

Artículo Original

Evaluación Preliminar de la concentración de actividad de Cesio-137 presente en agua de consumo embotellada comercializada en supermercados de Asunción y Área Metropolitana mediante espectrometría gamma

Preliminary Evaluation of the activity concentration of cesium-137 present in bottled drinking water sold in supermarkets in Asuncion and the metropolitan area by gamma spectrometry

Luz Bóveda¹, **Rafael Gómez**¹, **Julio Cabello**¹, * **Boris Michajluk**¹

¹Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Químicas, Dirección de Investigaciones, Departamento de Técnicas Nucleares. PO Box 1055. Avda. Mcal. Estigarribia Km 11. San Lorenzo, Paraguay

Editor responsable: Graciela María Patricia Velazquez de Saldivar. Universidad del Cono Sur de las Américas, UCSA.

RESUMEN

El cesio-137 es un radionucleido que se forma como subproducto de la fisión nuclear en reactores nucleares, una vez liberado al medio ambiente puede ser absorbido por los seres vivos produciendo efectos negativos para la salud humana. El propósito de la presente investigación fue el de evaluar de manera preliminar la concentración de la actividad de cesio-137 en agua de consumo embotellada en Asunción y área metropolitana. Se procedió a la toma de muestra a partir de veinte puntos de muestreo de Asunción y área metropolitana mediante un muestreo por conveniencia. La determinación de las actividades de concentración de cesio-137 fueron realizadas mediante espectrometría gamma utilizando un detector de Ioduro de Sodio activado con Talio dos pulgadas de diámetro acoplado a un multicanal *Accuspec*. Con los resultados obtenidos se observó que las concentraciones de actividad de cesio-137 presentaron valores inferiores a los límites de referencia establecidos en la Norma Brasileña para agua potable, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición y el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón. La técnica nuclear de espectrometría gamma permitió la detección de la concentración de actividad de cesio-137 en las muestras de agua de consumo embotelladas analizadas.

Palabras clave: agua; cesio-137; espectrometría gamma.

ABSTRACT

Cesium-137 is a radionuclide that is formed as a byproduct of nuclear fission in nuclear reactors. Once released into the environment, it can be absorbed by living organisms, producing negative effects on human health. The purpose of this research was to preliminarily evaluate the concentration of cesium-137 activity in bottled drinking water in Asuncion and the metropolitan area. Drinking water samples were collected at twenty sampling points in Asuncion

***Autor correspondiente:** Boris Javier Michajluk Barboza. Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Químicas, Dirección de Investigaciones, Departamento de Técnicas Nucleares. PO Box 1055. Avda. Mcal. Estigarribia Km 11. San Lorenzo, Paraguay
Email: jmichajluk@yahoo.es

Fecha de recepción: Abril 2023. Fecha de aceptación: Mayo 2023



and the metropolitan area using a convenience sampling method. The determination of cesium-137 concentration activities was carried out using gamma spectrometry and a two-inch diameter thallium-activated sodium iodide detector coupled to an Accuspec multichannel analyzer. The results obtained showed that the concentrations of cesium-137 activity were lower than the reference limits established in the Brazilian Standard for drinking water, the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition, and the Ministry of Health, Labour, and Welfare of Japan. The nuclear technique of gamma spectrometry allowed the detection of the concentration of cesium-137 activity in the analyzed bottled drinking water samples.

Keywords: water; cesium-137; gamma spectrometry.

INTRODUCCIÓN

Los radionucleidos en el agua de consumo pueden proceder de fuentes naturales o artificiales, muchos de estos elementos radiactivos se encuentran en el suelo, rocas y en el agua, siendo de gran importancia para la exposición humana, aquellos radionucleidos naturales que proceden de elementos de desintegración del torio y el uranio que pueden aparecer en el agua a partir de procesos naturales o debido a actividades humanas que involucren elementos radiactivos. Los radionucleidos artificiales como el cesio-137 y el cesio-134 podrían encontrarse en el agua de consumo a partir de descargas de instalaciones nucleares, descargas de radionucleidos utilizados en medicina, industrias, accidentes nucleares y en la dispersión global de lluvia radiactiva como producto del uso de armas nucleares (Mora JC et al, 2022). Estos elementos radiactivos son muy inestables y por ello experimentan un decaimiento radiactivo tendiendo a la forma más estable siendo de suma importancia en salud ambiental, porque según el Departamento de salud y servicios humanos de los EE. UU. (2004), las formas radiactivas conservan las propiedades físicas y químicas de la forma estable y pueden diseminarse a grandes distancias.

