

RADIATIVIDAD DEL AGUA EN MANANTIALES Y BALNEARIOS DE CUBA

J. Alcaide*, J. Olivera*, G. Valdés*, R. Leal*, J. Soto**.

RESUMEN

Se ha realizado un estudio de la radiactividad natural existente en un número elevado de pozos y manantiales de la República de Cuba. Los elementos medidos en las aguas estudiadas han sido el uranio y el radón, con el doble fin de caracterizar su potabilidad y de probar su posibilidad de utilización con fines terapéuticos. Las técnicas de medida usadas han sido la fluorometría laser en el caso del uranio y el conteo alfa para el del radón. Los resultados obtenidos expresan que un pequeño número de pozos o manantiales poseen concentraciones elevadas de uranio a la vez que varios manantiales poseen concentraciones medias o elevadas de radón.

RESUME

Nous avons accompli une étude sur la radioactivité naturelle qui existe dans un nombre important de puits et de sources. Les éléments que nous avons étudiés dans les eaux sont l'uranium et le radon, dans le but de caractériser son potabilité et d'essayer son usage au fin thérapeutique. Nous avons utilisé les techniques de fluorométrie laser pour l'uranium et comptage alpha pour le radon. Les résultats obtenus montrent qu'il existe un petit nombre de puits avec concentrations élevées de l'uranium du même qui dans certaines sources ont détecté concentrations moyennes ou élevées du radon.

SUMMARY

A study about the natural radioactivity in a great number of wells and springs of the Republic of Cuba is performed. The radioactive isotopes measured in the waters are uranium and radon, for the characterization of drinkable properties and for to test the possibility of use for therapeutic purposes. The measuring methodology was laser fluorometry for uranium and alpha counting for radon. The results obtained

show a little number of wells or springs with high uranium concentrations and several springs with medium or high concentrations of radon.

PALABRAS CLAVE: Radiactividad, manantiales.

INTRODUCCION

Durante los últimos 10 años el grupo de geología del Instituto de Geofísica y Astronomía de Cuba ha realizado medidas de la radiactividad natural existente en aguas y suelos de todo el país, [ALCAIDE y OLIVERA, 1991]. Las medidas realizadas han incluido la determinación de uranio y de radón en el agua de un número elevado de manantiales y pozos. Los dos elementos radiactivos medidos son importantes para caracterizar las aguas desde el punto de vista de su potabilidad. Pero, además, las concentraciones elevadas de radón disuelto indican un origen profundo de las aguas muestreadas y, consecuentemente, una estabilidad en su composición sin gran influencia del régimen de lluvias. Los manantiales que poseen estas características de tener concentraciones altas de radón disuelto pueden ser usados de manera adecuada como balnearios en los que se aprovechan los efectos sinérgicos del radón en el tratamiento, [ARMIGO y SAN MARTIN, 1994].

En este trabajo se recogen los resultados obtenidos en aquellos manantiales o pozos en los que las concentraciones de uranio o de radón son elevadas. Los resultados encontrados se describen conjuntamente con el entorno geológico en el que se localizan los manantiales.

URANIO Y RADON EN AGUAS

Las aguas que discurren por la corteza terrestre poseen una composición en cuanto a sustancias disueltas que se deriva de la interacción entre el agua y los materiales del terreno que atraviesan, a través de distintos procesos físico-químicos. Estos son, principalmente, lixiviación, intercambio iónico y

* Instituto de Geofísica y Astronomía, Ciudad de La Habana, Cuba.

** Universidad de Cantabria, Santander, España.

reacciones redox, que se producen con intensidades modificadas por variables como la presión, la temperatura, el pH o el tiempo de permanencia del agua en el terreno.

Los elementos radiactivos que contienen las aguas proceden fundamentalmente de la cadena de desintegración del U-238. Este isótopo está distribuido de manera no uniforme en la corteza terrestre y su concentración está determinada por la existente en el terreno y por la interacción entre éste y el agua, derivada de sus propiedades químicas.

El uranio posee dos estados de oxidación, +4 y +6, siendo las sales de U⁺⁴ muy insolubles mientras que las de U⁺⁶ tienden a formar iones complejos de uranilo, estables en medio ácido y solubles en aguas con potenciales redox elevados. En cambio, en ambientes reductores, o como resultados de procesos orgánicos, el uranio en solución precipita por reducción del ión uranilo a U⁺⁴, [CLINE et al., 1983; ASIKANEN, 1986].

