

Estudio de la fracción de materia orgánica de mayor remoción en el proceso de coagulación-floculación usando agua superficial

A.K. Tapia, A. Reyes, I. García*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)
Avenida Universitaria, PO Box 5595, Managua, Nicaragua
E-mail: indianag@kth.se

(recibido/received: 31-Enero-2011; aceptado/accepted: 17-Junio-2011)

RESUMEN

En este trabajo, se realizó la separación de la materia orgánica natural (MON) presente en el agua cruda que abastece a dos plantas potabilizadoras, una de río (Boaco) y otra de lago (Juigalpa), en dos tipos: hidrofóbica, constituida por las fracciones muy hidrofóbica (MH) y ligeramente hidrofóbica (LH); y el tipo hidrofílica formada por las fracciones cargada (CHA) y neutral (NEU). Las aguas obtenidas de cada fracción fueron sometidas a un proceso de coagulación-floculación-sedimentación a escala de laboratorio usando sulfato de aluminio como coagulante; donde la fracción hidrofílica (CHA y NEU) fue poco removida (< 35 %) en comparación con la hidrofóbica (> 65 %). Se utilizaron parámetros sustitutos para caracterizar dicha MON como carbono orgánico disuelto (COD), color, absorbancia ultravioleta (UV_{254}) y absorbancia específica ultravioleta (SUVA). Se determinó que estas aguas cruda presentan una mezcla de materia orgánica hidrofóbica e hidrofílica ya que los valores de SUVA estaban entre 2-4 L/mg-m, sin embargo la fracción hidrofóbica (MH+LH) fue la predominante ya que representa 63.6 % y 65 % medidos como COD en época seca para Boaco y Juigalpa respectivamente, en época lluviosa los porcentajes fueron un poco más alto (71.2 % y 66.1 %). Finalmente se halló que el agua de río (Boaco) contiene mayor concentración de trihalometanos (89-166 $\mu\text{g/L}$) que el agua del lago (Juigalpa) (28-80 $\mu\text{g/L}$) después de ser clorada. Encontrándose que la fracción hidrofóbica fue la que más contribuyó a la formación de trihalometanos (THMs) en 68.5 % (Boaco) y 78.6 % (Juigalpa) en la época seca en ambas aguas tratadas. Para la época lluviosa, la formación de THMs fue un poco mayor.

Palabras claves: Materia orgánica; Trihalometanos; Fraccionamiento; Agua superficial

ABSTRACT

In this work, we performed the separation of natural organic matter (MON) present in the raw water that supplies two water treatment plants, one from river (Boaco) and one from lake (Juigalpa), in two types: hydrophobic, formed by the fractions very hydrophobic (MH) and slightly hydrophobic (LH); and the hydrophilic type constituted by the charged (CHA) and neutral (NEU) fractions. These waters obtained from each fraction were subjected to a process of coagulation-flocculation-sedimentation on a laboratory scale using aluminum sulfate as a coagulant, wherein the hydrophilic fraction (CHA and NEU) was poorly removed (< 35 %) in comparison with the hydrophobic one (> 65 %). Surrogate parameters were used to characterise this MON such as dissolved organic carbon (COD), colour, ultraviolet absorbance (UV_{254}) and specific ultraviolet absorbance (SUVA). Determination of SUVA values indicates a mixture of hydrophobic and hydrophilic organic matter in both raw waters as their values of specific ultraviolet absorbance (SUVA) were between 2-4 L/mg-m; however the hydrophobic fraction (MH + LH) was the predominant one, 63.6 % and 65 % measured as COD in dry season for Boaco and Juigalpa respectively, in rainy season, the percentage were a little higher (71.2 % and 66.1 %). Finally, it was found that the river water (Boaco) contains higher concentrations of trihalomethanes (89-166 $\mu\text{g/L}$) than the water lake (Juigalpa) (28-80 $\mu\text{g/L}$) after being chlorinated. Found that the hydrophobic fraction was the major contributor in 68.5 % (Boaco) and 78.6 % (Juigalpa) to the formation of trihalomethanes for dry season in both treated water. In rainy season, the THMs formation were a little higher.

Keywords: Organic matter; Trihalomethanes; Fractionation; Superficial water

* Autor para la correspondencia

INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo estudiar la remoción de los precursores de los subproductos de la desinfección con cloro (SDC) tales como trihalometanos (THMs) usando agua que ha sido fraccionada en cuatro partes. El motivo de fraccionar el agua es para determinar qué tipo de materia orgánica es más reactiva con el cloro en la etapa de desinfección y por ende mayor formadora de SDC.

