilon = k_1 + k_2 \ln E \quad \text{Ecuación 2}$$

donde

Ln : logaritmo natural
 ϵ : eficiencia a una energía
 k_1 y k_2 : constantes
 E : energía en KeV correspondiente a una línea gama.

Al utilizar el método de espectrometría gamma, cada medición realizada en un radionucleido lleva asociado un límite de detección (LLD), el cual corresponde a la cantidad mínima de actividad que puede ser detectada. Una expresión generalmente aceptada para estimar el límite, a un 95% de confiabilidad para detectar la presencia de la actividad, está dada por la ecuación⁵

$$\text{LLD} = 4,66 S_b [\epsilon f]^{-1} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde

S_b : error estándar en el conteo neto de la actividad.
 ϵ : eficiencia de conteo para una energía dada de un radionucleido.
 f : probabilidad absoluta de transición del decaimiento gamma para la energía del radionucleido.

El límite de detección es un medio para determinar la capacidad de operación del sistema de medición gamma sin la influencia de una muestra y es aplicable sobre la presunción de que la razón de conteo en el área de energía establecida para el nucleido específico y la razón de conteo en la región o regiones tomadas para la medida del "background" son esencialmente iguales.

Cuando es medida una muestra, el término usualmente asociado con el límite de detección es la concentración mínima detectable (CMD), la cual se expresa por la ecuación⁶

$$\text{CMD} = \text{LLD}/W \quad \text{Ecuación 4}$$

donde W es la masa de la muestra en kilogramos.

RESULTADOS

1. En la Figura 6 se presenta la curva de calibración del sistema de espectrometría que se utilizó. La ecuación que relaciona la energía de emisión en función del canal está dada por

$$E [\text{Ch}] = 0,520934 \text{ Ch} + 4,18878 \quad \text{Ecuación 5}$$

2. En la Figura 7, se presenta la curva de eficiencia en función de la energía para el sistema de detección de radiación gamma, con radionucleidos certificados, disueltos en agua destilada en un recipiente tipo "marinelli", para mantener la geometría de conteo.

La relación matemática obtenida para la eficiencia bajo esta geometría está dada por

$$\epsilon [E] = 0,7710 E^{-0,6893} \quad \text{Ecuación 6}$$

3. La radiación de fondo que corresponde a fotones gamma no provenientes de la muestra o a ruido electrónico, se cuantifica para el sistema de espectrometría colocando en el recipiente marinelli agua bidestilada. La radiación gamma se recolecta durante un período de 60 000 segundos, que corresponde al tiempo durante el cual se mide la emisión de las muestras. En las Figuras 8 y 9 se muestran los espectros de emisión correspondientes a la radiación de fondo y a la muestra de tierra de la estación de Tambor.

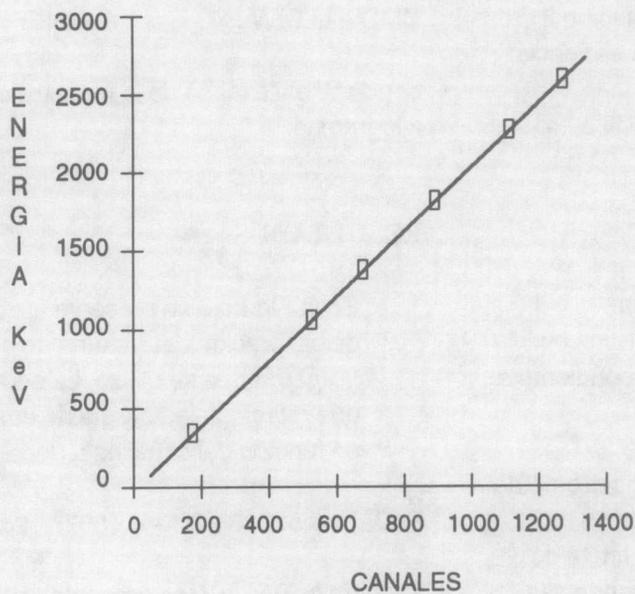


FIGURA 6. Energía en función de canal.

