

## ADSORCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA NATURAL DEL AGUA PARA REDUCIR LA FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS

**Wilmer Dudamel y Thania Rivero**

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Vicerrectorado Barquisimeto  
wjudamel@gmail.com, thaniacinelli@hotmail.com

**RESUMEN.** Este trabajo tiene como objetivo evaluar el proceso de adsorción, como mecanismo para la reducción de la materia orgánica natural del agua precursora de la presencia de subproductos de cloración (trihalometanos) en el agua destinada al consumo humano. Los ensayos fueron realizados a escala de laboratorio y piloto utilizando una carga superficial entre 180- 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. Fueron utilizadas dos fuentes de agua de abastecimiento superficiales (Embalse Dos Cerritos y Río Yurubí) y dos carbones activos, uno de producción venezolana (V-100) y otro europeo (NC90). Se obtuvo, que para garantizar la máxima capacidad de adsorción en una columna, se debe al menos tener una altura de lecho de carbón activo de 32 cm. De igual manera, al evaluar el sistema de adsorción a escala piloto en la Planta Yurubí, se produjo una reducción del contenido de materia orgánica entre 80-90% y se evidencia una reducción significativa de aproximadamente 50 % en la formación de los trihalometanos (THM) cuando se realiza la desinfección con cloro hasta un residual de 0,5 mg/L. Finalmente, la reducción de más del 70 % de la materia orgánica natural del agua conducirá a que ella no esté disponible para la reacción y se logre reducción significativa de los THM.

**Palabras Claves:** Adsorción, Materia orgánica natural, Trihalometanos, Carbón activado.

---

## ADSORPTION OF WATER'S NATURAL ORGANIC MATTER FOR REDUCING TRIHALOMETHANES' FORMATION

**ABSTRACT.** This work focuses on to evaluating the adsorption process as a mechanism for the reduction of water's natural organic matter, which is the precursor of the presence of chlorination subproducts (trihalomethanes, THMs) in the water for human consumption. The assays were performed at laboratory and scale pilot using a surface charge between 180-240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. For these assays, two sources of surface water supplies were used (Dos Cerritos Reservoir and Yurubí River) and two activated carbons, one of Venezuelan production (V-100) and one European (NC90). Results show that in order to ensure maximum adsorption capacity in a column, a height of 32 cm of activated carbon bed is needed. Likewise, in the evaluation of the adsorption system at pilot scale using Yurubí river water, a reduction in the organic matter content between 80-90% was found and also a significant reduction of approximately 50% in the formation of trihalomethanes (THMs) were obtained when chlorination is made using residual of up to 0.5 mg / L. Finally, the reduction of more than 70% of the MON of water won't allow it to be available for reaction, thus achieving a significant reduction of THM.

**Keywords:** Adsorption, natural organic matter, trihalomethanes, Activated carbon.

## 1. INTRODUCCION

La protección de la salud pública implica proveer agua segura, carente de organismos patógenos y libres de sustancias tóxicas en concentraciones que puedan constituir riesgos de salud para los consumidores. El suministro de un agua estéticamente deseable supone un agua con un contenido tan bajo como sea posible de color, turbiedad, sólidos suspendidos, libre de olores y sabores y con una temperatura tan fría como las condiciones ambientales lo permitan[1].

En Venezuela, el tratamiento convencional de potabilización de agua puede ser resumido en las etapas siguientes: pre-sedimentación (desarenado), coagulación-floculación, sedimentación (clarificación), filtración sobre antracita-arena y desinfección con cloro [2]. El que una planta posea una o todas las etapas de tratamiento va a depender de la fuente de abastecimiento y de la calidad del agua cruda.

El cloro es por excelencia, el desinfectante más utilizado en las potabilizadoras venezolanas, en forma de gas cloro o en sus formas de hipoclorito de sodio o calcio. El uso del cloro como desinfectante posee entre sus ventajas respecto al ozono, en que puede dosificarse para dejar un efecto residual que permite que siga actuando ante una posible recontaminación del agua y ayuda a prevenir proliferación de agentes patógenos en el agua. Al respecto, la EPA (Environmental Protection Agency) citada por Rodríguez et al. [3], indica que adicionalmente los desinfectantes en general son utilizados para a) remover el sabor y el color, b) oxidar el Fe y el Mn, c) prevenir la reaparición de elementos biológicos en el sistema de distribución de agua, d) mejorar la eficiencia de la coagulación y la filtración, y e) prevenir el crecimiento de algas en tanques de sedimentación y filtros. Lo antes citado ocurre siempre y cuando se utilicen en el pretratamiento y postratamiento en las plantas potabilizadora y se adicione en cantidad suficiente para actuar con efecto residual. Sin embargo, a pesar de que el cloro presenta muchos beneficios para la salud pública y el tratamiento del agua, estudios recientes indican que también puede existir una relación causal entre la desinfección del agua con cloro y efectos negativos a largo plazo, como el cáncer [4].

El problema del cloro es que reacciona con la materia orgánica natural (MON) presente en el agua generando subproductos de desinfección (SPD), específicamente compuestos orgánicos

sintéticos como los trihalometanos (THM). Para trabajos de diversos autores citados por Rodríguez et al. [3], la exposición de la población a los THM representa un riesgo de salud pública, ya que son considerados potencialmente cancerígenos para el humano.

Según Rodríguez et al. [3]; existen algunas alternativas para reducir las concentraciones de THM generadas en las redes de distribución sin que resulte afectada la calidad microbiológica del agua. Sin embargo, ciertas estrategias de reducción de los THM pueden tener un impacto económico significativo para ciertas municipalidades. Las tres posibilidades de solución son el cambio en la fuente de aprovisionamiento de agua bruta (de superficial por subterránea), la reducción de los precursores de THM (supresión por tratamiento) y el mejoramiento de las estrategias de desinfección (desinfectantes alternativos y/o optimización de la operación).

De los sistemas alternativos para reducir la presencia de THM en las agua de consumo, la primera opción de cambio de fuente de aprovisionamiento no siempre es viable, pues las fuentes de agua superficial producen, en general, la mayor cantidad de agua potable a nivel nacional y particularmente en el centroccidente del país. Así, por una parte en el Estado Lara, una de las fuentes de abastecimiento de agua superficial más importantes es la del Embalse José Félix de Los Ríos (Embalse Dos Cerritos) que alimenta gran parte de la ciudad de Barquisimeto a través de la Planta Barquisimeto; por otro lado, otra fuente de abastecimiento importante de agua para consumo humano es la que proviene del Río Yurubí que alimenta una parte de la ciudad de San Felipe en el estado Yaracuy, a través de la Planta de Tratamiento San Felipe.

En cuanto a la opción del mejoramiento de estrategias de desinfección (desinfectantes alternativos y/o optimización de la operación); la utilización de desinfectantes alternativos (cloramina, bióxido de cloro, ozono) también genera SPD. El uso de cloramina está asociado no solo a la formación de THM y de ácidos haloacéticos (aunque en menos cantidades que cuando se usa cloro) sino también a la de nitritos, nitratos, haloacetonas y N-Nitrosodimetilamina (NDMA). El bióxido de cloro genera cloritos y cloratos, mientras que la utilización de ozono genera bromatos aldehídos, carbono orgánico biodegradable, ácidos cetoaldehídicos, bromoformos, peróxidos y epóxidos[5]. Además de los antes citado, la utilización de ozono y luz ultravioleta, que están siendo ampliamente utilizado para desinfección, tiene la limitante que se

usan solo para caudales más pequeños, es decir aprovisionamiento de casas, apartamentos y o industrias, además que poseen el inconveniente de no dejar efecto residual para proteger el agua de recontaminación con agentes patógenos.

La alternativa más viable y adaptada a nuestras necesidades para ser aplicada en Venezuela es la reducción de los precursores de THM (supresión por tratamiento), utilizando procesos que reduzcan uno de los reactantes, es decir, la materia orgánica naturalmente (MON) presente en el agua o el desinfectante como el cloro que es el que reacciona con la MON para formar los SPD, entre los cuales se encuentran los THM. Sin embargo, como el cloro residual en el agua es la única garantía de tener agua bacteriológicamente potable, los mecanismos de tratamiento conducen a que lo que se debe reducir es la concentración de la MON presente en el agua para prevenir la formación de los SPD, con una alternativa como la adsorción sobre carbón activado.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **Aguas Utilizadas**

Dos fuentes de agua fueron utilizadas durante el desarrollo de este trabajo en las diferentes experimentaciones, todas ubicadas en la región centro-occidental de Venezuela. El agua del embalse José Félix de los Ríos (Embalse Dos Cerritos) ubicado en la Ciudad del Tocuyo del Estado Lara y el agua de la planta de tratamiento de aguas Yurubí, alimentada por el agua del Río Yurubí en la Ciudad de San Felipe del Estado Yaracuy. Las aguas utilizadas fueron tomadas a la salida del proceso de clarificación (después de la sedimentación secundaria o de partículas floculentas) y antes de la filtración. Para analizar las características principales del agua natural utilizada en los diferentes ensayos, se utilizaron los métodos estándares expuestos en la tabla 1.

### **Carbones Activos Utilizados**

Dos tipos de carbones fueron estudiados: un carbón activo utilizado ampliamente en Europa para el tratamiento de aguas de consumo humano llamado NC90 y un carbón activado de producción venezolana que llamaremos V-100. El carbón activado producido en Venezuela es destinado al tratamiento de aguas de consumo humano, sobre todo para la eliminación de compuestos orgánicos. Los dos carbones activos son presentados originalmente en la forma de gránulos. Las características de estos carbones son mostradas en la Tabla 2.

**Tabla 1. Métodos estándares utilizados en las determinaciones de los parámetros de calidad de agua empleados en los ensayos del agua.**

Prueba	Método Standard o Equipo utilizado
Cloro residual	COVENIN 2685-90
Materia orgánica	ISO-8467:1993
pH	Equipo multiparámetro marca Orión
Alcalinidad	SMWW 2320-B
Turbidez	ASTM D 1889-71
Trihalometanos	SMWW 6235B

**Tabla 2. Principales Características de los Carbones Activos Utilizados**

Características	V-100	NC90
Origen	Concha de coco	Concha de coco
Activación	Física	Física
Masa volumétrica aparente ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	525,6	456,1
Diámetro promedio (mm)	0,895	1,72
Área de Superficie BET ( $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ )	420,7	1596
Área atribuida a los microporos ( $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ )	406,5	1521
Volumen promedio de poros ( $\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ )	0,190	0,743
Diámetro promedio de poros (Å)	18,0	18,6
pH	9,05	

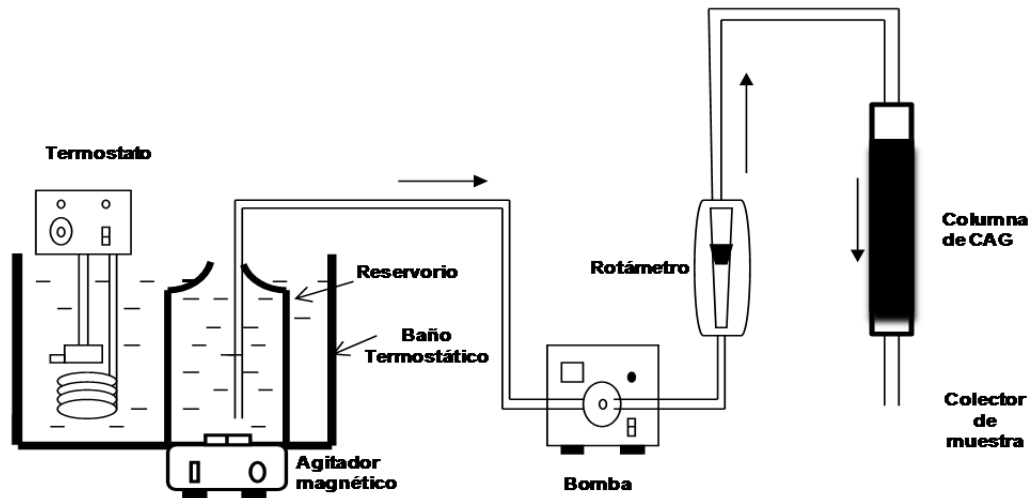
Fuente: Dudamel y Wolbert [6]

**Ensayos experimentales a escala de laboratorio para reducir la materia orgánica del agua mediante adsorción con carbón activado.**

Para realizar esta evaluación se tomó una muestra puntual de agua natural cruda proveniente del embalse Dos Cerritos el cual está ubicado en una zona agrícola de la ciudad de El Tocuyo, cuyos parámetros de pH, alcalinidad e índice de permanganato fueron respectivamente de 7,98; 121,17 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  y 4,54 mg/L.

En este ensayo se colocó el agua natural dentro de un recipiente de 5 L mantenido a  $30^\circ\text{C}$ . A través de una bomba de engranaje se hizo pasar el agua a través de una columna de carbón activado en gránulos (NC90) de 1,1 cm de diámetro interno. Se utilizó un rotámetro para controlar el caudal fijado en 16,5 ml/min (carga superficial de  $250 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ). El ensayo se realizó con altura de relleno de carbón activo de 7,5; 15 y 32 cm. A la salida de la columna y a intervalos establecidos de tiempo se tomaron alícuotas y se determinó el parámetro de índice de

permanganato que representa la cantidad de materia orgánica residual presente en el agua. Una vez determinada la materia orgánica, se construye una curva que muestra una relación concentración- tiempo para el sistema evaluado. El montaje se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Montaje experimental a escala de laboratorio empleado para realizar el estudio cinético de adsorción con carbón activado NC90 de materia orgánica natural del agua.**

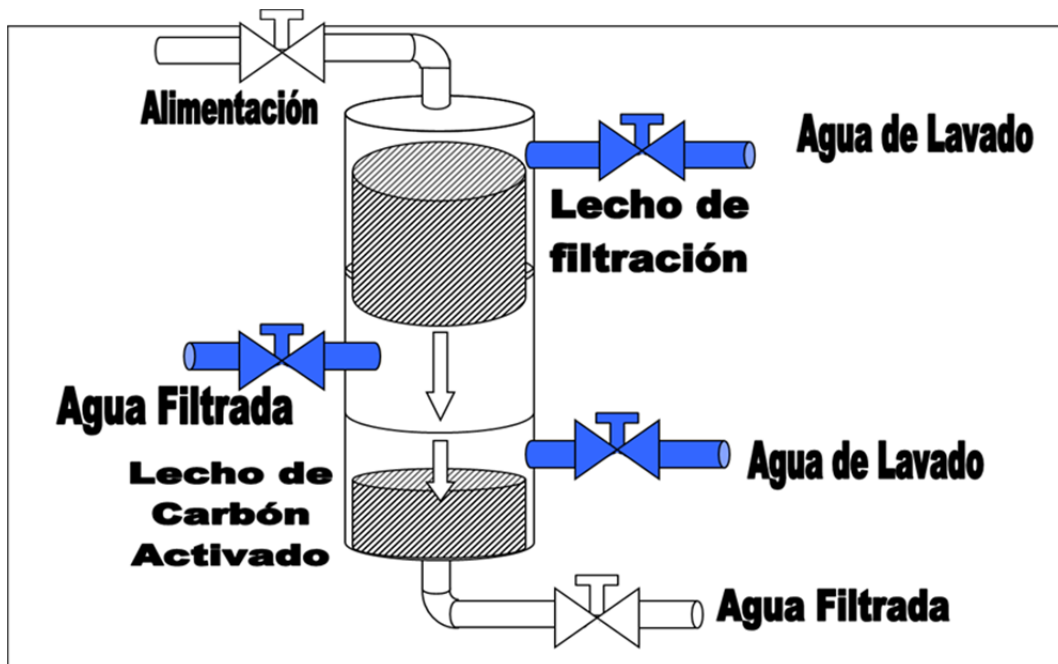
**Experimentación a escala piloto en columna, con el objeto de evaluar en forma dinámica la adsorción de la materia orgánica natural del agua por parte del carbón activado.**

Para realizar esta evaluación se instaló el sistema de filtración-adsorción en la salida del sedimentador secundario de la Planta de Tratamiento Yurubí y se hizo pasar el agua por el sistema. Las características promedio del agua que alimentan el sistema fueron en promedio de: 8,16 para el pH, 4,59 NTU para la turbidez y 0,70 mg/L para la materia orgánica. Estas características se producen del valor promedio de 108 muestras analizadas durante los aproximadamente 37 días de ensayo.

El equipo a escala piloto utilizado en esta sección consta de: una columna de cuatro (4) pulgadas de diámetro interno y dos secciones de tratamiento, una de filtración y una de adsorción. La sección de filtración está compuesta por 0,5 m de antracita, 0,2 m de arena y como soporte 0,4 m de grava; y la sección de adsorción compuesta por 0.75 m de carbón activado V-100 y 0,15 m de grava como soporte. El equipo posee tuberías de media pulgada de diámetro nominal para la alimentación, lavado y descarga; así como una bomba de 0,5 Hp en la alimentación y el

respectivo recipiente de almacenamiento a la salida. El funcionamiento de este equipo fue probado y ajustado inicialmente utilizando agua sintética por Dudamel et. al.[7 ].

El flujo de agua que alimenta la columna, a temperatura ambiente, proviene del sedimentador secundario de la planta Yurubi ubicada en la Ciudad de San Felipe y es regulado en la alimentación a un valor que conduzca a una carga superficial de 180 a 480  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  en la columna; tal como lo propone Romero[1] para filtros de alta tasa. De igual manera, se recomienda una carga superficial aproximada de 240  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  (velocidad de flujo de 10 m/h) para las columnas de adsorción[8]. Al agua tratada obtenida a la salida de la columna y a intervalos establecidos de tiempo se toman alícuotas y se determina el parámetro de índice de permanganato que representa la cantidad de materia orgánica. Una vez determinada la cantidad de materia orgánica, se construye una curva que muestra una relación concentración - tiempo para el sistema evaluado. Como control se determinan el pH y la turbidez. El montaje se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Montaje experimental a escala piloto empleado para realizar el estudio de filtración-adsorción, empleando carbón activado V-100.**

Al agua tratada por el sistema de filtración-adsorción, se le realizan curvas de demanda de cloro y a las muestras cuyo residual de cloro estén en aproximadamente 0,5 mg/l, se le practican los

respectivos análisis de trihalometanos totales formados. Posteriormente se construye una curva que muestra la relación concentración de trihalometanos versus el tiempo, para analizar el comportamiento de formación de THM en el tiempo y con relación al agua sin tratar y tratada.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Cinética de adsorción, a nivel de laboratorio, para el sistema materia orgánica disuelta-carbón activado NC90.**

En la figura 3 (a, b y c) se evidencia, que la eficiencia en la remoción para la carga superficial fijada en  $250 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  y empleando agua natural y carbón granular NC90, es capaz de eliminar entre un 60 y 70% de materia orgánica presente en el agua natural tratada, en un periodo de tiempo que depende de la altura del lecho. Sin embargo, para lechos menores a 15 cm, la columna de adsorción no es eficiente; por lo que se debe garantizar un mínimo de altura de lecho de adsorción.

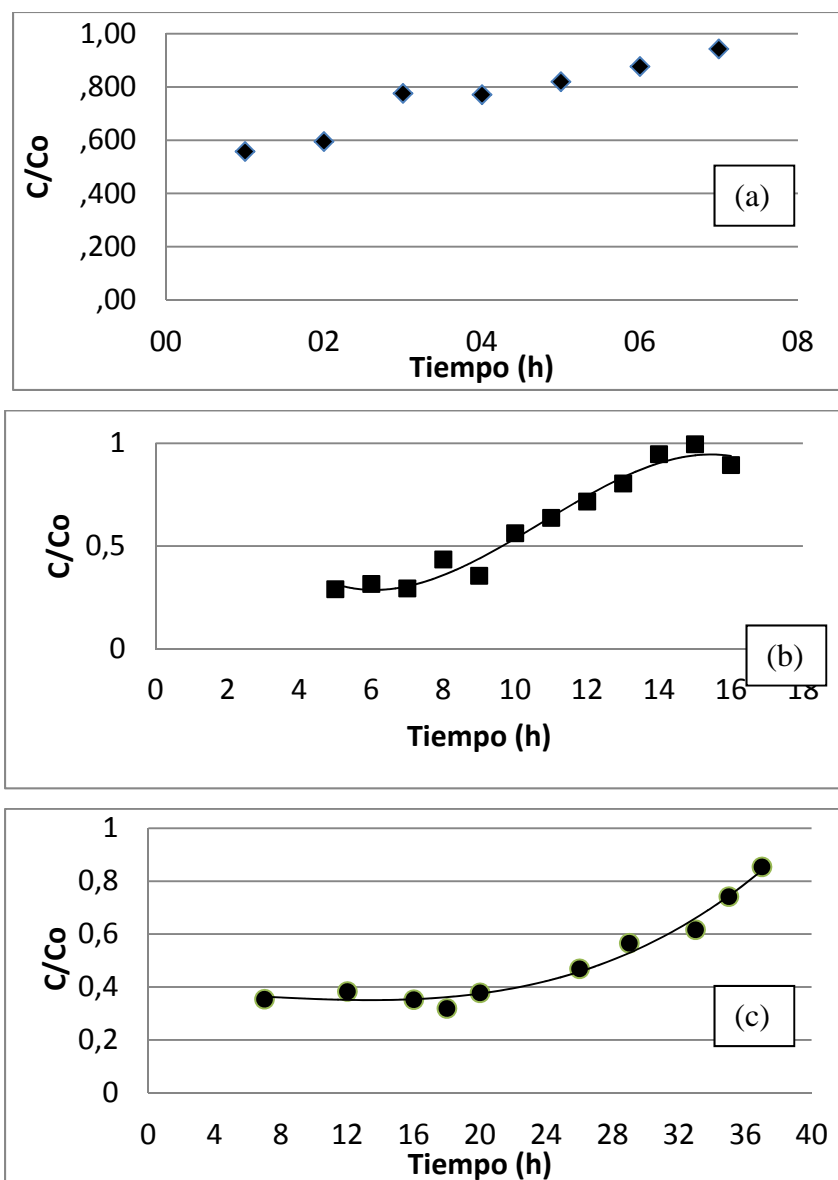
De los gráficos mostrados, para una altura de lecho de 32 cm, el tiempo de tratamiento con la carga superficial señalada es de aproximadamente 22 horas. Es importante resaltar que el tiempo de trabajo dependerá de la calidad del agua a tratar, el carbón activo utilizado y la productividad del sistema, es decir, la carga superficial empleada.

Una información importante de estos ensayos, es que al menos se debe utilizar una altura de lecho de al menos 32 cm, para garantizar la máxima capacidad de adsorción en la columna, respetando las condiciones típicas de diseño de las columnas reportadas en la literatura, como lo son la carga superficial de  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  (velocidad de flujo de 10 m/h) y la relación de diámetro de columna a diámetro de grano de carbón mayor e igual a 10.

Los primeros resultados de adsorción de la materia orgánica natural del agua sobre el carbón activado utilizado indican que existe una fracción de la materia orgánica de alrededor de 30% que no es capaz de ser adsorbida y que posteriormente en un proceso de desinfección con cloro reaccionaría con la misma formando los subproductos de desinfección (SPD) como los trihalometanos (THM); sin embargo, la reducción de alrededor del 70 % de la materia orgánica (medida a través del índice de oxidabilidad) conducirá a prevenir que la fracción mayoritaria de



la materia orgánica removida, el 70% , no esté disponible para la reacción y conducirá a una potencial reducción significativa de los SPD y en especial de los THM que dependen directamente de la materia orgánica del agua como reactivo limitante y del cloro utilizado en el proceso de desinfección.

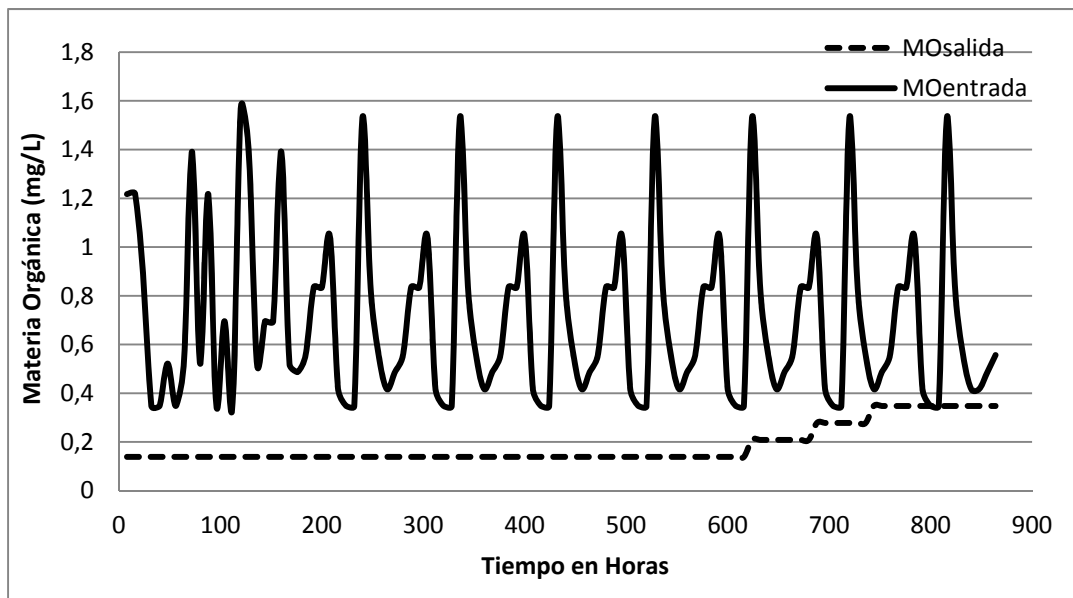


**Figura 3. Curvas de agotamiento en la adsorción de la materia orgánica natural del agua en función de tiempo para lechos de 7,5 cm (a), 15 cm (b) y 32 cm (c) de carbón NC-90.  $C_o$  es concentración de entrada y C la concentración de salida en cada tiempo.**

Estos resultados se encuentran dentro de las alternativas propuestas por Rodríguez et al. [3], en la cual se menciona que la reducción de los precursores de THM (supresión por tratamiento) es una de las opciones a considerar en la reducción de la formación de los SPD en agua de consumo.

**Experimentación a escala piloto en columnas, con el objeto de evaluar en forma dinámica la adsorción de la materia orgánica natural del agua por parte del carbón activado V-100.**

Para este ensayo el agua natural pre tratada en la Planta Yurubí es bombeada al sistema multifuncional de filtración-adsorción. La primera sección del sistema se encarga de reducir y/o eliminar la turbidez y la segunda sección colocada en serie se encarga de reducir y/o eliminar por adsorción la materia orgánica naturalmente presente en el agua. El flujo es regulado a un valor de 60 L/h que conduce a una carga superficial aproximada de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. (Velocidad de flujo igual a 7,5m/h). Los resultados de reducción de materia orgánica en función del tiempo se muestran a continuación (Figura 4).



**Figura 4. Evolución de la concentración de la materia orgánica en el sistema de filtración – adsorción utilizando carbón activado V-100 y agua de la planta Yurubi.**

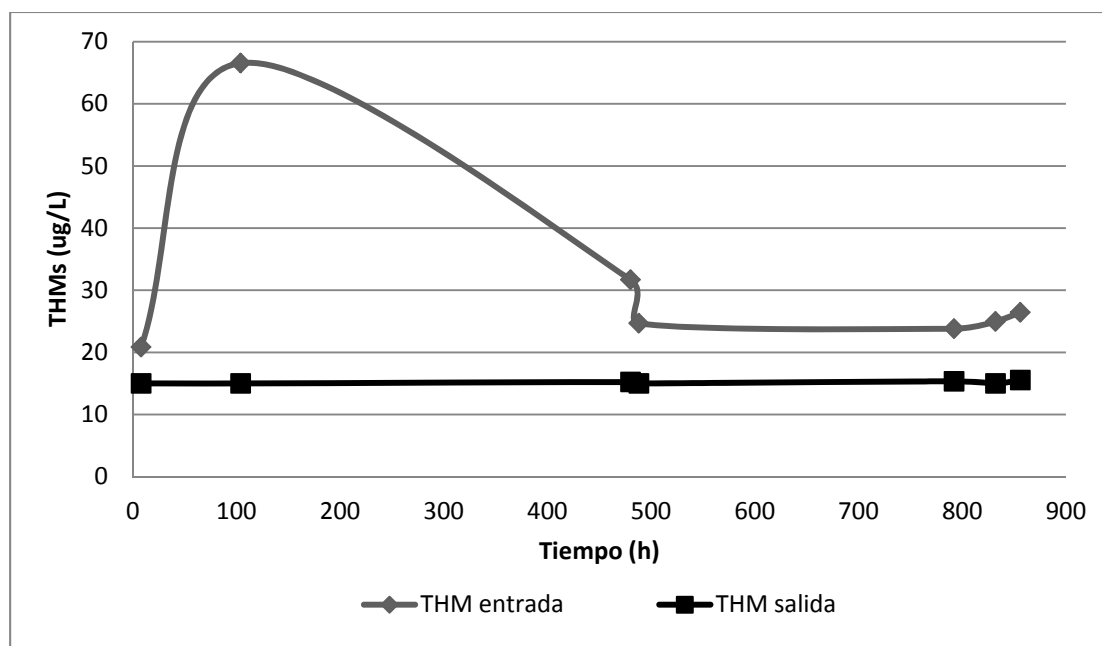
De esta gráfica mostrada en la Figura 3.3, se puede observar que durante aproximadamente 36 días de funcionamiento, el sistema de filtración –adsorción fue muy eficiente, reduciendo la materia orgánica en promedio desde un valor de 0.70 mg/l a un valor de 0,18 mg/l, lo que representa un 74 % de reducción. Se evidencia específicamente, que durante los primeros 616 horas de trabajo (aprox. 26 días), la reducción fue constante y superior al 80%; lo que demuestra la efectividad de este sistema en la reducción de la materia orgánica precursora de los subproductos de desinfección como los trihalometanos. Posterior al día 26 el sistema se va agotando hasta que alcanza valores cercanos a la concentración de materia orgánica inicial. Ello muestra el agotamiento de la columna.

De la Figura 4, se puede evidenciar un resultado clave, la concentración en la materia orgánica de entrada es variable con valores que van desde 0,350 a 1,56 mg/L; sin embargo, el valor de este parámetro después del tratamiento de filtración-adsorción se reduce al valor constante de 0,139 mg/l durante los primeros 26 días de trabajo, mostrando la efectividad de remoción antes descrita sin importar las variaciones significativas de la entrada, aumentando en algunos casos puntuales su eficiencia a más del 90%.

La Figura 5, muestra la evolución de la concentración de trihalometanos (THM) que se forman luego de la desinfección con cloro hasta un residual de cloro de 0,5 mg/l, en el agua que alimenta y sale del sistema de filtración –adsorción en función del tiempo. Aquí se evidencia una reducción significativa de aproximadamente el 50 % en la formación de los THM cuando se realiza la desinfección con cloro hasta un residual de 0,5 mg/l en el agua, después de pasar el agua por el sistema de filtración-adsorción. Se puede indicar que en promedio la formación de THM a la entrada del sistema integrado fue 31,27 µg/l, muy superior a la formación de THM a la salida del sistema de 15,16 µg/l; lo cual indica que al remover una fracción significativa de la materia orgánica más reactiva con el cloro con el carbón activado, se produce menor formación de los THM.

De igual manera se observa, al igual que en la Figura 4, variaciones en la formación de THM en el agua de entrada en la reacción de la materia orgánica con el cloro, en contraparte con la formación de THM en la reacción de la materia orgánica del agua a la salida del sistema donde es

practicamente constante; esto indica que el carbón activado reduce por adsorción gran parte de la materia orgánica del agua, dejando una fracción no remobile reactiva casi constante que forma en la reacción con el cloro una concentración casi constante de THM de alrededor de 15  $\mu\text{g/l}$ .



**Figura 5. Evolución de la concentración de los THM en el sistema de filtración –adsorción utilizando carbón activado V-100 y agua de la planta Yurubi.**

Es de hacer resaltar que aunque el valor máximo de formación de trihalometanos encontrados en las agua antes de ser tratadas con el sistema de filtración-adsorción que resultó ser de 66,56  $\mu\text{g/l}$ , está por debajo de los valores máximos exigidos por la normativa venezolana vigente el cual es de 200  $\mu\text{g/l}$  [9] y la Directiva Europea cuyo valor máximo permitido después del año 2008 es de 100  $\mu\text{g/l}$  [4]; el utilizar sistemas que reduzcan su potencial formación, como la utilización del sistema de filtración –adsorción, conducirá a tener un agua más limpia para el consumo humano y con menor riesgos de producir patologías a largo plazo; tal como lo explica el Consorcio Sanitario de Barcelona en su informe “Los trihalometanos (THM) en el agua de consumo, Documento informativo” donde se indica que La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica el cloroformo y el bromodiclorometano como posibles carcinógenos para los humanos en ciertas condiciones de exposición.

Finalmente, el sistema de filtración –adsorción, mantiene en el agua una turbidez promedio de 1,21 NTU y el pH 8,18; dentro de los valores permitido por la normativa venezolana vigente de 5 NTU y 6-9 de pH.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados de los diferentes ensayos de adsorción de la materia orgánica natural del agua, utilizando las dos fuentes de abastecimiento de agua superficial y dos carbones activados de diferentes características, evidencian siempre una reducción de al menos el 70% de la materia orgánica natural del agua. Esto se traduce en una reducción potencial significativa de la formación de subproductos de desinfección (trihalometanos) al utilizar cloro como desinfectante en el proceso potabilización.

Al evaluar el sistema integrado filtración –adsorción a escala piloto en el agua de la Planta Yurubí, en su período estable de funcionamiento, se produjo una reducción del contenido de materia orgánica entre 80-90% y se evidencia una reducción significativa de aproximadamente el 50 % en la formación de los THM cuando se realiza la desinfección con cloro hasta un residual de 0,5 mg/l en el agua, después de pasar el agua por el sistema de filtración-adsorción. Adicionalmente, aun con las variaciones significativas de la materia orgánica de entrada, los valores en la eficiencia de remoción de la misma y en la formación de THM son prácticamente constantes.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Romero, J. Potabilización del Agua. 3era edición. Mexico D.F. Alfaomega Grupo Editor. 1999.
- [2] Gaceta Oficial de La Republica Bolivariana de Venezuela N°. 5.021. Decreto 883. Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos y efluentes líquidos. 1995.
- [3] Rodríguez M, Rodríguez G, Serodes J, y Sadiq R. Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, Vol 32, No. 11, Noviembre 2007, Pp: 749-756.

- [4] Sánchez, A. Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, No. 8, 2008, Pp: 280-290.
- [5] Vinette Y. Évolution spatio-temporelle et modélisation des trihalométhanes dans les réseaux de distribution d'eau potable de la région de Québec. Thèse de Doctorat. Québec, Canadá. 2001. 184 p.
- [6] Dudamel W y Wolbert D. Modelado no isotérmico al equilibrio de plaguicidas en fase acuosa sobre carbón activado. *Interciencia*, Vol 3, No. 1, Enero 2008, Pp: 14-21.
- [7] Dudamel W, Labrador L y Alonso G. Sistema multifuncional de filtración-adsorción para el tratamiento de aguas para consumo humano. VII Encuentro de Instituciones de Enseñanza de Ingeniería. I Congreso Iberoamericano de Enseñanza de la Ingeniería. Margarita, Venezuela, 2009. 5 p.
- [8] Baup S. Elimination de Pesticides sur Lit de Charbon Actif en Grain en Présence de Matière Organique Naturelle. Elaboration d'un Protocole Couplant Expériences et Calculs Numériques Afin de Simuler les Equilibres et les Cinétiques Compétitifs d'Adsorption. Thèse de Doctorat. Rennes, France. 2000.193 p.
- [9] Gaceta Oficial de La Republica Bolivariana de Venezuela N°. 36.394. Decreto 36395. Normas sanitarias de calidad de agua potable. 1998.