El método de separación es el de adsorción/desorción desarrollado por Soh *et al.*, 2008. Las cuatro fracciones son: muy hidrofóbica (MH), ligeramente hidrofóbica (LH), cargada (CHA) y neutra (NEU). A su vez el carácter hidrofóbico o húmico de la materia orgánica es determinado por las fracciones MH y SH, este tipo de materia es menos soluble en agua y es más fácil de remover en el proceso de coagulación (Chow *et al.*, 2004). En cambio, las fracciones CHA y NEU caracterizan a los componentes no húmicos o hidrofílicos los cuales son difíciles de remover por el proceso de coagulación ya que estos son muy solubles en agua (Chow *et al.*, 2004).

La materia orgánica natural es cuantificada a través de parámetros sustitutos porque es imposible caracterizarla en un solo parámetro. Comúnmente es medida usando el color verdadero que indica los grados de conjugación de los compuestos orgánicos, absorbancia ultravioleta a 254 nm (UV_{254}) que muestra el contenido aromático, absorbancia específica al ultravioleta (SUVA) que señala la presencia de material hidrofóbico o hidrofílico y el carbono orgánico disuelto (COD).

Nicaragua cuenta con siete plantas potabilizadoras de gran tamaño, todas ubicadas en la región central. El resto del país se abastece de agua subterránea y en menor escala de agua superficial (ver Fig. 1). Se conoce que el tipo de materia orgánica presente en las aguas crudas que abastecen a las plantas potabilizadoras (PTAP) podría ser del tipo húmico o hidrofóbico en época lluviosa ya que los valores de SUVA son mayores a 4 L/mg-m y no húmicos en época seca cuando el SUVA es menor a 2 L/mg-m

(García y Moreno, 2009). Esto causa que en época lluviosa las plantas potabilizadoras trabajen a mayor capacidad de la que fueron diseñadas porque la materia orgánica se ha incrementado debido a las escorrentías que la transportan a los cuerpos de agua haciendo muchas veces insostenible que las PTAP continúen trabajando. Sin embargo en época seca sucede todo lo contrario, la MON disminuye causando que las dosis de coagulantes utilizadas en las PTAP sean muy altas para lograr desestabilizar la carga negativa de la materia orgánica, esto significa más compuesto de aluminio a los cuerpos de agua provenientes de los lodos de los sedimentadores y aluminio residual en el agua potable. Los compuestos de aluminio han sido fuertemente relacionados al mal de Alzheimer (Pontius, 2000).



Fig. 1 Ubicación de las PTAP.

Otro tipo de tratamiento utilizada para disminuir la dosis de coagulantes en época seca es la aplicación de ayudantes de coagulación los cuales generalmente son polímeros sintéticos a base de acrilamida la cual esta ligada a problemas de cáncer (USEPA, 1997).

Por lo que en esta investigación se fraccionó el agua cruda que es utilizada en dos plantas potabilizadoras para conocer que tipo de materia orgánica está presente en dichas aguas, y por ende optimizar la dosis de coagulante utilizada en el proceso de coagulación para reducir la

presencia de precursores de la formación de los subproductos clorados. Dos tipos de aguas superficiales fueron utilizadas en la investigación: una proveniente del Río Fonseca que abastece a la PTAP de Boaco y la otra del Lago Nicaragua que suministra agua cruda a la PTAP de Juigalpa.

La necesidad de disminuir la presencia de los precursores es reducir la concentración de trihalometanos. Estos se originan al reaccionar la materia orgánica natural (MON) que no es removida apropiadamente en las etapas previas al proceso de desinfección con el cloro. El cloro rompe los anillos aromáticos de la MON formando compuestos clorado que son cancerígenos (USEPA, 1998). También estos compuestos han sido ligados a enfermedades como retardo, abortos espontáneos y mutaciones (USEPA, 1997).

METODOLOGÍA

Agua cruda

Las muestras de agua cruda fueron tomadas de las fuentes que abastecen a las plantas potabilizadoras de Boaco (Río Fonseca) y Juigalpa (Lago de Nicaragua). Las muestras fueron tomadas en Abril que es un mes de la época seca y Julio en temporada lluviosa.

Fraccionamiento de la materia orgánica

El fraccionamiento de la materia orgánica natural para ambas fuentes se realizó usando tres tipos de resinas: Amberlita DAX-8, Amberlita XAD-4 e IRA-958. Pevio a su utilización las resinas se prepararon químicamente de la siguiente manera:

Se hizo pasar 500 mL de agua desionizada seguido de 500 mL de NaOH 0.1 N, se dejaron las resinas en el NaOH toda la noche y se enjuagaron posteriormente con 500 mL de agua desionizada.