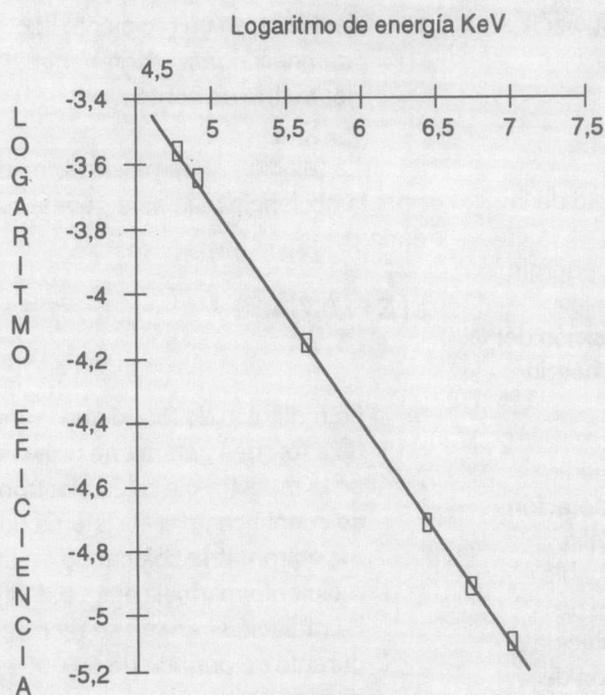


FIGURA 7. Eficiencia en función de la energía.

4. Los espectros de emisión gamma son procesados mediante un programa de cómputo [Conti], utilizando una microcomputadora [Trucknet-386], el

cual identifica los fotopicos de acuerdo con la curva de calibración y la biblioteca de isótopos suministrada. El mismo programa realiza las correcciones por radiación de fondo, como también la cantidad mínima detectable.

5. En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos para los isótopos detectados, descendientes del Torio y Uranio por estación, mientras que en el Cuadro 3 se agrupan las concentraciones de Cesio y Potasio detectadas en dichas estaciones.
6. Existe equilibrio entre los miembros de las series de Torio y Uranio en las estaciones de Esparza, Juntas, Lepanto, Sámara, Cabo Blanco, Jabillo y Marbella, en las restantes se ha roto el equilibrio debido presumiblemente a la erosión de los suelos.
7. De los resultados del Cuadro 3 se desprende que la contaminación por Cesio-137 se encuentra principalmente en las estaciones del litoral pacífico, debido probablemente a las explosiones nucleares⁹, llevadas a cabo en los Atolones Biquini. Los límites permisibles para este elemento en leche y vegetales tienen valores de 450 y 650 Bq/kg respectivamente¹⁰.
8. En general, la actividad específica del Potasio-40 es relativamente baja en estas tierras, indicando que la concentración del Potasio natural es pobre, lo que ha provocado la fertilización masiva con este elemento, en los cultivos de arroz, sorgo, maíz, caña de azúcar. Esto ha producido contaminación en las aguas de riego.
9. Los elementos radiactivos naturales evaluados contribuyen a la radiación de fondo de la Península de Nicoya, sin que éstos constituyan peligro para la salud humana, pues no exceden los límites permisibles, establecidos por los organismos internacionales.

