

ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO RADIOQUÍMICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ^{226}Ra EN AGUAS

Ysla M.⁽¹⁾; Martínez J.⁽²⁾; Osores J.⁽²⁾ josores@ipen.gob.pe; Gonzáles S.⁽²⁾ sgonzales@ipen.gob.pe

(1) Universidad Nacional de Trujillo / Trujillo, Perú

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

ABSTRACT

The present work shows the development of five radiochemical methods in order to determine Ra^{226} in river waters for human consumption, through gamma spectrometry. These methods are used in order to obtain this radionuclide as $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$. The method tested was found to be the most appropriate due to its lower cost, high radiochemical yield obtained (83.53 %) on average and the obtained results show smaller variability. This standardized method is applied to water samples of the Chillón river, obtaining an activity of 0.1526 Bq/L. Assuming inhabitants of Huarangal Valley consume 2 liters of this river water daily. The annual ingest is about 111.398 Bq on average, which constitutes the 1.58 % of the allowed radioactivity limit given by the regulation on sanitary protection against ionizing radiation. Furthermore physical chemical analysis in waters of the Chillón river were performed. The results found are within the allowed ranges considered by the World Health Organization (WHO), the Technical Standards National Institute (ITINTEC - PERU) and Law of Waters. Chillón river waters can be destined for the human consumption according to the physical - chemical analysis performed. The results obtained about radioactivity levels in these samples do not show radiosanitary hazards for inhabitants of Huarangal Valley.

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de radionucleidos naturales en nuestro medio ambiente y cualquier parte del mundo, conduce necesariamente a que todas las actividades de los seres humanos se encuentren asociadas con las radiaciones ionizantes. El Radio es un radionucleido natural terrestre, tiene treinta isótopos y sólo cuatro de ellos son importantes: Radio-223, Radio-224, Radio-226 y el Radio-228. El Radio-226 es un descendiente directo del Uranio-238 y ambos se encuentran en

equilibrio secular. Su abundancia relativa de este radionucleido está relacionada directamente con las concentraciones del Uranio. Es por eso que su presencia varía de acuerdo a la geología de las regiones de nuestro país. El agua de los ríos, originado por el deshielo y las lluvias en los Andes, es un medio de desplazamiento de una serie de componentes que no son propios de otras regiones. Estas aguas son usadas para una variedad de necesidades del hombre, siendo la más importante su utilización como líquido de consumo por las poblaciones de un modo directo o a través de los puquios que se forman en sus cercanías. La abundancia del Radio-226 en el agua natural no contaminada es del orden de 10^{-10} mCi / L equivalente a 3.7×10^{-3} Bq / L (8). Esto indica que dicho radionucleido se encuentra como un elemento traza en la composición de una matriz de agua. El Radio-226 presenta riesgos radiosanitarios si es ingerida en cantidades que sobrepasen los límites permisibles por ingestión, debido a su capacidad de reemplazar al Calcio en la estructura del hueso. Esto motiva que su incorporación puede comprometer radiosanariamente a la población de regiones en donde éste radionucleido se encuentre por encima de los niveles establecidos para las aguas de consumo humano. Es por esta razón que el reglamento vigente sobre Protección Sanitaria contra las radiaciones ionizantes (B.O.E. N° 241, del 8 de Octubre de 1982) establece un límite de incorporación anual por ingestión del Radio-226 correspondiente a 1.9×10^{-7} Ci equivalente a 7030 Becquerelios (8). El presente trabajo, realizado en los laboratorios de Radioquímica y Radiometría del Grupo de Control Ambiental en el Centro Nuclear RACSO del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), tiene como finalidad de estandarizar el método radioquímico que nos permita determinar la presencia y evaluar su actividad del Radio-226 en aguas de río. Posteriormente, dicho método es aplicado a las aguas del río Chillón, las mismas que sirven como aguas de consumo humano, para conocer si éstas comprometen radiosanariamente a la población del valle de Huarangal (Lima).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de agua del río Chillón se tomaron de tres puntos distintos que equidistaban a 100 m. El punto de origen del muestreo se ubica a 3.5 km de distancia del Centro Nuclear RACSO. Luego se procedió a acidificarlas in situ con 1 mL de ácido Clorhídrico por cada litro de muestra. El análisis fisicoquímico de las muestras de agua consistió en la determinación de pH, dureza, calcio, magnesio, sulfatos y turbidez. Los métodos radioquímicos utilizados se basaron en el principio de coprecipitación del radio con sulfato de bario, tomando como base los trabajos de Franson y del CIEMAT (11,1). Para la evaluación de los métodos se aplicaron herramientas estadísticas de comparación como medidas de tendencia central, medidas de dispersión, variabilidad y análisis de varianza.