Las resinas se lavaron nuevamente con 500 mL de NaOH 0.1 N, 250 mL de agua desionizada y 250 mL de H₃PO₄ (0.1 N).

El procedimiento para el fraccionamiento de la materia orgánica se detalla a continuación:

Las muestras, en este caso el agua del río Fonseca o del Lago Nicaragua, se filtraron utilizando un filtro de fibra de vidrio de 0.45 µm, posteriormente se procedió a la acidificación del agua filtrada hasta un pH 1.9-2 usando ácido fosfórico (H₃PO₄). Se acidifica la muestra para poder tener la parte hidrofóbica o húmica de la materia orgánica en solución.

Para el fraccionamiento se hizo pasar 15 L de agua filtrada y acidificada del río Fonseca, o del lago Nicaragua, según fuese el caso, a través de las resinas de DAX-8, XAD-4 e IRA-958. El efluente de la resina XAD-4 se ajustó a pH 8 antes de pasar por la resina IRA-958 como se muestra en la Fig. 2 para obtener la parte hidrofílica o no húmica.

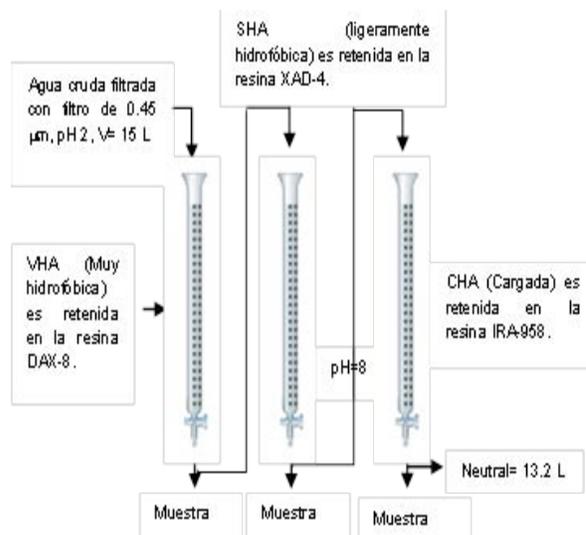


Fig. 2 Esquema de adsorción de la MON.

600 mL del efluente de cada columna fueron recolectados para análisis; los parámetros a medir fueron: COD, UV₂₅₄, SUVA, pH, y color. Estos mismos parámetros fueron medidos al agua cruda antes de ser filtrada o acidificada, al agua acidificada y filtrada, y también a cada una de las fracciones resultantes.

Cada fracción fue desorbida. Para eluir los compuestos muy hidrofóbico (MH) y ligeramente hidrofóbicos (LH) retenidos en las

resinas DAX-8 y XAD-4 respectivamente se usaron 600 mL de NaOH 0.1 M, y para eluir la fracción cargada (CHA) se utilizó la resina IRA-958 que es una resina fuerte de intercambio aniónico usando un volumen de 600 mL de 0.1 M NaOH/0.1 M NaCl como se muestra en la Fig. 3. Después cada resina fue lavada con 5400 mL de agua desionizada. El pH de cada una de las fracciones fue ajustado a pH 7 (Chow *et al.*, 2004) antes de hacer los experimentos de coagulación con sulfato de aluminio.

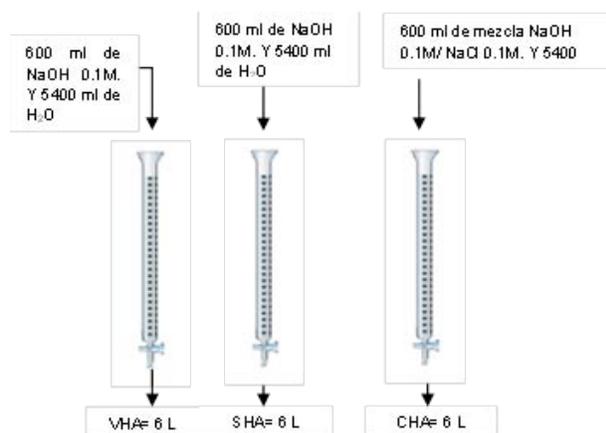


Fig. 3 Esquema de desorción de la MON.

Determinación analítica

Los parámetros medidos en esta investigación fueron determinados a través de los siguientes métodos o equipos:

Tabla 1 Métodos Analíticos.

