

Investigación de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela

A. Sarmiento^a / M. Rojas^a / E. Medina^a / C. Olivet^a / J. Casanova^b

^aCentro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo (CITUC). Valencia. Venezuela.

^bEscuela de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Sanitaria. Valencia. Venezuela.

Correspondencia: Dr. A. Sarmiento. Centro de Investigaciones Toxicológicas. Universidad de Carabobo (CITUC).

Calle 144, n.º RIO-211. La Ceiba (Valencia). Venezuela.

Correo electrónico: cituc@telcel.net.ve; sarmie@cantv.net

Recibido: 12 de julio de 2002.

Aceptado: 28 de enero de 2003.

(Trihalomethanes in the drinking water of Carabobo State, Venezuela)

Resumen

Objetivo: La desinfección del agua con cloro en las plantas de potabilización da lugar a la formación de trihalometanos (THM). Estos compuestos están asociados a efectos adversos para la salud. En este estudio se determinó la concentración de THM en el agua para consumo humano suministrada por las redes de distribución de los dos principales sistemas de potabilización de agua del Estado Carabobo, la planta Alejo Zuloaga y el embalse Pao-Cachinche que forman el Sistema Regional del Centro I (SRC-I) y la planta Lucio Baldo Soules y el embalse Pao-La Balsa que forman el Sistema Regional del Centro II (SRC-II).

Métodos: Se analizaron un total de 144 muestras recolectadas durante 6 muestreos que se realizaron durante los años 2000 y 2001. La concentración de THM se determinó por cromatografía de gases, mediante la técnica de *headspace*. Se determinaron las concentraciones para los siguientes THM: cloroformo (CHCl₃), bromoformo (CHBr₃), dibromoclorometano (CHBr₂Cl) y diclorobromometano (CHCl₂Br).

Resultados: La concentración de THM totales estuvo entre 47,84 y 93,23 µg/l. El CHCl₃ fue el compuesto predominante, representando el 83% de total de THM para el SRC-I y el 82% en el SRC-II. Se encontró que las concentraciones de THM totales en el SRC-I (Red Baja y Red San Diego) son significativamente superiores ($p < 0,05$) con respecto a la concentración máxima permisible establecida por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (80 µg/l) para el total de los cuatro THM.

Conclusiones: Los resultados demuestran que en la zona de estudio existe un riesgo de efectos adversos para la salud por la presencia de THM en agua de consumo humano, especialmente en la Red Baja y Red San Diego del SRC-I.

Palabras clave: Cloro. Desinfección. Trihalometanos. Agua potable.

Abstract

Objective: Disinfection of water with chlorine in water treatment plants leads to the formation of trihalomethanes (THMs). These compounds are associated with adverse health effects. The aim of this study was to analyze THM concentrations in the water provided for human consumption in the two main water treatment systems of Carabobo State: the Alejo Zuloaga plant and the Pao-Cachinche reservoir, which form the Central Regional System I (CRS I), and the Lucio Baldo Soules plant and the Pao-La Balsa reservoir, which form the Central Regional System II (CRS II).

Methods: We analyzed 144 water samples collected in 6 samplings carried out in 2000 and 2001. THM concentrations were determined by gas chromatography using the *headspace* technique. The concentrations of the following THMs were measured: chloroform (CHCl₃), bromoform (CHBr₃), chlorodibromomethane (CHBr₂Cl) and bromodichloromethane (CHCl₂Br).

Results: The concentration of total THMs was between 47.84 µg/l and 94.23 µg/l. CHCl₃ was the most commonly formed compound representing 83% of all THMs in the CRS I and 82% in the CRS II. The concentrations of total THMs in the CRS I, specifically in the Baja and San Diego networks, were significantly higher ($p < 0.05$) than permissible levels set by the American Environmental Protection Agency (80 µg/l) for the sum of all four THMs.

Conclusions: The results show that in the area studied there is a risk of adverse health effects due to THMs in drinking water, especially in the Baja and San Diego networks.

Key words: Chlorine. Disinfection. Trihalomethanes. Drinking water.

