

s Termales de Importancia Recreacional en el Estado de Chihuahua

M. V. Moreno López¹, L. F. González Pico¹, A. Benavides Montoya¹, A. D. Rubio Gómez¹, S. V. Miranda Navarro¹.

Introducción

El estado de Chihuahua cuenta con diversas regiones de aguas termales que se utilizan principalmente con fines recreativos o como tratamientos curativos. Estas aguas se clasifican según sus propiedades físicas y químicas, por lo que dependiendo de su composición pueden ser cloruradas, sulfatadas y ferruginosas (Pauwels, 1996).

Además de los elementos típicos de los que se compone el agua, como son Na, K, Mg y Ca, los cuales se determinan fácilmente, los elementos comúnmente encontrados en las aguas termales son As, S, Sb, B, Tl y Hg (Taran et. al., 2008; McKenzie et.al., 2001).

El arsénico actúa como un tóxico de acción crónica. Se acumula en el organismo de forma irreversible a través de los años. Se absorbe por vía oral, respiratoria y cutánea siendo la liposolubilidad el factor principal que facilita su ingreso al organismo. Se deposita en hígado, riñón, leucocitos, bazo, pulmón, pelo, uñas y en la hemoglobina. La excreción se realiza por medio del riñón, bilis, materia fecal, pelos, uñas y piel. Existen, asimismo, informes que indican un incremento de enfermedades cardiovasculares, diabetes, desórdenes neurológicos y desórdenes hematológicos en los grupos expuestos a concentraciones altas de arsénico (Guber et. al., 2009).

En relación con su letalidad potencial, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (USEPA), clasifica al As como carcinógeno del grupo A y el Centro de Investigaciones sobre Cáncer lo incluye en el grupo I indicando en ambos casos que el agente (o una mezcla que lo contenga) es carcinógeno para los seres humanos (Cantor y Lubin, 2007).

El objetivo de este estudio es determinar el contenido de arsénico presente en las aguas termales de los sitios más visitados en nuestro estado con fines recreativos o como tratamientos curativos y evaluar si cumplen con los valores máximos permitidos por normatividad o representan un riesgo para la salud de las personas que frecuentan estos lugares.

Metodología

Los muestreos se realizaron a principios del mes de julio del 2009, la ubicación de los sitios de muestreo se presenta en la figura 1, los cuales se seleccionaron debido a su importancia en el estado de Chihuahua por su uso recreativo. Se tomaron tres muestras de agua en cada punto y muestras de sedimento en San Diego de Alcalá. Se midió en sitio la conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH) y temperatura de las muestras de agua.

Preparación de Muestras

Agua: Se utilizó un digestor de microondas marca CEM modelo MarsX, siguiendo el método SW3015 de la EPA.

Sedimento: Las muestras de sedimento se digirieron en parrilla de calentamiento, pesando 0.5 g de muestra (peso

seco) y adicionando 10 ml de HNO₃. Sólo se encontró la presencia de sedimento en San Diego de Alcalá, donde se colectaron muestras por duplicado en dos sitios de este lugar, en los sitios de muestreo Los Manantiales y Ojo Caliente las muestras se tomaron en áreas dentro de los balnearios y no fue posible el acceso a los sitios en donde se encuentra el sedimento.

Análisis Químicos

El análisis químico de las muestras se realizó en el espectrofotómetro de absorción atómica de la marca GBC, modelo Avanta, utilizando como sistema de introducción de muestra un generador de hidruros de la marca GBC, modelo HG 3000. Las disoluciones estándar de calibración se prepararon por diluciones sucesivas del material de referencia certificado de 1000 ± 3 mg/L de arsénico de la marca High Purity.



Figura 1.- Ubicación de los sitios de muestreo.

Resultados

Los valores de pH encontrados en las muestras de agua se encuentran dentro del límite máximo permisible para embalses naturales y artificiales (NOM-001-ECOL-1996). Respecto a los datos encontrados de conductividad eléctrica estos son característicos de este tipo de sitios, sin embargo se observa que en Ojo Caliente se presentan una mayor cantidad de sales disueltas. Los valores de temperatura encontramos que coinciden con los reportados por Cidu y Bahaj (2000) entre 31-52 °C (Tabla 1).