Parámetros	Metodos
Color	HACH 8025
UV ₂₅₄	HACH 10054
DOC	HACH 10129
SUVA	(UV ₂₅₄ * 100)/DOC
THMs	HACH 10132
Cloro Residual	HACH 8021

Proceso de coagulación-floculación-sedimentación a escala de laboratorio

Para reproducir el proceso de coagulación-floculación-sedimentación se hizo uso de la

prueba de jarra (ver Fig. 4), donde se tomaron 5 L de agua por fracción de MON obtenida tanto del río Fonseca como del lago Nicaragua y se colocó 1 L por jarra. Posteriormente a cada jarra se le adicionó dosis de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$), entre 15-75 mg/L. Las condiciones de operación fueron 100 rpm por 1 minuto para la mezcla rápida al momento de adicionar el coagulante, posteriormente 30 rpm por 30 minutos de agitación lenta y 1 hora para el proceso de sedimentación. Luego se tomaron alícuotas de la capa sobrenadante para analizar los distintos parámetros mencionados anteriormente en la Tabla 1.



Fig. 4 Prueba de Jarras.

Finalizado el proceso de coagulación-floculación-sedimentación se seleccionó la jarra que tuviera el mayor porcentaje de remoción de los compuestos aromáticos medidos como (UV₂₅₄) con el fin de determinar la dosis óptima de coagulante. El agua de esa jarra fue filtrada con papel Whatman 1 para simular el proceso de filtración rápida con arena y se desinfectó con NaOCl (2 mg/L) por 5 h, después se determinó la cantidad de trihalometanos formados y el cloro residual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua no tratada

Los resultados de los experimentos indicaron ligeras diferencias entre los dos tipos de aguas que pueden ser justificadas no solo por el tipo

(una de río y otra de lago), sino también por su composición original, ubicación, además de la influencia generada por factores medio ambientales.

En las Tablas 2 y 3 se aprecian las características orgánicas del agua cruda sin fraccionar y fraccionada durante la época seca y lluviosa respectivamente. Es posible observar como el agua de Juigalpa (Lago de Nicaragua) presentó valores muchos menores en todos los parámetros medidos en comparación con Boaco (Rio Fonseca) en ambas épocas evaluadas.

En ambas estaciones climáticas, los dos tipos de agua sin fraccionar presentaron características de una mezcla de materia orgánica hidrofóbica e hidrofílica ya que sus valores de SUVA estaban entre 2-4 L/mg-m. Así mismo, los valores de SUVA fueron de 4 y 4.2 L/mg-m para la fracción hidrofóbica (MH+LH) en las aguas fraccionadas de Boaco y Juigalpa para la época seca y lluviosa respectivamente. En cambio, los valores de SUVA en las fracciones hidrofílicas (CHA+NEU) de Boaco fueron 3.4 y 3.5 L/mg-m para las épocas seca y lluviosa respectivamente. Similarmente en las aguas con material hidrofílico de Juigalpa, SUVA presenta valores de 3.1 y 3.3 L/mg-m para las estaciones climáticas evaluadas.

No obstante, la fracción hidrofóbica (MH+LH) fue la fracción predominante para ambas fuentes, en la época seca el porcentaje de COD en esa fracción fue 63.6 % para Boaco y 65 % para Juigalpa (círculo azul Tabla 2). A diferencia, la fracción hidrofílica (CHA+NEU) fue mucho menor y correspondió a 36.4 % y 35 % (círculo rojo Tabla 2) para ambas aguas. En la época lluviosa, el porcentaje de COD fue mayor en la fracción hidrofóbica y fue de 71.2 % para Boaco y 66.1 % en Juigalpa (círculo azul Tabla 3). Mientras las fracciones hidrofílicas (CHA+NEU) constituyen el 28.8 % para Boaco y 33.9 % para Juigalpa (círculo rojo Tabla 3).

Los valores de UV_{254} y color fueron muchos menores en época seca en comparación con la temporada lluviosa para el agua sin fraccionar de Boaco. En la fracción hidrofóbica, los valores UV_{254} y color fueron mucho más altos al compararle con la fracción hidrofílica para ambas estaciones climatológicas. Así mismo, el valor de color en el agua cruda de Juigalpa fue prácticamente el mismo (64 mg/L Pt-Co). El contenido aromático medido como UV_{254} fue 0.142 (1/cm) en época seca y 0.200 (1/cm) en temporada lluviosa. El UV_{254} y el color en las aguas fraccionadas de Juigalpa muestran la misma tendencia de comportamiento que el de las aguas fraccionadas de Boaco.

Tabla 2 Características orgánicas del agua cruda y de las fracciones en época seca.