Introducción

Los suministros de agua potable requieren alguna forma de desinfección para prevenir la transmisión de enfermedades causadas por bacterias, virus y protozoarios, y efectos adversos debidos a la presencia de agentes químicos contaminantes¹. Entre los desinfectantes utilizados se encuentran el cloro, las cloraminas, el ozono o el dióxido de cloro. La mayoría de las aguas municipales de Venezuela son desinfectadas con cloro, siendo el método más apropiado en términos de coste-efectividad. Para desinfectar el agua se usan tres formas de cloro: cloro líquido o gas (Cl_2), hipoclorito de calcio ($\text{Ca}[\text{OCl}]\text{I}$)₂ e hipoclorito de sodio (NaOCl). El Cl_2 se usa en forma de líquido, en cilindros presurizados o, mayoritariamente, en forma gaseosa².

La desinfección del agua mediante cloración es adecuada para la eliminación de agentes infecciosos causantes de enfermedades, pero tiene el inconveniente de originar una serie de subproductos tóxicos de la desinfección, siendo los más abundantes los trihalometanos (THM) y los ácidos haloacéticos (HAA)³. Los primeros se producen cuando el cloro reacciona con la materia orgánica presente, formada por sustancias húmicas (SH) y fúlvicas⁴. Los THM originados mediante este proceso incluyen el cloroformo (CHCl_3), el bromodibromometano (CHBrCl_2), el clorodibromometano (CHClBr_2) y el bromoformo (CHBr_3), todos ellos volátiles^{3,5}. La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) ha establecido como valor máximo permisible para la sumatoria de los cuatro THM más importantes un valor de 80 $\mu\text{g/l}$ ⁶. De hecho, se ha observado una asociación positiva entre la concentración de los productos de la cloración y el riesgo de cáncer de vejiga, colon y recto^{3,7,8}. Algunos THM, como los que contienen cloro y/o bromo, son cancerígenos y/o teratógenos en bioensayos con animales^{1,3}.

El Estado Carabobo se encuentra ubicado en la región central de Venezuela y tiene una población de 1.913.428 habitantes⁹. El suministro de agua en este Estado se realiza a través de dos sistemas de bombeo conocidos como Sistema Regional del Centro I (SRC-I) y Sistema Regional del Centro II (SRC-II). El SRC-I está constituido por el embalse Pao-Cachinche y la planta de tratamiento Alejo Zuloaga, mientras que el SRC-II lo forman el embalse Pao-La Balsa y la planta de tratamiento Lucio Baldo Soules. En el embalse Pao-Cachinche, principal fuente de abastecimiento de agua del Estado, se ha detectado una acumulación importante de materia orgánica, lo que ha obligado a sobreutilizar el cloro como desinfectante. Según la información obtenida de los organismos encargados de la planta de distribución de agua, ni en las plantas ni en las redes de distribución se realizan monitorizaciones

periódicos para determinar la presencia de THM (M. Estaba, Compañía Anónima Hidrológica del Centro, comunicación personal). Por todo ello, se consideró necesaria la evaluación de los valores de THM en el agua potable en este Estado que, por ser una zona industrial con diversas fuentes de contaminación, requiere la utilización de dosis de cloro elevadas (pudiendo llegar a 60 mg/l) como agente desinfectante, sobre todo en períodos de brotes de enfermedades, como el cólera. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la concentración de THM en el agua potable del Estado Carabobo en las redes de distribución pertenecientes al SRC-I y SRC-II (fig. 1).

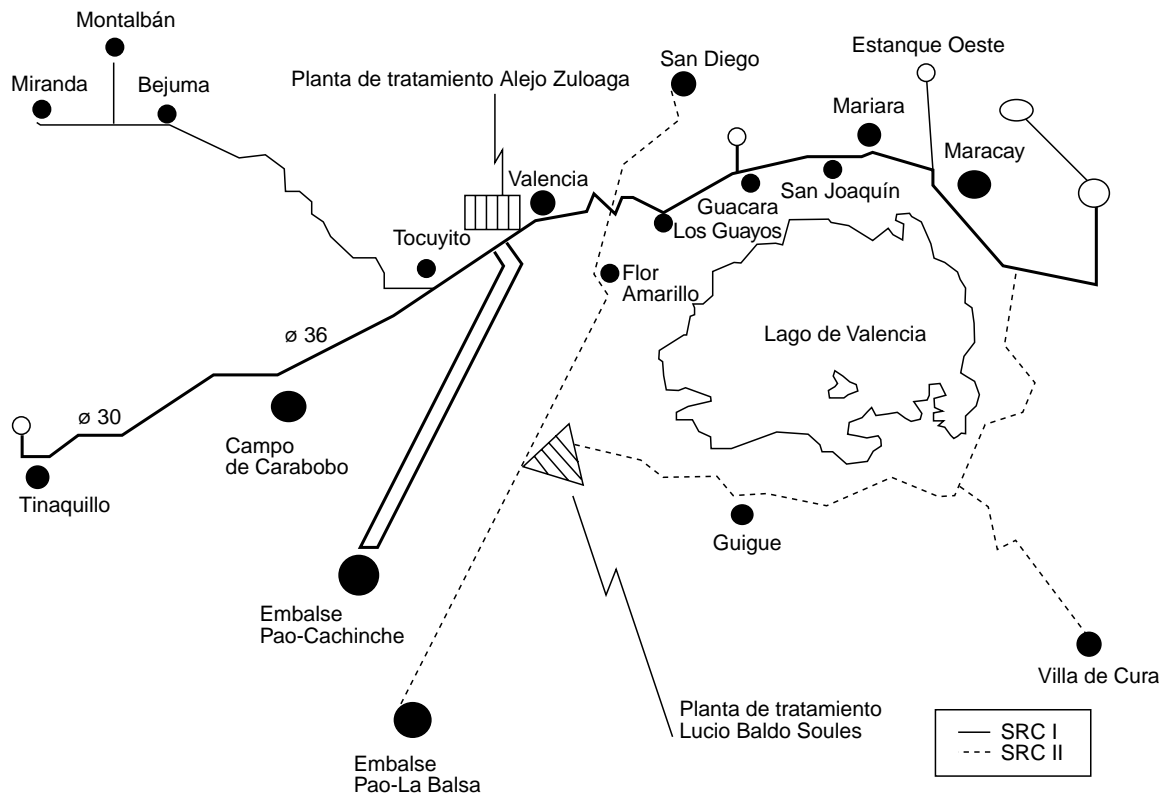
Métodos

Venezuela tiene dos estaciones climáticas propias de las zonas tropicales (lluviosa, de mayo a octubre, y seca, de diciembre a marzo)¹⁰. Para el presente estudio se llevaron a cabo un total de 6 muestreos cubriendo estos períodos, obteniéndose las muestras durante los meses de julio y septiembre del 2000 (estación lluviosa), noviembre (período de transición) y diciembre de 2000 y febrero y marzo del 2001 (estación seca). En cada uno de los muestreos se obtuvieron 15 muestras del SRC-I y 9 muestras del SRC-II, llegándose a un total de 144 muestras.

En la figura 2 se representa el diagrama de una de las plantas de tratamiento consideradas en el estudio. En el caso de esta planta, perteneciente al SRC-I, se obtuvieron puntos de captación de muestras del Sistema Convencional (muestras cruda, floculada, sedimentada, salida del filtro #10 y pozo de succión) y del Sistema Degremont (muestras cruda, decantada, tanquilla de los filtros, salida del filtro #10 y pozo de succión). También se obtuvieron muestras de las redes de distribución del SRC-I (media, baja, alta, Naguanagua y San Diego). En el SRC-II, para el cual no existe Sistema Degremont, se obtuvieron las muestras del Sistema Convencional de la planta Lucio Baldo Soules (muestras cruda, floculada, sedimentada, salida de los filtros y pozo de succión) y de las redes de distribución (Barrio El Frío, entrada y salida de estación de bombeo Guacara y San Joaquín).

