

ESTUDIO DE LOS NIVELES DE TRIHALOMETANOS (THMs) EN MUESTRAS DE AGUA POTABLE, PROVENIENTES DE UNA PLANTA REGIONAL UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Borda¹, Guerrero², Moreno³

¹⁻³ Universidad La Gran Colombia, Bogotá D-C - Colombia. olga.borda@ugc.edu.co¹, ariel.guerrero@ugc.edu.co², andrea.moreno@ugc.edu.co³.

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: CHCl₃, chlorodibromomethane: CHClBr₂, bromodichloromethane: CHCl₂Br and tribromomethane: CHBr₃, 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 el desarrollo de una investigación relacionada con la evaluación de los niveles de residuos de trihalometanos (THMs): Cloroformo: CHCl₃, clorodibromometano: CHClBr₂, bromodichlorometano: CHCl₂Br y tribromometano: CHBr₃, 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 lleva 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 realiza 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. La correlación de datos insitu y de laboratorio se apoya en la captura de información, mediante un formulario en línea, el cual permite identificar alertas basadas en el comparativo con la normativa legal vigente.

Palabras clave: Trihalometanos, cloro residual, materia

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.514>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

orgánica, potencial de hidrógeno.

I. INTRODUCTION

El agua es uno de los recursos naturales más indispensables para la vida, ya que contribuye al ser humano desde diversos usos, tales como: la agricultura (70%), la industria (20%), el uso doméstico (6%) entre otros. Asimismo, su gestión ha sido ampliamente definida por la Organización Mundial de la salud, estableciendo que este líquido debe estar libre de microorganismos causantes de enfermedades que afectan la salud [1].

El agua superficial está expuesta a una amplia variedad de factores patógenos que alteran su calidad con diferentes niveles de contaminantes—[2]., los cuales pueden no solamente afectar parámetros de calidad si no también los componentes estructurales de los sistemas de abastecimiento.

Así, en los procesos rutinarios de una planta de tratamiento de agua potable se deben implementar métodos de desinfección, que en general, se basan en el uso de cloro, ozono, radiación ultravioleta, entre otros.

El más utilizado es el cloro, debido a su bajo costo y alto poder desinfectante y oxidante efectividad, sin embargo, esta técnica puede constituirse en un riesgo sobre la calidad del agua, debido a que el “cloro residual que genera” reacciona con la carga orgánica que se encuentra en el agua de manera natural, formando ciertos subproductos caracterizados de alto nivel toxicológico.

Desde mediados de los años 70 se identificó que los trihalometanos (THMs) son los subproductos que mayormente pueden formarse producto del proceso de desinfección por cloro y del mismo modo se logró su cuantificación en ciertas muestras de agua potable. [3]. 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,

Investigaciones epidemiológicas en países como Estados Unidos se afirma la existencia de cloroformo como uno de los compuestos principales de los THMs que se encuentran en el agua desinfectada con cloro, que llevan a la aparición de cáncer de colon, vejiga y recto. [4]. Así, 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. Por ejemplo, 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.

En el contexto colombiano, se han desarrollado estudios relacionados con la caracterización de THMs mediante la técnica de cromatografía de gases principalmente, en los cuales se ha logrado identificar trazas importantes de cloroformo y otros THMs que presentan tendencia de variación con respecto a variables como temperatura y pH. [5].

En este sentido, la organización mundial de la salud [6] reglamenta valores de referencia para los cuatro componentes de THMs. En la tabla 1, se explicitan los valores de referencia

TABLE I
VALORES DE REFERENCIA DE THMs, SEGÚN OMS

Subproducto	Concentración máxima en agua potable en mg/L
Cloroformo	0,3
Bromoformo	0,1
Dibromoclorometano	0,1
Bromodiclorometano	0,06

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.

Riesgo asociado a los subproductos mayoritarios de la cloración

Según la OMS [6].se puede afirmar que los THMs pueden considerarse de alto nivel toxicológico, cuyos riesgos ya han sido reportados por la agencia para sustancias tóxicas

y registro de enfermedades. En la figura 1 se presenta lo mencionado.

