

## **I-396 - REDUCCIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE LA COAGULACIÓN MEJORADA**

**Patricia Torres-Lozada**<sup>(1)</sup>

Ingeniera Sanitaria de la Universidad del Valle, MSc. y PhD. en Ingeniería Civil: Hidráulica y Saneamiento de la Universidad de São Paulo.

**Lina Fuentes-López**<sup>(2)</sup>

Ingeniera Sanitaria de la Universidad del Valle, Estudiante de MSc. en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle.

**Luz Edith Barba-Ho**<sup>(3)</sup>

Química de la Universidad del Valle, MSc. en Química de la Universidad del Valle.

**Camilo Cruz-Vélez**<sup>(1)</sup>

Ingeniero Sanitario de la Universidad del Valle, MSc. en Ingeniería Civil: Hidráulica y Saneamiento de la Universidad de São Paulo.

**Dirección**<sup>(1)</sup>: Universidad del Valle, Calle 13 100-00, Cali – Valle del Cauca – Colombia. A.A. 25360. Teléfono de contacto: 3212100 – e-mail: patricia.torres@correounivalle.edu.co

### **RESUMEN**

Las fuentes de agua superficial son propensas a la contaminación por peligros fisicoquímicos, microbiológicos y/o radiológicos, debido a las actividades y usos del suelo que se llevan a cabo en torno a la cuenca y subcuencas, siendo posible encontrar algunos, como los plaguicidas, incluso en Agua Potable (AP) proveniente de procesos de tratamiento convencional, que remueven fundamentalmente material en suspensión y materia orgánica natural; los plaguicidas son compuestos orgánicos que generan alteraciones fisicoquímicas y microbiológicas, efectos sobre la vida acuática y la salud humana. La Atrazina es un plaguicida ampliamente utilizado en el control de malezas en diferentes cultivos. Para la reducción de plaguicidas como la Atrazina, existen tecnologías de tratamiento complementarias al tratamiento convencional, como filtración con membrana, aplicación de Carbón Activado, Procesos Avanzados de Oxidación, entre otros; sin embargo, éstos presentan costos elevados y mayor complejidad. Por su parte, la Coagulación Mejorada (CM) es una alternativa sencilla y de bajo costo que aporta a la reducción de compuestos orgánicos como los plaguicidas. Este estudio evaluó la reducción de Atrazina de un agua superficial dopada con 500 µg/L por medio de la Coagulación Mejorada, utilizando ACH y FeCl<sub>3</sub> como coagulantes; los diagramas de coagulación para las variables turbiedad y UV<sub>223</sub> (indicador indirecto de la presencia de Atrazina), mostraron que con la CM es posible alcanzar eficiencias de reducción del orden del 95% para turbiedad y del 50% para UV<sub>223</sub>, valores superiores a los reportados para reducción de Atrazina mediante coagulación convencional.

**PALABRAS CLAVE:** Atrazina, Coagulación Mejorada, Compuestos Orgánicos, Diagramas de Coagulación.

### **INTRODUCCIÓN**

Las fuentes de agua superficial contienen una variedad de compuestos de origen natural y antropogénico; entre estos últimos se pueden encontrar los plaguicidas que se utilizan con frecuencia en diferentes actividades como la agricultura, con el fin de limitar, inhibir y prevenir el crecimiento de animales, insectos, plantas, hierbas invasoras, bacterias y hongos (Sánchez and Sánchez, 1984; Meffe and de Bustamante, 2014). Los plaguicidas Organoclorados (OC) han sido ampliamente producidos y utilizados a nivel mundial y aunque a partir de la mitad de la década de 1970 se ha limitado y/o prohibido su utilización en muchos países, todavía se encuentran en casi todas las matrices ambientales debido a su larga vida media (Zhou, Zhu, Yang, & Chen, 2006).

La Atrazina forma parte del grupo triazinas de herbicidas OC, siendo de los herbicidas de mayor aplicación a nivel mundial debido principalmente a su bajo costo (Sharma, Kumar and Joseph, 2008), particularmente para cultivos como el maíz y la caña de azúcar (Jablonowski *et al.*, 2010). Sin embargo, debido a su alto riesgo de lixiviación, se han encontrado concentraciones de hasta 1000 µg/L en aguas adyacentes a campos tratados y

hasta 80 µg/L en Agua Potable (AP) (Graymore, Stagnitti and Allinson, 2001), siendo una amenaza potencial para la salud humana debido a su asociación con posibles efectos carcinogénicos, de disrupción endocrina y teratogénicos (Udiković, Scott and Martin, 2012; Lesmes and Binder, 2013).