Tipo de Agua	BOACO				JUIGALPA			
	UV_{254} (1/cm)	COD (mg/L)	SUVA (L/mg-m)	Color (mg/L Pt-Co)	UV_{254} (1/cm)	COD (mg/L)	SUVA (L/mg-m)	Color (mg/L Pt-Co)
Agua Cruda	0.163	4.1	4.0	74.0	0.142	3.7	3.8	65.0
MH	0.075	1.8	4.2	28.0	0.065	1.6	4.1	35.0
LH	0.036	1.0	3.6	23.0	0.038	1.0	3.8	20.0
CHA	0.030	0.9	3.3	12.0	0.023	0.7	3.3	9.0
NEU	0.024	0.7	3.4	12.0	0.021	0.7	3.0	4.0
Total	0.165	4.4	3.8	75.0	0.147	4.0	3.7	68.0

Tabla 3 Características orgánicas del agua cruda y de las fracciones en época lluviosa.

Tipo de Agua	BOACO				JUIGALPA			
	UV_{254} (1/cm)	COD (mg/L)	SUVA (L/mg-m)	Color (mg/L Pt-Co)	UV_{254} (1/cm)	COD (mg/L)	SUVA (L/mg-m)	Color (mg/L Pt-Co)
Agua Cruda	0.230	5.7	4.0	127.0	0.200	5.4	3.7	64.0
MH	0.103	2.4	4.3	55.0	0.095	2.2	4.3	40.0
LH	0.073	1.8	4.1	34.0	0.062	1.5	4.0	15.0
CHA	0.035	1.0	3.5	26.0	0.035	1.0	3.5	9.0
NEU	0.024	0.7	3.4	15.0	0.031	0.9	3.4	4.0
Total	0.235	5.9	4.0	130.0	0.223	5.6	4.0	68.0

Esos altos porcentajes de las fracciones hidrofóbicas indican la presencia de compuestos aromáticos, conjugados, mayormente húmicos y muy reactivos con el cloro (Parsons *et al.*, 2007). Además se puede notar en ambas tablas que la suma de cada parámetro medido en cada fracción es ligeramente más alto comparado a su valor correspondiente en el agua cruda sin fraccionar, esto se debe a que algún tipo de compuesto orgánico fue liberado por las resinas que son orgánicas durante la elución. También se puede observar que los valores de los parámetros medidos en las fracciones sin importar la fuente tienen la tendencia de disminuir en el siguiente orden: MH > LH > CHA > NEU.

Agua tratada, época seca

En la Fig. 5 se muestra los valores en la disminución de los distintos parámetros analizados para ambas fuentes sin fraccionar en la época seca, después de aplicar el proceso de coagulación. La remoción de UV₂₅₄ para el agua sin fraccionar fue de 37.4 % para Boaco y 26.8 % para Juigalpa. La remoción de COD fue de 29.3 % para Boaco y 18.9 % para Juigalpa. En tanto el color fue disminuido en mayor porcentaje, 66.2 % en el agua de Boaco y 55.4 % en Juigalpa.

La fracción que muestra las más altas remociones de UV₂₅₄, COD y color fue la muy hidrofóbica (MH), seguida de la ligeramente hidrofóbica (LH), la cargada (CHA) y la de menor remoción fue la neutral (NEU) para ambas aguas tratadas.

El UV₂₅₄ en la fracción hidrofóbica (MH+LH) fue removida 45.9 % en Boaco y 35 % en Juigalpa, las remociones en la fracción hidrofílica fueron muchos menores y los valores son: 13 % y 6.8 % respectivamente (Fig. 6). Este comportamiento se debe a que la fracción hidrofóbica es menos soluble y más fácil de coagular en comparación con la fracción hidrofílica que es recalcitrante a ser removida en el proceso de coagulación (Parsons *et al.*, 2007).

También se puede notar que los parámetros fueron disminuidos mayormente en las aguas sin

fraccionar y fraccionadas de Boaco en comparación con Juigalpa para esta época seca.

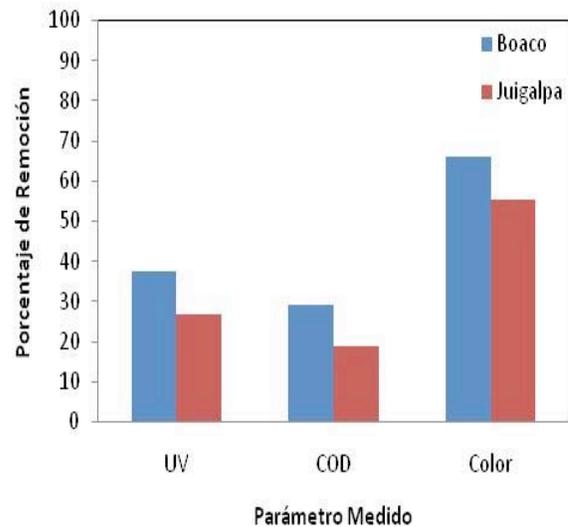


Fig. 5 Remoción de compuestos orgánicos en el agua sin fraccionar, época seca.