CUADRO 1. Descendientes del Torio-232

| Actividad específica en Bq/kg | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Estación | AC-228 911 KeV | Bi-212 727 KeV | Pb-212 238,6 KeV | Tl-208 583 KeV |
| Fortuna | 3,37 +/- 0,99 [1,50] | 10,32 +/- 3,38 [5,17] | 4,33 +/- 0,59 [0,80] | 3,45 +/- 0,82 [1,23] |
| Esparza | 42,15 +/- 2,56 [2,31] | 37,44 +/- 5,43 [7,45] | nr | 42,78 +/- 2,29 [1,78] |
| Juntas | 8,41 +/- 1,38 [1,93] | 7,73 +/- 3,85 [6,05] | 11,13 +/- 0,74 [0,74] | 5,91 +/- 1,05 [1,49] |
| Cañas | 6,54 +/- 1,09 [1,53] | 8,46 +/- 3,52 [5,48] | 7,32 +/- 0,70 [0,87] | 1,99 +/- 0,33 [0,47] |
| Corosal | 2,50 +/- 1,07 [1,66] | <5,31 [5,31] | 3,97 +/- 0,47 [0,62] | 2,43 +/- 0,82 [1,26] |
| Lepanto | 4,33 +/- 1,17 [1,76] | 6,83 +/- 0,84 [6,08] | 6,05 +/- 0,70 [0,92] | 4,88 +/- 0,97 [1,41] |
| Vigía | 3,00 +/- 1,08 [1,66] | <5,35 [5,35] | 2,85 +/- 0,54 [0,78] | 1,67 +/- 0,80 [1,25] |
| Santa Cruz | <1,82 [1,82] | nd | nd | <1,38 [1,38] |
| Sámara | 7,16 +/- 1,16 [1,61] | 5,95 +/- 3,32 [5,24] | 8,11 +/- 0,68 [0,79] | 6,34 +/- 0,92 [1,26] |
| Cabo Blanco | 10,10 +/- 1,36 [1,83] | 10,67 +/- 3,16 [4,76] | 7,20 +/- 0,80 [1,04] | 7,85 +/- 0,87 [1,10] |
| Tambor | 1,77 +/- 0,86 [1,35] | <4,63 [4,63] | 2,23 +/- 0,48 [0,72] | 1,55 +/- 0,71 [1,11] |
| Jabillo | 8,74 +/- 1,31 [1,79] | <6,46 [6,46] | 6,04 +/- 0,74 [0,99] | 6,53 +/- 0,83 [1,10] |
| Coyote | <1,46 [1,46] | <5,14 [5,14] | 3,32 +/- 0,58 [0,83] | 1,46 +/- 0,79 [1,25] |
| Marbella | 45,30 +/- 3,04 [2,98] | 48,68 +/- 7,44 [10,32] | 70,22 +/- 3,14 [1,69] | 47,29 +/- 2,79 [2,46] |
| Brasilito | <1,7 [1,71] | <5,83 [5,83] | nd | <1,42 [1,42] |
| Bolsón | <1,68 [1,68] | <5,75 [5,75] | 0,91 +/- 0,55 [0,88] | <1,36 [1,36] |
| Palmira | | | | |

[]: cantidad detectable
nr: no reportada
nd: no detectada

CUADRO 2. Descendientes del Uranio-238.

| Actividad específica en Bq/kg | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Estación | Pb-214 351,9 KeV | Bi-214 609,3 KeV | Ra-226 186,2 KeV |
| Fortuna | 4,67 +/- 0,72 [1,01] | 3,01 +/- 0,60 [0,87] | <9,61 [9,61] |
| Esparza | 42,15 +/- 2,10 [1,48] | 33,93 +/- 1,73 [1,24] | nr |
| Juntas | 7,80 +/- 0,91 [1,19] | 4,75 +/- 0,75 [1,05] | 35,23 +/- 6,12 [8,73] |
| Cañas | 6,29 +/- 0,81 [1,10] | 5,75 +/- 0,70 [0,93] | 12,92 +/- 6,50 [10,3] |
| Corosal | 3,18 +/- 0,68 [1,01] | 1,65 +/- 0,57 [0,87] | 18,92 +/- 4,79 [7,19] |
| Lepanto | 5,73 +/- 0,84 [1,17] | 5,41 +/- 0,74 [1,01] | <10,97 [10,97] |
| Vigía | 1,75 +/- 0,65 [1,01] | <0,88 [0,88] | 15,95 +/- 6,32 [9,80] |
| Santa Cruz | 1,14 +/- 0,69 [1,10] | <0,95 [0,95] | nd |
| Sámara | 6,52 +/- 0,78 [1,02] | 3,91 +/- 0,64 [0,89] | 22,98 +/- 6,61 [10,00] |
| Cabo Blanco | 11,29 +/- 0,86 [0,93] | 12,80 +/- 0,82 [0,75] | <11,97 [11,97] |
| Tambor | 1,21 +/- 0,57 [0,90] | 1,40 +/- 0,50 [0,76] | <8,32 [8,32] |
| Jabillos | 5,80 +/- 0,67 [0,87] | 7,18 +/- 0,64 [0,74] | <11,56 [11,56] |
| Coyote | 3,26 +/- 0,70 [1,03] | <0,87 [0,87] | <9,67 [9,67] |
| Marbella | 44,98 +/- 2,46 [2,03] | 37,51 +/- 2,09 [1,72] | 106,2 +/- 14,25 [19,5] |
| Brasilito | 1,55 +/- 0,73 [1,14] | <0,99 [0,99] | nr |
| Bolsón | <1,10 [1,10] | <0,95 [0,95] | <10,21 [10,21] |
| Palmira | | | |