En los procesos de potabilización del agua, la tecnología de mayor utilización ha sido el tratamiento convencional o completo (coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y estabilización del pH); sin embargo, la coagulación convencional fue diseñada básicamente para remover partículas causantes de turbiedad y materia orgánica natural (Sarkar *et al.*, 2007). Alternativas de tratamiento complementarias como la filtración con membrana, la adsorción con Carbón Activado y los Procesos Avanzados de Oxidación, aunque son efectivas en la remoción de compuestos orgánicos como los plaguicidas, implican costos elevados y mayor complejidad operacional (Niño, 2010).

Debido a la heterogeneidad de los plaguicidas, se dificulta la adopción de un método particular para su eliminación (Sarkar *et al.*, 2007); sin embargo, se han realizado modificaciones de los procesos convencionales que favorecen la remoción de este tipo de compuestos (Freese *et al.*, 2001; Tomaszewska, Mozia and Morawski, 2004). Una de estas modificaciones, es la Coagulación Mejorada (CM), que ocurre por medio de la modificación de la dosis de coagulante en niveles de pH bajos (United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999).

## OBJETIVO

Evaluar el potencial de la Coagulación Mejorada como estrategia de reducción de la concentración de Atrazina de una fuente de agua superficial dopada en una concentración de 500 µg/L.

## METODOLOGÍA

Se utilizó Agua Superficial (AS) del río Cauca a la altura de la bocatoma de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Puerto Mallarino, la cual fue dopada con Atrazina con el fin de alcanzar una concentración de 500 µg/L. Se realizaron ensayos de tratabilidad mediante pruebas de jarras (jar test) para simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación (Di Bernardo, 1993). Se usaron Hidroxicloruro de Aluminio (ACH) y Cloruro Férrico (FeCl<sub>3</sub>) como coagulantes, en una concentración del 1%. Se construyeron diagramas de coagulación (Di Bernardo, 1993; Xiao, Simcik and Gulliver, 2013) evaluando concentraciones de coagulante entre 3 a 50 mg/L y en un rango de pH de coagulación entre 4 a 9 Unidades, el cual se modificó utilizando soluciones de Ácido Clorhídrico (HCl) e Hidróxido de Sodio (NaOH) (0.01 N).

Al agua cruda, dopada con Atrazina y clarificada en las diferentes condiciones de dosis de coagulante y pH, se le determinaron los parámetros turbiedad y absorbancia UV<sub>223</sub> como indicador indirecto de la presencia de Atrazina (Lazorko and Achari, 2009; APHA *et al.*, 2012). Con estos valores se construyeron los diagramas de coagulación.

## RESULTADOS

### Condiciones iniciales

En la Tabla 1 se muestran las características iniciales de turbiedad y UV<sub>223</sub> del agua cruda y dopada con la concentración de Atrazina dopada (500 µg/L).

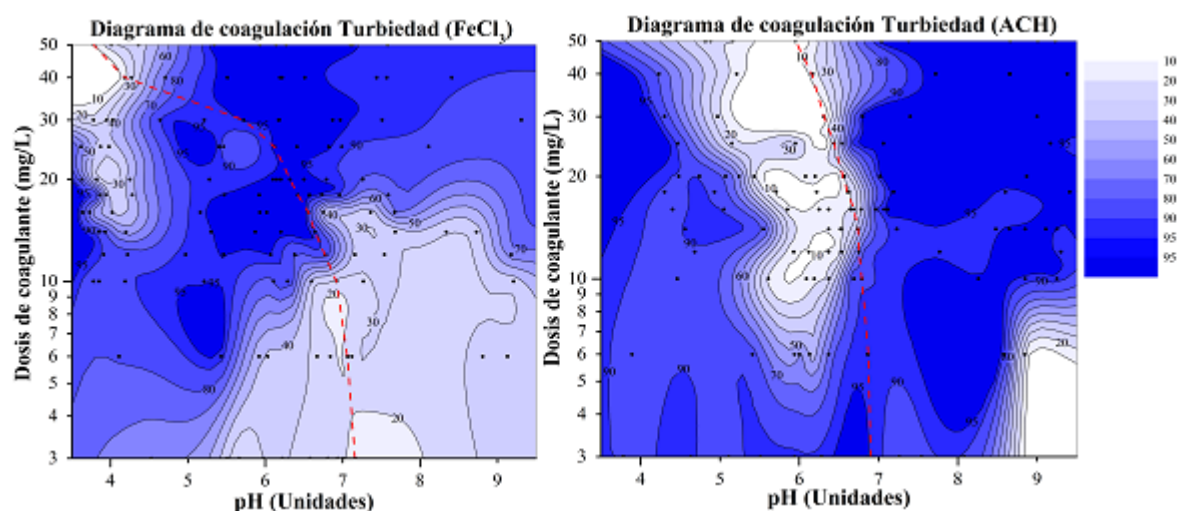
**Tabla 1. Condiciones iniciales del agua cruda y dopada con Atrazina**