Dentro de la misma serie radiactiva del U-238 se encuentra el gas noble Rn-222, radón, que posee mecanismos de disolución en el agua que hacen que su concentración en ésta pueda ser elevada. Debido a su carácter gaseoso la concentración de radón en el agua está controlada por la presión parcial del gas en el aire que se encuentra en contacto con el agua. Por distintos mecanismos el radón producido en los granos del terreno pasa a los poros, creando en ellos concentraciones elevadas y haciendo que las existentes en el agua también lo sean, [DAVIS y WATSON, 1990; LAWRENCE et al., 1991].

Las aguas conteniendo radón pueden desplazarse a través de grietas o fracturas variando su concentración según la temperatura y la presión parcial del gas en contacto con el agua. Cuando el agua aflora a la superficie del terreno el radón emana del agua pasando a la atmósfera, por ser su presión parcial en ésta mucho menor que la existente en el interior del suelo.

MANANTIALES Y BALNEARIOS DE CUBA

Cuba posee una dilatada tradición en la utilización de aguas con fines medicinales que proviene de los primeros habitantes de la isla y se refleja en su toponimia. Sin embargo, no es hasta la segunda mitad del siglo XIX que se empiezan a explotar las principales fuentes de aguas medicinales, primeramente las de Elguea, San Diego de los Baños y San Miguel de los Baños, y los fangos del sur de La Habana y San Diego, [ALVAREZ et al. 1996; CASTILLO et al. 1996].

En la actualidad Cuba cuenta con varios balnearios, entre los que deben citarse Elguea en Villa Clara, San Diego de los Baños en Pinar del Río y La Cuquita en Santiago de Cuba, en los que se realiza el clásico tratamiento con el agua y el fango, [VILLALONGA et al. 1996]. Complementariamente se está realizando un notable esfuerzo para recuperar otros o poner nuevos balnearios en funcionamiento, estudiando la calidad de las aguas y su grado de utilización. Entre estos esfuerzos son destacables los que se realizan en San Miguel de los Baños en Matanzas, en Santa Fé y El Rosario en la Isla de la Juventud, en Madruga en La Habana, en San José del Lago en Sancti Spiritu y en El Cedrón en Santiago de Cuba, [MARTINEZ et al., 1996].

Además de lo anterior, Cuba cuenta con una importante infraestructura dedicada al turismo de salud y naturaleza en hoteles de La Habana como Sevilla o Plaza, de Matanzas como El Valle, de Pinar del Río como La Pradera, y en hospitales como el Hermanos Ameijeiras de Ciudad de La Habana, como el Centro de Descanso Escambray de Topes de Collantes y como El Saltón en Santiago de Cuba. En todos ellos se practican tratamientos ligados al agua o al fango, [KLEINDORF et al. 1996].

Los manantiales de agua son abundantes en todo el país dando lugar a aguas carbonatadas, cloruradas o sulfatadas de calcio, magnesio, sodio o potasio. Las más importantes, varias embotelladas comercialmente, son Los Portales (Pinar del Río), El Copey (La Habana), La Cotorra (Isla de la Juventud), Ciego Montero (Cienfuegos), Peña Azul (Camaguey) y Covarrubias (Las Tunas).

Igualmente son abundantes los depósitos de fango de procedencia terrestre o marina usados como peloides. Además de los que se producen en los propios balnearios de Elguea y San Diego de los Baños y de los que se comercializan en la provincia de Camaguey para centros de salud y belleza, merecen citarse los depósitos de Sagua la Grande en Villa Clara, los de Guardalavaca en Holguín, los de Laguna de Baconao en Santiago de Cuba y los de Caimanera en Guantánamo, [VALDESPINO et al. 1995].

METODOLOGIA

En el trabajo que describimos hemos medido la radiactividad existente en el agua de un número importante de manantiales incluyendo varios de los citados. La determinación de la concentración de elementos radiactivos en las aguas se ha hecho con el

doble fin de comprobar su potabilidad, con respecto a la radiactividad, y de estudiar la existencia de radón, tanto por radioprotección como por su utilización terapéutica. Por ello, los resultados que se expresan en este trabajo son solamente aquellos que se corresponden con valores altos en uno u otro sentidos.