Los niveles de radionucleidos en el agua de consumo son generalmente muy bajos y no pueden medirse con métodos analíticos estándar debido a que se encuentran por debajo de los límites de detección, para su medición se requieren monitoreos radiométricos a fin de determinar su presencia y garantizar la salud de la población (Organización Mundial de la Salud; 1989).

Considerando que las principales formas de liberación al medio ambiente de este radionucleído artificial son por medio de accidentes nucleares, utilización de armas nucleares o liberación de desechos producidos por el ciclo del combustible requerido para el funcionamiento de centrales nucleares, es necesario realizar monitoreos radiométricos tanto en las cercanías de las centrales nucleares como en las áreas adyacentes de manera a garantizar la ausencia de niveles peligrosos de radiación, según la ARN (1998), las centrales nucleares deben presentar una contaminación mínima de 0,001 mSv/año.

Por otro lado, en nuestro país la norma paraguaya NP-2400180 (INTN, 2016) no presenta valores de referencia para la concentración de actividad del cesio-137 en agua de consumo, la Organización Mundial de la Salud (2011) estableció un nivel de referencia de 10 Bq/L como concentración máxima de cesio-137 en agua potable, equivalente a 0,1 mSv/año de exposición para la población, sin embargo, algunos países han establecido límites más estrictos en función a su situación geográfica y ante la posible presencia de fuentes de contaminación radiactiva, es así que tanto la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (Martínez, P., et al., 2017), la Norma Brasileira para agua potable (Ministerio de Salud de Brasil, 2017) y el Ministerio de Salud,

Trabajo y Bienestar de Japón (2011) reportaron valores límites máximos de concentración de actividad de cesio-137 de 1 Bq/L para agua potable.

El objetivo de la presente investigación fue el de evaluar de manera preliminar la concentración de actividad del cesio-137 en agua de consumo embotellada de distintas marcas comercializadas en supermercados de Asunción y área metropolitana mediante espectrometría gamma.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio, se utilizó un muestreo por conveniencia para recolectar muestras de agua embotellada de 500 ml. Se seleccionaron veinte puntos de muestreo en Asunción y el área metropolitana, considerando la proximidad geográfica y la conveniencia logística debido a limitaciones de tiempo. Las botellas de 500 ml fueron elegidas debido a que eran económicas y se encontraban ampliamente disponibles en los supermercados seleccionados, además que proporcionaban la cantidad de muestra necesaria para llevar a cabo los procedimientos de laboratorio requeridos. En cada punto de muestreo, se obtuvieron seis muestras de agua sin gas de marcas diferentes, respetando los límites de caducidad establecidos. Tres de estas muestras se utilizaron para análisis, mientras que las otras tres se destinaron como contra muestra para verificación de resultados. Estas marcas fueron elegidas en función a su disponibilidad en los supermercados y a su representatividad en el mercado local. Este enfoque de muestreo por conveniencia permitió recolectar muestras que representaban la variedad de marcas disponibles en los supermercados seleccionados, considerando tanto la disponibilidad económica como el volumen adecuado para los análisis necesarios.

Para la preparación de muestras se utilizó la metodología descrita por Fernández I. (2006) siendo el volumen de muestra empleado 200 ml y para la medición de actividad se utilizó un recipiente tipo Marinelli herméticamente cerrado. El análisis se realizó mediante espectrometría gamma basada en la emisión de radiación gamma por isótopos presentes en la muestra que permitieron la cuantificación de los niveles de actividad específica (Travesi, 1975). La medición se realizó utilizando un detector de centelleo sólido tipo pozo de yoduro de sodio activado con talio NaI (TI) de dos pulgadas de diámetro acoplado a un multicanal *Accuspec* con una eficiencia de 5,5%. El multicanal fue calibrado en energía y el sistema de detección calibrado en eficiencia, para así medir las actividades específicas de los isótopos presentes en las muestras (Mora y Salazar 1996, Loría et al. 1999, Loría et al. 1998, Mora y Loría 1997, Salazar y Loría 1997). Esta técnica se basa en la detección de fotones gamma generados por el cesio-137 y los resultados obtenidos se expresaron en Bq/L en base a la actividad.

RESULTADOS

Los valores de concentración de actividad del cesio-137 determinados en agua embotellada son expresados en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de actividad de cesio-137 en agua de consumo embotellada de distintas marcas comercializadas en supermercados de Asunción y Área Metropolitana.

