



# **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE BASADO EN EL USO DE COMPUESTOS DE CLORO**

**Olga Lucía Borda Prada, Ariel Fabricio Guerrero Rodríguez, Andrea Carolina Moreno Merchán, Luis Efrén Ayala Rojas**

**Universidad La Gran Colombia  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

En el marco de la gestión del recurso hídrico, la implementación de técnicas de desinfección resulta fundamental para garantizar el suministro de agua “inocua”, desde el punto de vista físico, químico y microbiológico. En este sentido, ciertos estudios han demostrado que la cloración en comparación con el uso por ejemplo de ozono o radiación ultravioleta resulta de bajo costo y favorece un alto poder oxidante y desinfectante. La demanda de cloro dependerá de su interacción con los sólidos totales presentes en el agua cruda o tratada y de variables como el pH, la temperatura, entre otros. De manera general y al finalizar la interacción mencionada, es necesario que posterior al proceso de cloración en el agua permanezca cierta concentración de cloro libre o residual que según normativa vigente en Colombia no debe exceder 1mg/L, esto, con el fin de ampliar el tiempo de desinfección. Sin embargo, este cloro (el residual) reacciona con la carga orgánica que se encuentra de manera natural, produciendo alrededor de 36 diferentes subproductos que generan alto riesgo toxicológico. Los subproductos mayoritarios, es decir que pueden presentarse con un mayor nivel de residuos son los denominados trihalometanos (THMs), los cuales son caracterizados como cancerígenos y nocivos para la función reproductora.

En este contexto, se está desarrollando una investigación relacionada con la caracterización de estos subproductos mayoritarios de la cloración mediante una técnica analítica por espectrofotometría Ultravioleta – visible y la evaluación de los índices de riesgo asociados a la amenaza, a la vulnerabilidad y la posibilidad de generar cáncer.

La caracterización se realizará en una planta regional que no posee antecedentes de análisis de estos residuos, la cual está ubicada en el Departamento de Cundinamarca –y abastece alrededor de 170.000 habitantes. La toma de datos y la gestión de estos mediante el diseño y aplicación en Visual Basic Excel que permite la captura, almacenamiento y consulta dinámica de forma rápida y confiable.

En la investigación, se han vinculado 22 ingenieros civiles en formación bajo el rol de pasantes de investigación, con lo cual el proyecto y se ha logrado: caracterizar la zona objeto de estudio, realizar una evaluación preliminar sobre la vulnerabilidad asociada al uso del suelo, la adecuación de parámetros analíticos por espectrofotometría ultravioleta – visible, el diseño de una app local en apoyo a la gestión de datos experimentales in situ y en el laboratorio, la estructuración de manuales interactivos sobre procedimientos de muestreo y análisis de parámetros físicos y químicos.

**Palabras clave:** materia orgánica; potencial de hidrógeno; cloro residual; trihalometanos

### **Abstract**

*Within the framework of water resource management, the implementation of disinfection techniques is essential to guarantee the supply of "safe" water, from a physical, chemical and microbiological point of view. In this sense, certain studies have shown that chlorination compared to the use of, for example, ozone or ultraviolet radiation is inexpensive and favors a high oxidizing and disinfectant power. The demand for chlorine will depend on its interaction with the total solids present in raw or treated water and on variables such as pH, temperature, among others.*

*In general and at the end of the aforementioned interaction, it is necessary that after the chlorination process in the water a certain concentration of free or residual chlorine remains that according to current regulations in Colombia should not exceed 1 mg / L, this, in order to expand the disinfection time. However, this chlorine (the residual) reacts with the organic load that is found naturally, producing around 36 different by-products that generate a high toxicological risk. The main by-products, that is to say that they can present with a higher level of residues, are the so-called trihalomethanes (THMs), which are characterized as carcinogenic and harmful to reproductive function.*

*In this context, research is being carried out related to the characterization of these major by-products of chlorination by means of an analytical technique by ultraviolet-visible spectrophotometry and the evaluation of the risk indices associated with the threat, vulnerability and the possibility of generating Cancer.*