TIPO DE AGUA	Turbiedad (UNT)	UV <sub>223</sub> (Cm <sup>-1</sup> )
Cruda	69,7	0,220
Dopada [500 µg/L]	62,5	0,270

## Ensayos de tratabilidad

La Figura 1 muestra los diagramas de coagulación para los parámetros turbiedad y  $UV_{223}$ .

### a. Turbiedad



### b. $UV_{223}$

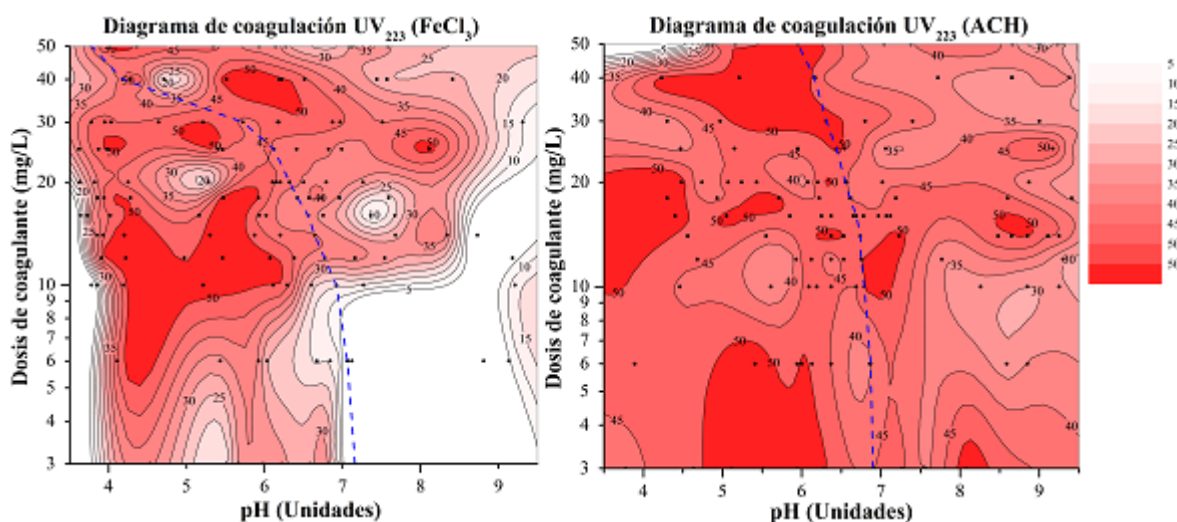


Figura 1. Diagramas de coagulación de turbiedad (a) y  $UV_{223}$  (b) utilizando los coagulantes  $FeCl_3$  y ACH

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### CONDICIONES INICIALES

Los compuestos orgánicos absorben luz UV a diferentes longitudes de onda ( $\lambda$ ) según su composición, en general entre 190 – 380 nm (World Health Organization (WHO) 2008). De acuerdo con autores como Thomas & Burgess (2007), Al-Degs et al. (2009) y Fuentes-López et al. (2018) la longitud de onda  $\lambda_{223}$  nm es un indicador indirecto adecuado de la presencia de Atrazina en agua. En este sentido, los datos mostrados en la Tabla 1, corroboran la utilidad de la absorbancia  $UV_{223}$  para indicar la presencia de Atrazina, la cual se incrementó de 0.22 a 0.27  $Cm^{-1}$  al adicionarla al agua cruda evaluada.

## **ENSAYOS DE TRATABILIDAD**

### **TURBIEDAD**

La turbiedad hace parte de los parámetros básicos que se miden al agua potable y es un indicador de importancia sanitaria que refleja una aproximación al contenido de material coloidal, mineral u orgánico (OPS, 1987; Marcó *et al.*, 2004). Los diagramas de coagulación de turbiedad mostraron que utilizando el coagulante  $\text{FeCl}_3$ , la zona de máxima eficiencia de reducción de turbiedad (>95%), se encontró con dosis de coagulante entre 12 – 50 mg/L y pH entre 5 – 7 Unidades, siendo el mecanismo de coagulación predominante el barrido. Igualmente, con el uso del coagulante ACH, se alcanzaron iguales eficiencias de reducción de turbiedad, con dosis de coagulante entre 3 – 50 mg/L y pH entre 7 – 9 Unidades. En general, las turbiedades fueron inferiores a 3,13 UNT, lo que es de gran importancia, ya que a pesar de que el agua evaluada (clarificada) aún no ha sido sometida a la etapa de filtración, ya alcanza valores de turbiedad cercanos al valor máximo admisible (2 UNT) de la normatividad colombiana para agua potable (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) 2007), lo que es favorable desde el punto de vista operacional, de eficiencias y costos de manejo de los filtros.

### **ABSORBANCIA $\text{UV}_{223}$**

Autores como Lazorko & Achari (2009), indican que la Atrazina absorbe radiación UV a una longitud de onda de 223 nm, igualmente estudios previos realizados por el grupo de investigación (Fuentes-López *et al.*, 2018; Torres-Lozada *et al.*, 2018) permitieron seleccionar esta longitud de onda como indicador indirecto de la presencia de Atrazina, por lo cual se realizaron diagramas de coagulación utilizando esta variable.

La zona de máxima reducción de  $\text{UV}_{223}$  utilizando el coagulante  $\text{FeCl}_3$  (>50%: absorbancia  $\text{UV}_{223}$  entre 0,129 y 0,141) se encontró entre las dosis de coagulante 6 – 50 mg/L y pH entre 4 – 6 Unidades. En este caso, el mecanismo de coagulación predominante fue el de adsorción – neutralización. En cuanto a la remoción debida al ACH, la zona de máxima reducción de  $\text{UV}_{223}$  (>50%: absorbancia  $\text{UV}_{223}$  entre 0,138 y 0,157) se encontró entre las dosis de coagulante 30 – 50 mg/L y pH entre 4,5 – 6,5 Unidades. En este caso también el mecanismo de coagulación predominante fue el de adsorción – neutralización.

Los puntos de mayor eficiencia de remoción de Atrazina, corresponden a la zona de Coagulación Mejorada, alcanzándose valores de remoción superiores a los reportados para la coagulación convencional, en que autores como Ormad, Miguel, Claver, Matesanz, & Ovelleiro, (2008), alcanzaron eficiencias de reducción de Atrazina utilizando agua cruda, del orden de 10 a 25% y 0 a 16% respectivamente, mientras que estudios llevados a cabo con agua sintética (Shabeer *et al.*, 2014; Westerhoff, Yoon, Snyder, & Wert, 2005) alcanzaron eficiencias entre 0 y 30% respectivamente.

## **CONCLUSIONES O RECOMENDACIONES**

La absorbancia  $\text{UV}_{223}$  es un indicador indirecto adecuado de la presencia de Atrazina en el agua, siendo recomendable evaluar previamente el valor o rango de valores de UV asociado a la sustancia de interés.

Los dos coagulantes evaluados, mostraron eficiente desempeño en términos de remoción de turbiedad. En cuanto a la remoción de Atrazina, medida indirectamente a través de la absorbancia  $\text{UV}_{223}$ , la Coagulación Mejorada fue más eficiente que la Coagulación Convencional, alcanzándose eficiencias del orden del 50%.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este estudio fue financiado por Colciencias y la Universidad del Valle, en el marco del Proyecto “EVALUACIÓN DE LA COAGULACIÓN MEJORADA PARA REMOCIÓN DE PLAGUICIDAS EN AGUA COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES CON INCIDENCIA EN LA SALUD C.I 2937” de la Convocatoria 744 -2016.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-DEGS, Y., AL-GHOUTI, M. & EL-SHEIKH, A. 'Simultaneous determination of pesticides at trace levels in water using multiwalled carbon nanotubes as solid-phase extractant and multivariate calibration', *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), pp.128–135, 2009.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) AND WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for Water and Wastewater Examination. 22nd edn. Edited by American Public Health Association. Washington D.C., United States, 2012.
3. DI BERNARDO, L. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, Vol 2*. Edited by Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil, 1993.
4. FREESE, S., NOZAIC, D., PRYOR, M., RAJOGOPAL, R., TROLLIP, D. AND SMITH, R. 'Enhanced coagulation: a viable option to advance treatment technologies in the South African context', *Water Science and Technology*, 1(1), pp. 33–41, 2001.
5. FUENTES-LÓPEZ, L., TORRES-LOZADA, P., CRUZ-VÉLEZ, C., BARBA-HO, L. AND PÉREZ-VIDAL, A. 'Identificación de la presencia de atrazina en fuentes de agua superficial mediante análisis de absorbancia', in *XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Guayaquil: Asociación Interamericana De Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS, 2018.
6. GRAYMORE, M., STAGNITTI, F. AND ALLINSON, G. 'Impacts of atrazine in aquatic ecosystems', *Environment International*, 26(7–8), pp. 483–495, 2001.
7. JABLONOWSKI, N., HAMACHER, G., MARTINAZZO, R., LANGEN, U., KÖPPCHEN, S., HOFMANN, D. AND BURAUDEL, P. 'Metabolism and persistence of atrazine in several field soils with different atrazine application histories', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(24), pp. 12869–12877, 2010.
8. LAZORKO, S. AND ACHARI, G. 'Atrazine: its occurrence and treatment in water', *Environmental Reviews*, 17, pp. 199–214, 2009.
9. LESMES, C. AND BINDER, C. 'Pesticide flow analysis to assess human exposure in greenhouse flower production in Colombia.', *International journal of environmental research and public health*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 10(4), pp. 1168–85, 2013.
10. MARCÓ, L., AZARIO, R., METZLER, C. AND GARCIA, M. 'La turbidez como indicador básico de calidad de agua potabilizada a partir de fuentes superficiales. Propuesta a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay', *Higiene, Sanidad y Ambiente*, pp. 72–82, 2004.
11. MEFFE, R. AND DE BUSTAMANTE, I. 'Emerging organic contaminants in surface water and groundwater: a first overview of the situation in Italy.', *The Science of the total environment*, 481, pp. 280–95, 2014.
12. ORGANIZACIÓN PANAMERICA DE SALUD (OPS). *Guías para la calidad del agua potable, Número 481, Volumen 3*. Edited by P. A. H. Org, 1987.
13. SÁNCHEZ, M. AND SÁNCHEZ, M. 'Los plaguicidas, adsorción y evolución en el suelo'. Salamanca: Instituto de recurso naturales y agrobiología, p. 49, 1984.
14. SARKAR, B., VENKATESWARALU, N., RAO, R., BHATTACHARJEE, C. AND KALE, V. 'Treatment of pesticide contaminated surface water for production of potable water by a coagulation-adsorption-nanofiltration approach', *Desalination*, 212(1–3), pp. 129–140, 2007.
15. SHARMA, R., KUMAR, A. AND JOSEPH, P. 'Removal of atrazine from water by low cost adsorbents derived from agricultural and industrial wastes', *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer-Verlag, 80(5), pp. 461–464, 2008.
16. THOMAS, O., AND BURGESS, UV-visible Spectrophotometry of Water and Wastewater, primera edición, 2007.
17. TOMASZEWSKA, M., MOZIA, S. AND MORAWSKI, A. 'Removal of organic matter by coagulation enhanced with adsorption on PAC', *Desalination*, 161, pp. 79–87, 2004.
18. TORRES-LOZADA, P., FUENTES-LÓPEZ, L., CRUZ-VÉLEZ, C., BARBA-HO, L. E. AND PÉREZ-VIDAL, A. 'Use of UV Absorbance as an indicator of organic matter presence in surface water bodies', in *61° CONGRESO INTERNACIONAL ACODAL 2018*. Cartagena: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL, 2018.
19. UDIKOVIĆ, N., SCOTT, C. AND MARTIN, F. 'Evolution of atrazine-degrading capabilities in the environment', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(5), pp. 1175–1189, 2012.
20. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Enhanced Coagulation



- and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual. Edited by O. of Water, 1999.
21. World Health Organization (WHO), WHO guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 38(3), p.564, 2008.
  22. XIAO, F., SIMCIK, M. AND GULLIVER, J. 'Mechanisms for removal of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from drinking water by conventional and enhanced coagulation', Water Research, 47(1), pp. 49–56, 2013.