Muestra	Actividad (Bq/L) \pm Desvío estándar	CMD*
M1	0,602 \pm 0,00876	0,639
M2	0,618 \pm 0,0209	0,639
M3	0,598 \pm 0,0143	0,639
M4	0,594 \pm 0,0184	0,639
M5	0,603 \pm 0,0192	0,639
M6	0,574 \pm 0,0229	0,639
M7	0,607 \pm 0,0506	0,639
M8	0,630 \pm 0,0198	0,639
M9	0,566 \pm 0,0380	0,639
M10	0,584 \pm 0,0357	0,639
M11	0,569 \pm 0,0278	0,639
M12	0,695 \pm 0,108**	0,639
M13	0,582 \pm 0,0250	0,639
M14	0,631 \pm 0,0100	0,639
M15	0,653 \pm 0,0931**	0,639
M16	0,668 \pm 0,0378**	0,639
M17	0,571 \pm 0,0594	0,639
M18	0,586 \pm 0,0574	0,639
M19	0,577 \pm 0,0639	0,639
M20	0,564 \pm 0,0525	0,639

*Concentración mínima detectable. **Valores superiores al valor mínimo detectable.

DISCUSIÓN

Los resultados de la concentración de actividad de cesio-137 en agua de consumo presentaron en su mayoría valores inferiores a los límites de referencia utilizados y que corresponden al control negativo empleado, que fue la concentración de actividad del elemento determinado en agua destilada (0,639 Bq/L), la Norma Brasileira para agua potable (Ministerio de Salud de Brasil, 2017), la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (Martínez, P., et al., 2017) y el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón (2011) quienes establecieron una concentración de 1Bq/L como límite máximo de actividad para el cesio-137 en agua potable. Las muestras M12, M15 y M16 presentaron respectivamente, valores en el orden de 8.76 %, 2.19%, y 4,58% superiores al control negativo (agua destilada) pero inferiores a los establecidos en la Norma Brasileira para agua potable, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición y el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón (2011).

Por otro lado, López-García et al. (2019) en España y Liu et al. (2021) en China reportaron concentraciones de actividad de cesio-137 en agua potable de hasta 0,4 Bq/L, valores similares a los obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, se han encontrado concentraciones superiores de cesio-137 en

investigaciones realizadas por Wada et al. (2012) en muestras de agua potable analizadas tras el accidente nuclear de Fukushima (32 Bq/L) y en Alemania (4,4 Bq/l) tras el accidente de la central nuclear de Chernóbil en el año 1986 (Hoffmann et al., 1988).

A nivel nacional no se reportan estudios previos en relación a la actividad de cesio-137 en agua de consumo embotellada, sin embargo, se han encontrado trabajos relacionados al contenido de este radionucleído en carne, mandioca y alimentos procesados (Idoyaga, M. L., 1993; Caggiano T. M. y Facetti J. F., 1971; Idoyaga, M. L. et al. 2008; Sánchez, C. J. et al., 2018).

La información adquirida permitió demostrar que el nivel de radiactividad del cesio-137 presente en las muestras, no representa un riesgo de incorporación de material radiactivo por parte de la población paraguaya debido al consumo de agua embotellada. Los datos obtenidos en la presente investigación son de suma importancia debido a que en el país no se registran investigaciones similares y de acuerdo a nuestro conocimiento este sería el primer trabajo de detección de la concentración de actividad del cesio-137 en agua de consumo.

La técnica de espectrometría gamma utilizada permitió detectar la concentración de actividad del cesio-137 en agua de consumo. Los niveles de concentración de actividad del cesio-137 determinados en agua de consumo embotellada fueron en todos los casos inferiores a los límites establecidos por la Norma Brasileira para agua potable, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición y el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón (2011).

Contribución de autores

- Luz Viviana Bóveda Chaparro, Julio Cabello Leiva y Boris Javier Michajluk Barboza participaron de la concepción y diseño del trabajo.
- Luz Viviana Bóveda Chaparro, Rafael Gómez González, Julio Cabello, y Boris Javier Michajluk Barboza recolección y obtención de resultados, análisis e interpretación de datos,
- Luz Viviana Bóveda Chaparro y Boris Javier Michajluk: redacción del manuscrito, revisión crítica del manuscrito en borrador y aprobación de su versión para su posterior revisión final.
- Luz Viviana Bóveda Chaparro, Rafael Gómez González, Julio Cabello, y Boris Javier Michajluk Barboza: revisión final del manuscrito y aprobación de su versión final.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Fuente de financiación: Financiado con fondos del Rectorado de la Universidad Nacional de Asunción. Proyectos de Investigación 2022. Dirección General de Investigación Científica y Tecnológica