*The characterization will be carried out in a regional plant that does not have a history of analysis of these residues, which is located in the Department of Cundinamarca - and supplies around 170,000 inhabitants. Data collection and management through the design and application in Visual Basic (for Windows) that allows the capture, storage and consultation in a fast and secure way.*



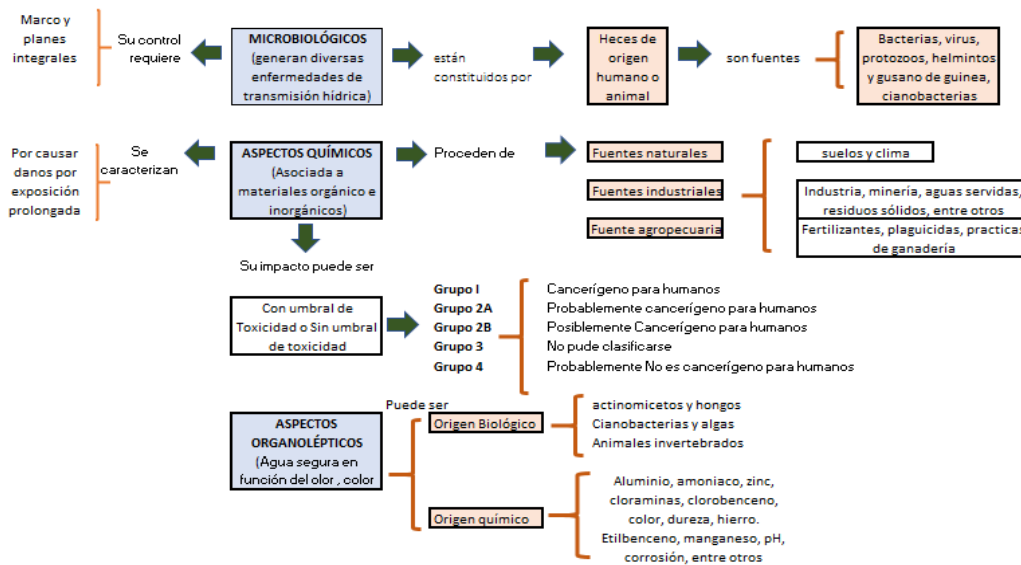
*In the research, 22 civil engineers in training have been linked under the role of research interns, with which the project and has been achieved: characterize the area under study, carry out a preliminary assessment on the vulnerability associated with land use, the adaptation of analytical parameters by ultraviolet-visible spectrophotometry, the design of a local app to support the management of experimental data in situ and in the laboratory, the structuring of interactive manuals on sampling procedures and analysis of physical and chemical parameters.*

**Keywords:** trihalomethanes; residual chlorine; organic matter; hydrogen potential

## 1, Introducción

En el marco de la gestión del recurso hídrico es fundamental el suministro de agua inocua, con lo cual también se asegura el cumplimiento de las normativas legales vigentes. En este sentido, la calidad del agua potable requiere del diseño e implementación de medidas de vigilancia y control. La aplicación de las medidas mencionadas se constituye en los mecanismos básicos para el abastecimiento de agua segura. Estas, incluyen el seguimiento y evaluación juiciosa de todo el sistema, esto es, desde la fuente y captación hasta el consumidor (OMS, 2018).

Así pues, se debe garantizar el suministro de agua segura mediante la evaluación rutinaria de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. A continuación, en el diagrama 1 se describen aspectos en torno a estos parámetros.



**Diagrama 1.** Generalidades sobre parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Con base en la información señalada en el diagrama 1, es posible estructurar y generar planes de seguimiento al agua para el consumo humano. Así, estos planes tienen que ver con la evaluación, monitoreo y vigilancia, en el marco de la normativa y en el contexto de la salud pública.



En este contexto, se presentan aquí los resultados preliminares de una investigación, relacionada con la evaluación de la calidad de los procesos de desinfección, basados en el uso del cloro.