Las muestras se envasaron en recipientes ámbar de vidrio de 1 l, con tapa de baquelita y de boca angosta. El frasco se llenaba por completo, de forma que la cantidad de aire fuera mínima. A las muestras se les agregó 0,01 g de sulfito de sodio, como conservador. La concentración de THM se determinó mediante la técnica de *headspace* descrita por Saavedra y Breto¹¹, utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14, con detector de captura de electrones, con una columna de vidrio empacada SE-30 sobre Chrom W-HP de 2 m de

Figura 1. Distribución de las redes de los sistemas de potabilización del agua (SRC-I y SRC-II). Estado de Carabobo, Venezuela.



largo, 3,4 mm de diámetro interno y 5 mm de diámetro externo. Se determinaron los trihalometanos CHCl_3 , CHBr_3 , CHBr_2Cl y CHCl_2Br . El análisis estadístico fue realizado con el programa SPSS versión 9. Se establecieron medidas de tendencia central y la prueba de la t de Student para una muestra. El nivel de significación establecido fue $p \leq 0,05$.

Resultados

En la figura 3 se presentan las concentraciones de THM en los SRC I y II según fecha de muestreo. Se puede observar que el CHCl_3 fue el THM encontrado en mayor concentración, especialmente en la red del SRC-I. Esta concentración fue significativamente superior ($p < 0,05$) a la suma de la concentración de los THM bromados. El CHBr_3 no fue detectado, mientras que las concentraciones de CHBr_2Cl fueron muy bajas y no variaron mucho con el tiempo. Las concentraciones obtenidas de THM totales de los SRC I y II se observan en las figuras 4 y 5. En general, las concentraciones de THM se encuentran más bajas en el SRC-II.

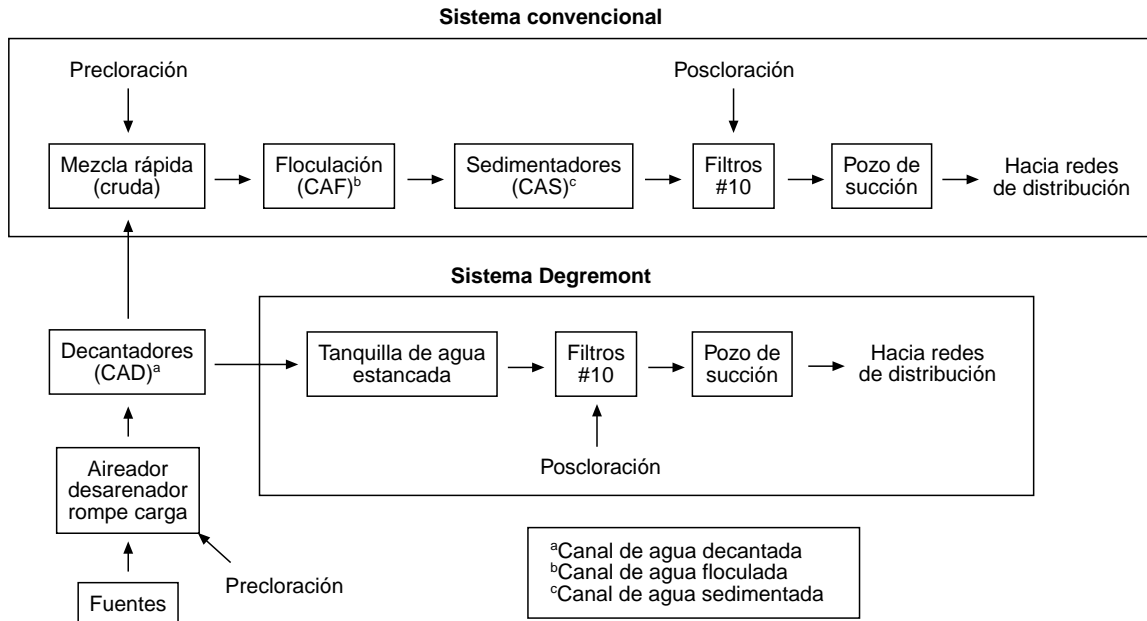
En la tabla 1 se exponen las concentraciones medias de THM para los periodos de lluvia y sequía. Se puede observar que para cada punto de muestreo en las redes del SRC-I, las concentraciones de THM obtenidas en el periodo de lluvia no fueron estadísticamente diferentes a las encontradas en el periodo de sequía. Para el SRC-II se observa que, a la salida de la Estación de Bombeo Guacara, la concentración de THM durante el periodo de lluvia fue significativamente superior al de sequía, a diferencia del encontrado para la red San Joaquín, donde resultó significativamente superior en este periodo.