[]: cantidad mínima detectable
nr: no reportada
nd: no detectada

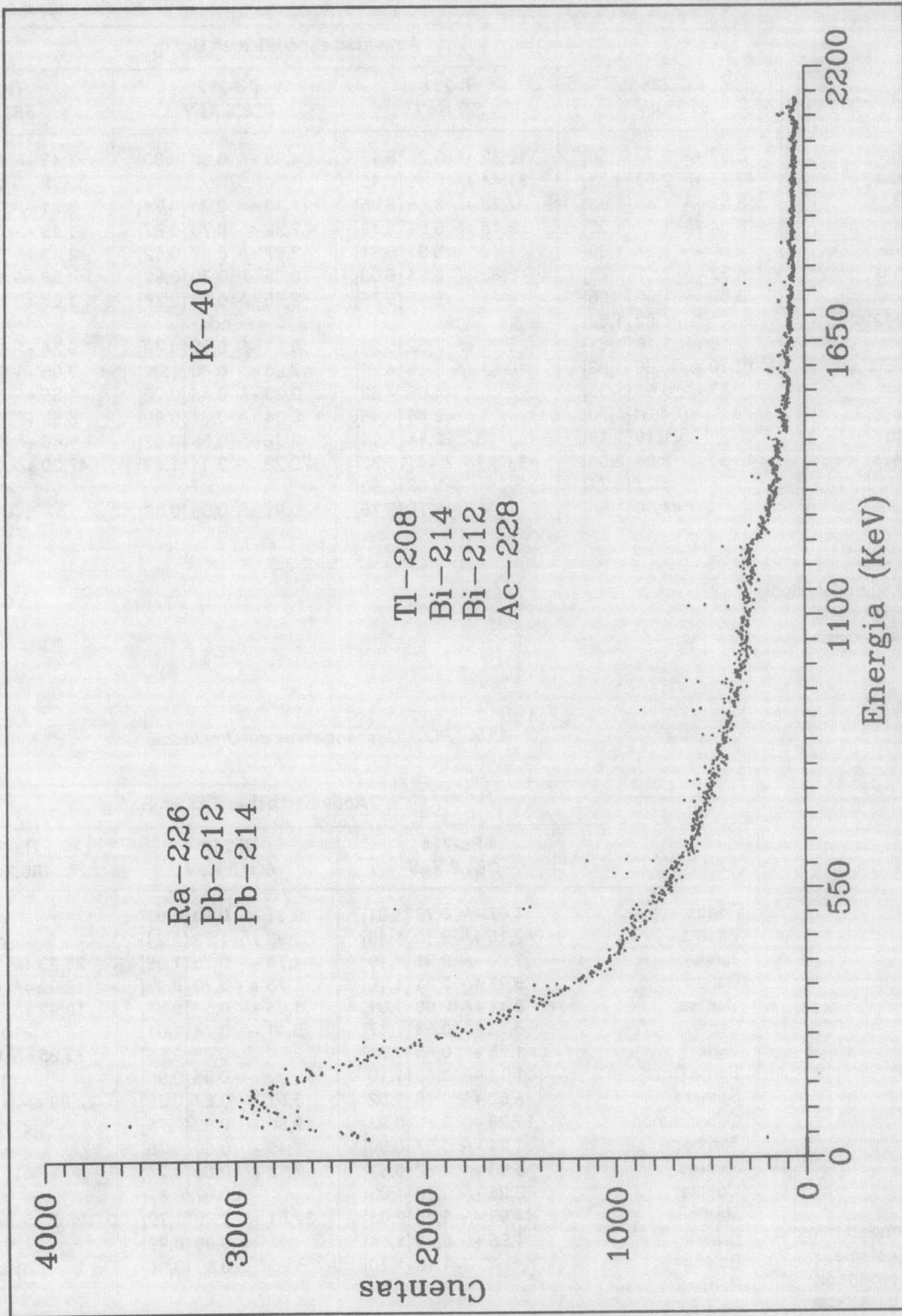


FIGURA 8. Espectro de radiación de fondo

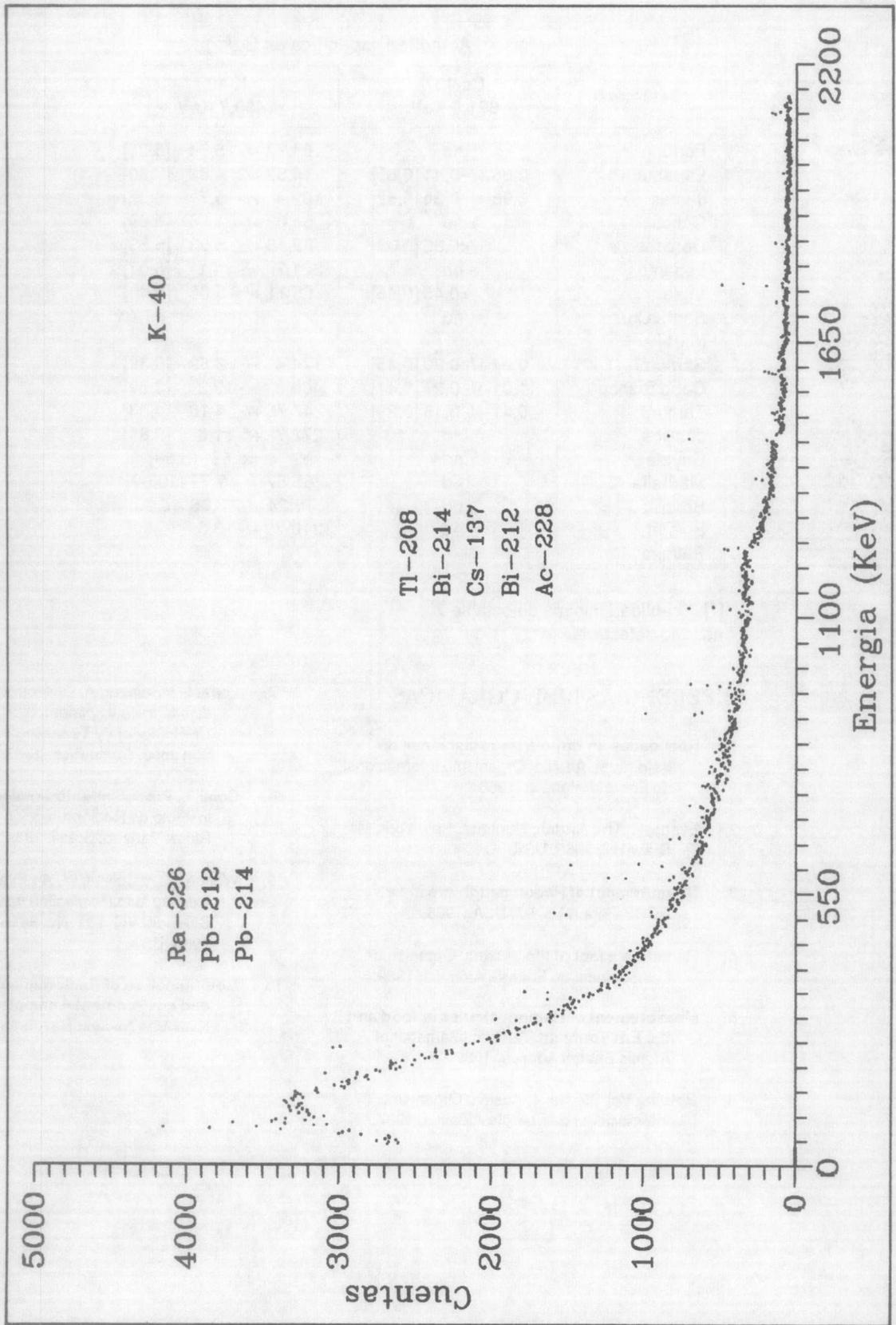


FIGURA 9. Espectro de emisión de tierra de tambor.

CUADRO 3. Concentraciones detectadas de Cesio-137 y Potasio-40.

| Estación | Actividad específica en Bq/kg | |
|-------------|-------------------------------|------------------------|
| | Cs-137 661,6 KeV | K-40 1460,7 KeV |
| Fortuna | nd | 84,73 +/- 5,54 [5,28] |
| Esparza | 0,66 +/- 0,41 [0,65] | 14,53 +/- 4,83 [7,40] |
| Juntas | 0,96 +/- 0,34 [0,52] | 102,4 +/- 6,71 [6,36] |
| Cañas | nd | 54,03 +/- 4,86 [5,69] |
| Corosal | <0,35 [0,35] | 82,48 +/- 5,63 [5,53] |
| Lepanto | nd | 321,7 +/- 14,1 [6,07] |
| Vigía | <0,45 [0,45] | 65,11 +/- 5,08 [5,49] |
| Santa Cruz | nd | <6,01 |