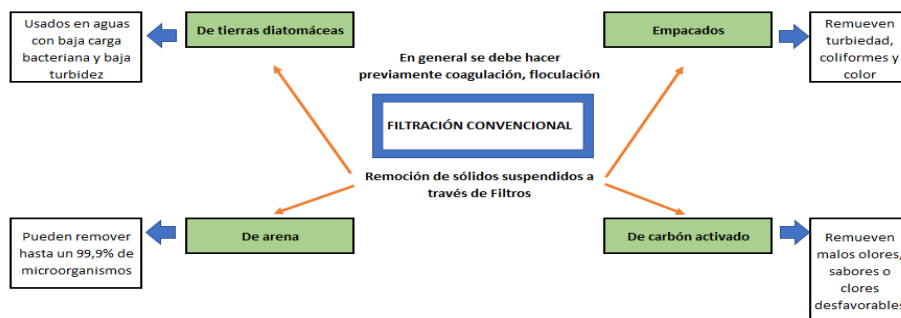
## 2. Tratamiento del agua potable

La implementación de procesos de tratamiento al agua potable responde a satisfacer la necesidad y derecho que tiene determinada población de consumo, saneamiento de este preciado líquido. Asimismo, sea cual sea la técnica a utilizar, esta debe ser sostenible sin causar afectaciones importantes a los ecosistemas.

En lo posible se debe dar relevancia al diseño y aplicación de técnicas de protección a las fuentes abastecedoras, ya sean superficiales o subterráneas, antes que a las muestras aptas para consumo humano.

El tratamiento que puede ser físico, químico o microbiológico, dependerá de las características de la fuente, así, inicialmente deben evaluar parámetros en función de esta y en el marco de la normativa legal vigente. Estas fuentes podrán contener diversos contaminantes caracterizados dentro de los sólidos totales y pueden ser de origen orgánico e inorgánico.

En este contexto, se pueden aplicar técnicas de tratamiento por filtración convencional, las cuales no resultan tan necesarias para las aguas subterráneas, pero sí para las aguas superficiales ya que contienen, por ejemplo, sedimentos provenientes principalmente del agua lluvia (EPA, 1990). Estas técnicas incluyen la utilización de filtros de arena, empacados, de tierras diatomáceas, empacados o de carbón activado. Su elección depende de las condiciones de la fuente de abastecimiento, En el diagrama 2, se describen aspectos de los filtros mencionados.

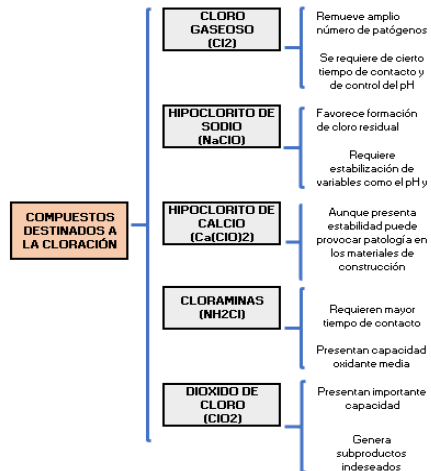


**Diagrama 2.** Generalidades sobre parámetros físicos, químicos y microbiológicos. (EPA, 2006)

Asimismo, se aplican técnicas de desinfección, orientadas al control de bacterias, coliformes totales y fecales, los cuales son causantes de enfermedades que ponen en riesgo la salud pública. Los compuestos destinados para la desinfección son los derivados del cloro, cloraminas y ozono. Por otro lado, se usa la luz ultravioleta de baja frecuencia.



El ozono es un gran oxidante y agente desinfectante, se usa en concentraciones bajas, pero es inestable desde el punto de vista molecular; la luz ultravioleta, inhibe virus y bacterias y no genera residuos tóxicos, sin embargo, es poco eficaz en aguas con alto contenido de sólidos suspendidos. Sin embargo, la adición de cloro presenta una alta difusión celular de la carga microbiana y es de bajo costo, por lo que es de uso más frecuente. Por otro lado, posterior al tratamiento favorece en el agua ciertas trazas de cloro libre, que si no se excede el nivel permitido aumentan la protección en el agua tratada (Borda, Guerrero y Moreno, 2021). En el diagrama 3, se muestran aspectos sobre la cloración.



**Diagrama 3.** Compuestos de uso común en la cloración. Martí JM. (2003)

### 3. Reacción del cloro con la carga orgánica

Posterior al proceso de tratamiento, basado en el uso del cloro, el cloro residual que resulta del mismo reacciona con la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas. Esta reacción, favorece la posible formación de hasta 36 subproductos que ponen en riesgo el suministro de agua segura (Solsona F. y Méndez JP, 2002).

De este grupo de subproductos, según Oliveira M. (2011), los que pueden formarse en mayor concentración son los denominados trihalometanos. Dentro de este grupo se encuentra el cloroformo, el bromodiclorometano, el dibromoclorometano y el bromoformo, los cuales representan importante riesgo toxicológico, asociado a la posibilidad de generar cáncer. En la table 1, se describe los niveles de toxicidad de estos subproductos.



SUBPRODUCTO	FÓRMULA QUÍMICA	TOXICIDAD (según OMS, 2006)
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	Grupo 2B (posiblemente cancerígeno), Posibles tumores hepáticos y lesión centrolobulillar del mismo.
Bromoformo	CHBr <sub>3</sub>	Grupo 3, Posible riesgo de tumores a nivel de riñón
Dibromoclorometano	CHBr <sub>2</sub> Cl	Grupo 3, Posible riesgo de tumores hepáticos
Bromodichlorometano	CHBrCl <sub>2</sub>	Grupo 2B (posiblemente cancerígeno), Posibles riesgo de adenomas y adenocarcinomas renales

Tabla 1. Información toxicológica de los trihalometanos (THMs). EPA (2020)

Debido a la toxicidad mencionada de los THMs, La OMS (2018), reglamenta los niveles máximos de cada subproducto (ver tabla 2); a diferencia de la normativa colombiana que controla sólo su nivel total, el cual es de 0,2 mg/L

Cloroformo: 0,3 mg/l
Bromoformo: 0,1 mg/l
Dibromoclorometano: 0,1 mg/l
Bromodichlorometano: 0,06 mg/l

Tabla 2. Niveles permisibles de THMs en el agua potable. Tomado de OMS. (2018)

#### 4. Descripción de la problemática

Con miras a evaluar los procesos de tratamientos del agua potable, basados en el uso del cloro, resulta de gran importancia evaluar los niveles de residuos posibles de THMs ya que, según el consenso de ciertas investigaciones, se constituyen en los productos mayoritarios de la cloración y están asociados a efectos cancerígenos.

Por otro lado, los niveles de THMs, dependen de ciertas variables como la temperatura, el pH, el contenido de materia orgánica y de cloro residual, por lo que su determinación depende de la correlación de estas en periodos prolongados.

En este contexto, se está desarrollando una investigación, relacionada con la determinación de los niveles de THMs en muestras de agua potable, provenientes de una Planta regional ubicada en el Departamento de Cundinamarca, que abastece alrededor de 170.000 habitantes y que es abastecida por la subcuenca del río Neusa.

Con base en los antecedentes revisados y teniendo en cuenta que la normativa colombiana solo controla el nivel total de THMs, la evaluación de estos subproductos no siempre se implementa de



manera rutinaria en planta de tratamiento por lo que su análisis reviste importante interés para adecuar los métodos de desinfección.

Esta problemática impacta el ámbito social y ambiental debido a que responde a la necesidad vital de tener acceso al agua potable y segura, esto enmarcado en los objetivos de desarrollo sostenible ODS 3, 6 y 11, los cuales afectan de manera directa la gestión del recurso hídrico y por tanto el bienestar de las comunidades.

## 5. Materiales y métodos

Con el fin de abordar la problemática propuesta, se diseña una metodología de tipo experimental, sus características se describen en el siguiente diagrama:

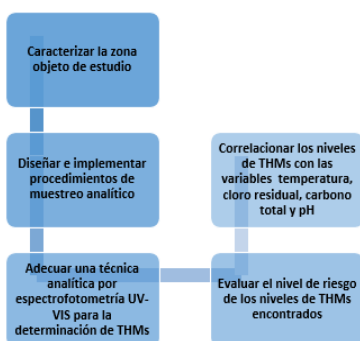


Diagrama 4. Fases de la investigación

## 6. Resultados

A continuación, se describen los alcances a partir de la implementación de lo mencionado en el diagrama 4.

- **Caracterización de la zona objeto de estudio**

La planta regional de tratamiento de agua en la cual se realizan los muestreos se abastece del Río Neusa, este pertenece a la subcuenca del Río Neusa, está ubicada en la cordillera oriental de Colombia, se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, abarca los municipios de Cogua, Nemocón, Zipaquirá, Carmen de Carupa, Cucunubá, Gachancipá, Pacho, Sutatausa, Tocancipá, Tausa y Suesca. Este Río nace en el municipio de Cogua en el llamado páramo de Guerrero con el nombre de Río Guandoque y recibe las aguas de afluentes menores en su recorrido para al final desembocar en el Río Bogotá. Ver figura 1



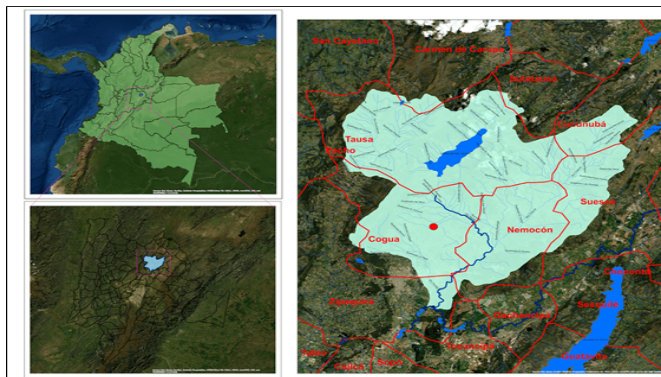


Figura 1. Mapa de la localización de la subcuenca del Río Neusa. Adaptado de: Google Earth, CAR, IGAC.

La planta de tratamiento de agua potable del Acueducto Regional Zipaquirá – Cogua y Nemocón (Figura 2) se encuentra localizada en el municipio de Cogua, de la cual se abastece del Río Neusa que hace parte de la subcuenca de Neusa, esta planta en su bocatoma capta un caudal de 150 l/s, una vez captada pasa por un desarenador para posteriormente ser trasladada por gravedad hasta la planta de tratamiento de agua potable que se encuentra localizada en la vereda Alto de la Cruz del municipio de Cogua y que está ubicado a 3688 m.s.n.m. Esta planta es administrada por la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Zipaquirá (EAAAZ). Esta abastece los municipios de Zipaquirá, Cogua y Nemocón de la cual corresponde el 70% para Zipaquirá, el 19% para Cogua y el 11% para Nemocón.

La zona tiene una amplia diversidad de usos de suelo, sin embargo, el principal de esta subcuenca son los pastos, lo cual puede determinar la presencia ganadera en el sector, también en una gran proporción los cultivos y los invernaderos tienen presencia en la zona, de esto se puede decir que más del 70% de la subcuenca tiene un nivel de amenaza alto, asociado al uso del suelo y donde principalmente la contaminación que se tiene es por fuentes antrópicas. Esto se hace importante considerando las metas de los ODS asociadas a la calidad del agua y a la mejora del medio ambiente, y a la preservación del bienestar y la salud de la comunidad.

### ● Estructuración de los procedimientos de muestreo

Teniendo en cuenta que los niveles de THMs dependen de las variables mencionadas, es necesario implementar procedimientos de muestreo y análisis un tiempo de 7 meses, con una frecuencia de dos veces por mes.

De manera general, se realiza desinfección del grifo de muestreo ubicado en la red de distribución de la planta de tratamiento compacta y convencional, con solución de hipoclorito de sodio, las muestras se colectan en envases de vidrio de capacidad de 1L con tapa rosca y se realiza una purga previa del mismo. Las muestras se transportan en neveras de icopor a una temperatura de 4°C. Según el INS (2011), a continuación, se describen los procedimientos generales de muestreo:

- ✓ Limpieza y desinfección del grifo de muestreo una solución de hipoclorito de sodio al 10% de cloro activo
- ✓ drenaje del agua estancada durante 1 a 2 minutos

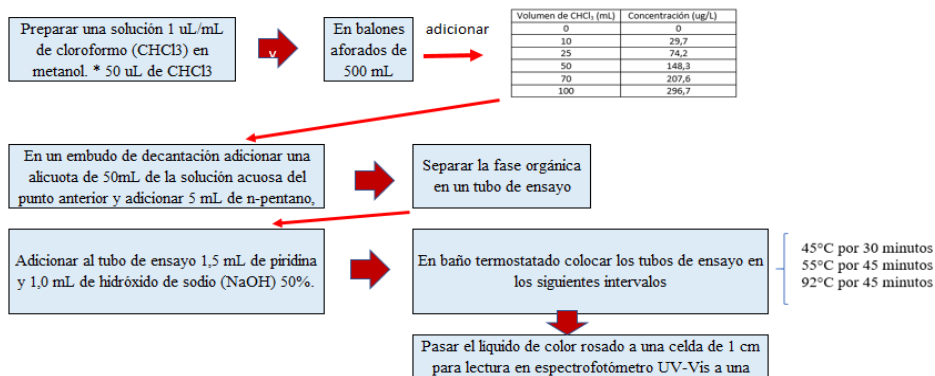




- ✓ Lavado de los recipientes de muestreo, con agua y detergente comercial, los cuales son de vidrio en borosilicato
- ✓ Para la medición in situ del pH, se recoge 50mL de la muestra en un recipiente de plástico y se registra este valor en un tiempo máximo de 15 minutos.
- ✓ Para la determinación de THMs, se usa un recipiente con tapa rosca en el cual se recogen 1000mL de muestra por réplica y se refrigera una temperatura cercana a los 4°C, la determinación se realiza en un máximo de 14 días.
- ✓ Para el análisis de carbono total se utiliza un recipiente de vidrio y se adiciona solución de HCl hasta ajustar el pH por debajo de 2, asimismo, cada réplica de refrigera y el tiempo máximo de la muestra es de 7 días.
- ✓ Para la medición In situ del cloro residual libre se usa un recipiente de vidrio, en el cual se deposita un volumen mínimo de 500mL.
- ✓ Para la medición in situ de la temperatura, se recoge 50mL de la muestra en un recipiente de plástico y se registra este valor en un tiempo máximo de 15 minutos.

- **Adecuación de una técnica analítica por Uv- vis para la determinación de THMs en muestras de agua potable**

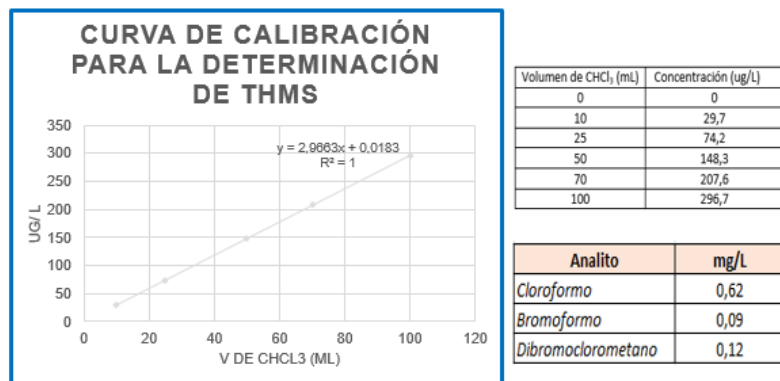
Con base en el método de Fujiwara, se adecuan parámetros analíticos que respondan a los límites de cuantificación requeridos. En el diagrama siguiente se describe el método.



**Diagrama 5.** Método de Fujiwara. Huang, Jerry YC, and Gary C. Smith

Con base en las determinaciones preliminares, se ha logrado determinar una concentración de 0,62ppm de cloroformo, la cual excede lo establecido por la OMS y de 0,09ppm de bromoformo Ver figura 1.





**Figura 2.** Curva de calibración y niveles preliminares de THMs

- **Gestión de datos experimentales**

El uso de aplicaciones de software es indispensable para asegurar la disponibilidad de información en el momento que sea requerida, tanto para consultas específicas como para hacer análisis estadísticos y matemáticos que permitan generar modelos predictivos para solucionar problemas futuros o para mejorar la calidad de vida de los seres humanos. En esta investigación se diseñó una aplicación que permite realizar la captura de información en las plantas de tratamiento y los asocia con los datos entregados por el laboratorio en el mismo registro, tiene un sistema de alerta para riesgos bajos; para los valores de temperatura, pH, color y turbidez de las muestras de agua tomadas en la planta de tratamiento, cuando está fuera de los rangos normales para una muestra de agua, y también genera alertas de riesgo alto cuando los valores derivados de los análisis de laboratorio para THMs excedan los valores recomendados por la OMS y la norma 2115, cuando se presentan estas alertas se registran en la base de datos y permite ingresar un comentario asociado a la muestra en estudio.

La aplicación permite hacer consultas interactivas por diferentes campos como planta de tratamiento, fecha, operario, al igual que descargar los registros en general o los registros sólo de las alertas generadas.

## 7. Consideraciones

El método espectrofotométrico de Fujiwara exhibe importante sensibilidad, Sin embargo, deben adecuarse cuidadosamente los límites de detección y cuantificación, debido a que los niveles de THMs se encuentran por el orden de trazas.

Se encontraron niveles de cloroformo que superan los valores permisibles, en relación con variaciones positivas del pH y el cloro residual, sin embargo, se determinaron niveles más bajos de este analito, en periodos de muestreo con temperaturas inferiores a los 12°C.

Sería importante realizar el muestreo no solo a la salida de la planta de tratamiento si no también en puntos de captación de la subcuenca, en consideración a las variaciones posibles de niveles subproductos asociadas al uso del suelo.



## 8. Bibliografía

- Borda Prada, O. L. ., Guerrero Rodríguez , . A. ., & Moreno Merchán, A. C. . (2021). Caracterización de los niveles de subproductos mayoritarios de la cloración en muestras de agua potable. *Revista Nova*, 6, 11–26. <https://doi.org/10.23850/25004476.3680>
- CAR, C. E. (2006). Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá Subcuenca río Alto Bogotá-2120-19, *Subcuenca Rio Neusa*.
- Durán Santos, D. M., & Suárez., D. C. (2011). Perfil ambiental de la subcuenca del Río Neusa
- Environmental Protection Agency (1998). Small systems compliance technology list for the surface water treatment rule and total Coliforme, EPA/815/R/98/001, 82.
- Environmental Protection Agency (2006). Environmental pollution control alternatives: Drinking water treatment for small communities, EPA/625/5-90/025, 82.
- EPA US Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS), A-Z List of Substances. (2014). Consultado el 20 de agosto del 2020 en [http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList&list\\_type=alpha](http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList&list_type=alpha)
- Huang, Jerry YC, and Gary C. Smith (1984): Spectrophotometric determination of total trihalomethanes in finished waters. *Journal-American Water Works Association* 76.4 - 168-171
- Instituto Nacional de Salud (2011,).
- Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio (2011). Consultado el 2 de febrero del 2021 en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- Martí JM. (2003). *Water treatment/Tratamiento de aguas*. Barcelona: STENCO
- Oliveira M (2002). Subproductos de la cloración inorgánicos y orgánicos en las aguas de Castilla y León. Salamanca España [Tesis doctoral]. Universidad de Salamanca
- Organización Mundial de la Salud (2018). Guías para la calidad del agua potable. (4<sup>o</sup> ed.)
- Solsona F. y Méndez JP (2002). *Desinfección del Agua*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

