

# Estudio de la influencia de coagulación mejorada en la remoción de materia orgánica para reducir la formación de trihalometanos en la planta potabilizadora de Boaco

**I. García<sup>1\*</sup> y L. Moreno<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)  
PO Box 5595, Managua, Nicaragua  
e-mail: indianag@ket.kth.se

<sup>2</sup>Dept. of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology (KTH)  
S-100 44 Stockholm, Sweden  
e-mail: lm@ket.kth.se

## RESUMEN

El impacto de coagulación mejorada en la remoción de material orgánica se estudió para conocer la influencia de esta técnica en la disminución de la formación de trihalometanos. Tres puntos de muestreos fueron usados. El primero corresponde al agua cruda que entra a la planta, los otros dos corresponden a puntos después del proceso de sedimentación y desinfección. El agua cruda de la planta fue tratada con coagulación mejorada usando la prueba de jarra, y se desinfectó posteriormente a las mismas dosis de cloro usadas en la planta potabilizadora para comparar su eficiencia en la remoción de THMs con respecto a coagulación convencional. También la influencia de temperatura, dosis de cloro, tiempo de contacto y pH fue investigada para determinar el efecto de éstos en la formación de THMs. Los resultados muestran que coagulación mejorada es un método adecuado para remover materia orgánica y reducir considerablemente la formación de trihalometanos por debajo del nivel máximo de contaminante permitido por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

Palabras claves: coagulación mejorada, coagulación convencional, materia orgánica natural, trihalometanos

## ABSTRACT

The impact of Enhanced Coagulation during the removal of natural organic matter (NOM) as a means of avoiding the formation of trihalomethanes (THMs) was studied. The properties and behaviour of water samples taken in the Boaco drinking water treatment plant are addressed. A mixture of superficial water and groundwater is used as the raw water source of the conventional treatment plant of Boaco. Raw water from the plant was also treated by Enhanced Coagulation and the results show that this treatment is an adequate way of removing natural organic matter (NOM) and of reducing the formation of trihalomethanes. They are reduced to a level of 55 % of the maximum contaminant level (MCL). In addition, the influences of chlorine dosage, contact time, and temperature were studied.

Keywords: enhanced coagulation, conventional coagulation, natural organic matter, trihalomethanes

---

\*Autor para la correspondencia

## INTRODUCCIÓN

Desde que Rook (1974) expuso la existencia de haluros en agua potable, muchos investigadores y particularmente la agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos (USEPA) han estudiado la influencia de estos compuestos en la salud humana y su remoción en el agua potable.

Cuando el cloro se adiciona al agua cruda, este reacciona con la materia orgánica natural (NOM) presente en el agua para producir cloroformo, ácido mono-, di-, y tricloroacético; y otros subproductos de la desinfección (DBPs) como compuestos clorados, bromados o una mezcla de estos. Ivancev *et al.* (1999) y Hsu *et al.* (2001) han demostrado que los DBPs influyen grandemente en los casos de cáncer, retardo de crecimiento, abortos espontáneos y defectos cardiacos congénitos. De los subproductos de la desinfección (DBPs), los trihalometanos (THMs) y ácidos haloacéticos (HAAs) han sido los compuestos más estudiados por los investigadores. La distribución de los halogenados DBPs depende de un número de factores tales como: la concentración de bromo y/o de cloro, pH, temperatura, y las características de NOM (hidrofobicidad, contenido funcional de los grupos, absorbancia ultravioleta específica).

En muchos países en vías de desarrollo, tal como Nicaragua, la mayoría de las plantas potabilizadoras usan altas concentraciones de cloro para superar las deficiencias del tratamiento en la potabilización. Técnicas como filtración por carbón activado o por membrana son utilizadas en los países industrializados para disminuir la materia orgánica pero son imposibles de pagar por nuestros consumidores debidos a los altos costos de estas tecnologías, por lo que coagulación mejorada podría ser una buena opción en nuestro país para disminuir la concentración de NOM.