Las concentraciones medias de THM totales de los SRC-I y SRC-II fueron significativamente superiores al límite máximo permisible establecido por la EPA (80 $\mu\text{g/l}$) para la sumatoria de los cuatro THM¹², específicamente para la Red Baja y la Red San Diego (tabla 2).

Discusión

El CHCl_3 fue el THM encontrado en mayor concentración en la zona de estudio, al igual que se ha ob-

Figura 2. Diagrama de la planta de tratamiento de aguas potables Alejo Zuloaga. Estado de Carabobo, Venezuela.



servado en estudios similares realizados en otras zonas^{6,13-16}. Se sabe que la presencia en la materia orgánica de una fracción húmica y otra fúlvica, que contienen gran cantidad de compuestos con enlaces insaturados, son los responsables de la formación del CHCl_3 , siendo la fracción húmica (que contiene grupos funcionales: acetilos, carboxilos, fenólicos, alcoholes, carbonilos y metoxi), la que reacciona en una mayor ex-

tensión con el cloro a través de reacciones de oxidación y sustitución^{17,18}.

En relación con la ausencia de CHBr_3 , hallazgo que coincide con el estudio de Chang et al¹⁹, ésta puede ser debida a que las fuentes que abastecen a los embalses estudiados provienen principalmente de aguas de ríos y aguas superficiales en las que, según estudios realizados, el contenido de bromo es generalmente

Figura 3. Concentraciones de THM ($\mu\text{g/l}$) en los SRC-I y SRC-II según la fecha de muestreo.

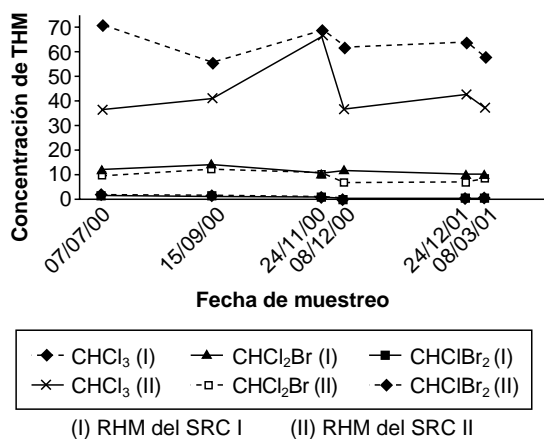


Figura 4. Concentraciones de THM totales ($\mu\text{g/dl}$) del SRC-I según el punto y la fecha de muestreo.

