

CARACTERIZACIÓN DE LOS NIVELES DE TRIHALOMETANOS (THMs) EN MUESTRAS DE AGUA POTABLE, PROVENIENTES DE LA PLANTA REGIONAL UBICADA EN EL MUNICIPIO DE COGUA - ZIPAQUIRÁ, COLOMBIA: UN ESTUDIO DE LAS CAUSAS Y EFECTOS

Borda Olga¹, Guerrero Ariel², Moreno Andrea³, Ayala Luis⁴

¹⁻⁴ Universidad La Gran Colombia, Bogotá D-C - Colombia. olga.borda@ugc.edu.co¹, ariel.guerrero@ugc.edu.co², andrea.moreno@ugc.edu.co³, luisefren.ayala@ugc.edu.co⁴

Abstract–

Within the framework of the hydraulics research line of the Faculty of Civil Engineering of the University of La Gran Colombia, the advances in the development of an investigation related to the evaluation of trihalomethane waste levels (THMs) are presented here: Chloroform: CHCl_3 , chlorodibromomethane: CHClBr_2 , bromodichloromethane: CHCl_2Br and tribromomethane: CHBr_3 , in drinking water samples.

THMs, constitute one of the major by-products that are formed by the reaction of residual chlorine -which remains in the water due to disinfection processes- and the organic matter that is naturally present. Its determination is of special interest in the management of the water resource, due to the toxicological risk associated with reproductive function and the possibility of generating cancer.

In this context, the analysis of THMs and their impact on water quality is being carried out in a drinking water treatment plant located in the municipality of Cogua, this being one of the most important in the department of Cundinamarca, Colombia, with which about 170.0000 inhabitants are supplied.

The analytical determination is being carried out through the adaptation of a U.V - VIS spectrophotometric technique and the results obtained will be correlated with the variables: residual chlorine, organic carbon, ultra-violet absorbance at 254 nm and pH. On the other hand, the geographical, morphology, water and spatial characterization of the area under study, area of influence and sampling points have been supported through the use of geographic information systems (GIS) and mapping tools.

Keywords: Trihalomethanes, residual chlorine, organic matter, hydrogen potential.

Resumen

En el marco de la línea de investigación de hidráulica de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad La Gran Colombia, se presentan aquí los avances del desarrollo de

una investigación relacionada con la evaluación de los niveles de residuos de trihalometanos (THMs): Cloroformo: CHCl_3 , clorodibromometano: CHClBr_2 , bromodichlorometano: CHCl_2Br y tribromometano: CHBr_3 , en muestras de agua potable.

Los THMs, se constituyen en uno de los subproductos mayoritarios que se forman por la reacción del cloro residual -que permanece en el agua debido a los procesos de desinfección- y la materia orgánica que está presente de manera natural. Su determinación reviste especial interés en la gestión del recurso hídrico, debido al riesgo toxicológico asociado a la función reproductora y a la posibilidad de generar cáncer.

En este contexto, el análisis de THMs y su impacto sobre la calidad del agua se está llevando a cabo en una planta de tratamiento de agua potable ubicada en el municipio de Cogua, siendo esta una de las más importantes del departamento de Cundinamarca, Colombia, con la cual se abastecen alrededor de 170.0000 habitantes.

La determinación analítica se está realizando a través de la adecuación de una técnica espectrofotométrica U.V - VIS y los resultados obtenidos se correlacionarán con las variables: cloro residual, carbono orgánico, ultra-violeta absorbancia en 254 nm y pH. Por otro lado, la caracterización geográfica, morfología, hídrica y espacial de la zona objeto de estudio, zona de influencia y puntos de muestreo han estado apoyadas mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de mapeo.

Palabras clave: Trihalometanos, cloro residual, materia orgánica, potencial de hidrógeno.

I. INTRODUCTION

La adecuada gestión del recurso hídrico resulta uno de los aspectos más fundamentales, en relación a la salud pública. En este sentido, se han creado los marcos legales necesarios para ejercer control sobre la prestación y la calidad de este recurso ecosistémico.

La Organización Mundial de la Salud ha realizado esfuerzos por explicar y difundir los procedimientos mínimos y valores de referencia que se requieren para garantizar la “inocuidad” del agua. En cada actualización de las *Guías para la calidad del agua potable OMS*, se hace evidente que uno de los principales riesgos para el agua de consumo humano, lo representa el material microbiano.

Una de las prácticas más utilizadas para controlar este riesgo microbiano (bacterias, virus y protozoarios), es la cloración, aunque existen otras técnicas como: la utilización de ozono, la cual puede generar subproductos de bromo y representa un alto costo, el uso de dióxido de cloro, cloraminas o permanganato, esta técnica (la cloración) se constituye en una de las más efectivas y de bajo costo, sin embargo, posterior a su utilización, genera residuos en el agua.

En un sistema de abastecimiento de agua, la cloración se realiza normalmente al final del tratamiento, después de la etapa de filtración. A ello a veces se le denomina pos-cloración. A veces se realiza una cloración previa a cualquier otro tratamiento, llamado en este caso, pre-cloración [1].

Estos residuos de cloro generados en los procesos de potabilización o control microbiano reaccionan con la materia orgánica (MO) que contienen las aguas naturales, la cual puede estar disuelta o suspendida. Producto de esta reacción, se generan subproductos indeseados en las muestras de agua que interfieren con la “inocuidad” de la misma.

Los subproductos que pueden formarse en mayor concentración son los trihalometanos (THMs), los cuales representan un campo relevante de estudio debido a su alta toxicidad [1]. Son 4 los subproductos que forman parte de los THMs: el cloroformo (CHCl_3), el dibromoclorometano (CHClBr_2), EL bromodiclorometano (CHCl_2Br) y el bromoformo (CHBr_3) – asociados con el cáncer hígado, riñón, vejiga y efectos sobre la reproducción, aún No se ha inferido con plena certeza la relación causa – efecto en cuanto a su toxicidad [2].

La organización mundial de la salud [3] reglamenta valores de referencia para los cuatro componentes de THMs. En la tabla 1, se explicitan los valores de referencia

TABLE I
REFERENCE VALUES OF THMs ACCORDING TO OMS

Valores de referencia	
Cloroformo	0,3 mg/l
Bromoformo	0,1 mg/l
Dibromoclorometano (DBCM)	0,1 mg/l
Bromodiclorometano (BDCM)	0,06 mg/l

En la normativa colombiana (resolución 2115 de 2007), se reglamenta un valor de THMs total, el cual es de 0,2 ppm. No se controla el nivel de residuos de cada subproducto, como lo exhibe la OMS.

Variables que favorecen la formación de trihalometanos (THMs)

La temperatura, el pH, el contenido de materia orgánica y el nivel de residuos de cloro, determinan la concentración de subproductos de la desinfección como los THMs.

Así, a altas temperaturas y pH por encima de 7 el nivel de THMs puede aumentar y de manera similar cuando aumenta la cantidad de materia orgánica o concentración de cloro.

En este sentido, en las aguas superficiales durante el verano las concentraciones de THMs pueden ser mayor que en las aguas subterráneas, debido también a la variación de la cantidad de materia orgánica. Por otro lado, la presencia de bromo en el agua también favorece la producción de THMs.

Toxicidad de los trihalometanos (THMs)

Como ya se ha mencionado, el cloro resulta fundamental y casi irremplazable para la desinfección o control microbiano en el agua potable. Sin embargo, algunas investigaciones sugieren efectos adversos sobre la salud humana, debido a las sospechas sobre su influencia sobre enfermedades como el cáncer.

En la década de los 70's se han realizado estudios epidemiológicos para determinar la relación del cáncer y el agua potable. En la actualidad, este campo de estudio continúan investigaciones relacionadas con identificar el riesgo de contraer cáncer de vejiga y colon por ingestión de THMs.

En este sentido, en un estudio realizado en Canadá con 10,000 habitantes, se realizó seguimiento durante 10 años de

residencia de la población. Se realizaron durante este periodo determinación de las variables: fuente de agua, concentración de asbestos, carbón orgánico total, THMs con y sin cloroformo, concentración de cloro y dureza del agua.

No se detectó una asociación significativa entre las dosis de cloro y muerte por diferentes tipos de cáncer [4].

Sin embargo, los resultados si mostraron la existencia de riesgo de cáncer de vejiga y colon, en adultos mayores de 60 años.

Otros estudios, [5], [6] y [7] han mostrado también la creciente preocupación sobre los riesgos asociados a los THMs, por lo cual, surge la necesidad de que en planta de tratamiento de agua potable se evalúen constantemente los procesos de desinfección con cloro y por tanto los niveles de subproductos resultantes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización georeferenciada de la zona objeto de estudio.

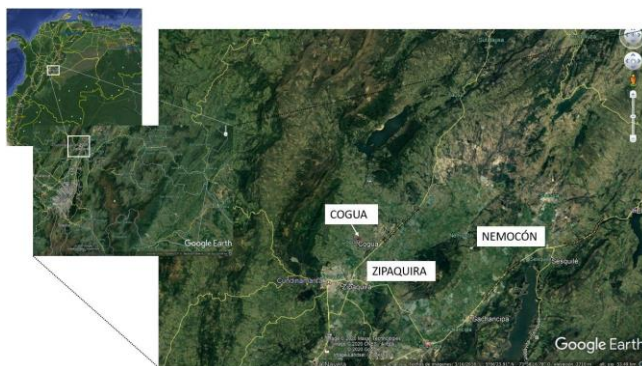


Fig. 1 General geographic location Project area. Cogua- Cundinamarca. Colombia. [12]

La planta de tratamiento de agua potable está ubicada en el Municipio de Cogua en el departamento de Cundinamarca en Colombia, se sitúa al norte de la capital de la república, Bogotá a 55 km y tiene como municipios vecinos a Zipaquirá 5 km y a 15 km de Nemocón. Fig. 1 y 2

La planta de tratamiento abastece agua potable a los municipios de Zipaquirá, Cogua y Nemocón, y se presta el servicio en la siguiente proporción: para Zipaquirá el 70% del agua para 80.000 habitantes, para Cogua el 19% para 9.000 habitantes y para Nemocón el 11% para 4.000 habitantes.

(población aproximada de 170.000 habitantes, proyección para el 2020).Fig. 2

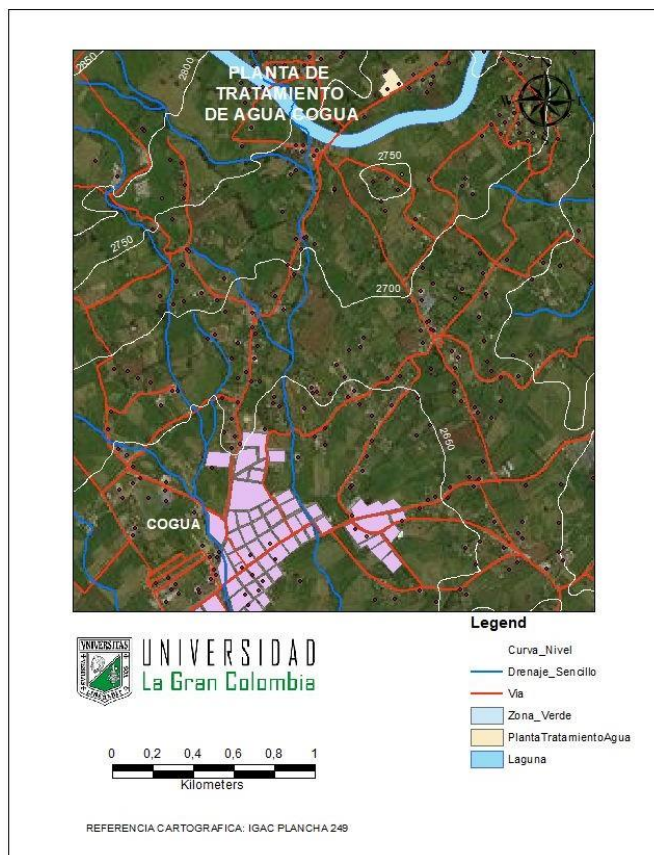


Fig. 2. Planta de Tratamiento de Agua Potable Project area. Cogua [12 y][13]

El Río Neusa, constituye el principal afluente de abastecimiento de la plata, en la figura 3, se presenta la cuenca del Río Neusa que tiene un área de 44.734 hectáreas y el cauce principal, que tiene una longitud aproximada de 45,1 Km, se identificaron los afluentes que llegan al río Neusa y forman el drenaje de esta cuenca desde su inicio hasta su desembocadura en el río Bogotá.