| [6,01] | | |
| Sámara | 0,94 +/- 0,29 [0,45] | 174,4 +/- 8,59 [5,39] |
| Cabo Blanco | 1,01 +/- 0,27 [0,41] | 469,2 +/- 19,2 [3,80] |
| Tambor | 0,41 +/- 0,18 [0,29] | 47,75 +/- 4,18 [4,83] |
| Jabillos | nd | 272,7 +/- 11,6 [2,86] |
| Coyote | nd | <5,68 [5,68] |
| Marbella | nd | 65,57 +/- 7,77 [10,09] |
| Brasilito | nd | 8,24 +/- 3,96 [6,20] |
| Bolsón | nd | 310,7 +/- 13,6 [5,80] |
| Palmira | | |

[]: cantidad mínima detectable
 nd: no detectada

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Realidades en torno a las radiaciones de bajo nivel.** Austria: Organismo Internacional de Energía Atómica, 1986.
2. Evans, R. **The Atomic Nucleus.** New York: Mc Graw-Hill, 1955. USA.
3. **Measurement of Radon daughters in air.** NCRP Report No. 97. USA. 1988.
4. **Radiation a fact of life.** Austria: Organismo Internacional de Energía Atómica, 1989.
5. **Measurement of Radionucleides in food and the Environment.** Austria: International Atomic Energy Agency, 1989.
6. **Boletín.** Vol. 29, No. 4. Austria: Organismo Internacional de Energía Atómica, 1987.
7. Loría, L. y Salazar, A. **Distribución espacial de flujo térmico y epitérmico de una fuente de Cf²⁵².** *Ciencia y Tecnología.* 11(1):65-75, San José, Costa Rica. 1987.
8. Conti, L. **Procedimientos radiométricos.** Instituto de Radioprotección y Dosimetría. Río de Janeiro, Brasil. 1989.
9. Welford, G. y Collins, W. **An Evaluation of existing fallout collection methods.** *Science.* Vol. 131, No. 3416, p. 1791-1793. 1960. USA.
10. **Determination of Radionucleides in food and environmental samples.** Alemania: Karlsruhe Nuclear Research Center, 1988.