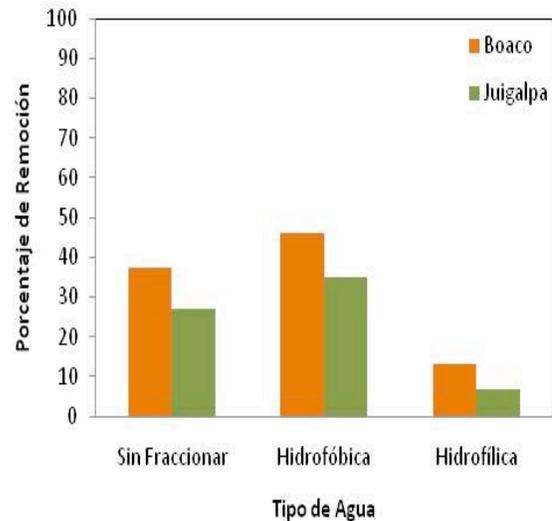


Fig. 6 Valores de UV₂₅₄ después del proceso de coagulación, época seca.

Agua tratada, época lluviosa

A diferencia de lo observado al evaluar ambas fuentes tratadas en época seca, las remociones de los parámetros relacionados con la materia orgánica presente en el agua fueron mayores en el agua de Lago (Juigalpa) (ver Fig. 7). La

remoción de UV_{254} para el agua sin fraccionar fue 50 % para Juigalpa y 48.7 % para Boaco. La remoción de COD fue 46.3 % para Juigalpa y 43.8 % para Boaco. El color fue disminuido 62.5 % en Juigalpa y 50.4 % en el agua de Boaco.

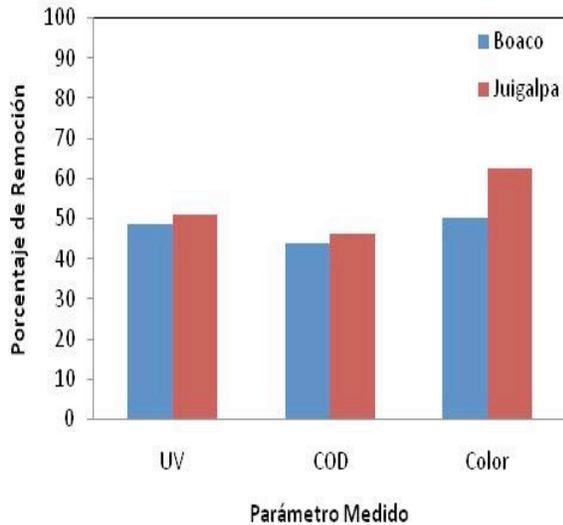


Fig. 7 Remoción de compuestos orgánicos en el agua sin fraccionar, época lluviosa.

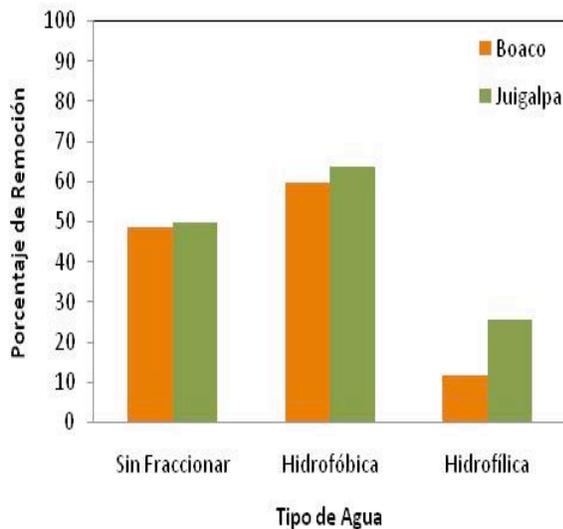


Fig. 8 Valores de UV_{254} después del proceso de coagulación, época lluviosa.

Al igual que en la época seca la fracción que muestra las más altas remociones de UV_{254} , COD y color fue la muy hidrofóbica (MH), seguida de la ligeramente hidrofóbica (LH), la

cargada (CHA) y la de menor remoción fue la neutral (NEU).