Para la determinación de la potabilidad del agua con respecto a su radiactividad, el protocolo más habitual establece como índice principal la actividad alfa total, [COTHERN et al. 1984; SOTO et al. 1992]. La actividad alfa total en las aguas es debida, fundamentalmente, a los distintos isótopos del uranio y sus descendientes. Por ello, hemos medido directamente la concentración de uranio en el agua para la comprobación de su potabilidad.

La determinación de la concentración de uranio en las aguas de los manantiales y pozos se ha realizado a partir de muestras recogidas durante los años 1990 a 1996, tanto en estación seca como de lluvias. Las muestras de agua se recogen en frascos de 120 ml añadiéndose 1 ml de ácido nítrico 0.5% para su conservación hasta la medida en el laboratorio. Esta se realiza mediante fluorimetría laser usando un equipo UA-3 de scintrex, obteniendo el uranio total disuelto expresado en ppb.

La medida de la concentración de radón en el agua se realiza a partir de muestras recogidas en recipientes de 1 litro de capacidad, que se llenan en el pozo o poceta sumergiéndolos una profundidad por debajo de la superficie. Para la medida de radón en las muestras se deja pasar aire a través de ellas produciéndose un borboteo que se mantiene durante 5 minutos. El borboteo produce la liberación del radón disuelto y la mezcla de aire y radón pasa a una cámara de centelleo. Esta es de ZnS y tiene acoplado un sistema de contaje RGA-01. El equipo funciona según el principio de que las partículas alfa emitidas por el radón y sus descendientes de vida media corta chocan con la superficie centelleadora emitiendo fotones. Los impulsos de luz detectados son transformados en impulsos eléctricos mediante un sistema de fotocátodo y fotomultiplicador y son registrados por el contador, donde las lecturas se expresan en Bq/l, [VALDES et al. 1995].

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el conjunto de los pozos y manantiales con concentraciones elevadas de elementos radiactivos están expresados en la Tabla. En ella se indican la localidad donde se encuentra el

manantial, las características del punto de muestreo, el número de medidas realizadas, la litología predominante en la zona y su edad geológica y los rangos de las concentraciones de radón, en Bq/l, y de uranio, en ppb, obtenidos.

Las primeras cuatro fuentes de agua señaladas, La Pimienta, Montezuelo, San Felipe y El Naranjo, son pozos que están situados en la provincia de Pinar del Río, donde se encuentra también el balneario de San Diego de los Baños. La región está caracterizada por la presencia de rocas aglomeráticas conformadas por calizas, areniscas, esquistos y pedernales de edad Paleoceno-Eoceno que contactan con rocas del Jurásico conformadas por esquistos filitizados carbonosos, areniscas y argilitas. Las concentraciones de radón obtenidas son moderadas, [SOTO et al. 1995a; SOTO et al. 1995b], aunque se encuentra un valor de 409 Bq/l en la localidad de Montezuelo, mientras que se encuentran valores muy elevados de uranio en la localidad de La Pimienta.

En la Isla de la Juventud se localiza un pozo, en la localidad de Bibijagua, con concentraciones moderadamente elevadas de uranio. La región está caracterizada por rocas del Jurásico, principalmente esquistos metaterrígenos con intercalaciones de mármol. Esta composición geológica hace que broten en la zona manantiales de agua de muy distintas características a pesar de su relativa proximidad, encontrándose aguas con concentraciones importantes de magnesio o de hierro, [RODRIGUEZ, 1995].

En el sur de las provincias de Cienfuegos y Sancti Spiritu se localizan varios manantiales y pozos con concentraciones elevadas de radón y de uranio. En la región afloran rocas del Jurásico y del Cretácico representadas por metasilicitas, esquistos y filitas cuarcíferas, mármoles y rocas metaterrígenas. A la vez, se desarrollan rocas magmáticas, granitos y granodioritas, que contactan con otras vulcanógeno-sedimentarias. Las concentraciones de radón encontradas en los manantiales de esta región son elevadas con valores próximos a 1000 Bq/l en la localidad de Banao, mientras que las de uranio son moderadamente elevadas en los manantiales y muy elevadas en los pozos.

En el norte de la provincia de Villa Clara se observan depósitos marinos del Pleistoceno superior en contacto con calizas biógenas, calcarenitas y dolomitas. En esta región se encuentra el balneario de Elguea, con siete manantiales de aguas cloruradas sódicas, brómicas y sulfídicas, que se aplican al tratamiento de la artritis reumatoidea y otras afecciones reumáticas, [PERIUT et al. 1996]. Las

concentraciones de radón medidas en él son moderadamente elevadas, próximas a 150 Bq/l, e igualmente lo son las de uranio.

En la región oriental de Cuba se localizan varios pozos con concentraciones de radón bajas y concentraciones de uranio elevadas. En ella existen depósitos marinos-aluviales del Pleistoceno conformados por arenas y arenas arcillosas con intercalaciones de limos y gravas.

Como resumen de lo anterior, puede señalarse que los manantiales con concentraciones elevadas de elementos radiactivos se sitúan sobre litologías con edades comprendidas desde el Jurásico hasta el

Pleistoceno superior. Las concentraciones más altas de radón en las aguas aparecen en Banao, con litologías conformadas por esquistos y mármoles, apareciendo otros valores notables en las localidades de Montezuelo, Elguea, Yaguanabo y El Yigre. En todos estos puntos se manifiesta una importante actividad tectónica.

De los resultados expresados en la tabla también puede resumirse que las mayores concentraciones de uranio, que no se corresponden con las de radón, se dan en las localidades de Loma Alta y La Pimienta, con valores de hasta 41 y 34 ppb, respectivamente. En ambos casos se trata de pozos con aguas que contienen mineralizaciones de interés, ferrosa o fosfórica.

Localidad	Características del punto de muestreo	Numero de medidas	Litología	Edad	radón-222 Bq/l	uranio ppb
La pimienta	Pozos	10	Aglomerados	Paleoceno-Eoceno	2	1-34
Montezuelo	Pozos	7	Aglomerados	Paleoceno-Eoceno	15 -409	0,1-1,8
San Felipe	Pozos	5	Aglomerados	Paleoceno-Eoceno	1 -51	0,4 -1
El Naranjo	Pozos	3	Aglomerados	Paleoceno-Eoceno	74	-
Bibijagua	Pozos	4	Esquistos y mármoles	Jurásico medio-superior	-	0.2 - 4.5
Loma alta	Tunel	4	Granitos y rocas volcánicas	Cretácico inferior superior	1	6-41
Yaguanabo	Manantiales	4	Esquistos y mármoles	Jurásico -Cretácico	106-130	2-3
Isabelita	Manantiales	2	Granitos y rocas volcánicas	Cretácico inferior superior	16	1-3
Banao	Manantiales	6	Esquistos y mármoles	Jurásico superior	1-1000	1
Elguea	Manantiales	7	Depósitos marinos y calizas	Mioceno superior Pleistoceno	150	8
El Yigre	Manantiales	2	Calizas y dolomitas	Mioceno superior	100	3.1
La Cuquita	Pozos	6	Rocas vulcanógenas	Paleoceno-Eoceno	1	4.5-10.8
Cuenca Cauto	Pozos	26	Arenas, guijaros, arcillas	Pleistoceno medio-superior	-	1-15

CONCLUSIONES

Como conclusiones del presente trabajo cabe añadir que las aguas de los pozos y manantiales señalados contienen, en casi todos los casos, concentraciones altas de uranio que, según las normas más usuales, las hacen no adecuadas para la bebida. El valor de referencia de potabilidad con respecto al uranio es de 1 ppb, [ICRP, 1985], que se supera ampliamente en varios casos. En este sentido deben tomarse medidas de control y protección adecuadas. Aquí cabe señalar que los manantiales y pozos cuyos resultados se exponen en el trabajo son aquellos que pudieran ser representativos de la positiva potencialidad uranífera de la región y que la gran mayoría de los manantiales medidos presentan concentraciones de uranio por debajo de 1 ppb.

De la misma manera, se señala como valor de referencia de la potabilidad del agua 11 Bq/l en el caso del radón, [EPA, 1991]. Este valor se supera en varios de los manantiales estudiados pero creemos que la norma es, en este caso, no adecuada y que no deben hacerse recomendaciones al respecto.

En cambio, algunos de los altos valores de la concentración de radón encontrados son adecuados para la utilización de las aguas con fines terapéuticos. Esta utilización se realiza en el balneario de Elguea aunque otros de los manantiales mencionados muestra posibilidades interesantes en este sentido.

