

DETERMINACIÓN RADIOQUÍMICA DE RADIO-226, RADIO-228 Y PLOMO-210 EN AGUAS DEL RÍO RÍMAC

De Lama G. ⁽¹⁾; Osores J. ⁽¹⁾ josores@ipen.gob.pe; Martinez G. ⁽¹⁾

(1) Departamento de Control Ambiental – IPEN / Lima, Perú

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal la cuantificación de Ra-226, Ra-228 y Pb-210 en el Río Rímac, principal fuente de abastecimiento de agua a la población de Lima. Las muestras de agua fueron recolectadas durante un período de seis meses, desde abril a setiembre del 2000, en 16 estaciones de muestreo ubicadas estratégicamente a lo largo del cauce del Río Rímac. El método analítico utilizado consiste en la separación de radio y plomo contenidos en las muestras de agua utilizando portadores de bario y plomo, y que después de algunas etapas de precipitación y redisolución, el radio es coprecipitado como Ba(Ra)SO₄ y el plomo precipitado como PbCrO₄. La determinación de Ra-226 fue realizada mediante la medida alfa total de precipitado de Ba(Ra)SO₄, y la determinación del Ra-228 y Pb-210 por la medida beta total de los precipitados de Ba(Ra)SO₄ y PbCrO₄ respectivamente. Las mediciones se realizaron en un contador proporcional de flujo de gas de bajo fondo. Los resultados de las concentraciones de la actividad varían desde 0,0021 a 0,1754 Bq/L para el Ra-226; desde 0,0025 a 0,2355 Bq/L para el Ra-228 y desde 0,0026 a 0,0528 Bq/L para el Pb-210. En ninguno de los casos se supera la concentración máxima admisible para el agua de consumo humano. En comparación con otros ríos en el mundo, el Río Rímac presenta concentraciones semejantes.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la contaminación ambiental originada por núclidos radiactivos es uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la ciencia contemporánea y que mayor interés suscita en la sociedad. El origen de estos núclidos es variado, pudiéndose destacar dos grandes grupos. En primer lugar, los que tienen como origen la manipulación humana, y en el otro gran grupo se engloban los radionúclidos de origen natural. Dentro de estos últimos se encuentra el Ra-226, Ra-228

y Pb-210 que son productos de desintegración de las series radiactivas naturales de U-238 y Th-232 respectivamente. El interés que suscita la presencia de estas especies en el medio ambiente está íntimamente relacionado con las propiedades tóxicas que poseen. Atendiendo a este carácter nocivo, los emisores de partículas alfa (Ra-226) y beta (Ra-228 y Pb-210) son los que a nivel de exposición interna requieren un mayor control dadas las propiedades de este tipo de radiación (mucho energía y poco alcance) y también debido a que estos tres radionúclidos presentan períodos de semidesintegración bastante grandes [6].

El Río Rímac se encuentra ubicado en el departamento de Lima, perteneciente a la vertiente del océano pacífico, y es uno de los ríos del Perú que más intensamente está siendo utilizado dada su ubicación geopolítica. En la cuenca del Río Rímac, sobre todo en la parte alta se encuentran ubicadas gran número de centros de explotación minera. En estas áreas de explotación minera es una particularidad la presencia de aguas de mina que son vertidas a los cursos receptores; la calidad de estas aguas depende de la naturaleza geológica de los suelos, las mismas que le proporcionan la característica ácida o neutra, siendo las de mayor impacto las primeras por la alta capacidad de disolución de todo tipo de mineral incluyendo los que contienen sustancias radiactivas naturales como el radio y plomo. Además los centros mineros están equipados con plantas de concentración por lo que además de las aguas de mina, generan los desechos líquidos propios de la actividad de concentración en los que también se encontrarían elementos radiactivos naturales por encontrarse asociados con el mineral que explota, comúnmente conocidos como relaves que en la mayoría de los casos son descargados a los cursos de agua sin que medie tipo de tratamiento alguno [48].

Las características de este problema motivaron el desarrollo de la presente investigación, de la que los antecedentes son

muy escasos en nuestro medio. En este estudio se ha determinado la concentración de la actividad de Ra-226, Ra-228 y Pb-210 en aguas del Río Rímac, implementando un método de análisis por precipitación y efectuando las mediciones en un contador proporcional de flujo de gas de bajo fondo. Este método es suficientemente sensible, pudiendo de este modo llevarse a cabo la vigilancia de protección radiológica con un margen de seguridad muy amplio. Las muestras fueron recolectadas conjuntamente con el personal de la Dirección de Salud IV Lima-Este del Ministerio de Salud y los análisis se realizaron en los Laboratorios de Radioquímica Ambiental y Espectrometría del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados y de los análisis cuantitativos se establece que la concentración varía de $<0,0021$ Bq/L a $0,1754$ Bq/L para el Ra-226; de $<0,0025$ Bq/L a $0,2355$ Bq/L para el Ra-228 y de $0,0026$ Bq/L a $0,0528$ Bq/L para el Pb-210. En ninguno de los casos se supera la Concentración Máxima Admisible para el agua de consumo humano.

La temperatura para estas muestras es variada, obteniéndose la temperatura más baja (8°C) en la parte alta de la cuenca y la temperatura más alta (23°C) en la parte baja de la cuenca, la temperatura no guarda correlación con la concentración de los radionúclidos estudiados.

Según la literatura [19, 37], el radio es más soluble en aguas con alto o bajo pH y no en aquellas de pHs medios. A este comportamiento puede deberse la baja concentración, ya que el pH del agua del Río Rímac es cercano a medio, variando de 6,0 a 6,5 con excepción del de la estación 11 del mes de septiembre que fue 7,0 el cual también es un pH medio.

El Ra^{2+} es ligeramente soluble en agua, sin embargo un nivel alto de sulfato favorecerá su remoción como cristales de sulfato mixto, o sea como $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$, o en el caso de niveles altos de carbonato, como $(\text{M},\text{Ra})\text{CO}_3$. Este comportamiento también puede explicar la baja concentración de los radionúclidos, debido a que la litología del medio está constituida mayormente por rocas de origen volcánico, las cuales contienen alto contenido de sales de sulfato y carbonato, las que son disueltas por las aguas de escorrentía, sobre

todo por las aguas ácidas de relaves mineros. Además, el proceso de transporte de estos radionúclidos que prevalece en tales sistemas de agua roca es la reacción química, una vez que estas aguas son mineralizadas y presentan un período de contacto relativamente mayor entre el agua y la roca [19]. El comportamiento anteriormente citado también se manifiesta para el Pb^{2+} , ya que sus sales de sulfato y carbonato son insolubles en agua. Generalmente se observa en los meses de agosto y septiembre una mayor concentración de los radionúclidos estudiados.

3. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ALEXEIEV, V. N. (1975). Semimicroanálisis Químico Cualitativo. Tad. Victoria Valdez Mendoza. Editorial Mir, Moscú, 640 pp.
- [2] AUPIAIS, Jean. *et al.* (1998). "Determination of ^{226}Ra in Mineral Drinking Waters by alpha Liquid Scintillation with Rejection of beta-gamma Emitters". *Analytical Chemistry*. 70, 2553-2559.
- [3] AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR. (1998). Curso de Post-Grado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear. Comisión Nacional de Energía Atómica, Universidad de Buenos Aires, Ministerio de Salud y Acción Social, OIEA, Tomo 1, Argentina.
- [4] AYRES, Gilberth H. (1997). Análisis Químico Cuantitativo. Harla, México D.F. 740 pp.
- [5] BURRIER MARTI, Fernando y otros. (1991). Química Analítica Cualitativa. Decimocuarta edición, Editorial Paraninfo, Madrid. 1050 pp.
- [6] CENTRO DE INVESTIGACIONES, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS-CIEMAT. (1994). Curso de Medida de la Radiactividad en Muestras Ambientales. Teorías y Practicas 7-18/noniembre/1994. Instituto de Estudios de la Energía, Ministerio de Industria y Energía, España.
- [7] CLULOW, F. V. *et al.* (1998). "Radionuclides (Lead-210, Polonio-210, Thorium-230, and -232) and Thorium and Uranium in Water, Sediments, and Fish from Lakes Near the City of Elliot Lake,

- Ontario, Canada". *Environmental Pollution*, 99, 199-213.
- [8] COMISION PERMANENTE DEL PACÍFICO SUR. (1989). Radiactividad en el Pacífico Sur. Reunión de Expertos Legales y la 1ª. Reunión del Grupo Ad-Hoc de Expertos Técnicos sobre Contaminación Radiactiva en el Pacífico Sudeste, Cali (Colombia). 190 pp.
- [9] CURRIE, Lloyd A. (1968). "Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination: Application to Radiochemistry". *Analytical Chemistry*. 40, 586-593.
- [10] DE JONG, I. G. and WILES, D. R. (1984). "Determination of ^{226}Ra and ^{230}Th , an Improved Procedure". *Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry*, 82/2, 309-318.
- [11] GIBSON, W. M. (1961). The Radiochemistry of Lead. Nuclear Science Series, National Academy of Sciences - National Research Council. NAS-NS 3040, New Jersey, 158 pp.
- [12] GODOY, J. M. *et al.* (1998). ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{210}Pb and ^{40}K Concentrations in Antarctic Soil, Sediment and Selected Moss and Lichen Samples. *Journal of Environmental Radioactivity*, 41, 33-45.
- [13] GODOY, J.M.; GODOY, M.L. and CARVALHO, Z.L. (1994). "Development of a Sequential method for the Determination of ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{210}Pb in Environmental Samples". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 182, 165-169.
- [14] GOLDIN, A. S. (1961). "Determination of Dissolved Radium". *Analytical Chemistry*. 33, 406-409.
- [15] GONZÁLES, Abel J. (1994). "Los Efectos Biológicos de las Dosis Bajas de Radiación Ionizante: Una Visión más Completa". *Boletín del OIEA*, 4, 37-45.
- [16] GORDON, Louis and ROWLEY, Keith. (1957). "Coprecipitation of Radium with Barium Sulfate". *Analytical Chemistry*. 29, 34-37.
- [17] GUSTAFSSON, M. (1998). Dose Limits. IAEA. <http://www.iaea.org/>.
- [18] HARRIS, Daniel C. (1992). Análisis Químico Cuantitativo. Trad. Alain Quere. Grupo Editorial Iberoamérica. 886 pp.
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. (1990). The Environmental Behaviour of Radium. Vol. 1 y 2, Technical Reports Series N° 310. Viena.
- [20] JOSHI, L. U.; ZINGDE, M. D. and DESAI, B. N. (1984). "Studies on ^{226}Ra and ^{210}Pb Activities and Concentration Factors of ^{226}Ra in the Surface Organic Layers of the Estuarine Sediments of Mindola and Purna Rivers in India". *Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry*, 82/2, 369-377.
- [21] KAPLAN, Irving. (1962). Física Nuclear. Trad. German Domínguez y Felipe De La Cruz Castillo. Madrid.
- [22] KELLER, Cornelius. (1981). Radioquímica. 2da Edición, Trad.: Carlos Costa Dantas y Manfred Huber, Editora Universitaria, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 348 pp.
- [23] KIRBY, H.W. (1954). "Decay and Growth Tables for the Naturally Occurring Radioactive Series". *Analytical Chemistry*. 26, 1063-1071.
- [24] KIRK, Raymond E. y OTHER, Donal F. (1963). Enciclopedia de Tecnología Química: Radioquímica. Tomo XIII, Unión Tipográfica, Editorial Hispano-Americana, México. p 501-512.
- [25] KOLTHOFF, I.M.; ELVING, P.J. and SANDELL, E.B. (1959). Treatise on Analytical Chemistry. Parte I y II, Vol. I., Interscience Publishers, New York.
- [26] LIMA, Fausto W. (1953). "Calculation of Amount of Tracer Carried with Precipitates of Its Radioactive Parent". *Analytical Chemistry*. 40, 586-593.
- [27] LIMA, Fausto W. and ABRAO, Alcídio. (1960). "Separation of Bismuth from Lead with (Ethylenedinitrilo)tetraacetic Acid, Application to Radiochemistry". *Analytical Chemistry*. 32, 492-494.
- [28] MARINO, Vicente P, y BENILACQUA, Arturo. (1999). Contaminación Potencial del Agua Potable a Través de los Elementos

- Radiactivos Naturales. <http://ambiente-ecologico.com/revist53/>.
- [29] MARYLAND DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. (2000). Radium and Your Drinking Water (A Homeowners Guide). <http://www.mde.state.md.us/health/radium.htm>.
- [30] MARTIN, A.; MEAD, S. and WADE, B.O. (1997). Nuclear Science and Technology: Materials Containing Natural Radionuclides in Concentrations. Final report, European Commission. 88 pp.
- [31] MICHEL, J.; MOORE, W.S. and KING, P.T. (1981). "Gamma-Ray Spectrometry for Determination of Ra-228 and Ra-226 in Natural Waters". *Analytical Chemistry*, 53, 1885-1889.
- [32] MINISTERIO DE AGRICULTURA. (1993). Proyecto: Control de Torrentes en la Cuenca Hidrográfica del Río Rímac, Vol. 1 y 2, Dirección General de Aguas, Suelos e Irrigaciones; Dirección de Suelos y Manejo de Cuencas, Lima.
- [33] MINISTERIO DE SALUD. (1982). Estudio de Contaminación y Preservación del Río Rímac. Dirección General del Medio Ambiente/Dirección de Protección del Medio Ambiente, OSASA, Lima.
- [34] NIERI NETO, A. and MAZZILLI, B. (1998). "Evaluation of ^{210}Po and ^{210}Pb in Some Mineral Spring Waters in Brazil". *Journal of Environmental Radioactivity*, 41, 11-18.
- [35] NOZAKI, Y.; ZHANG, J. and TAKEDA, A. (1997). ^{210}Pb and ^{210}Po in the Equatorial Pacific and the Bering Sea: The Effects of Biological Productivity and Boundary Scavenging". *Deep-Sea Research II*, 44, 2203-2220.
- [36] OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES - ONERN, (1975). Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de la Zona del Proyecto Marcapomacocha. Vol. 1 y 2, Presidencia de la República, Lima.
- [37] OLIVEIRA, Joselene; *et al.* (1996). "La Variación Sazonal de ^{226}Ra y ^{222}Rn en Fuentes de Agua Mineral en Aguas de Prata-Brasil". *Protección Radiológica en América Latina y el Caribe*, Proyecto ARCAL XVII/OIEA, Vol. 1.
- [38] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. (1968). Normas Básicas de Seguridad en Materia de Protección Radiológica, Colección Seguridad No 9, Viena.
- [39] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (1960). Métodos de Análisis Radioquímico. Informe de un Comité Mixto OMS/FAO de Expertos, Serie de Informes Técnicos N° 173, Ginebra, 143 pp.
- [40] OXFORD INSTRUMENTALS. (1995). LB4100-W Low Background System, Version 1.10, Manual Version 1.30, Nuclear Measurements Group, USA. 185 p.