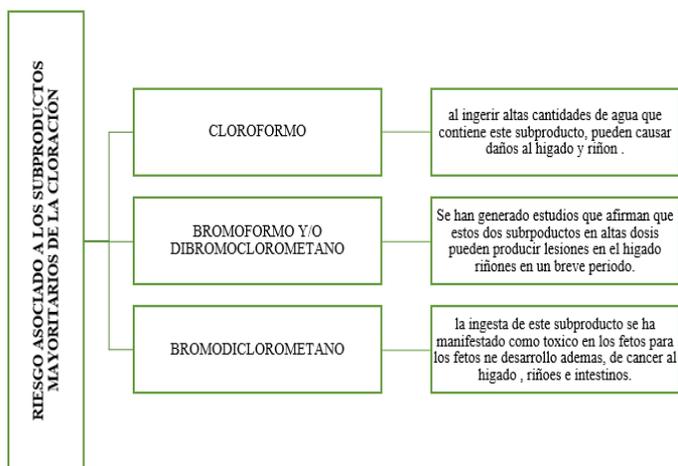


Fig. 1. agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades [15].

En este contexto, resulta fundamental la evaluación de estos subproductos en planta de tratamiento de agua potable, pues se constituyen en un punto de partida para la adecuación de técnicas de desinfección basadas en el uso del cloro.

Algunos estudios soportan lo expuesto en la figura 1, por lo que en el marco de la gestión del recurso hídrico resulta importante el estudio de los subproductos de la desinfección por cloro. [7], [8] y [9]

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La problemática de la investigación se centra en la determinación de las trazas de trihalometanos que pueden estar presentes en muestras de agua potable, en este caso se evaluará los procesos de tratamiento que se están implementando en la planta regional de agua potable ubicada en Cogua, Zipaquirá - Colombia. Lo mencionado en la figura 2.

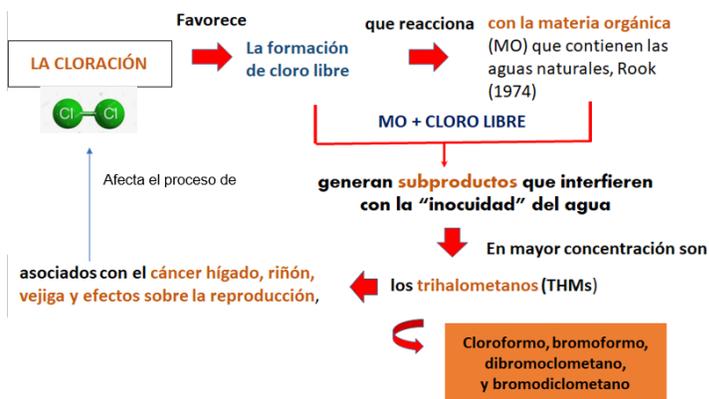


Fig. 2. Problemática asociada a la investigación

Para el abordaje de lo mostrado en la figura 2, se realiza una caracterización de la zona objeto de estudio, se identifican los puntos de muestreo y la planta de tratamiento más adecuada para la caracterización, se diseña un plan operativo de muestreo, se adecuan ciertos parámetros analíticos por espectrofotometría UV-VIS para la cuantificación de THMs y se diseña una app para captura de resultados insitu y en el laboratorio especializado. Con la cual se realiza un comparativo, con respecto a la normativa nacional (resolución 2115) e internacional (ver tabla 1).

La investigación se enmarca dentro de dos objetivos de desarrollo sostenible principalmente, “agua limpia y saneamiento y ciudades y comunidades sostenibles” y está conformada por un equipo de trabajo que aporta desde distintas áreas. ver figura 3.



Fig. 3. Relación de la investigación con los objetivos de desarrollo sostenible

En la zona objeto de estudio mencionada se encuentran 4 plantas de tratamiento y con base en ciertas características y de caudal, el muestreo se realiza en las plantas convencional y compacta. Ver figura 4.