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARN (1998). Vigilancia Radiológica Ambiental. Gobierno de Argentina. Argentina. 220-254.
- Caggiano, T., M, Facetti, J. F (1971). Determinación de Sr 90 y Cs137 en algunos elementos de la dieta en el Paraguay. Rev. De la Sociedad Científica 12 (1). Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU. (2004). Resumen de Salud Pública-Cesio, CAS#: 7440-46-2. ATSDR. Georgia.
- Fernández, I.M., Igllicki, F.A., de Melo Ferreira, A.C., Tomacic, I.J., Loria, L.G., Aguirre, J. (2006). Determinación de radionucleídos emisores gamma. Determinación de la contaminación radiactiva en alimentos. Memorias del II Simposio Internacional de Transferencias Tecnológicas. Cuba. 102-109

- Hoffmann, W., Kunze, S., Günther, A., & Zibold, G. (1988). The Chernobyl reactor accident and its impact on water quality in Germany. *Environmental Science & Technology*, 22(10), 1202-1206.
- Idoyaga, M. L. (1993). Determinación de Cs-137 en alimentos de mayor consumo en el Paraguay. *Revista de la Universidad Nacional de Asunción*, 4.
- Idoyaga, M. L., Riquelme, I., Florentin, R. (2008). Safety and security of the CS-137 needles in disuse in Paraguay. IRPA 12: 12 International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide, Argentina: SAR.
- Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología. (2016). Agua Potable Requisitos Generales (NP 24 001 80). Disponible en: <http://normas.intn.gov.py/cgi-bin/koha/opac-imageviewer.pl?biblionumber=470>
- Liu, H., Zhang, J., Liao, J., Zhang, X. y Qin, W. (2021). Características de la contaminación radiactiva de los radionucleidos naturales y 137Cs en el agua potable en China. *Contaminación Ambiental*, 269, 116124
- Lopez-García, M., Jurado-Vargas, M., Bosque-Sendra, JM, Gonzalez-Fernandez, MJ, & Vaca, F. (2019). Evaluación de la radiactividad natural y el 137Cs en fuentes de agua potable en una región mediterránea del sureste de España. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 664, 308-316.
- Loría, L.G., Banichevich, A., Cortés, J. (1998). Radionucleidos en corales de Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. 46 (Supl. 5):81-90.
- Loría, L.G., Mora, P., Badilla, M. (1999). K40 y Cs 137 en banano exportado por Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23 (2):157-163.
- Martinez, P., Luque, S., Ortiz, A., Sanchez, B., Trinidad, J., Rey, C., Muñoz, M. (2017). Programas de vigilancia radiológica ambiental Resultados del 2017. Colección Informes Técnicos 50.2019 (INT-04.40). España.
- Ministerio de Salud de Brasil (2017). Níveis de investigação e de referência para radioatividade em água potável (CNEN-NN-3.01). Disponible en: http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html
- Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón. (2011). Valores reglamentarios provisionales de radionucleidos en alimentos y agua potable. Recuperado de: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/attach/16-2.pdf>
- Mora, J.C., Guillen, J. Herranz, M. 2022. Gestión de la Radiactividad en el Agua de Consumo. Sociedad Española de Protección Radiológica. p. 3. Disponible en: https://apps.who.int/iris/han_del/10_665/364664
- Mora, P., Salazar, A. (1996). Natural radioactivity in soil samples of Costa Rica. *Journal of Traces and Microprobes Techniques* 14(4):727-738.
- Mora, P., Loría, L.G. 1997. Radioactive assessment of fish products marketed by Costa Rica. *Journal of Traces and Microprobe Techniques* 15(3):307-310.
- Organización Mundial de la Salud (1989). Niveles de intervención derivados para radionucleidos en los alimentos. OMS. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Directrices para la calidad del agua potable (4ª ed.). Ginebra: Autor. Obtenido de: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwg_guidelines/en/
- Salazar, A., Loría, L.G. 1997. Control de calidad en espectrometría gamma de bajo nivel. *Ciencia y Tecnología* 21(1-2):35-44.
- Sánchez, C. J., Idoyaga M. L., Navarro, F., Montiel, M. L., Herrera, E. (2018). Determinación de contaminación radiactiva en carne vacuna paraguaya, por espectrometría gamma con detector de NaI (TI). III Encuentro de investigadores. Sociedad Científica.
- Travesi A. 1975. Métodos de espectrometría gamma. Análisis por activación neutrónica. Servicio de Publicaciones de la J.E.N. España. 295-317.
- Wada, A., Fujita, S., Nakamura, K., Takahashi, Y., Kurihara, M., Konno, Y., Fujii, Y. (2012). Cesio radiactivo en el agua del grifo: informe de un caso de Fukushima después del accidente de la planta de energía nuclear Fukushima Dai-ichi. *Revista de protección radiológica*, 32(2), N33.