Características de los pozos y manantiales donde se encuentran concentraciones elevadas de elementos radiactivos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ALCAIDE, J., OLIVERA, J. (1991). Estudio de la favorabilidad uranífera en la parte oriental de la Sierra Maestra. Informe IGA.
- [2] ALVAREZ, A., FAGUNDO, J.R., CIMA, A., MORENO, A.M., SANCHEZ, L. (1996). El grupo y el Centro Nacional de Termalismo de Cuba. Resúmenes II Congreso Int. Termalismo, Cuba, p. 34.
- [3] ARMIJO, M., SAN MARTIN, J. (1994). Curas balnearias y climáticas. Editorial Complutense. Madrid.
- [4] ASIKAINEN, M. (1986). State of disequilibrium between U-238, U-234, Ra-226 and Rn-222 from bedrock. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 45, 201-206.
- [5] CASTILLO, J.E., NODARSE, J., GARCIA, N. (1996). Los recursos hidrominerales cubanos: Potencialidad, actividad minera y protección. Resúmenes II Congreso Int. Termalismo, Cuba, p. 38.
- [6] CLINE, W., ADAMOVITZ, S., BLACKMAN, C., KAHN, B. (1983). Radium and uranium concentrations in Georgia community water systems. *Health Phys.* 44, 1-12.
- [7] COTHERN, R.C., LAPPENBUSCH, W.L. (1984). Compliance data for the occurrence of radium and gross alpha particle activity in drinking water supplies in the United States. *Health Phys.* 46, 503-510.
- [8] DAVIS, R.M., WATSON, J.E. (1990). Influence of Ra-226 concentration in surrounding rock on Rn-222 concentration in ground water. *Health Phys.* 58, 369-371.
- [9] E.P.A. (1991). Environmental Protection Agency. Recommendations for radioactivity concentrations in drinkable water.
- [10] I.C.R.P. (1985). International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP 15, 3. Pergamon Press, Oxford.
- [11] KLEINDORF, B., PERERA, J., HERRERA, L., FONTEBOA, J., ROMERO, J. (1996). El turismo de salud en Cuba. Resúmenes II Congreso Int. Termalismo, Cuba, p. 36.
- [12] LAWRENCE, E., POETER, E., WANTY, R. (1991). Geohidrología, geoquímica y geología controls on the occurrence of radon in groundwater near Conifer, Colorado, USA. *J. Hidrol.* 127, 367-386.
- [13] MARTINEZ, J.L., ROQUE, R., FERNANDEZ, I. (1996). Potencial de las aguas minero medicinales del municipio Madruga para termalismo curativo de recreo y turismo de salud. Resúmenes II Congreso Int. Termalismo, Cuba, p. 57.
- [14] PERIUT, J.A., GONZALEZ, Z.A., VAZQUEZ, J., VILA, P., SANCHEZ, O., FUSTE, C. (1996). Eficacia de las aguas minero medicinales y fangos en el tratamiento de la artritis reumatoidea en el balneario Elguea. Resúmenes II Congreso Int. Termalismo, Cuba, p. 66.
- [15] RODRIGUEZ, D. (1995) Aguas minerales y termalismo. *Business Tips on Cuba*, 2, 12, 32-33.
- [16] SOTO, J., FERNANDEZ, P.L., GOMEZ, J., QUINDOS, L.S., DELGADO, M.T. (1992). Radón en el agua de una región de alto nivel de radiación natural. *Bol. Soc. Esp. Hidrol. Med.* VII, 2, 85-88.
- [17] SOTO, J., FERNANDEZ, P.L., GOMEZ, J., RODENAS, C. (1995a). Study of the occurrence of Rn-222 in drinking water in Spain. *Health Phys.* 69, 961-965.
- [18] SOTO, J., FERNANDEZ, P.L., QUINDOS, L.S., GOMEZ, J. (1995b). Radioactivity in Spanish spas. *Sci. Total Environ.* 162, 187-192.
- [19] VALDES, G., ALCAIDE, J., MORENO, A.M., MACHADO, A., VALDES, M.J. (1995). El radón en las aguas minero medicinales. Salud, ambiente y turismo. Resúmenes III Jornada Nacional de Termalismo, Cuba, p. 52-53.
- [20] VALDESPINO, R., TORRES, O. (1995). Beneficios terapéuticos de los peloides de la salina "10 de abril" en pacientes portadores de asma bronquial. Resúmenes III Jornada Nacional de Termalismo, Cuba, p. 10.
- [21] VILLALONGA, M., GUZMAN, N., ACOSTA, I. (1996). Balneario San Diego de los Baños. Turismo y salud. Resúmenes II Congreso Int. Termalismo, Cuba, p. 40.