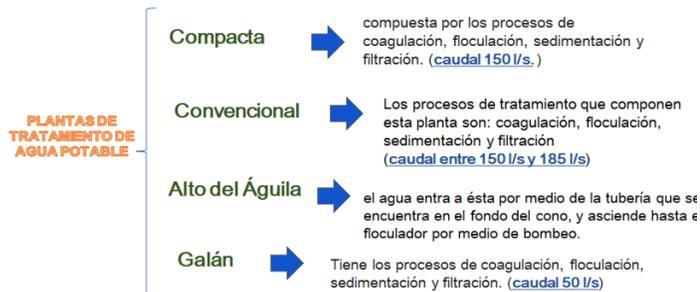


Fig. 4. Plantas de tratamiento de la zona
fuente: empresa de acueducto, aseo y alcantarillado - Zipaquirá, Colombia

En este sentido, la problemática de investigación se aborda mediante 4 actividades específicas, las cuales se muestran en la figura 5.



Fig. 5. Abordaje de la problemática

III RESULTADOS

A continuación, se describen los alcances de la implementación:

Caracterización de la zona

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 y abastece a 170.000 usuarios, según registros reportados hasta el 2020. Ver figura 6.



Fig. 6 Localización geográfica general de Cogua-Cundinamarca. Colombia. [10]

La cuenca se abastece de la subcuenca del río Neusa, la cual según un estudio preliminar sobre la amenaza y riesgo a la vulnerabilidad, está expuesta a contaminación debido a la actividad agrícola y ganadera que realiza en la zona. En la figura 7 se presenta la ubicación de esta fuente hídrica.

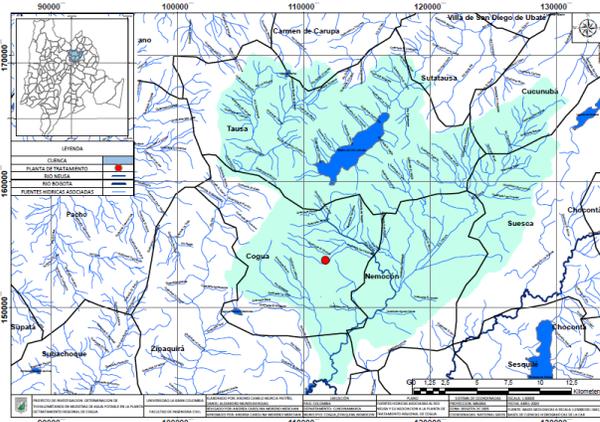
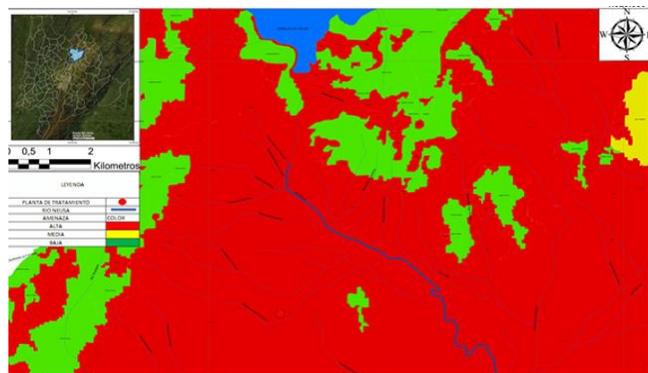


Fig. 7. Fuentes hidrológicas asociadas al río Neusa [16]

Asimismo, Se realizó en la zona, la evaluación de la amenaza y vulnerabilidad asociada a la contaminación del agua por uso del suelo. Se inició con la localización de la zona por medio de Google Earth©. Se procedió a la evaluación de la Vulnerabilidad, para tal fin se usó el Manual para la metodología para evaluar los riesgos del Departamento Nacional de Planeación de la República de Colombia, se realizó la estimación de amenaza en la zona de estudio, teniendo en cuenta el uso del suelo, que para nuestro caso de estudio es el factor asociado a la contaminación a las fuentes superficiales, y se procedió a la determinación de la frecuencia de ocurrencia del evento y el potencial de daño que podrían generar el uso del suelo.