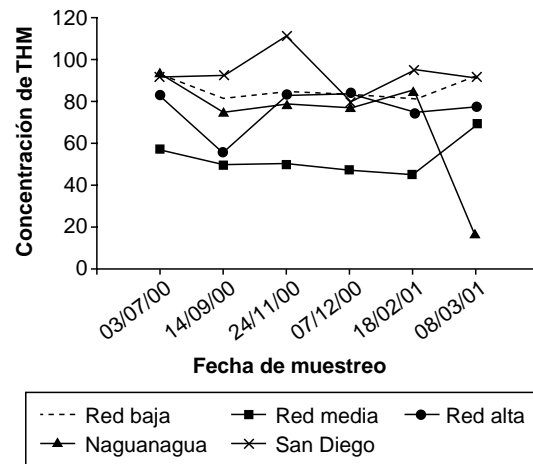
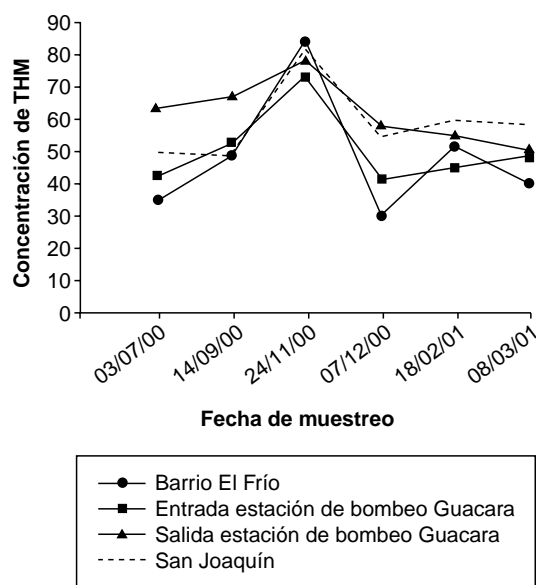


Figura 5. Concentración de THM total ($\mu\text{g}/\text{dl}$) del SRC-II según el punto y la fecha de muestreo.



bajo¹³. En relación con las concentraciones más bajas de THM en el SRC-II, cabe suponer que estos resultados son debidos a que el agua distribuida por este sistema es obtenida del embalse Pao-La Balsa, al cual se le aplica una dosis de cloro mucho más baja comparada con la aplicada al SRC-I. Este último es el principal sistema de distribución del Estado Carabobo y es alimentado por el embalse Pao-Cachinche, al cual llegan numerosos tributarios que se encuentran en áreas de densa población y en lugares donde se ha desarrollado mucha actividad industrial. Por ello, muchos contaminantes son descargados a esos tributarios²⁰. De hecho, el Pao-Cachinche está atravesando una situación crítica en cuanto al contenido de materia orgánica presente en el mismo. La sobredosis de cloro em-

pleada podría derivar en mayor cantidad de precursores de la formación de THM. Esto confirma lo observado por Lee et al¹⁵ en un estudio similar, donde confirmaron que altas dosis de cloro aumentan la formación de THM, siendo el CHCl_3 la especie que se forma en mayor cantidad y cuya proporción puede llegar a ser superior al 50% de la cantidad de los THM totales.

Al comparar los resultados de THM obtenidos en el SRC-I y SRC-II con respecto a la época de lluvia y sequía, se puede señalar que, a pesar de corresponder los meses desde julio a agosto del año 2001 a la época lluviosa, el nivel del embalse Pao-Cachinche estaba por debajo del nivel de alivio (máximo nivel de agua alcanzado por el embalse en la época lluviosa, 157 millones de m^3). Durante ese período, las concentraciones medias de THM en la Red Baja y la Red San Diego (tabla 2) resultaron superiores al límite permisible. Debe señalarse que estos resultados fueron obtenidos en las tomas de muestra que se realizaron en meses donde el nivel del embalse estaba por debajo del nivel de alivio. Por otra parte, es importante destacar que durante noviembre se utilizó mayor cantidad de cloro (23 y 27 mg/l en el sistema Convencional y Degremont, respectivamente) en la Planta Alejo Zuloaga, comparada con los otros meses muestreados, produciéndose una mayor concentración de THM en las redes del SRC-I para esa fecha. Estas observaciones coinciden con los estudios de Clark y Sivaganesan⁵ y Lee et al¹⁵, que encuentran que las dosis elevadas de cloro favorecen la formación de THM.