El arsénico es uno de los elementos considerados dentro de la normatividad mexicana NOM-001-ECOL-

¹ Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Miguel de Cervantes No. 120. Complejo Industrial Chihuahua. C.P. 31109. Tel. (614) 4394821. e-mail: myriam.moreno@cimav.edu.mx

misible público de 100 $\mu\text{g/L}$ en promedio mensual y 200 $\mu\text{g/L}$ en promedio diario, lo cual indica que la concentración de arsénico en los sitios estudiados se encuentra en el límite máximo permisible por esta normatividad, presentándose la mayor concentración (170.337 $\mu\text{g/L}$) en San Diego de Alcalá, seguido por Ojo caliente (164.324 $\mu\text{g/L}$), estos valores coinciden con los encontrados por Galindo y colaboradores (2005) en un estudio realizado en aguas termales de Tucumán, Argentina.

En el caso de las muestras de sedimento de San Diego de Alcalá se encontraron concentraciones de arsénico que nos indican una severa contaminación por arsénico, por lo que es muy importante darle seguimiento a estudios en los cuales se propongan alternativas de remediación a esta situación (tabla 2). Por otro lado es necesario realizar estudios de especiación de arsénico ya que la principal especie encontrada en estudios realizados en aguas termales en Naples, Italia por Valentino y colaboradores (2003) fue arsenito (As^{III}), siendo esta la especie más tóxica de este elemento.

Tabla 1. Valores promedio de conductividad eléctrica, temperatura y pH de las muestras de agua.

Sitio de muestreo	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pH
Ojo Caliente	3390	38.1	6.65
Los Manantiales	1503	43.0	7.76
San Diego de Alcalá	1604	43.2	7.42

Tabla 2. Concentración de arsénico presente en las muestras de agua y sedimento.

Sitio de muestreo	Concentración de Arsénico ($\mu\text{g/L}$)
Ojo Caliente	164.324
Los Manantiales	106.641
San Diego de Alcalá	170.337
San Diego de Alcalá (Sedimento 1)	6213.750
San Diego de Alcalá (Sedimento 2)	4377.600

Conclusiones

Los resultados de este estudio nos indican que la concentración de arsénico en el agua de los sitios analizados se encuentra en el límite máximo permitido por la normatividad mexicana para aguas de uso público urbano en embalses naturales y artificiales. Respecto a los resultados de sedimento se concluye que es necesario tener un mayor control en los sitios de aguas termales utilizados principalmente para fines curativos, ya que en estos casos la piel de las personas está completamente en contacto y por tiempos prolongados con el sedimento. Es evidente en esta investigación que el arsénico se concentra en el sedimento de los cuerpos de aguas termales alcanzando

¹ Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. Miguel de Cervantes No. 120. Complejo Industrial Chihuahua. C.P. 31109. Tel. (614) 4394821. e-mail: myriam.moreno@cimav.edu.mx

concentraciones tan altas que es sumamente nocivo para el ser humano, por lo que se recomienda realizar un monitoreo continuo de estos sitios, principalmente en el verano, ya que es en esta época cuando son visitados por un gran número de personas.

Bibliografía

Cantor K.P., J.H. Lubin. 2007. Arsenic, internal cancers, and issues in inference from studies of low-levels exposures in human populations. *Toxicol Appl Pharmacol.* 222. 252-257.

Cidu R., Saadia B. 2000. Geochemistry of thermal waters from Morocco. *Geothermics.* Vol. 29. 407-430.

Galindo G., J. L. Fernández, M.A. Parada, D. G. Torrente. 2005. El arsénico en las aguas termales del sur de la cuenca del Río Salí, Tucumán, Argentina. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. ISBN: 987-05-0058-7. 63-72.

Guber M.S., L. Tefaha, N. Arias, N. Sandoval, R. Toledo, M. Fernández, C. Bellomio, M. Martínez, A. Soria de González. 2009. Contenido de arsénico en el agua de consumo en Leales y Graneros (Provincia de Tucumán-Argentina). *Acta Bioquím Clín Latinoam.* 43 (2). 201-207.

McKenzie E., K. Brown, S. Cady, K. Campbell. 2001. Trace metal chemistry and silicification of microorganisms in geothermal sinter, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geothermics.* Vol. 30. 4836502.

NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales.

Pauwels H., C. Fouillac. (1997). The isotopic and chemical composition of CO_2 -rich thermal waters in the Mont-Dore region (Ma&f-Central, France). *Applied Geochemistry,* Vol. 12, 411-427.

Taran Y., D. Rouwet, S. Inguaggiato, A. Aiuppa. 2008. Major and trace element geochemistry of neutral and acidic thermal springs at El Chichón volcano, Mexico-Implications for monitoring of the volcanic activity-. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* Vol. 178. 2246236.

Valentino G.M., D. Stanzione. 2003. Source processes of the thermal waters from the Phlegraean Fields (Naples, Italy) by means of the study of selected minor and trace elements distribution. *Chemical Geology.* Vol. 194. 245-274.