La eficiencia del tratamiento de coagulación mejorada está asociada principalmente a las características de la NOM presente en el agua. Debido a que la NOM es una compleja matriz de compuestos orgánicos es muy difícil de medir su

concentración con un solo parámetro, por lo que se cuantifica a través de la medición de parámetros sustitutos como son el Carbono Orgánico Total (TOC), Carbono Orgánico Disuelto (DOC), Absorbancia Ultravioleta (UV<sub>254</sub>) y Absorbancia Ultravioleta Específica (SUVA).

Debido a que en los sistemas de acueductos de Nicaragua no se realizan determinaciones de DBPs por las limitaciones económicas de nuestro país; se decidió investigar la presencia de trihalometanos en las plantas potabilizadoras (PTAP) que usan agua superficial. Se han evaluado cinco PTAPs, pero en este artículo se presentan solamente los resultados de la planta de Boaco.

Se tomaron muestras en tres puntos de la PTAP de Boaco que usa tratamiento convencional. Al agua cruda se le trato con coagulación mejorada para comparar la eficiencia de remoción de materia orgánica entre ambos tipos de coagulación. La presencia de trihalometanos fue investigada en ambos métodos de coagulación y también se determino la influencia del pH, temperatura, dosis de cloro y tiempo de contacto en la formación de THMs.

El objetivo de este artículo es presentar el impacto de la coagulación mejorada en la disminución de la materia orgánica natural para reducir la formación de trihalometanos.

## METODOLOGÍA

Un programa de muestreo de cinco meses fue realizado en la planta en Boaco, desde mayo a septiembre del 2003. En este período, el color y la turbiedad del agua superficial son más altas debido a la época lluviosa; las muestras fueron tomadas dos veces en un mes. Esta planta potabilizadora utiliza tratamiento convencional; mezcla rápida, coagulación con sales de aluminio, floculación hidráulica, sedimentación con placas inclinadas, filtración rápida de arena y desinfección con cloro gas. La Tabla 1 presenta los parámetros evaluados durante el estudio y los métodos aplicados.

Tabla 1 Parámetros analizados y metodología.

Parámetros físicos	Metodología
Turbiedad	Turbidímetro HACH DR 2010
Color	Colorímetro HACH DR 2010
Temperatura	Termómetro de Hg
Conductividad	Conductivímetro DR 2010
Parámetros químicos	Metodología
Acidez	SM 2310B (titulación)
Alcalinidad	SM 2320B (titulación)
Aluminio	SM 3500-Al <sup>+3</sup>
Amonio	Nessler
Bromo	SM 4500-Br <sup>-</sup>
Cloro residual	DPD (colorímetro)
Dureza total	SM 2340C (EDTA)
Dureza del Calcio	SM 3500B
Hierro total	SM 3500B (fenantrolina)
Manganeso	SM 3500B (persulfato)
Nitratos	SM 4500B (espectrofotométrico)
pH	pH metro HACH 2010
Sulfatos	SM 4500E (turbidimétrico)
UV <sub>254</sub>	SM 5910B
SUVA	Ecuación matemática
TOC	HACH 10129
DOC	HACH 10129 previa filtración
Trihalometanos	HACH 10132

La preservación de las muestras fue hecha de acuerdo a las recomendaciones del Standard Methods for Water and Wastewater Examination (1998) dependiendo del parámetro a analizar. Temperatura, pH, cloro residual, color, turbiedad fueron medidos en el sitio. Los parámetros restantes fueron analizados en el laboratorio.

Las muestras fueron tomadas en la entrada de la planta (agua cruda, A1), después de la sedimentación usando coagulación convencional (A2), y después de la desinfección con cloro

(A3). Los valores obtenidos para los diferentes parámetros analizados del agua potable fueron comparados con los niveles máximos de contaminante (MCLs) de la USEPA y los valores recomendados (VR) o máximos admisibles (VMA) usados en Nicaragua (CAPRE, 2000) para determinar la calidad del agua potabilizada entregada a los consumidores. Agua cruda fue traída al laboratorio para aplicarle coagulación mejorada (A4), filtrarla y desinfectarla usando la misma dosis de cloro que usan en la planta (A4\*). En la Fig. 1 se aprecian los puntos de muestreo.

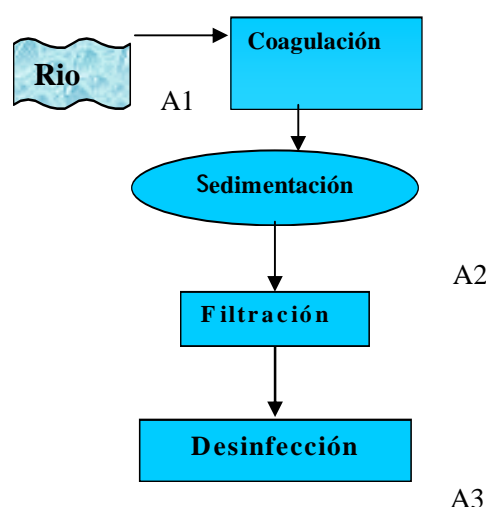


Fig. 1 Puntos de muestreo.

Para cumplir con la regla de los subproductos de la desinfección usando prueba de jarra a escala de laboratorio; TOC, DOC, UV<sub>254</sub>, y SUVA también fueron medidos al agua cruda (A1), al agua después de la sedimentación por coagulación convencional (A2) y al agua cruda tratada por coagulación mejorada (A4). La coagulación mejorada fue aplicada siguiendo la metodología que aparece en el manual guía de la USEPA (1999). Además, todos los parámetros analizados fueron también medidos al agua de la prueba de jarra que cumple con los requerimientos de TOC.

La coagulación mejorada es el término que se da a la técnica de tratamiento que usa altas dosis de coagulante y bajo pH para mejorar la remoción de precursores de DBPs por tratamiento convencional. Crozes *et al.* (1995) reportó que

coagulación mejorada es un método valioso para controlar la formación de DBPs sin mucho requerimiento de inversión de capital y que puede ser muy útil en países en desarrollo donde las tecnologías de punta son difíciles de tener por el consumo energético y los costos de instalación.

Se desarrollaron dos pasos estándares para la coagulación mejorada en la etapa 1.

*Paso 1: Requerimientos para la remoción de TOC.*

De acuerdo a la USEPA (1999), concentraciones de TOC arriba de 2 mg/l en agua cruda es el detonante para la puesta en práctica de la coagulación mejorada. Esto se debe a que agua cruda con TOC menor a 2 mg/l no requieren tratamiento por coagulación mejorada porque la materia orgánica esta formada principalmente por acido fulvico que es menos reactiva con cloro. La etapa 1 se divide en dos pasos: El paso 1 considera la remoción de TOC como un porcentaje del afluente de TOC para demostrar complacencia basada en el TOC y la alcalinidad del agua de la fuente. Si la alcalinidad es alta, el pH tiene que ser disminuido al nivel en el cual la remoción del TOC sea óptima.

La Tabla 2 resume el porcentaje de remoción de TOC para la coagulación mejorada; si la remoción de TOC realizada en la PTAP de Boaco no reúne los requisitos presentes en esta tabla, se debe de realizar el paso 2.

Tabla 2 Requerimiento de TOC.

Agua cruda TOC (mg/l)	Alcalinidad de la fuente de agua (mg/l como CaCO <sub>3</sub> )		
	0 a 60	> 60 a 120	> 120
> 2 – 4	35 %	25 %	15 %
> 4 – 8	45 %	35 %	25 %
> 8	50 %	40 %	30 %

*Paso 2: Requisitos alternativos para la remoción de TOC.*

En el paso 2, el tratamiento del agua requiere que se conduzcan pruebas de jarra usando

diferentes tipos de coagulantes y adición de ácidos. La prueba de jarra deberá ser conducida por la adición de (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>\*14H<sub>2</sub>O o una dosis equivalente de sales férricas en intervalos de 10 mg/l hasta que el pH se encuentre por debajo del pH requerido que se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3 pH designado bajo los requisitos del paso 2.

Alcalinidad (mg/l como CaCO <sub>3</sub> )	pH requerido
0-60	5.5
> 60 – 120	6.3
> 120 - 140	7.0
> 240	7.5

La remoción de TOC es luego graficada en contra de la adición de coagulante. Coagulación mejorada es llevada a cabo hasta que la dosis de coagulante coincida con el punto de disminución de retorno (PODR). Este es definido como los últimos 10 mg/l de adición de sales de aluminio o su equivalente, que resulta en un decrecimiento de TOC de menos de 0.3 mg/l y permanece así hasta que el pH meta es alcanzado. La Fig. 2 muestra el PODR a una dosis de 40 mg/l, se puede observar que el TOC disminuyo de 8.03 a 3.44 mg/l, siendo la remoción del 57.2 %.

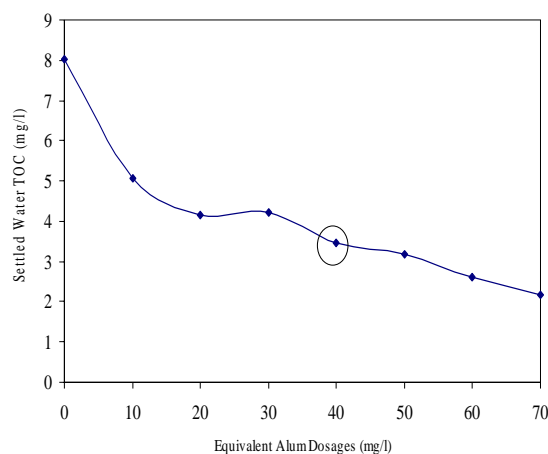


Fig. 2 PODR después de la aplicación de coagulación mejorada.

TTHMs (trihalometanos totales) fueron medidos al agua desinfectada de la planta potabilizadora (A3) y a las muestras de agua desinfectadas después de la aplicación de coagulación mejorada (A4\*) previa filtración con papel Whatman 1 que simula bien el proceso de filtración rápida.

Ambas aguas filtradas después de ser tratadas por coagulación convencional y mejorada fueron sometidas a cambios de pH, temperatura, dosis de cloro y tiempo de contacto para determinar la influencia de estos parámetros en la formación de THMs.

Las mayorías de las muestras fueron analizadas en el laboratorio, pero algunas fueron enviadas a Suecia para comparar la precisión de la

metodología HACH. Coliformes fecales y totales fueron determinadas por medio de filtración por membrana en todos los puntos de muestreo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 4 presenta las características físicas promedios del agua cruda (A1), del agua potable de la planta (A3) y del agua tratada por coagulación mejorada previa desinfección (A4\*), en los 10 muestreos que se hicieron; también una comparación con las normas CAPRE es realizada.

Tabla 4 Caracterización.

Parámetros	A1	A3	A4*	Normas CAPRE	
				VR	VMA
Parámetros físicos					
Temperatura (°C)	23.6	23.43	22	18 – 30	-
Color (PtCo)	101.47	7.2	4.2	1	15
Conductividad (µs/cm)	222.6	199.10	201	-	400
Turbiedad (NTU)	35.9	3.6	1.34	1	5
Parámetros químicos					
pH	8	7.2	6.62	6.5 – 8.5	-
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	30.8	29.5	28	-	-
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	101	77.9	79	-	-
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	148.4	151.25	169	-	400
Amonio (mg/l)	0.45	0.19	0.04	0.05	0.5
Nitratos (mg/l)	4.43	0.72	0.08	25	50
Sulfatos (mg/l)	11.8	32.4	48.3	25	250
Hierro total (mg/l)	1.03	0.17	0.12	-	0.3
Manganeso (mg/l)	0.02	0	0	-	0.1
Aluminio (mg/l)	0.06	0.1	0.3	-	0.2
Cloro residual (mg/l)	-	1.4	1	0.5 – 1	5