3. RESULTADOS

CARACTERÍSTICA FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS

Los valores promedios de los análisis físico-químicos de las muestras de agua del río Chillón al compararlos con los parámetros físico-químicos para agua potable dados por Merck (12) se determinó lo siguiente:

- El resultado del pH, que es uno de los parámetros operacionales más importantes de la calidad de agua; se encuentra en el rango dado por ITINTEC y la Ley de aguas; pero, es mayor al presentado por el Organismo Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, éste pH es muy ligeramente básico y casi muy cercano al valor $\text{pH} = 7$, que es neutro. Además a pH con valores superiores a 11 se han puesto en relación con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos (13).
- El valor de la dureza total es mayor al proporcionado por ITINTEC; pero, menor al del OMS. Sin embargo la alcalinidad alta es de poca importancia sanitaria, siendo el valor fijado debido a que en aguas con alta alcalinidad son usualmente de mal sabor (13).
- La cantidad de Calcio y Magnesio es mayor al dado por ITINTEC; pero, esta en el rango presentado por el OMS. Estos dos parámetros son determinantes en la dureza total y por consiguiente en el sabor

del agua; de allí que el umbral de sabor del ión Calcio es del orden de 100 a 300 mg / L, según el anión asociado, y el umbral de sabor del Magnesio es probablemente inferior al del Calcio (13).

- La cantidad de Sulfatos se encuentra entre los rangos proporcionados tanto por ITINTEC y OMS. Este anión es considerado uno de los menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones se han observado Catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. La presencia de $[\text{SO}_4^-] > 250 \text{ mg / L}$ en agua potable puede causar alteración en el sabor del agua y a $[\text{SO}_4^-] > 500 \text{ mg / L}$ se debe notificar a las autoridades sanitarias la existencia de dicha fuente de agua de bebida, la mejor forma de determinar sulfatos es por calcinación ya que los datos obtenidos presentan mayor precisión y tienen menor variación ($\text{CV} = 5.4691 \%$).
- Las fuentes consultadas no presentan rangos de la cantidad de sólidos en suspensión. Sin embargo el valor promedio obtenido puede disminuir significativamente si el agua de río se deja en reposo por lo menos durante un día o en todo caso se filtrara.
- El valor de la turbidez, si el agua de río es filtrada, es menor al dado por ITINTEC y el OMS; si el agua de río es mantenida en reposo por un día, éste valor es mayor al presentado por ITINTEC y el OMS. Sin embargo, la apariencia del agua con una turbidez inferior a 5 unidades nefelométricas es aceptable para los consumidores; aunque esto puede variar según las circunstancias locales y a elevados niveles de turbidez se puede proteger a microorganismos de los efectos de desinfección y estimular la proliferación de bacterias (13). En algunos casos la materia coloidal en el agua es benéfica y en otros es peligroso; por ejemplo la suspensión de arcilla o cieno en el agua, sus partículas más pequeñas suelen tener carga negativa y si estas se neutralizan, las partículas se coagulan y precipitan al mantener dicha agua en reposo (14). Por esta razón; si el agua del río no puede ser filtrada, se debe mantener en reposo por lo menos dos días antes de ser ingerida. En caso contrario se le debe agregar Cloro en pequeñas cantidades para desinfectar dichas aguas, ya que tiene un pH menor a 8 que es el recomendado para que el agua se desinfecte satisfactoriamente (13).

Como se puede observar los valores de los

análisis físico-químicos practicados a las aguas del río Chillón, se encuentran dentro de uno u otro rango proporcionado por ITINTEC, ley de aguas o el Organismo Mundial de la Salud.

RENDIMIENTOS RADIOQUÍMICOS DE LOS MÉTODOS DE PRECIPITACIÓN

El resultado de la prueba de significación de F aplicada a los rendimientos radioquímicos de los cinco métodos, da un F igual a 1. Para la misma cantidad de tratamientos el F tabulado para probabilidades de 0.05 y 0.01, tienen el valor de 3.48 y 5.99 respectivamente. Comparando ambos valores de F, el F tabulado es mayor que el F calculado; por consiguiente no existen diferencias significativas entre los métodos radioquímicos.

Por otro lado, los mayores promedios de rendimiento radioquímico corresponden al segundo y quinto métodos con respecto a los otros métodos. Sin embargo, los rendimientos radioquímicos del segundo método presentan una menor desviación estándar comparada con los del quinto método, esto nos indica que los resultados (R_{Rq}) del primer método se encuentran más agrupados o relativamente sus obtenciones resultan ser más homogéneas. Si se compara los costos promedios del método N° 2 con respecto al N° 5 y teniendo en cuenta que son los costos de análisis de muestras de 3 L; el primero de estos dos métodos resulta mucho más económico.

ACTIVIDAD DEL RADIO-226 EN AGUAS DEL RÍO CHILLÓN

La aplicación del segundo método radioquímico a las aguas de consumo del río Chillón, reporta una actividad promedio del Ra-226 igual a 0.1526 Bq/L. Esta actividad sobrepasa a la del Ra-226 en agua natural no contaminada que es del orden de 10^{-10} mCi/L equivalente a 0.0037 Bq / L. Pero, el límite de incorporación anual por ingestión de éste radionucleido es de 1.9×10^{-7} Curies igual a 7030 Bq, según el reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes (B.O.E. N° 241, 8-10-1982), equivalente a 3×10^{-7} mCi / L igual a 11 Bq / L en base a la suposición de que se ingieran 2 Litros por día de agua (1).

Si asumimos que el poblador de Huarangal ingiere un promedio de 2 L de agua del río

Chillón diarios, entonces la actividad de Ra-226 ingerida anualmente por dicho poblador es $(2 \text{ L/día}) \times (0.1526 \text{ Bq/L}) \times (365 \text{ días/año})$ igual a 111.398 Bq/año. Si comparamos el valor anterior con el valor límite permisible de ingestión del mencionado radionucleido, sólo representa al 1.58 % de dicha actividad.

4. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de los resultados de los análisis físico – químicos practicados a las aguas del río Chillón y comparados con los rangos dados por el Organismo Mundial de la Salud, el ITINTEC y ley de aguas; éstas se encuentran aptas para el consumo humano.

Para los métodos de concentración radioquímica del Ra-226 por precipitación como Ba(Ra)SO_4 y teniendo en cuenta el rendimiento radioquímico promedio, el costo de análisis de cada prueba del método y la menor desviación estándar presentada, se debe utilizar el segundo método como el método radioquímico estandarizado para determinar la actividad del Ra-226 en aguas de río que sirven de consumo humano.

Debido a que el poblador del valle de Huarangal consume estimadamente por ingestión de Ra-226 la cantidad de 111.398 Bq / año, asumiendo que ingiere un promedio de 2 L de agua del río Chillón diarios, y éste valor representa sólo el 1.58 % del valor límite permisible de ingestión de Ra-226; dichas aguas no representan riesgos radiosanitarios para la población.

5. RECOMENDACIONES

Tener en cuenta que al emplear el método estandarizado para determinar Ra-226 en aguas de ríos que sirvan de consumo; se utiliza como referencia el 66.9 % de la cantidad necesaria del portador Bario que reacciona completamente con la cantidad de aniones sulfatos presente en dichas aguas a analizar. Al emplear el método estandarizado para determinar Ra-226, se debe mantener la agitación y temperatura (aproximadamente 90°C) constante durante todo el procedimiento, especialmente al agregar el ácido Sulfúrico. Esto se debe a que las reacciones con éste ácido son exotérmicas y por lo tanto el aumento de la temperatura hace que la reacción se torne lenta, esto permite que los cristales de las moléculas formadas sean más perfectas y exista un mayor

crecimiento molecular y la agitación permite una mayor homogeneidad de las moléculas formadas en la solución, lo cual da como resultado un mejor arrastre o precipitación de las moléculas de RaSO_4 .

No se debe emplear el método estandarizado en procesos continuos para retener o determinar Ra-226, debido a que se necesita de grandes tanques o lugares de almacenamiento para precipitar el $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$, además de la utilización de mayores volúmenes de reactivos; implicando de este modo un costo muy elevado su aplicación.

6. REFERENCIAS

- [1]. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas-CIEMAT. Curso de Medida de la Radiactividad en Muestras Ambientales, Práctica 5, "Separación Radioquímica de Radio", del 7 al 18 de Noviembre de 1994, Madrid, España.
- [2]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; "Measurement of radionuclides in food and the environmental ", TECHNICAL REPORTS SERIES N° 295, Editado por la IAEA en Viena - Austria, Marzo de 1990.
- [3]. Agustín Tanarro; " INSTRUMENTACION NUCLEAR", Volumen I y II, Editorial J.E.N., 1^{era} edición, Madrid – España, 1971.
- [4]. J. M. Gamboa Loyarte; "MANUAL DE RADIOQUIMICA", Editorial Alhambra S.A., 1^{era} edición en Español, 1974, España.
- [5]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; "The Environmental Behaviour of Radium", Vol. 1 y 2 de la TECHNICAL REPORTS SERIES N° 310, Editado por la IAEA en Viena - Austria, Marzo de 1990.
- [6]. Hamilton – Simpson – Ellis; "Cálculos de Química Analítica", 2^{da} edición, Editorial McGRAW – HILL de México, S.A: de C.V., México, 1981.
- [7]. Daniel C. Harris; " ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO", Editorial Iberoamérica S.A. de C.V., 3^{ra} edición, México, 1992.
- [8]. Antonio Travesi; "ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA; teoría, práctica y aplicaciones", Editorial J.E.N., 1^{era} edición, Madrid - España, 1975.
- [9]. 9.- José Rivero Méndez; "MANUAL DE PRACTICA DE QUIMICA ANALITICA CUANTITATIVA", 13^{va} edición, Trujillo – Perú, 1990.
- [10]. I. S. Kaurichev; "PRACTICAS DE EDAFOLOGIA", Editorial M.I.R., 1^{era} edición, URSS. 1984.
- [11]. Mary Ann H. Franson; "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER", Editorial American Public Health Association, 16^{ava} edición, Washington, 1985.
- [12]. MERCK PERUANA S.A.; "GUIA BREVE PARA EL AGUA POTABLE", Av. Recolectora Industrial N° 140, Ate Vitarte – Lima – Perú, 1990.
- [13]. Organización Mundial de la Salud; "GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE", Volumen I: Recomendaciones, Editorial del O.M.S., 2^{da} edición, Ginebra, 1995.
- [14]. Frank N. Kemmer, John McCallion; "MANUAL DEL AGUA, SU NATURALEZA TRATAMIENTO Y APLICACIONES", Editorial McGRAW-HILL, 1^{era} edición, México, 1989.