El UV_{254} en la fracción hidrofóbica (MH+LH) fue disminuido en 63.7 % para Juigalpa y 59.7 % para Boaco, las remociones en la fracción hidrofílica fueron tan solo de 25.8 % y 11.9 % respectivamente (ver Fig. 8). Esto se debe a que los componentes orgánicos en esta fracción son difíciles de reducir por su alta solubilidad en el agua.

El SUVA disminuyó en las aguas tratadas, decreciendo más en la fracción hidrofóbica que en la hidrofílica en ambas temporadas climatológicas.

Trihalometanos, época seca

La Fig. 9 muestra la concentración de trihalometanos para el agua sin fraccionar (Rio Fonseca y Lago de Nicaragua) y cada fracción para ambas aguas desinfectadas con cloro, en época seca. La concentración más alta de THMs se encontró en el agua de Boaco (89 $\mu\text{g/L}$), mientras en Juigalpa fue de 28 $\mu\text{g/L}$ lo cual esta de acuerdo a lo encontrado en este estudio de que el agua de Juigalpa presentó la menor concentración de MON y por ende menos THMs se debían formar en la etapa de desinfección a pesar de que se obtuvieron mayores remociones de precursores de los subproductos de la desinfección en el agua de Boaco.

La fracción que más contribuye a que los THMs se formen fue la ligeramente hidrofóbica (LH), seguida de la MH, CHA y NEU para ambas aguas. La fracción hidrofóbica contribuye 68.5 % en Boaco y 78.6 % en Juigalpa. La fracción hidrofílica aporta 31.5 % en Boaco y 21.4 % en Juigalpa.

Trihalometanos, época lluviosa

La concentración más alta de THMs se encontró en el agua de Boaco (166 $\mu\text{g/L}$), mientras en Juigalpa fue de 80 $\mu\text{g/L}$ (ver Fig. 10). Ambas aguas presentan concentraciones de trihalometanos en el umbral o exceden el valor de 80 $\mu\text{g/L}$ de USEPA (1998); pero no

sobrepasan el valor máximo permitido de CAPRE (2002) de 460 $\mu\text{g/L}$.

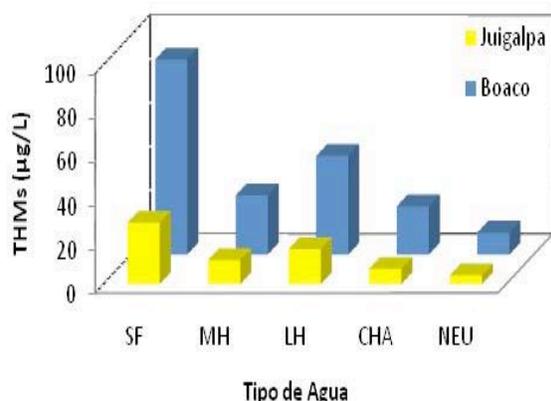


Fig. 9 Trihalometanos después del proceso de desinfección con cloro, época seca.

Al igual que en la época seca, la fracción que más contribuye a que los THMs se originen fue la ligeramente hidrofóbica (LH), seguida de la MH, CHA y NEU para ambas aguas. La fracción hidrofóbica contribuye a la formación de trihalometanos en 68.5 % en Boaco y 83.8 % en Juigalpa. La fracción hidrofílica aporta 33.7 % en Boaco y 16.2 % en Juigalpa.

En ambas figuras puede notarse claramente que la fracción hidrofílica fue poco removida (CHA+NEU) y por tanto también contribuye a la formación de THMs.

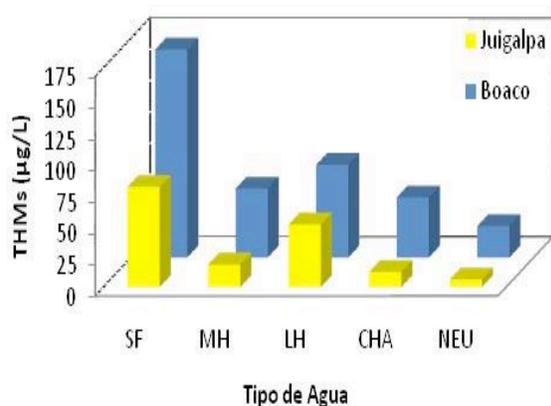


Fig. 10 Trihalometanos después del proceso de desinfección con cloro, época lluviosa.

CONCLUSIONES

El agua cruda de las fuentes abastecedoras de las PTAP de Boaco y Juigalpa es una mezcla de materia orgánica hidrofóbica e hidrofílica, siendo la fracción hidrofóbica (MH+LH) la que se encuentra en mayor proporción en ambas aguas. El contenido de este material es mucho mayor en temporada lluviosa que en época seca. Así mismo, la materia orgánica natural (MON) se encuentra presente en mayor cuantía en las aguas del Río Fonseca (Boaco) que en las aguas del Lago de Nicaragua (Juigalpa).

En época seca, la materia orgánica en el agua del Río Fonseca (Boaco) fue removida en mayor proporción que en el agua del Lago de Nicaragua (Juigalpa). Sin embargo, en época lluviosa, el comportamiento de las remociones de materia orgánica se incrementó en el agua del lago (Juigalpa). Esto se debe a que en época de lluvia el contenido de materia orgánica es tanto en las aguas del río Fonseca que se hace más difícil su remoción a pesar de usarse altas dosis de sulfato de aluminio; en cambio, en el agua del Lago de Nicaragua, la concentración de materia orgánica fue mucho menor lo que facilita su disminución en el proceso de coagulación-floculación-sedimentación. En ambas fuentes de agua, la fracción hidrofóbica fue la más fácil de remover, contrario a la fracción hidrofílica que fue recalcitrante debido a su superior solubilidad. Así mismo en las fracciones estudiadas, la materia orgánica fue disminuida mayormente en el siguiente orden: MH, LH, CHA y muy poco en la fracción neutral (NEU).

La fracción que más influye en la formación de trihalometanos (THMs) en las aguas de Boaco y Juigalpa es la fracción hidrofóbica o húmica (MH+LH) que es la que se encuentra en mayor cantidad en las aguas estudiadas; sin embargo, esta fracción es la más fácil de remover con sulfato de aluminio. Sin embargo, dentro de esta fracción, la ligeramente hidrofóbica (LH) es la que contribuye más porque se remueve en menor proporción que la MH. Además la fracción hidrofílica o no húmica formada por las fracciones cargadas (CHA) y neutral (NEU) contribuyen también significativamente a la formación de THMs debido a que esta fracción

fue la más recalcitrante a ser removida en el proceso de coagulación.

Usando altas dosis de coagulante se logran altas remociones de la fracción hidrofóbica o húmica en ambas aguas. En el caso de la fracción hidrofílica o no húmica, la coagulación con sulfato de aluminio no es suficiente tratamiento para reducir su contenido, por lo que es necesario buscar otras alternativas de tratamiento. Una posible opción, es el uso de ayudantes de coagulantes naturales para disminuir la dosis de coagulante y evitar el impacto de aluminio al ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, (Asdi) y a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

CAPRE (2002). *Normativa de Calidad de Agua Potable*. Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

Chow, C.W.K., Fabris, R., & Drikas, M. (2004). A rapid fractionation technique to characterize natural organic matter for the optimization of water treatment processes. *Journal of Water Supply Research Technology-AQUA*, Vol. 53, No. 2, pp. 85-92.

García, I., & Moreno, L. (2009). Use of GAC after enhanced coagulation for the removal of natural organic matter from water for purification, *Journal of Water Science and Technology: Water Supply Journal*, Vol. 9, No. 2, pp.173-180.

Parsons, S.A., Jefferson, B., Jarvis, P.J., Sharp, E., & Dixon, D.W. (2007). *Treatment of waters with elevated organic content*. AwwaRF Report 91161. USA: AWWA.

Pontius, F.W. (2000). Regulation for aluminium in drinking water. *Journal of American Water Work Association*, Vol. 92. No. 4, pp. 18-22.

Soh, Y.h., Roddick, F., & van Leuwen, J. (2008). The impact of alum coagulation on the character, biodegradability and disinfection by-product formation potential of reservoir natural organic matter (MON) fractions. *Journal of Water Science & Technology*, Vol. 58, No. 6, pp. 1173-1179.

USEPA, United State Environmental Protection Agency (1998). *National primary drinking water regulations: disinfectants and disinfection by-products D/DBP*. Final Rule. EPA 69389-9476.

USEPA, United State Environmental Protection Agency (1997). *Exposure factors handbook. General factors*, Volume 1. Report No. EPA 822-R-05-011. Office of Water. Washington D.C., U.S.A.



Indiana García se graduó de Ingeniero Químico en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en 1994. Obtuvo el grado de MSc en Ingeniería Sanitaria en el Instituto Internacional de Ingeniería para la Infraestructura, Hidráulica y el Medio Ambiente (IHE) en 1997, Holanda. PhD y LicEng en Ingeniería Química del Real Instituto Tecnológico (KTH), Suecia en 2011 y 2006, respectivamente. Su área de investigación es Medio Ambiente con énfasis en potabilización de agua utilizando la coagulación mejorada. Profesora Titular, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua.