

# Evaluación de la concentración de compuestos trihalometanos en el agua potable distribuida en la Ciudad David, Panamá y sus riesgos a la salud humana

## Evaluation of the concentration of trihalomethanes compounds in drinking water distributed in David City, Panamá, and its risks to human health

Irma Saldaña-González <sup>1</sup> , Heriberto Franco-Ávila <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Chiriquí, Facultad de Ciencia y Tecnología, Maestría en Ciencias Químicas con Énfasis en Inocuidad Alimentaria, Panamá

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chiriquí, Instituto Interdisciplinario de Investigación e Innovación Interdisciplinaria I4, Panamá

irma.saldana@utp.ac.pa; heriberto.franco@unachi.ac.pa

Fecha de recepción: 22 de junio de 2022; Fecha de aprobación: 4 de noviembre de 2022.

\*Autor de correspondencia: Irma Saldaña-González (irma.saldana@utp.ac.pa)

**RESUMEN.** La desinfección del agua para consumo humano da lugar a la formación de subproductos altamente dañinos para la salud, llamados Trihalometanos (THM's). El objetivo de este estudio es determinar la presencia y concentración de compuestos trihalometanos en el agua de consumo suministrada por la planta potabilizadora de Algarrobos, en la Ciudad de David, Provincia de Chiriquí, Panamá, y evaluar si dichas concentraciones representan un riesgo a la salud humana de los consumidores de este vital líquido. La determinación de los trihalometanos en las muestras de agua se realizó con un cromatógrafo de gas equipado con una columna capilar DB-624 (30m x 0.32mm x 1.8µm) acoplada a un detector de microcaptura de electrones (µ-ECD) de alta temperatura, Ni53. Se recolectaron muestras de agua en nueve puntos estratégicos de la red de distribución de la planta de Los Algarrobos, el 18 de julio de 2017 y analizadas por duplicado empleando la técnica de microextracción en fase sólida (HS-SPME) usando la fibra de sílica de 1cm de longitud cubierta con Polidimetilsiloxano/divinilbenceno (PDMS/DVB) de 65µm de espesor. El rango de concentración de trihalometanos totales se situó entre 0.01 y 4.15µg/L, siendo el cloroformo el compuesto predominante con 52.1%, bromodichlorometano con 18.6%, el clorodibromometano en 16.4% y finalmente el bromoformo con 12.9%. La concentración media de trihalometanos en aguas de origen superficial fue de 2.35 µg/L. Los valores de trihalometanos encontrados son inferiores a la concentración máxima admisible (80µg/L) establecida por la EPA para estos compuestos por lo que no representan un riesgo con efectos adversos para la salud.

**Palabras clave.** Agua potable, calidad, cloración, organoclorados, subproductos de desinfección.

**ABSTRACT.** The disinfection of water for human consumption gives rise to the formation of by-products highly harmful to health, called Trihalomethanes (THMs). The objective of this study is to determine the presence and concentration of trihalomethanes compounds in the drinking water supplied by the Algarrobos water treatment plant, in the City of David, Province of Chiriquí, Panama, and to evaluate whether these concentrations represent a risk to the human health of consumers of this vital liquid. The determination of trihalomethanes in the water samples was carried out with a gas chromatograph equipped with a DB-624 capillary column (30m x 0.32mm x 1.8µm) coupled to a microelectron capture detector (µ-ECD) high temperature, Ni53. Water samples were collected at 9 strategic points of the distribution network of the Los Algarrobos plant on July 18, 2017, and analyzed in duplicate using the solid phase microextraction technique (HS-SPME) using silica fiber from 1cm long covered with Polydimethylsiloxane/divinylbenzene (PDMS/DVB) 65µm thick. The concentration range of total trihalomethanes was between 0.01 and 4.15µg/L, with chloroform being the predominant compound with 52.1%, bromodichloromethane with 18.6%, and chlorodibromomethane with 16.4%. and finally, bromoform with 12.9%. The average concentration of trihalomethanes in surface waters was 2.35µg/L. The values of trihalomethanes found are lower than the maximum allowable concentration (80µg/L) established by the EPA for these compounds, so they do not represent a risk with adverse health effects.

**Keywords.** Drinking water, quality, chlorination, organochlorine. disinfection by products.

## 1. Introducción

El agua para consumo humano debe cumplir con los mínimos higiénicos que garanticen su uso sin riesgo sanitario y por definición debe ser incoloro, inodora e insípida. Generalmente el agua cruda en los nacimientos de los ríos es segura, pero a medida que va descendiendo en el cauce del río se encuentra con restos de materia orgánica animal y vegetal, así como excrementos y animales en descomposición; por lo que se necesita desinfectarla para así evitar enfermedades en la población.

Cada año miles de personas padecen enfermedades evitables propagadas por la contaminación de las aguas y del medio ambiente. La ONU proyecta que para el año 2025, más de dos tercios de la población global vivirá en países con serios problemas de carencia de suministros de agua limpia [1], [2].

Un aumento en la demanda de agua potable se debe al crecimiento poblacional demográfico mundial, al desarrollo económico y social, y a las mejoras en el nivel de vida. El control de la calidad y potabilidad del agua es un tema de sumo interés ya que este líquido no solo es utilizado para transportar y elaborar alimentos, sino que juega un papel importante en la salud de las personas.

La utilización del cloro para la desinfección del agua de consumo humano es una práctica aceptada en todo el mundo para el control de enfermedades diarreicas, como el cólera [2].

El desafío que se enfrenta con la cloración es el de lograr los máximos beneficios del uso del cloro como excelente desinfectante, con un mínimo de impacto ambiental y toxicidad de sus subproductos. No hay razón para discutir la necesidad de la desinfección del agua para bebida; el problema está en evaluar y comparar el riesgo de la toxicidad y potencia cancerígena de los subproductos de la cloración, frente al beneficio que se obtiene en el control de las enfermedades transmitidas por el agua contaminada [3], [29].

A mediados de los años 70, se descubrió que el cloro aparte de eliminar organismos patógenos del agua también reacciona con la materia orgánica presente en ella generando subproductos de desinfección (SPD) como los trihalometanos. Su nivel de formación varía en función de las características del agua (materia orgánica e iones bromuro) del proceso de potabilización y de

factores operacionales (pH, temperatura, cloro residual y tiempo de contacto entre el desinfectante y la materia orgánica) [4].