como resultado se obtuvo que la zona presenta una amenaza alta, esto asociado al uso preferencia de pastos para ganadería y cultivos. Se continuó con la evaluación de la amenaza, esto se realizó usando una adaptación del método del índice GOD (Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater, en la cual se consideran las variables G, O y D, Se determinó que para todo el acuífero el valor G será de 1, esto debido que el estudio solo considera afluentes superficiales del Rio Neusa, los cuales son considerados no confinados por estar en superficie. Ver figura 8



Uso del Suelo	Área (Ha)	Frecuencia	Potencial de daño	Amenaza
Vegetación de paramo	3645,11	BAJA	BAJA	BAJA
Bosques Naturales	3591,399	BAJA	BAJA	BAJA
Cobertura Boscosa	559,467	BAJA	BAJA	BAJA
Plantaciones Forestales	2268,931	BAJA	BAJA	BAJA
Cultivos	9978,457	ALTA	ALTA	ALTA
Invernaderos	15,366	MEDIA	ALTA	ALTA
Pastos	22009,205	ALTA	ALTA	ALTA
Áreas sin Vegetación	1595,362	MEDIA	MEDIA	MEDIA
Cuerpos de agua	866,869	BAJA	BAJA	BAJA
Área urbana	75,578	ALTA	ALTA	ALTA



Fig. 9. Uso del suelo en la subcuenca del Rio Neusa y su respectivo porcentaje.[11].

Para el valor O, en la zona de estudio, se asocia a las condiciones litológicas del terreno, de acuerdo con en el Mapa Geológico Plancha 209 – Zipaquirá (1:100.000, 2003) del Servicio Geológico Colombiano, como última

variable se calculó el valor D donde se analizó y se calculó las distancias usando el programa ArcMap 10.7 con sus escalas correspondientes en este caso 1:20000 teniendo como punto principal la planta de tratamiento regional, finalmente se realiza el cálculo de la vulnerabilidad teniendo las variables y se obtiene los resultados para esta como zonas con valores con los rangos en cual se determinó que la mayoría de la zona analizada tiene una vulnerabilidad moderada y baja, esto asociado a las principalmente a la distancia de los afluentes al punto de captación y las características favorables de la litología en la zona. Finalmente se realiza una evaluación preliminar del riesgo como producto de la vulnerabilidad y la amenaza dando como resultado un riesgo bajo en la zona, en las condiciones captadas para la evaluación, si alguna de las variables cambia el resultado variaría. Ver figura 9

GRADO DE VULNERABILIDAD	GOD	COLOR
EXTREMA	0.7 - 1	ROJO
ALTA	0.5 - 0.7	NARANJA
MODERADA	0.3 - 0.5	AMARILLO
BAJA	0.1 - 0.3	VERDE CLARO
MUY BAJA	0 - 0.1	VERDE OSCURO

G (Tipo de Acuífero)	O (Litología de la zona)	D (Distancia al Acuífero)	G*O*D	VULNERABILIDAD	COLOR
1	0,5	0,6	0,3	BAJA	VERDE CLARO
1	0,7	0,6	0,42	MODERADA	AMARILLO
1	0,8	0,6	0,48	MODERADA	AMARILLO
1	0,9	0,6	0,54	ALTA	NARANJA
1	0,5	0,7	0,35	MODERADA	AMARILLO
1	0,7	0,7	0,49	MODERADA	AMARILLO
1	0,8	0,7	0,56	ALTA	NARANJA
1	0,9	0,7	0,63	ALTA	NARANJA
1	0,5	0,8	0,4	MODERADA	AMARILLO
1	0,7	0,8	0,56	ALTA	NARANJA
1	0,8	0,8	0,64	ALTA	NARANJA
1	0,9	0,8	0,72	EXTREMA	ROJO
1	0,5	0,9	0,45	MODERADA	AMARILLO
1	0,7	0,9	0,63	ALTA	NARANJA
1	0,8	0,9	0,72	EXTREMA	ROJO
1	0,9	0,9	0,81	EXTREMA	ROJO
1	0,5	1	0,5	MODERADA	AMARILLO
1	0,7	1	0,7	ALTA	NARANJA
1	0,8	1	0,8	EXTREMA	ROJO
1	0,9	1	0,9	EXTREMA	ROJO

Fig. 10. Vulnerabilidad de la subcuenca del río Neusa [11]

Procedimiento de muestreo

Tal como se ha mencionado, los niveles de THMs dependen de variables como el pH, cloro residual, carbono total y temperatura, así que su determinación debe realizarse en distintos periodos del año. En este sentido el muestreo se realiza con una frecuencia de dos veces por mes durante 8 días. En la figura 8 se presenta de manera esquemática el protocolo de muestreo.

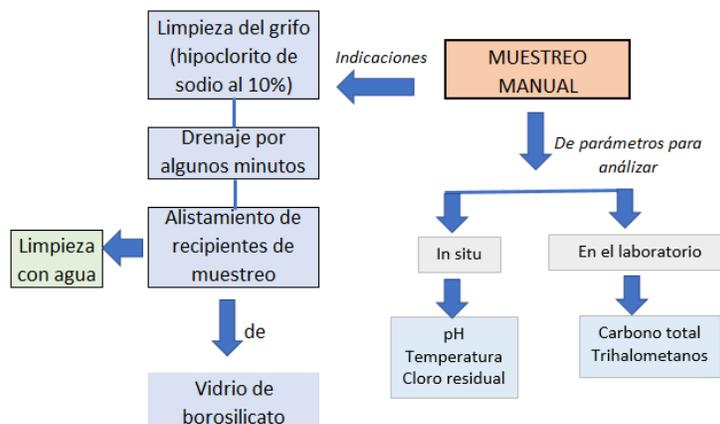


Fig. 10. Protocolo general de muestreo [12-13] (Adaptado de: INS Instituto Nacional de Salud. (2011, Julio)

Aplicación de la espectrofotometría UV-VIS en la determinación de trihalometanos (THMs)

Los antecedentes en cuanto a la determinación de THMs, muestran que la técnica más utilizada es la cromatografía de gases HPLC, sin embargo, en este estudio se implementa el método de Fujiwara [13], el cual presenta una alta sensibilidad a estos compuestos y se fundamenta en el uso de la espectrofotometría ultravioleta y visible (UV - VIS).

Esta técnica se enmarca en los métodos ópticos de análisis, cuyo fundamento se basa en la interacción materia - radiación. De esta manera, los análisis se realizan en un espectrofotómetro, en el cual los THMs al ser expuestos a una longitud de onda de 550nm absorben esta radiación por resonancia.

Este análisis requiere la adecuación de ciertos parámetros analíticos tales como: límite de detección, límite de cuantificación, linealidad, porcentaje de recuperación, entre otros.

Preparación de los patrones de trabajo

A continuación, en la tabla II se presentan las cantidades de la solución de trabajo “solución metanólica de cloroformo.”

TABLA II
SOLUCIONES PATRÓN

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

$$\frac{50 \text{ ug CHCl}_3}{50 \text{ mL de CH}_3\text{OH}} \times \frac{1,483 \text{ mg CHCl}_3}{1 \text{ uL de CHCl}_3} \times \frac{0,05 \text{ mL CH}_3\text{OH}}{0,5 \text{ L de H}_2\text{O}} \times \frac{1000 \text{ ug CHCl}_3}{1 \text{ mg CHCl}_3} \quad . (1)$$

Lectura en espectrofotómetro

Esta lectura se realizó a la longitud de onda resonante de los trihalometanos (THMs), la cual es de 550nm. El método se describe en la figura 9. [14]

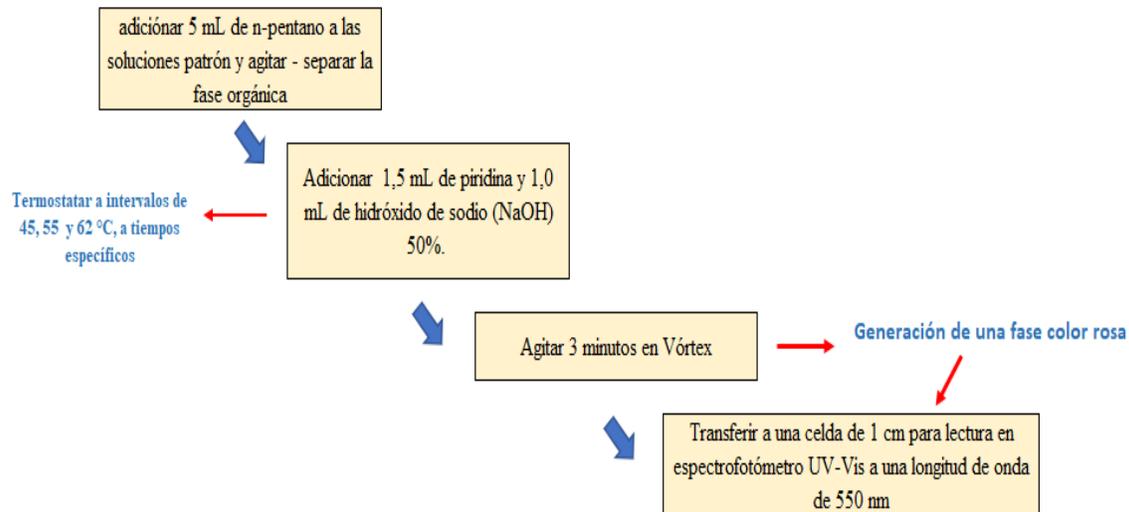


Fig. 11. Descripción del método de Funjiwara

El método requiere realizar un control cuidadoso del 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.

Se determinó un nivel de cloroformo en aumento con respecto a los valores de pH. Asimismo, el nivel de cloro residual afecto de manera positiva esta concentración. Sin embargo, se obtuvo cierta reducción de estos valores cuando la temperatura estuvo por debajo de los 12°C. En general, la concentración de subproductos aumento en relación a trazas de carbono total considerables.

Gestión de datos experimentales

Como apoyo al proceso de recolección y análisis de resultados de la información suministrada en el punto de toma de muestras en la planta de tratamiento y los resultados entregados por el laboratorio de ** análisis de aguas** se utiliza una aplicación que mediante un formulario en línea permite el registro de los datos, esta aplicación tiene asociados perfiles de usuario con diferentes permisos, se tiene usuario administrador, usuarios con permiso de edición y usuario con permiso de lectura.

Los registros almacenados en las bases de datos, pueden ser consultados, modificados o eliminados por los usuarios de acuerdo a sus perfiles, las búsquedas se pueden hacer por planta de tratamiento, punto de recolección de la muestra, encargado de la recolección o por fechas, los campos para concentración de THMs se comparan con los valores permitidos por las resolución 2115 (usada en Colombia como referente), y por la OMS, y en caso de sobrepasar los límites recomendados envía un mensaje de alerta, igualmente se pueden descargar los informes generales o específicos para tener mayor detalle.

En el punto de recolección de la muestra también se tienen alertas en caso que las condiciones iniciales de la muestra presente valores por encima de la media en el caso de PH, turbidez o color, pero permite el registro de los datos de la muestra, y se queda la anotación para tener en cuenta en los análisis, o si la muestra debe ser descartada.