Existen algunos trabajos venezolanos donde se han realizado determinaciones de THM en acueductos nacionales. En un trabajo efectuado por el Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables²¹ se estudió la presencia de THM en las aguas del Acueducto Regional del Centro (Estado Carabobo) y del Acueducto Metropolitano (Distrito Federal). En este trabajo se encontró que, en ambos casos, los valores de THM totales fueron menores a 52 $\mu\text{g}/\text{l}$. Igualmente, Saavedra y Breto¹¹, que evaluaron muestras de agua de la Planta de tratamiento Alejo Zuloaga del Estado Carabobo, ob-

Tabla 1. Concentraciones medias de THM totales ($\mu\text{g}/\text{l}$) durante los períodos de lluvia y sequía para las redes de distribución del SRC-I y SRC-II (fig. 1). Estado Carabobo, Venezuela

Tipo de red		Lluvia	Sequía	t de Student	p
Sistema regional del centro I	Red media	53,9	55,3	-0,135	0,901
	Red baja	86,9	87,0	-0,023	0,983
	Red alta	69,5	79,7	-0,748	0,583
	Naguanagua	84,7	61,3	0,833	0,466
	San Diego	92,4	89,7	0,429	0,697
Sistema regional del centro II	Barrio El Frío	41,7	40,2	0,151	0,889
	Entrada Estación de Bombeo Guacara	47,3	44,4	0,586	0,599
	Salida Estación de Bombeo Guacara	64,9	54,2	3,59	0,037
	San Joaquín	48,9	56,9	-3,86	0,031

Tabla 2. Concentraciones medias de THM totales ($\mu\text{g/l}$) para las redes de distribución del SRC-I y SRC-II (véase fig. 1) y comparación con el límite máximo permisible (80 $\mu\text{g/l}$). Estado Carabobo, Venezuela

Sistema	Muestras	Media	t de Student	p
SRC-I	Red baja	86,78	3,18	0,024
	Red media	54,13	-7,08	0,001
	Red alta	76,94	-0,69	0,520
	Naguanagua	72,16	-0,71	0,505
	San Diego	94,23	3,47	0,018
SRC-II	Barrio El Frío	47,84	-4,089	0,009
	Entrada Estación Bombeo Guacara	50,24	-5,946	0,002
	Salida Estación Bombeo Guacara	61,77	-4,453	0,007
	San Joaquín	58,62	-4,088	0,009

servaron una concentración promedio de THM de 80 $\mu\text{g/l}$. En 1993 se realizó una determinación de THM en la Planta de tratamiento Alonso de Ojeda de la ciudad de Maracaibo, obteniéndose una concentración media de THM de 56,6 $\mu\text{g/l}$, siendo el cloroformo el principal constituyente con una media de 39,1 $\mu\text{g/l}$ ²².

Los resultados del presente estudio demuestran que la concentración de THM en las redes Baja y San Diego fueron superiores al límite permisible de la EPA (80 $\mu\text{g/l}$). Es importante señalar el hecho de que estas redes se encuentran a la intemperie, expuestas al sol, factor importante si tenemos en cuenta que la formación de THM aumenta proporcionalmente con el incremento de la temperatura del agua^{17,18}. Según la información suministrada por la empresa que realiza el tratamiento del agua, estas

redes no han recibido mantenimiento desde su instalación (Estaba M, Compañía Anónima Hidrológica del Centro, comunicación personal), lo cual podría originar la formación de biopelículas en las paredes de las tuberías y acumulación de materia orgánica. El cloro libre presente en las redes puede reaccionar con estas biopelículas, y el producto de esta reacción puede ser una fuente de precursores de materia orgánica, causando así la gradual disminución del cloro libre en el sistema de distribución y contribuyendo de esta forma a la generación de THM¹⁶.

Los resultados de este estudio demuestran la presencia de THM en el agua de consumo público en concentraciones significativas en la zona de estudio, especialmente en la Red Baja y Red San Diego del SRC-I, por lo que existe un riesgo de efectos adversos a la salud en la población abastecida. Se recomienda realizar evaluaciones periódicas de THM en las redes de distribución de los sistemas de tratamiento estudiados, así como un adecuado mantenimiento de estas redes, con especial atención sobre el SRC-I y las redes Baja y San Diego.

Agradecimiento

Al Centro de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo (CDCH-UC) por el financiamiento de este Proyecto. A la Gerencia de Control de Calidad y Aseguramiento de la empresa Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO) por su apoyo financiero y colaboración en la captación de las muestras del presente estudio.

Bibliografía

- Craun G, Bull R, Clark R, Clark R, Doull J, Marsh G, et al. Balancing chemical and microbial risk of drinking water disinfection. Part I. Benefits and potential risks. *J Water SRT-Aqua* 1994;43:192-9.
- Leidholdt R. Chlorine-Special Agent for disinfection water. *Opflow* 1982;8:1-7.
- Boorman G, Dellarco V, Dunnick J, Chapin R, Hunter S, Hauchman F, et al. Drinking water disinfection by-products: review and approach to toxicity evaluation. *Environ Health Perspect* 1999;107:207-17.
- Kuivinen J, Johnson H. Determination of trihalomethanes and some chlorinated solvents in drinking water by headspace technique with capillary column gas chromatography. *Water Res* 1999;33:1201-8.
- Clark R, Sivaganesan M. Predicting chlorine residuals and formation of THMs in drinking water. *J Envir Engrg* 1998; 124:1903-10.
- Weisel C, Kim H, Haltmeier P, Klotz J. Exposure estimates to disinfection by-products of chlorinated drinking water. *Environ Health Perspect* 1999;107:103-10.
- Savitz D, Andrews K, Pastore L. Drinking water and pregnancy outcome in Central North Carolina. Source, amount and trihalomethane levels. *Environ Health Perspect* 1995;103:592-6.
- Villanueva CM, Kogevinas M, Grimalt JD. Cloración de agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gac Sanit* 2001;15: 48-53.
- Así va el censo 2001. Avance informativo N.º 9 [citado 13-11-2002]. Disponible en: http://www.ine.gov.ve/ine/censo/boletines/asi_va_el_censo09.pdf
- UCV. Recursos hídricos en Venezuela. I seminario: situación y perspectivas. Publicaciones Comisión de estudios interdisciplinarios. Caracas: UCV, 1998.
- Saavedra F, Breto G. Una metodología para la medición de THMs presentes en agua potable (trabajo de ascenso). Valencia: Universidad de Carabobo, 1984.
- U.S. Environmental Protection Agency. Primary drinking water regulations: disinfectants and disinfection by products notice of data availability. Washington DC: EPA, 1998.
- Kuo W, Chiang T, Lo I, Lai J, Chan C, Wang J. VOC Concentration in Taiwan's household drinking water. *Sci Total Environ* 1997;208:41-7.
- Calderón J, Capell C, Centrich F, Artazcoz L, González-Cabré M, Villalbí JR. Subproductos halogenados de la cloración en agua de consumo público. *Gac Sanit* 2002;16:241-3.

15. Lee K, Kim B, Hong J, Pyo H, Park S, Lee D. A study on the distribution of chlorination by-products (CBPs) in treated water in Korea. *Water Res* 2001;35:2861-72.
 16. El Shafy M, Grünwald A. THM formation in water supply in South Bohemia, Czech republic. *Water Res* 2000;34:3453-9.
 17. Elshorbagy W, Abu-qdais H, Elsheamy M. Simulation of THM species in water distribution systems. *Water Res* 2000;14:3431-9.
 18. Tumbas I, Dalmacija B, Tamas Z, Karlovic E. The effect of different drinking water treatment processes on the rate of chloroform formation in the reactions of natural organic matter with hypochlorite. *Water Res* 1999;33:3715-22.
 19. Chang E, Chao S, Chiang P, Lee J. Effects of chlorination on THMs formation in raw water. *Environ Toxicol Chem* 1996; 56:211-25.
 20. MARN. Estudio de la cuenca del lago de Valencia integral de los tributarios (1997-2000). Maracay: Convenio MARN-JICA, 2001; p. 7-22.
 21. Prieto A, Herrera L. Determinación de trihalometanos en el agua potable de Maracaibo. Maracaibo: Universidad del Zulia, 1993.
 22. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Presencia y origen de trihalometanos en las aguas del Acueducto Metropolitano y Acueducto Regional del Centro. Caracas: MARNR, 1988; p. 1-36.
-