El cloro y los compuestos que contienen cloro son oxidantes muy potentes y pueden reaccionar con una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos en el agua antes de que se obtenga suficiente desinfección [5].

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. Esta se lleva a cabo con el propósito de controlar las algas que puedan obstruir los filtros y eliminar el sabor y el olor del agua. En este caso y cuando el agua sin tratar lleva algunos materiales orgánicos llamados “precursores” (materia orgánica, ácidos húmicos, etc.), se pueden generar los subproductos de la desinfección (SPD). Los constituyentes más característicos de los SPD (Subproductos de Desinfección) de la cloración son los trihalometanos (THM’s) [6].

Los THMs más predominantes son el cloroformo y el bromodicloroetano; con frecuencia también se encuentran el dibromoclorometano y el bromoformo [3]. La concentración de THMs depende de la presencia de precursores (compuestos activos que pueden reaccionar con el cloro), así como de la dosis de cloro, tiempo de contacto, temperatura del agua y pH. En estudios efectuados en animales, se ha descubierto que el cloroformo en altas dosis es cancerígeno y que los otros THMs son mutagénicos [7].

Numerosos estudios epidemiológicos muestran una posible relación entre la exposición a largo plazo a subproductos de la cloración y un mayor riesgo de cáncer y problemas en el sistema reproductivo y otras patologías relacionadas con el sistema inmune y efectos adversos en mujeres embarazadas además varios estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de agua clorada sin el adecuado manejo y tratamiento está asociado con un incremento en el riesgo de cáncer gástrico, vejiga y de recto [8].

De los cuatro trihalometanos (cloroformo, bromodiclorometano, bromoformo y dibromoclorometano), la Agencia Internacional de

Investigación sobre el Cáncer ha clasificado a los dos primeros como cancerígenos potenciales, considerando la información sobre el bromoformo y el dibromoclorometano insuficiente para evaluar su carcinogenicidad [9].

Puesto que el cloroformo se ha identificado como compuesto carcinógeno (en estudios con roedores) existe cierta preocupación, y se están realizando en la actualidad muchas investigaciones sobre el problema [10]. El resultado de numerosas investigaciones y ensayos, enfocados a evidenciar o demostrar la genotoxicidad del cloroformo han sido positivas; sin embargo, la veracidad de estos resultados está en discusión ya que no se ha tomado en cuenta el agua potable como vehículo portador de la sustancia [11], [12]. Existen otros riesgos a la salud, actualmente en estudios, tales como la potencialidad de incrementar los defectos cardíacos con el incremento de los THM's [13]. Todos estos riesgos a la salud se incrementan con el aumento de las concentraciones de bromo contenido en el agua natural [14], [15], [16], [17].

El cloroformo es usualmente el SPC más abundante, pero los THMs bromados pueden aparecer a altas concentraciones cuando el agua presenta bromo antes de clorarse. La mayoría de los SPC aparecen en concentraciones trazas ( $\mu\text{g/L}$ ) y son medidos rutinariamente en países europeos y en los Estados Unidos de América. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) establece un nivel de  $80\mu\text{g/L}$  de trihalometanos totales. De igual forma, la OMS ha establecido concentraciones máximas de referencia para las cuatro especies de trihalometanos más frecuentes, cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), bromodichlorometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ), y bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ) en 200, 60, 100 y  $100\mu\text{g/L}$  respectivamente [18] [19].

En general, El Reglamento de Calidad de Agua para consumo humano en Panamá, según Gaceta oficial No. 23 de 1999, contempla la determinación y el análisis de compuestos diferentes [20].

La norma panameña señala que deberá hacerse los ensayos pertinentes para determinar y vigilar los niveles de trihalometanos y la adición de cloro estará sujeta a una concentración máxima de trihalometanos de  $0.1\text{mg/L}$  [20], así como otras sustancias que puedan afectar la

salud de la población; pero en el caso de los trihalometanos que se efectúa de acuerdo con los métodos estándares APHA – AWWA – WPCF 5710/6232 no son vigilados ni tomados en cuenta en los ensayos para evaluar la calidad e inocuidad del agua para el consumo humano en nuestro país [21].

La creciente preocupación por los riesgos de salud derivados de la exposición a trihalometanos (THM's), ha conllevado a que las entidades como la OMS (Organización Mundial de la Salud), la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los EE.U.U), la Unión Europea, y el Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial en Colombia reglamentan los niveles máximos permisibles de subproductos de cloración en el agua de consumo humano [3].

La percepción generalizada de la calidad del agua potable en Panamá es considerada como buena por el Instituto de Acueductos Alcantarillados Nacionales y la población, sin embargo, no hay datos experimentales o de investigación que puedan sustentar tal afirmación, de allí parte la necesidad de establecer los niveles de THMs en el agua potable consumido en la ciudad de David.

Durante la estación lluviosa, de mayo a noviembre, en los embalses de la toma de agua se crea una acumulación importante de materia orgánica, lo que obliga a la utilización de dosis de cloro elevadas (pudiendo llegar a  $60\text{mg/L}$ ) como agente desinfectante. Según información obtenida, ni en la planta ni en la red de distribución se realizan monitorizaciones periódicas para determinar la presencia de THM's.

Es por ello la necesidad de establecer los niveles de THM's en el agua potable consumida por la población en la ciudad de David.

En este sentido, esta investigación es pionera, ya que es la primera que caracteriza la presencia y niveles de concentración de los trihalometanos en el agua potable de la Ciudad de David, en Chiriquí, Panamá, y evalúa si dichas concentraciones representan un riesgo a la salud humana.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Recolección de datos

Esta investigación es de tipo cuantitativa exploratoria porque a pesar de que en otros países se han realizado

estudios de trihalometanos en agua potable y forman parte de los parámetros que evalúan como parte de la calidad del agua para consumo humano, en nuestro país, Panamá, hay poco o nada sobre estos estudios, siendo los resultados que obtendremos como un primer acercamiento para recomendar futuras investigaciones en este ámbito.

Para la recolección de las muestras se realizó un muestreo tipo no probabilístico basado en un juicio subjetivo en lugar de hacerlo al azar, por consideraciones de tiempo y costo, eligiendo así las muestras en la toma de agua cruda y en diferentes puntos de la red de distribución.

El punto 1, es la toma de agua cruda que abastece la planta potabilizadora de Algarrobo y el resto de los puntos de muestreo en toda la red de distribución, tomando como referencia los puntos extremos (norte, sur, este y oeste) y centro de la Ciudad de David, con respecto a la planta potabilizadora de Algarrobo (ver Figura 1).

En cada punto de muestreo se recolectaron muestras de un volumen de 40ml por duplicado. El muestreo fue el día 18 de julio de 2017 entre las 10:00 a.m. y 1:00 p.m. y el análisis cromatográfico el 05 de agosto del 2017 (pasando 18 días en almacenamiento las muestras de agua potable).

Para medir las concentraciones de trihalometanos (THM) en el agua potable, se desarrolló un método rápido y preciso por microextracción en fase sólida (SPME) junto con cromatografía de gases/detección capturada por electrones [22].

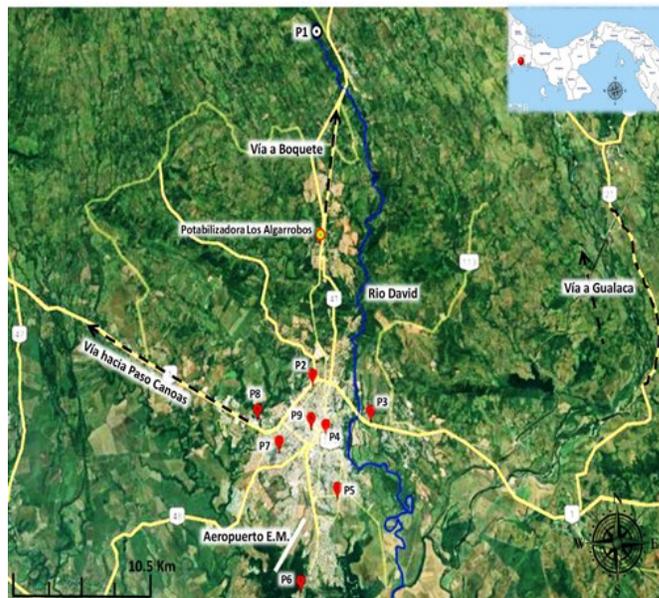


Figura 1. Mapa de los puntos de muestreo en la red de distribución.

El método ASTM D6520-06 (Reapproved2012) es el que se empleó para determinar trihalometanos (THM) en agua, por microextracción en fase sólida con el monitoreo de la fase de vapor (headspace,HS) donde la fibra de sílica de 1 cm de longitud está cubierta con poli(dimetilsiloxano)/divinilbenceno (PDMS) PDMS/DVB, 65µm de espesor, adecuado para los analitos de interés: cloroformo (CF), bromodiclorometano (BDCM), dibromoclorometano (DBCM) y bromoformo (BF). y cromatógrafo de gases (GC) HP 6890 Series, con detector de microcaptura de electrones (µ-ECD) de alta temperatura, Ni53. La columna capilar empleada en el análisis fue es DB-624 (J & W Scientific, Folsom, CA, EE. UU.) [6%-cianopropilfenil-94%-poli(metilsiloxano), 30m x 0.32mm x 1.8µm] con detector de captura de electrones (HS-SPME/GC-ECD) [23].

Para la determinación de los parámetros de temperatura y pH se utilizó un medidor multiparámetro (HACH HQ40D).

## 2.2 Procedimiento

### 2.2.1 Toma de muestras

Se recogió agua a temperatura ambiente del grifo en locales, residencias y fuentes públicas, dejando correr el agua durante un minuto, evitando la formación de

burbujas y cámara de aire entre el agua y el tapón en dos viales de vidrio de 40mL con tapón de rosca y sello de teflón. Los viales contenían 5mg de tiosulfato sódico para evitar la posterior reacción entre el cloro libre y la materia orgánica residual. Durante la recogida de las muestras de agua, se determinó en cada punto la temperatura, el pH y cloro residual en cada muestra, así como las coordenadas de ese punto.

Las muestras se envasaron en frascos de vidrio transparente (ferrados con papel aluminio) previamente lavados con un detergente inodoro, y agua destilada, secados en una estufa a 110°C; con tapas que contenían un empaque de teflón; rotuladas y refrigeradas (con pilas refrigerantes); embaladas en una cava de icopor y protegidas para evitar daños y contaminación en el transporte. El método de muestreo y almacenamiento es similar al reportado en el Manual del Laboratorio CROM-MASS, 2016 [24].

### 2.2.2 Preparación de las muestras

Las muestras se almacenaron a una temperatura de 4°C desde su recolección, almacenamiento y el transporte al laboratorio de análisis. Se siguieron las instrucciones del protocolo establecido por el laboratorio responsable de los análisis, el Centro de Cromatografía y Espectrometría de Masas (CROM-MASS) de la Universidad Industrial de Santander, Colombia para minimizar la pérdida de trihalometanos.

### 2.2.3 Preparación de la curva de calibración

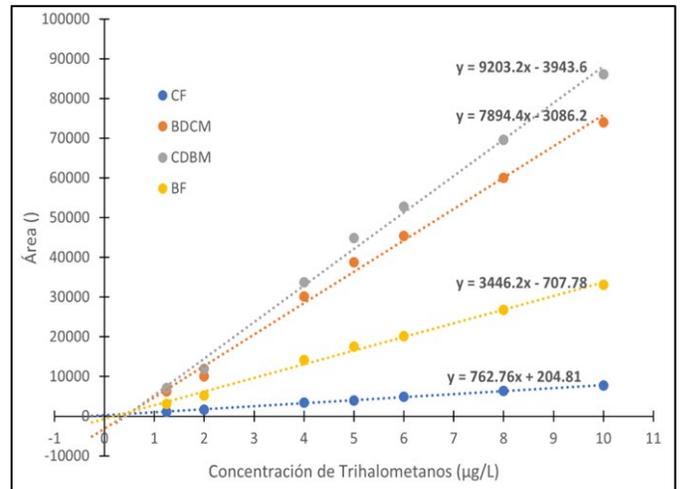
Para la cuantificación de los trihalometanos en las muestras de agua se emplea la técnica de estandarización externa, que involucra la comparación de la respuesta del instrumento para la muestra con la respuesta de los analitos de interés de la calibración estándar. Los estándares de calibración se introducen al equipo cromatográfico empleando la misma técnica que se usa para analizar las muestras.