Los servicios de agua, alcantarillado y aseo en los municipios de Cogua Nemocón y Zipaquirá son prestados por la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá (EAAAZ ESP).

La Corporación Autónoma Regional (CAR) y el Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) son las

entidades encargadas de los registros a nivel ambiental y climatológico de la zona de la subcuenca.

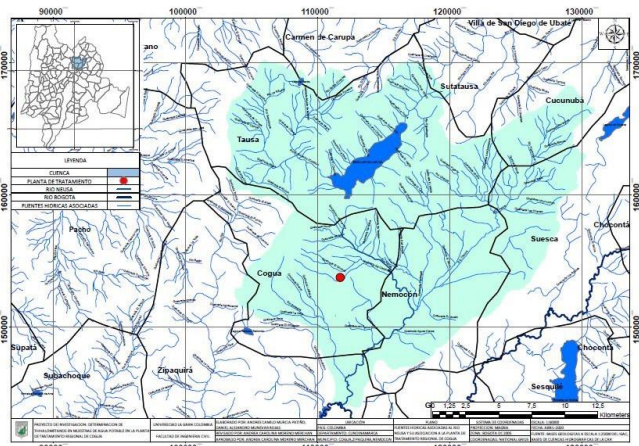


Fig. 3. Hydrological sources associated with the Neusa river, Hydrographic basin Neusa river

Muestreo en planta de tratamiento de agua potable

Se realiza un muestreo en planta de tratamiento de agua potable, por un periodo de 7 meses, con una frecuencia de dos veces por mes [8].

En la figura 3 se presenta el protocolo de muestreo que se está implementando.

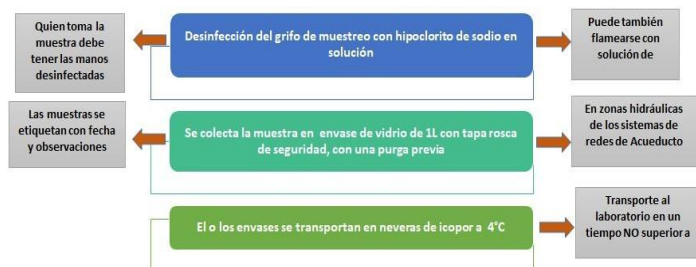


Fig. 3 General sampling procedure

Una vez las muestras se encuentran en el laboratorio se subdividen las porciones recolectadas y se aplican los preservantes o interferentes [9].

Para la determinación de THMs se le adiciona a la muestra tiosulfato de sodio y para carbono total Ácido Fosfórico.

Adecuación de una técnica analítica para la determinación de THMs por espectrofotometría UV-VIS

la determinación se basa en la implementación de método de Fujiwara [10], a continuación se describen las generalidades del método:

- **Preparación de la curva de calibración:**

1. Preparar una solución 1 uL/mL de cloroformo (CHCl₃) en metanol. * 50 uL de CHCl₃, llevar a volumen de 50 mL con metanol
2. En balones aforados de 500 mL adicionar con una micropipeta (10 – 100 uL) las siguientes cantidades de la solución metanólica de cloroformo. Aforar con agua desionizada.

En la tabla 2 se presenta la concentración en (ug/L) con respecto al volumen en (mL) de CHCl₃.