La aplicación permite tener el histórico de la información para ser consultada o para generar modelos predictivos de la concentración de THMs según la época o estaciones del año (según la región), basados en los datos almacenados en la base de datos. Ver figura 12

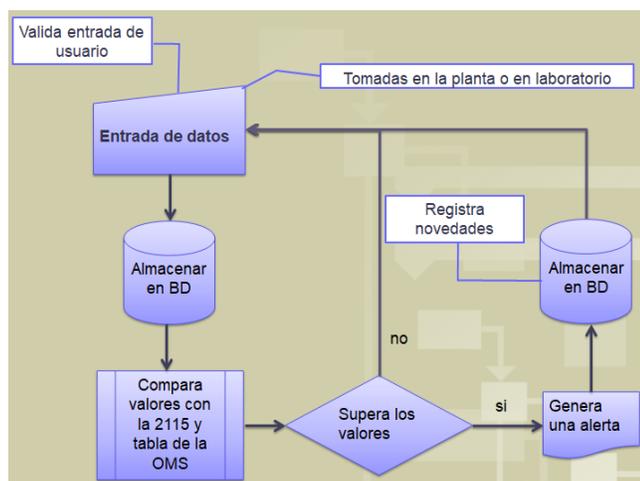


Fig. 12. Flujo de funcionamiento de la app

IV COMENTARIOS FINALES

La planta de tratamiento que se abastece de esta zona, no está expuesta a un alto riesgo de contaminación asociada al uso del suelo, por lo cual la comunidad cuenta con un recurso hídrico de buena calidad que debe procurar preservar las condiciones actuales y tratar de mejorar lo que se pueda en temas de gestión ambiental, velando la conservación y no alteración del medio natural, así mismo. Se deben contemplar medidas correctivas para minimizar esos factores contaminantes.

El método espectrofotométrico de Fujiwara exhibe importante sensibilidad, Sin embargo, debe seguirse de manera estricta la adecuada formación del complejo coloreado, así como el tiempo máximo en el que pueden realizarse las lecturas en el espectrofotómetro.

La mayor tendencia encontrada fue a la de formación de cloroformo, el cual se relacionan de manera directa con el pH, temperatura, cloro residual y carbono total. Se requiere aumentar la frecuencia de muestreo para evaluar la posible formación de los THMs restantes.

La evaluación de procesos de tratamientos por cloro debe constituirse en un proceso rutinario, debido a la alta probabilidad de formación de subproductos asociados a la generación de enfermedades como el cáncer y la función reproductiva. Los procesos mencionados, requieren aplicación periódica debido a que los resultados pueden variar con respecto a la variabilidad climática, entre otras variables. De encontrarse niveles indeseados de subproductos mayoritarios, es necesario sustituir el compuesto de cloro por otro, por ejemplo, por el dióxido

de cloro, aspecto que conlleva a evaluar la inocuidad del agua con este nuevo desinfectante.

REFERENCES

- [1] EPA (2006). Dibromocloropropano (DBCP).16/06/2020. <https://bit.ly/3hjKoD8>
- [2] Agencia de salud pública de Barcelona. (2010). *Los trihalometanos (THM) en el agua de consumo Documento informativo. 2020*, de Consorci de Sanitari de Barcelona. <https://bit.ly/32f6Adx>
- [3] OLMEDO SÁNCHEZ. (2008). *Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud.* 24/05/2020 <https://bit.ly/3ieDKiY>
- [4] RESTEK. (2019). *Ficha de datos de seguridad, de Elaborado de conformidad con el Reglamento (UE) 2015/830* <https://bit.ly/3iezwrq>
- [5] Sánchez A. Efectos de los trihalometanos sobre la salud, 2008 (consulta, el 15 de abril de 2020), Available at: [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)
- [6] OMS. (2012). *Guías para la calidad del agua potable.* Organización Mundial para la Salud.
- [7] 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>
- [8] 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)
- [9] OMS. (2012). *Guías para la calidad del agua potable.* Organización Mundial para la Salud.
- [10] Calderon RL (2000) The epidemiology of chemicals contaminants of drinking water. *Food Chem Toxicol* 38(12): S13- S20.
- [11] CAR, C. E. (2015). *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del*

río Bogotá Subcuenca Río Alto Bogotá-2120-19,
Subcuenca Río Neusa.

[12] 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>

[13] 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>

<http://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion/Manual%20instrucciones%20toma,%20>

[14] 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

[15] 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

[16] 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