Las áreas de los picos de las muestras se comparan con las áreas de los picos de los estándares; esta relación de la respuesta del detector a la concentración del analito en el estándar de calibración se le conoce como Factor de Respuesta Rf.

Las disoluciones de calibración se preparan enriqueciendo agua Tipo I, previamente filtrada en carbón activado con alícuotas de la solución stock. Se

prepararon 14 disoluciones para la curva de calibración, que cubrían los rangos desde 1.3µg/L hasta 80µg/L de concentración, tomando como referencia la norma vigente por la EPA.

Se preparó una solución patrón de 5ppm (mg/L) de los THMs en metanol y por dilución a 2mL con agua se prepararon las disoluciones de calibración. Se analizaron los datos y elaboraron las curvas de calibración, para cada uno de los trihalometanos, graficando la respuesta cromatográfica del detector de captura electrónica versus la concentración de cada una de las soluciones de trabajo. En la (Figura 2) se observa el comportamiento y la sensibilidad que tiene el instrumento para los trihalometanos en mención.



**Figura 2.** Curva de calibración mixta de los trihalometanos en estudio. \*CF: cloroformo, BDCM: bromodiclorometano, CDBM: clorodibromometano, BF: bromoformo.

Las muestras de agua se analizaron usando el mismo procedimiento y determinando la concentración de los analitos con el factor de respuesta obtenido del ajuste de la curva de calibración. Para los trihalometanos analizados la cuantificación se realizó utilizando la ecuación de ajuste de la curva de calibración lineal (Ecuación 1).

$$y = mx + b \quad (1)$$

Donde:

y: Respuesta del instrumento (área o altura del pico)

x: Concentración del analito de interés

b: El intercepto de la curva de calibración para cada trihalometano

m: La pendiente de la curva de calibración para cada trihalometano

El cálculo del ajuste genera un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) que es una medida de la calidad del ajuste de la ecuación de regresión, un valor de 1 indica un ajuste perfecto ( $r^2 \geq 0.9$ ).

### 2.2.3.1 Extracción y detección de los trihalometanos de interés

Las muestras se retiraron de la zona de almacenamiento y se procedió a su pretratamiento antes de la extracción de los analitos.

Se tomó una alícuota de 2mL de la muestra, previamente agitada, y se transfirió a un vial ámbar tapa a rosca de 4mL, que contenía una varilla magnética de agitación, 0.6g de cloruro de sodio (NaCl), que permite el efecto de precipitación salina para ayudar en la extracción del analito y 2 gotas de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para ajustar el pH Ca. 2 (ver Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones estandarizadas en la extracción de THMs.

Variable	Valores óptimos de trabajo
Concentración de la solución de NaCl	30 %
Tiempo de pre-equilibrio	10 min
Tiempo de extracción	30 min
Temperatura de extracción	30°C
Modo de monitoreo	Headspace
Agitación (adición de una varilla magnética)	500 rpm
Cantidad de muestra	2mL
pH (Adición de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.5 N)	Ca. 2
Tiempo de desorción	10 min

Fuente: Manual del Laboratorio CROM-MASS. Método para el análisis de Trihalometanos (THM) en agua por microextracción en fase sólida en modo headspace (HS-SPME) y Cromatografía de gases. Universidad Industrial de Santander.

El vial que contenía la muestra se colocó en el soporte para muestreo de SPME, el cual estaba sobre una placa de calentamiento a 30°C y permite el pre-equilibrio de la muestra por 10 min, con agitación constante.

Una vez en equilibrio se introdujo el eje del holder de SPME del septum, en el headspace de la muestra. Luego se deprimió el émbolo manualmente y el recubrimiento de la fibra fue entonces expuesto al headspace de la

muestra. La fibra se mantuvo expuesta al headspace de la muestra por 30 min (ver Figura 3). Transcurrida la extracción, se retrae la fibra SPME en la cubierta protectora y se retiró del vial (ver Tabla 2).



Figura 3. Montaje de la técnica microextracción en fase sólida (SPME).

Los THMs presentan una alta volatilidad, por lo que se suele recurrir a la cromatografía de gases para su separación. El detector de captura electrónica (ECD) presenta una gran especificidad para compuestos que contienen grupos halógenos, por lo que resulta muy adecuado para la determinación de THMs en muestras de agua. Se basa en la medida del descenso de la corriente producida entre dos electrodos al pasar entre ellos moléculas que pueden captar electrones. Las principales ventajas que ofrece este detector son su selectividad (es insensible a hidrocarburos, alcoholes y cetonas) y su gran sensibilidad a moléculas con átomos o grupos electronegativos capaces de captar electrones con facilidad [25].

**Tabla 2.** Condiciones operacionales del GC-ECD para el análisis de trihalometanos.

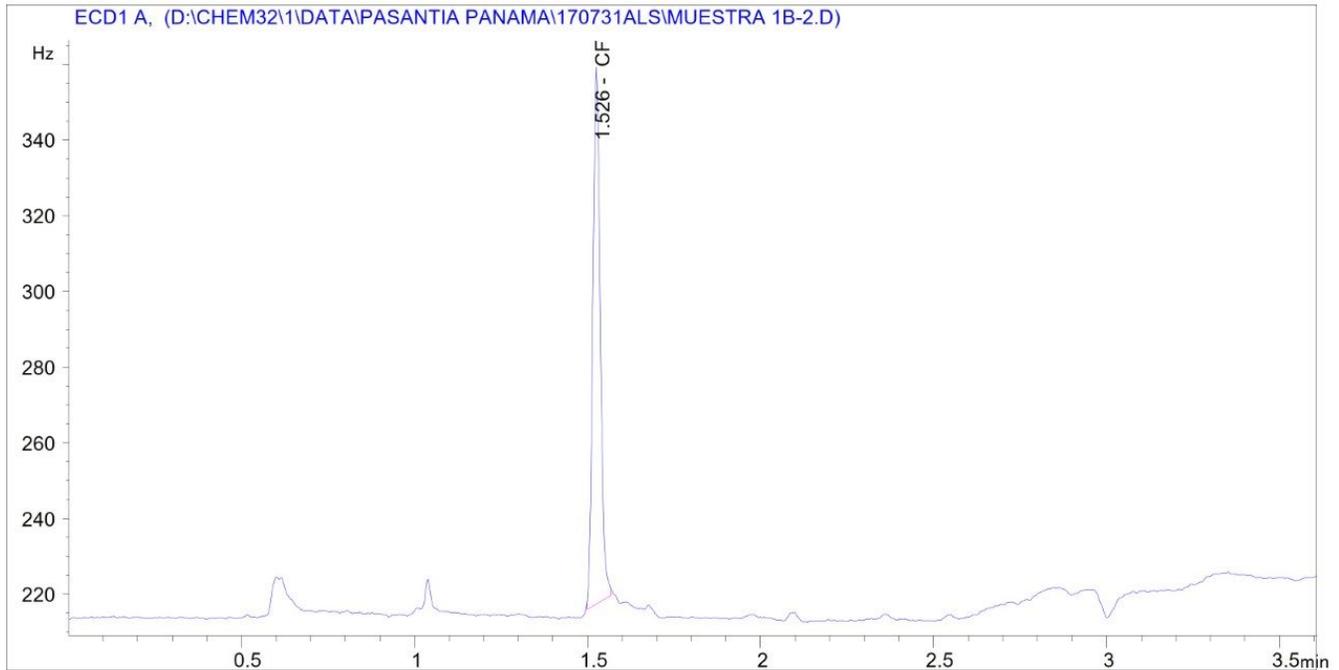
<b>Método: THMSPME (microextracción en fase sólida para trihalometanos)</b>	
<b>Temperatura del Horno</b>	
- Temperatura Inicial	60°C (0 min)
- Programación	a 8°C min <sup>-1</sup> hasta 130°C (5 min) a 20°C min <sup>-1</sup> hasta 220°C (18 min)
<b>Inyector</b>	
- Temperatura del Inyector	250°C
- Gas de arrastre (carrier gas)	Helio (AP)
- Modo	Flujo constante
- Presión del gas de arrastre	28.17 psi
- Flujo total	489mL min <sup>-1</sup>
- Flujo volumétrico	8mL min <sup>-1</sup>
- Flujo lineal	89cm s <sup>-1</sup>
<b>Inyección</b>	
- Modo de inyección	Split
- Relación de split	60:1
- Flujo en la válvula del split	479mL min <sup>-1</sup>
- Volumen de inyección	Dispositivo SPME

<b>Detector</b>	
- Temperatura del detector	300°C
- Gas auxiliar (makeup gas)	Argón/metano (mezcla UP 10%)
- Flujo volumétrico	30mL min <sup>-1</sup>
- Tiempo total de corrida	36.25 min

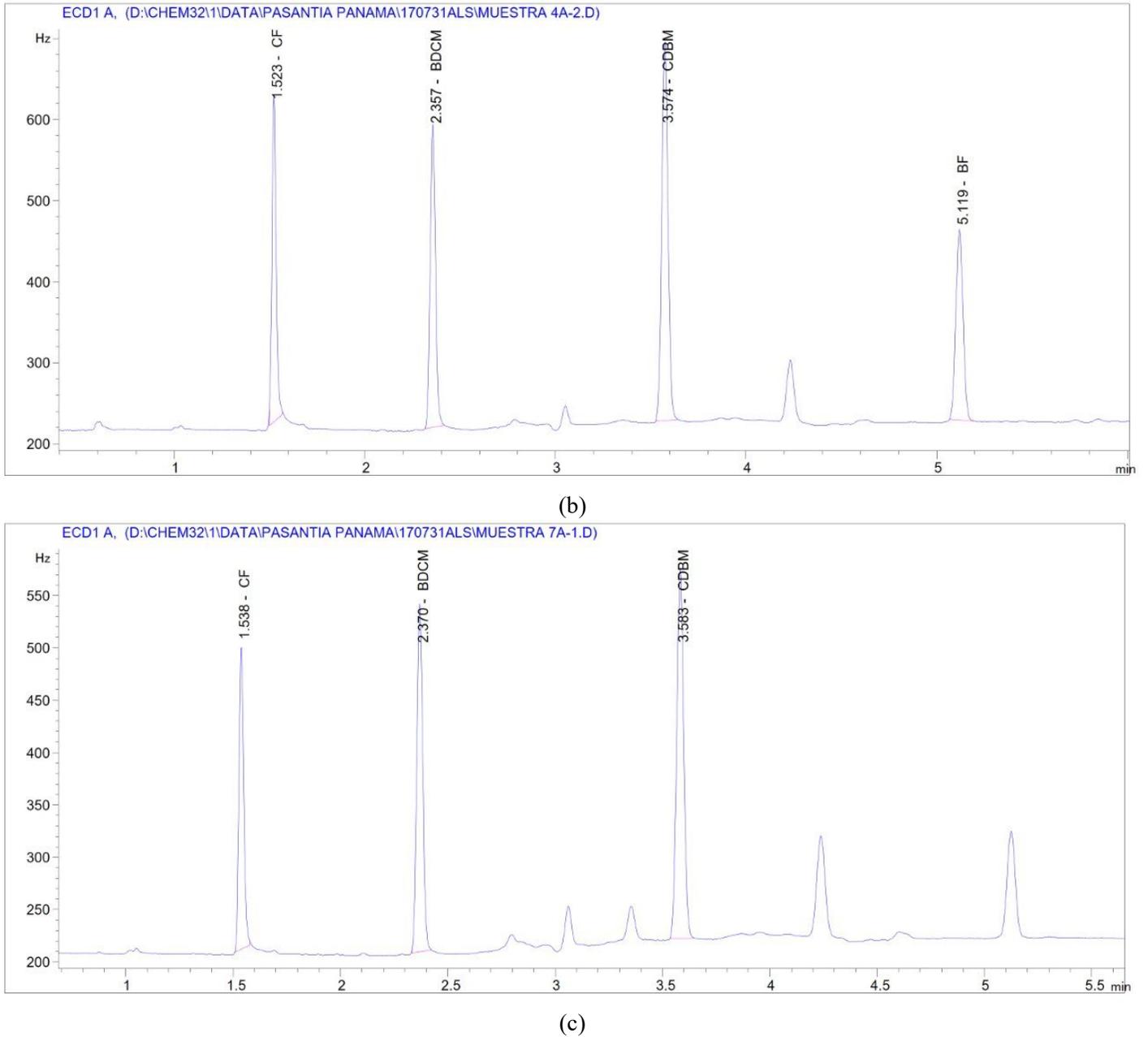
**Fuente:** Manual del Laboratorio CROM-MASS. Método para el análisis de Trihalometanos (THM) en agua por microextracción en fase sólida en modo headspace (HS-SPME) y Cromatografía de gases. Universidad Industrial de Santander.

### 3. Resultados y discusión

En la Figura 4 se observa tres cromatogramas que indican la presencia de trihalometano con concentraciones más altas en algunos puntos de muestreo como lo son la toma de agua cruda donde solo se encontró cloroformo, en el centro de David con la identificación de los cuatro trihalometanos en estudio y en el colegio Arnulfo Arias Madrid se encontró, pero dentro de los valores establecidos por la norma EPA.



(a)



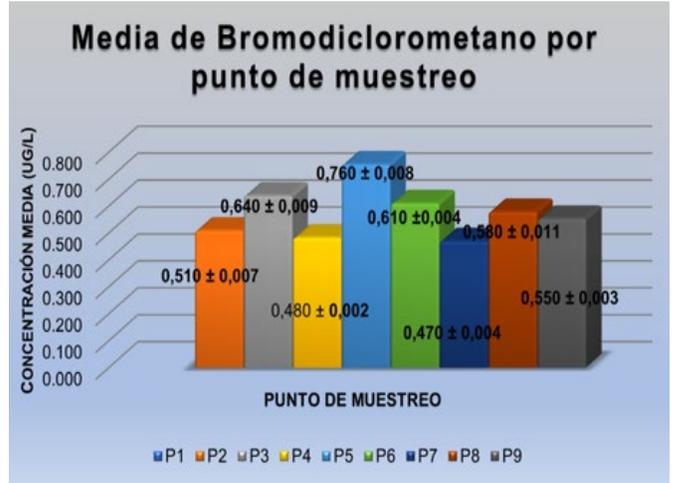
**Figura 4.** Cromatogramas de algunas muestras de agua potable (a) Toma de agua cruda (punto #1), (b) Muestra de agua en el centro de David (punto #4), (c) Muestra de agua en Col. Arnulfo Arias Madrid (punto #7).

En la Figura 5 se presenta las concentraciones de los trihalometanos por punto de muestreo, utilizando la ecuación 1 que relaciona el área (o altura) de los picos detectados en el cromatograma, el intercepto y su pendiente, y la desviación estándar para cada medida.

El cloroformo oscila entre 0.010 a 3.453 $\mu\text{g/L}$ , siendo el valor mínimo en la toma de agua cruda (P1) y el máximo en la Garita del tránsito, Las Lomas (P3). Para el bromodiclorometano la concentración mínima fue de 0.470 $\mu\text{g/L}$  en el Colegio Arnulfo Arias Madrid (P7) y su concentración máxima de 0.760 $\mu\text{g/L}$  en Altamira (P5).

Los valores de concentración del clorodibromometano oscila entre 0.480 a 0.540µg/L, donde el valor mínimo es en Altamira (P5) y el máximo en el centro de David (Almacén América) (P4). El bromoformo solo se encontró en el centro de David (Almacén América) (P4) con un valor de 0.400µg/L. Es importante resaltar que en el centro de David (Almacén América) (P4) se encontró la presencia de los cuatro trihalometanos. El trihalometano con mayor frecuencia en formarse es el cloroformo, cuya concentración media es de 1.63µg/L valor que está por debajo de la norma establecida por la OMS (200µg/L), lo que confirman otros estudios reportados [7], [18], [26].

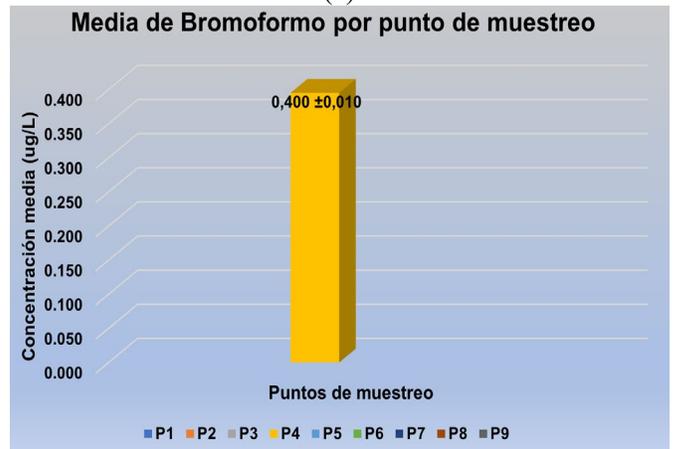
De estos datos llama la atención que son los puntos más alejados de la red de distribución, los que presentan concentraciones más elevadas de THMs, lo cual puede deberse a que estos compuestos, además de formarse en el proceso de tratamiento de agua, pueden continuar desarrollándose en el sistema de distribución del agua potable, donde debido a las bajas velocidades de flujo y los grandes volúmenes manejados, incrementan el tiempo de residencia y contacto entre la materia orgánica que pudo quedar después del tratamiento y el cloro residual [12], [30], [33].



(b)

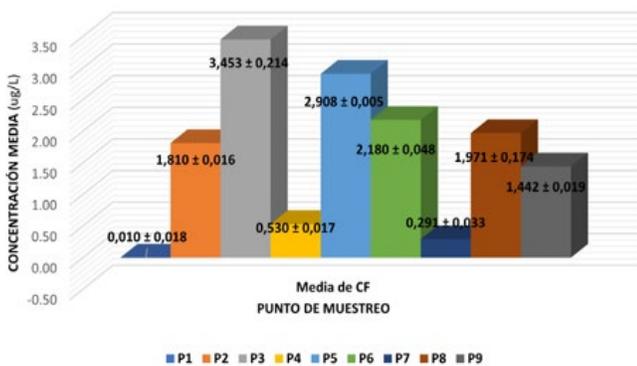


(c)



(d)

Media de Cloroformo por punto de muestreo



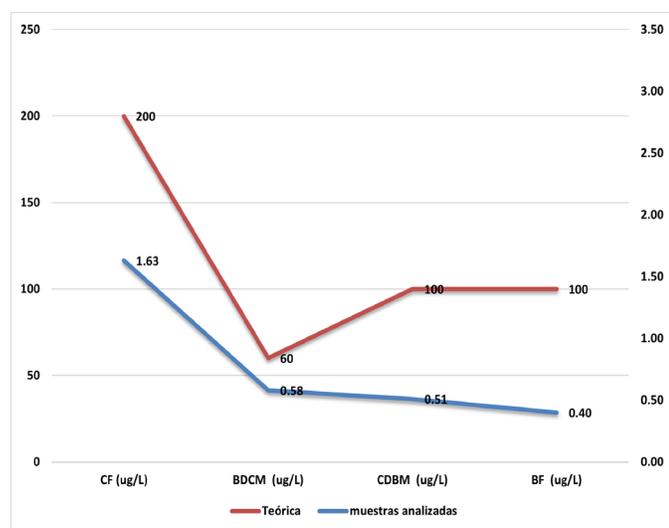
(a)

Figura 5. Concentración media de cada trihalometano por punto de muestreo.

Es interesante señalar que, independientemente de los valores de THM totales descritos, los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los publicados en la mayoría de los estudios que analizan THM en agua de consumo humano cuando se comparan las distribuciones proporcionales de los distintos compuestos [5], [8], [27], [28].

El hecho de que predominen las especies cloradas y que la concentración de bromoformo sea muy baja (ver Figura 5) es, según se ha referido en otros estudios, una característica común en las aguas tratadas con cloro y con bajos valores de bromuros en origen [10], [26], debido posiblemente a que las fuentes que abastecen a la zona estudiada provienen principalmente de sistemas de agua superficial en las que el contenido en bromo es generalmente bajo.

Debido a las preocupaciones sobre los efectos adversos que puede producir los trihalometanos a la salud humana se legalizaron distintos reglamentos que limitan los niveles de estos compuestos tóxicos en el agua para consumo humano. En la figura 6, se muestra la comparación de los valores teóricos establecidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para cada uno de los trihalometanos y los valores encontrados en las muestras de agua de la Planta Potabilizadora de los Algarrobos [31], [33].



**Figura 6.** Comparación de los valores Teóricos de THMs máximos permitidos por la OMS y los valores de THMs encontrados en las aguas de consumo en la red de distribución de la planta potabilizadora de Algarrobos, David-Chiriquí, 2017.

## 4. Conclusiones

Luego de la evaluación de los niveles de trihalometanos totales en agua para consumo humano se determinó que estos se encuentran dentro de los valores establecidos por la norma del Ministerio de Salud en Panamá (0.1mg/L) y la Norma EPA (80µg/L) donde los valores medios encontrados fueron de 2.35µg/L, por lo que no representan un riesgo con efectos adversos para la salud humana.

Se recomienda para futuros trabajos evaluar la cantidad de materia orgánica presente en el agua cruda que puede variar su contenido durante las diferentes épocas del año (estación lluviosa, estación seca), se sugiere el análisis de carbono orgánico total (TOC), determinar la cantidad de cloro libre y residual que es colocado en la planta potabilizadora de agua, de tal manera que se pueda establecer una relación entre el cloro aportado y su variación durante toda la red de distribución, además de evaluar de qué manera puede afectar el tiempo de almacenamiento del agua clorada en los tanques de reserva en la planta potabilizadora antes de su distribución.

Esta investigación se considera como un primer acercamiento que sirve como guía a futuros investigadores para profundizar en la temática, ya que, durante el desarrollo de este, surgieron nuevas preguntas y retos que son necesarios abordar; y que sin duda alguna ayudarán en gran medida a darle seguimiento a los parámetros de la calidad del agua potable que consume la población y que pudieran repercutir sobre la salud humana.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo tuvo apoyo por parte de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad Autónoma de Chiriquí en el desarrollo de una pasantía. Agradecemos a la Dra. Elena Stashenko y todo el equipo del Laboratorio CROMM MASS de la Universidad Industrial de Santander por su asistencia técnica y uso de las instalaciones para el análisis de las muestras de agua potable durante la pasantía en Colombia. Al profesor Albano Díaz Rodríguez por su colaboración.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

H. F. Coasesor de Tesis de maestría, asesoramiento en el planteamiento del anteproyecto, guía en la conceptualización y corrección del artículo.

E. S. Enlace para la pasantía y análisis de las muestras de agua potable en el Laboratorio CROM-MASS de la Universidad Industrial de Santander.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] A. Sánchez. "Efectos de los trihalometanos sobre la salud. Higiene y Salud Ambiental". no. 8, pp. 280-290. 2008.
- [2] L. Sánchez, S. Rodríguez, J. Escobar, P. Torres. "Modelación del cloro residual y subproductos de la desinfección en un sector piloto del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Cali". Ingeniería y Competitividad. Vol. 12, no. 1, pp. 127-138. 2010.
- [3] O. Gómez, E. Ordoñez. "Determinación de trihalometanos (thm's) en aguas tratadas de la ciudad de Pereira mediante cromatografía de gases por microcaptura de electrones", Universidad Tecnológica de Pereira, facultad de tecnología química industrial, Feb. 2014.
- [4] S. Hernández, L. González, R. Armendáriz, JM Caballero, B. Charki El-Mousati, H. De la Torre. "Trihalometanos en aguas de consumo humano". Revista de Toxicología, vol. 28, no. 2, pp. 109-114 Asociación Española de Toxicología Pamplona, España. 2011.
- [5] C. Villanueva, M. Kogevinas, J. Grimalt. "Cloración de agua potable en España y cáncer de vejiga", Gaceta Sanitaria; vol. 15, pp. 48-53. 2001
- [6] C. Sivaganesan. "Predicting chlorine residuals and formation of THMs in drinking water". Vol. 124, pp. 1903-10. 1998.
- [7] A. Mallia, L. Ríos, J. Carrillo, M. Llobregat, C. Fernández. Evaluación de los subproductos del proceso de cloración en la Planta de Tratamiento de Agua Lucio Baldó Soules", Rev. Tec. En g. Universidad Zulia, vol. 31, no. Especial, dic. 2008.
- [8] M. Nieuwenhuijsen, D. Martínez, J. Grellier, J. Bennett. "Chlorination Disinfection By-Products in Drinking Water and Congenital Anomalies: Review an-Meta-Analyses. Environmental Health Perspectives". Vol. 117, no. 10, pp. 1486-1493. 2009.
- [9] C. Severiche, M. Castillo, P. Barreto, H. González. "Evaluación analítica para la determinación de trihalometanos totales en aguas tratadas por método cromatográfico". MOLEQLA. Revista química de la Universidad Pablo de Olavide, no 10, pp. 62-67. 2013.
- [10] CEPIS.: "Programa regional HPE/OPS/ CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Manual III: Teoría. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente". 1992.
- [11] Romero J.: "Calidad de Agua". 2da ed. Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería, pp. 269-299, julio 2005.
- [12] A.W.W.A. "Calidad y Tratamiento de Agua: Manual de suministro de agua comunitaria". American Water Works Association, 5ta ed. España: Editorial Mc Graw Hill Professional, pp. 917-965, 2002.
- [13] M. Cedergren, A. Selbing, O. Löfman, B. Källén. "Chlortination Byproducts and Nitrate in Drinking Water and Risk for Congenital Cardiac Defects". Environmental Research, Vol. 89, issue 2, pp. 124-130, 2002.
- [14] T. Myllykangas, T. Nissinen, J. Mäki-Paakkanen, A. Hirvonen, T. Vartiainen. "Bromide affecting drinking water mutagenicity". Chemosphere, Vol. 53, Issue 7, pp. 745-756, 2003.
- [15] G. Spyros. "The occurrence of trihalomethanes in the drinking water in Greece". Department of Environmental Studies, University of the Aegean, Karadoni 17, Mytilene 81100, Greece. Received 3 November 1999; accepted 4 February 2000.; Available online 7 August 2000.
- [16] N. Bracho, J. Castillo, L. Vargas, R. Morales. "Formation of trihalomethanes during the disinfection process in the potabilisation of water". Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, vol.32, no. 3, Maracaibo, dic. 2009.
- [17] K. Luks-Betlej, D. Bodzek. "Occurrence of Trihalomethanes, Particularly Those Containing Bromine, in Polish Drinking Waters". Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 11, No. 3, pp.255-260. 2002.
- [18] O. Vallejo, L. Beltrán, P. Franco, C. Montoya, E. Alzate, H. Reyes. "Determinación de trihalometanos en aguas de consumo humano por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases en Pereira, Colombia". Rev. Colombia. Química, vol. 44, no.1, pp.23-29. 2015.
- [19] U.S. Environmental Protection Agency. "Primary drinking water regulations: disinfectants and disinfection by products notice of data availability". Washington DC: EPA. 1998.
- [20] Gaceta Oficial N° 23, 942. Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99. Agua, agua potable. Definiciones y Requisitos Generales.
- [21] APHA-AWWA-WPCF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 17th ed. 1989.
- [22] M. Chen, et al. "Determination of trihalomethanes in drinking water by solid phase microextraction and gas chromatography with electron captured detection",

- Toxicological and pharmaceutical chemistry, vol. 60, pp.39-45.1996.
- [23] EPA Method 501.1 (EPA-500 Series), "The Analysis Of Trihalomethanes In Drinking Water By The Purge And Trap Method". METHOD #: 501.1, nov. 1979.
- [24] E. Stashenko, J. Martínez. "Preparación de la muestra: un paso crucial para el análisis por GC-MS". Scientia Chromatographica, Instituto Internacional de Cromatografía, vol. 3, no.1, pp.25-49. 2011.
- [25] A. González. "Desarrollo de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes orgánicos halogenados en muestras de interés medioambiental mediante espectrometría de masas (ms)". Universidad de Oviedo, Tesis Doctoral, 2012.
- [26] A. Sánchez. "Efectos de los trihalometanos sobre la salud Higiene y Sanidad Ambiental". Tesis doctoral. Vol. 8, pp.280-290. 2008.
- [27] J. Calderón, C. Capell, F. Centrich, L. Artazcoz, M. González-Cabré, JR. Villalbí. "Subproductos halogenados de la cloración en el agua de consumo público", Gac Sanit. Vol. 16, pp. 241-3, 2002.
- [28] A. Sarmiento, M. Rojas, E. Medina, C. Olivet, J. Casanova. "Investigación de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela". Gaceta Sanitaria, vol. 17, no.2, pp. 137-43. 2003.
- [29] Pizzino, Elio A "Determinación de Trihalometanos en aguas destinadas al consumo humano de la Ciudad de Mérida". Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 2006.
- [30] S. Arjona, P. Torres, C. Cruz, D. Loaiza, J. Escobar. "Efecto del punto de precloración sobre la formación de trihalometanos en procesos convencionales de potabilización de agua", Rev. ing. univ. Medellín, vol.11, no. 20, Medellín, jun. 2012.
- [31] O. Borda & A. Guerrero "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". Universidad La Gran Colombia, may. 2020.
- [32] M. Zanabria, "Evaluación de los subproductos de cloración en el tratamiento de agua potable en el distrito de Pilcomayo, 2020". Trabajo de Investigación para optar el Bachiller en Ingeniería Ambiental, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú. 2020.
- [33] A. Cano, L. García, S. López, "Subproductos de la desinfección de aguas residuales con hipoclorito: cloratos y trihalometanos". Tecnoaqua, No. 35, pp. 54-63. 2019.

## ANEXOS

### Anexo 1. Clave de las muestras de agua potable y sus características.

Muestras	Lugar	Hora	Temperatura de la muestra (°C)	pH	Cloro residual	Coordenadas
PUNTO 1	Toma de agua cruda (río David)	10:00 a.m.	24.2	7.94	Menor 0.6	17P342754 UTM 948360
PUNTO 2	Doleguita	11:05 a.m.	25.5	7.42	1.5	17P342623 UTM 933679
PUNTO 3	Las lomas (tránsito)	11:22 a.m.	25.9	7.36	1.5	17P345330 UTM 932233
PUNTO 4	Centro de David (alm. América)	11.38 a.m.	28.6	6.46	0.6	17P343235 UTM 931679
PUNTO 5	Altamira	11:55 a.m.	28.1	7.42	1.5	17P 343772 UTM 929210
PUNTO 6	Pedregal	12:13 p.m.	27.4	7.55	1.5	17P 342104 UTM 925649
PUNTO 7	Feria (col. Arnulfo arias)	12:40 p.m.	28.5	6.96	1.0	17P341068 UTM 931028
PUNTO 8	Hosp. Regional	12:55 p.m.	26.2	7.47	1.5	17P 340054 UTM 932274
PUNTO 9	Centro (Municipio de David)	1:19 p.m.	26.5	7.58	1.5	17P342554 UTM 931935