TABLE II
CALIBRATION CURVE DATA

Volumen de CHCl ₃ (mL)	Concentración (ug/L)
0	0
10	29,7
25	74,2
50	148,3
70	207,6
100	296,7

En la ecuación (1) se presentan los cálculos de muestra

$$\frac{50 \text{ ug } CHCl_3}{50 \text{ mL de } CH_3OH} \times \frac{1,483 \text{ mg } CHCl_3}{1 \text{ uL de } CHCl_3} \times \frac{0,05 \text{ mL } CH_3OH}{0,5 \text{ L de } H_2O} \times \frac{1000 \text{ ug } CHCl_3}{1 \text{ mg } CHCl_3} \quad (1)$$

3. En un embudo de decantación adicionar una alícuota de 50mL de la solución acuosa del punto anterior y adicionar 5 mL de n-pentano, agitar varias veces y dejar en reposo.
4. Separar la fase orgánica en un tubo de ensayo.
5. Adicionar al tubo de ensayo 1,5 mL de piridina y 1,0 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 50%.
6. Agitar 3 minutos en Vórtex.
7. En baño termostático colocar los tubos de ensayo en los siguientes intervalos:
 - 45°C por 30 minutos
 - 55°C por 45 minutos
 - 92°C por 45 minutos

Luego de este paso se generará una fase superior de color rosado. Con ayuda de una pipeta Pasteur pasar el líquido de color rosado a una celda de 1 cm para lectura en espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 550 nm

- **Algunas precauciones sobre le método**

- Controlar el tiempo entre la transferencia del complejo coloreado y la lectura en el espectrofotómetro UV-vis (30 segundos – 1 minuto) - No retirar el medio básico del tubo de ensayo pues se generará pérdida de color del complejo. - Intentar realizar la lectura a 550 nm en caliente. - A partir del paso número 3 del presente protocolo usar siempre máscara de protección.

Resultados esperados

Evaluar el riesgo a la salud por exposición de THMs, teniendo en cuenta la metodología recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) [11]. Esto es, el cálculo de coeficiente de peligro y el cálculo de riesgo de cáncer.

Establecer las variaciones de los niveles de THMs en temporada de invierno y verano, así como su relación con el contenido de cloro residual, carbono total y pH.

REFERENCES

[1] Esquivel L. (2016). Modelos de predicción de trihalometanos (THMs) para la red de distribución del acueducto de Cartago. Recuperado el 5 de agosto. De 2019, de <https://www.tec.ac.cr/en/proyectos/modelos-prediccion-trihalometanos-thms-red-distribucion-acueducto-cartago-fase-1>

[2] Sánchez A. (2008). Efectos de los trihalometanos sobre la salud. Recuperado el 8 de agosto de 2019, de [https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290\(2008\).pdf](https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290(2008).pdf)

[3] OMS. (2012). Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial para la Salud.

[4] Calderon RL (2000) The epidemiology of chemicals contaminants of drinking water. Food Chem Toxicol 38(12): S13- S20.

[5] Govorova, Z., Gorenko, G., Rudich, U., & Govorov, V. (2018). Evaluation of barrier functions of traditional water supply facilities in relation to toxic trihalomethanes.

MATEC Web of Conferences, 251, 03032. Recuperado de <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103032>

[6] Aguilera-Herrador, E., Lucena, R., Cárdenas, S., & Valcárcel, M. (2008). Determination of trihalomethanes in waters by ionic liquid-based single drop microextraction/gas chromatographic/mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1209(1), 76-82. Recuperado de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.09.030>

[7] Allonier, A.-S., Khalanski, M., Bermond, A., & Camel, V. (2000). Determination of trihalomethanes in chlorinated seawater samples using a purge-and-trap system coupled to gas chromatography. *Talanta*, 51(3), 467-477. Recuperado de [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(99\)00296-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0039-9140(99)00296-9)

[8] INS Instituto Nacional de Salud. (2011, July). Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio. [Online]. Disponible: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion/Manual%20instrucciones%20toma,%20>

[9] Resolución 0811. Ministerio de la protección social, Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Colombia. 5 de marzo de 2008.

[10] Huang, Jerry YC, and Gary C. Smith. "Spectrophotometric determination of total trihalomethanes in finished waters." *Journal-American Water Works Association* 76.4 (1984): 168-171

[11] EPA US Environmental Protection Agency. (2014, July) Integrated Risk Information System (IRIS), A-Z List of Substances. [Online]. Available: http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList&list_type=alpha

[12] www.car.gov.co > uploads > files. Planeación Ecológica Ltda. Elaboración del Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca río Neusa – 2120-15

[13] EPA US Environmental Protection Agency. (2013, September) Manual Guía para la Evaluación de Riesgos en el Superfund. [Online]. Available: <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>