Turbiedad (3.6 NTU) y color (7.2 mg/l Pt-Co) en A3 están por encima de los valores recomendado por CAPRE (1 NTU y 1 mg/l Pt-Co) respectivamente. Pero están por debajo de los VMA de 5 NTU y de 15 mg/l Pt-Co. Color y turbiedad son también parámetros sustitutos de la materia orgánica natural, que reacciona con el cloro en el proceso de desinfección. Los niveles de la mayoría de los parámetros químicos en A3 no exceden los VR de CAPRE a excepción del amoníaco (0.19 mg/l) y el sulfato (32.4 mg/l); pero ellos no sobrepasan los VMA de CAPRE.

La reducción de la turbiedad (1.34 NTU) y el color (4.2 mg/l Pt-Co) en A4\* son evidentes en comparación con los resultados obtenidos en la coagulación convencional. La reducción de la concentración del amoníaco se puede notar en la Tabla 4. Sin embargo, la concentración del aluminio (0.3 mg/l) y de los sulfatos (48.3 mg/l) aumentan considerablemente como consecuencia de las dosificaciones más altas de coagulante usadas en la coagulación mejorada. La concentración de sulfatos no excede el VMA de 250 mg/l de CAPRE. Uno de los efectos secundarios de la coagulación mejorada es el aumento de contaminantes inorgánicos como el aluminio. Por lo tanto, acciones para disminuir la cantidad de contaminantes inorgánicos son necesarias previo a la implementación de coagulación mejorada en la planta potabilizadora de Boaco. Sin embargo, de acuerdo a Carlson *et al.* (2000) ningunos de los efectos secundarios son tan severos para evitar el uso de la coagulación mejorada.

#### *Materia orgánica en el afluente*

Además de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua cruda se determinó la

materia orgánica, a través de los cuatro principales parámetros sustitutos (Tabla 5).

Tabla 5 Parámetros sustitutos de NOM.

Parámetros	Agua cruda
TOC (mg/l)	16.4 ± 9.0
DOC (mg/l)	7.6 ± 5.1
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.27 ± 0.16
SUVA (l/mg-m)	4.1 ± 2.0

De acuerdo a USEPA (1999); el agua cruda con valores de TOC arriba de 2 mg/l es favorable para la aplicación de coagulación mejorada. La relación promedio de DOC/TOC es 0.5, lo que indica que la materia orgánica se encuentra principalmente en forma disuelta (DOM) y particulada. Kitis *et al.* (2001) reportó que la materia orgánica disuelta (DOM) imparte color al agua e inhiben la penetración de la luz. También actúa como precursor de DBPs como THMs y de HAAs. Las concentraciones altas de los parámetros sustitutos para NOM en la Tabla 5 indican fuertemente la posible formación de THMs en la etapa de desinfección en la planta potabilizadora de Boaco si la NOM no es removida previamente. El valor promedio de SUVA fue de 4.1 l/mg-m lo cual demuestra que la materia orgánica es de alto peso molecular, del tipo húmica y muy reactiva con el cloro.

#### *Remoción de TOC y DOC por coagulación convencional y mejorada*

Después de la caracterización del agua cruda (A1), las muestras de A2 y A4 fueron analizadas para determinar la concentración del TOC y DOC (Tabla 6).

Tabla 6 Remoción de TOC y DOC por CC y CM.

Parámetros	A1	A2	Porcentaje de Remoción	A4	Porcentaje de Remoción
TOC (mg/l)	16.4 ± 9.0	5.7 ± 3.8	65.2 %	2.7 ± 1.0	83.5 %
DOC (mg/l)	7.6 ± 5.1	3.6 ± 3.5	52.6 %	1.2 ± 0.5	84.2 %

Se puede observar en la Tabla 6, que coagulación mejorada presenta los porcentajes más altos de remoción de TOC y DOC en comparación con coagulación convencional. Como consecuencia la formación de THMs será mucho menor en el agua tratada por coagulación mejorada ya que habrá menor cantidad de NOM disponible para reaccionar con cloro y formar THMs.

#### *Determinación de THMs después de coagulación convencional y mejorada*

En A3 (agua desinfectada después de la coagulación convencional), el valores medio de THMs encontrado fue de  $0.058 \pm 0.040$  mg/l. En cambio en coagulación mejorada se tiene un valor medio de THMs de  $0.013 \pm 0.012$  mg/l, a las condiciones normales de la planta. Esto significa que el agua de la PTAP de Boaco no exceden los valores guías de la USEPA y CAPRE. A continuación se presenta los efectos de dosis de cloro, tiempo de contacto, temperatura y pH en la formación de THMs.

#### *Efecto de dosis de cloro*

En la Fig. 3 se presenta una comparación entre los THMs formados después de aplicar ambos tipos de coagulación.

Los ensayos con coagulación mejorada demuestran la eficacia en la reducción de materia orgánica, como resultado la concentración de THMs ( $0.038$  mg/l) estuvo 46 % por debajo de los  $0.083$  mg/l de THMs formados en coagulación convencional cuando una dosis de  $5$  mg/l de cloro es utilizada. Los THMs del agua tratada con coagulación convencional sobrepasan el valor guía ( $0.08$  mg/l) de USEPA, (1999) un 5 % pero no sobrepasan los  $0.46$  mg/l permitidos por CAPRE.

En la misma figura se puede apreciar como la concentración de THMs aumenta a medida que la concentración de cloro es mayor, esto se debe a que la dosis de cloro es el factor principal en la formación de THM. El aumento de THMs se explica porque el HOCl es la fuente principal de la halogenación electrofílica, la cual actúa como

oxidante de la materia orgánica aun existente y sufre una reacción de hidrólisis, originando THMs que es el producto final de la reacción.

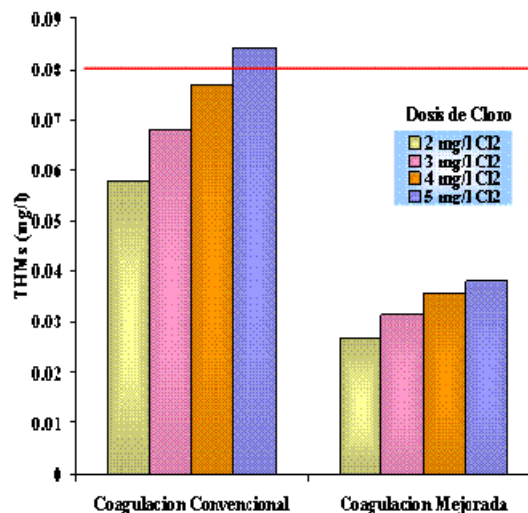


Fig. 3 Influencia de la dosis de cloro en la formación de THMs.

Si más cloro está disponible para reaccionar con la materia orgánica más THMs puede ser formado. La influencia de las dosificaciones de cloro en la formación de trihalometanos ha sido demostrado por otros autores (Bank y Wilson, 2002).

#### *Efecto del tiempo de contacto*

La influencia del tiempo del contacto en la formación de trihalometanos es presentada en la Fig. 4. Los THMs son típicamente productos de la hidrólisis y producto final de la desinfección con cloro por lo que a medida que aumenta el tiempo de reacción aumentará la formación de THMs siempre y cuando exista cloro residual. De acuerdo a Krasner (1999) los THMs aumenta en las primeras 50 horas debido a la marcada actividad del cloro que hace que la velocidad de formación sea más rápida al principio y disminuya por la pérdida de cloro residual.

Ambos tipos de coagulación presentan el mismo comportamiento de incremento en la formación de THMs cuando aumenta el tiempo del contacto. Ratbhun (1997) encontró que la concentración de THMs fue mayor con el

incremento del tiempo de contacto siendo la formación de THMs más rápidamente durante las últimas etapas de la reacción.

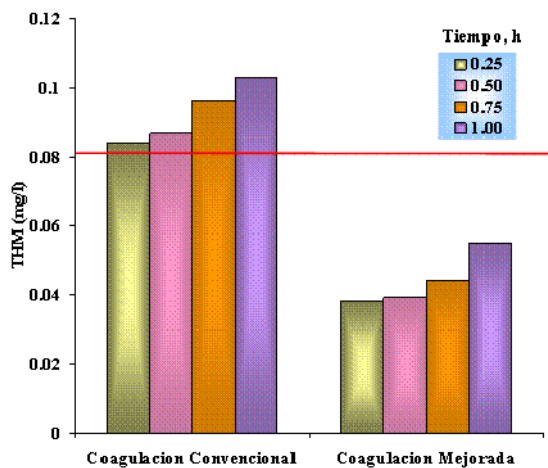


Fig. 4 Influencia del tiempo de contacto en la formación de THMs.

#### Efecto del pH

La influencia del pH también fue estudiada. Se observó que a pH 5 se forma mucho menos THMs en comparación a pH 10. Esto se debe a que a pH ácidos la velocidad de hidrólisis de la reacción es muy pequeña para completar la halogenación y solo se logra formar el carbanion intermedio en ese momento. A pH 10 ocurre, una cloración rápida de los átomos de carbono por la activación de OH<sup>-</sup> en el entorno alcalino, hecho que provoca la ruptura más rápida de la estructura aromática permitiendo las halogenación y la formación de THMs. A pH 7, la formación de THMs es poca debido a la carencia del ambiente alcalino y porque la especie de cloro disponible es OCl<sup>-</sup> y no HOCl el cual es menos reactivo.

El intervalo recomendado del pH (CAPRE, 2002) para el agua potabilizada es 6.5 – 8.5. Idealmente el pH debe ser 7 para tener un ambiente neutro y evitar la formación de THMs. A pH ácido otros subproductos de la desinfección como tricloroacetico y dicloroacetonilo pueden ser formados.

#### Efecto de la temperatura

La formación de THMs incrementa con el aumento de la temperatura (Fig. 5), de modo que las concentraciones de THMs tienden a ser más altos para las temperaturas de 25 y 28 °C. Esto se debe al aumento en la reactividad y al incremento en la velocidad de la reacción de hidrólisis. Esta reacción causa un rompimiento de los anillos aromáticos permitiendo la halogenación y la formación de THMs. En coagulación convencional, las temperaturas por arriba de 25 °C exceden el valor guía de THMs de 0.08mg/l de USEPA.

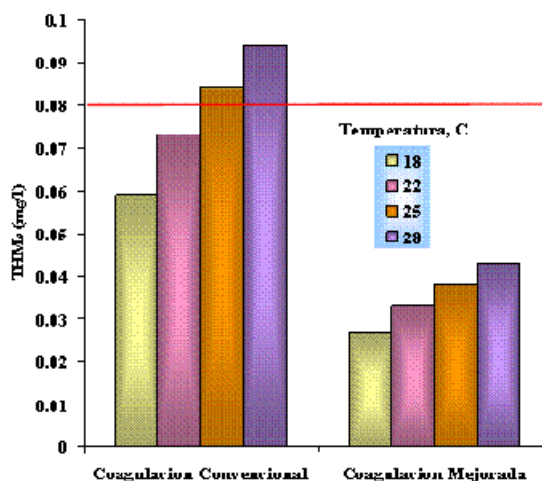


Fig. 5 Influencia de la temperatura en la formación de THMs.

Coagulación mejorada hace que la formación de THMs sea mucho menor en comparación con coagulación convencional y nunca excedan los valores de THMs de las normas de la USEPA y CAPRE a las condiciones evaluadas en este estudio.

### CONCLUSIONES

El agua cruda que se usa la planta potabilizadora de Boaco es favorable para la aplicación de coagulación mejorada. El valor promedio de THMs encontrado en la PTAP de Boaco fue de 0.057 mg/l, el cual esta por debajo de los valores guías de las normativas de USEPA (0.08 mg/l) y CAPRE (0.46 mg/l). La coagulación mejorada redujo considerablemente el contenido de NOM



y al mismo tiempo la formación de THMs en comparación con coagulación convencional. Valores altos de temperatura, dosis de cloro y tiempo del contacto tienden a aumentar la concentración de THMs. El agua desinfectada y previamente tratada con coagulación convencional de la planta potabilizadora de Boaco sobrepasó el valor guía de THMs (0.08 mg/l) cuando se trabajó a las condiciones extremas usadas en este estudio. Sin embargo, nunca sobrepasaron el valor recomendado de THMs (0.46 mg/l) de CAPRE. El agua potable de la planta de Boaco tiene los valores de los parámetros de calidad por debajo de los máximos admisibles de CAPRE.

## REFERENCIAS

Bank, J and Wilson D. (2002). Low Cost Solution for trihalomethane compliance. *Journal of the Chartered e Institution of Water and Environmental Management*. **16 (4)**, 264-269.

CAPRE Guidelines. (2000). Regional Committee for Drinking Water Institution and Sanitation for Central America, Panama and Dominican Republic.

Carlson, K., Via, S., Bellamy, B., Carlson, M. (2000). Secondary effects of enhanced coagulation and softening. *J. American Water Work Association*. **92 (6)**, 63-75.

Crozes, G., White, P., Marshall, M. (1995). Enhanced coagulation: its effect on NOM removal and chemical costs. *J. American Water Work Association*. **87(1)**, 78-89.

Hsu, Ch-H., Jeng, W-L., Chang, R-M., Chien, L-Ch., Han, B-Ch. (2001). Estimation of potential lifetime cancer risk for THM from consuming chlorinated drinking water in Taiwan. *J. Environmental Research*. **A (85)**, 77-82.

Ivancev, I., Dalmacija, B., Tamas, Z., Karlovic, E. (1999). The Effect of different Drinking Water Treatment Process on the rate of Chloroform Formation in the Reactions of Natural Organic Matter with hypo chlorite. *J. Water Research*. **33 (18)**, 3715-3722 (de la formula).

Kitis M., Karanfil T., Wigton, A. and Kilduff, J. (2002). Probing reactivity of dissolved organic matter for disinfection by product formation using XAD-8 resin adsorption and ultra filtration fractionation. *J. Water Research*. **36**, 3834-3848.

Krasner, S.W. (1999). Chemistry of disinfection by-products formation on formation and control of disinfection by-products in drinking water, Chapter 2. AWWA.

Rathbun, R.E. (1997). Effect of Reaction Time on the Formation of Disinfection by products. *J. Chemosphere*. **34 (12)**, 2699-2713.

Rook, J.J. (1974). Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Waters. *J. Water Treatment Examination*. **23**, 234-239.

Standard Methods for the examination of Water and Waste water (1998). 20<sup>th</sup> Edn. American public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.

USEPA, (1999). Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual. Environmental Protection Agency. United States. Office of Water. EPA 815-R-99-012.



**Indiana García** se graduó de Ingeniera Química en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en 1992. Obtuvo su *Master of Science* en Ingeniería Sanitaria en el Instituto Internacional de Ingeniería para la Infraestructura, Hidráulica y el Medio Ambiente (IHE) en 1997, Holanda. Actualmente es estudiante de Doctorado en el Real Instituto Tecnológico (KTH), Suecia. Su área de investigación es Medio Ambiente con énfasis en potabilización de agua utilizando la coagulación mejorada. Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería.