



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Subproductos de la clarificación del agua, caso aplicativo en la región central de Colombia

Oscar Efrén Ospina Zúñiga^a, Oscar Hernán Cardona García^b, Luisa Fernanda Bulla Obando^c

^a Universidad Piloto de Colombia, Colombia, oscar-ospina1@unipiloto.edu.co

^b Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia, oscar.cardona@campusucc.edu.co

^c Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia, luisaf.bulla@campusucc.edu.co

RESUMEN: El aluminio se incorpora al agua de manera natural y/o antrópica, con niveles de riesgo para la salud por encima de 0.2 mg/L según la normativa colombiana. Puede surgir como contaminante emergente al utilizarse inadecuadamente sales de aluminio como coagulantes en la clarificación. El objetivo es evaluar la contaminación por aluminio del agua para consumo humano de la región central de Colombia, determinando su potencial origen y cumplimiento de la normativa vigente. En la investigación realizada se analizó el aluminio en agua cruda y tratada durante el período 2008–2017, mediante muestras y ensayos de laboratorio, así como la evaluación hidráulica y de operación de plantas de tratamiento de agua. Los resultados evidenciaron presencia de aluminio por encima del máximo permitido por la norma, producto de deficiencias hidráulicas y operativas en el proceso de clarificación de las plantas de tratamiento, donde se usa sulfato de aluminio como coagulante, por inadecuada aplicación de dosis óptimas, deficiente intensidad de agitación y de gradientes de velocidad en mezcla rápida y floculación, tiempos de floculación y sedimentación por fuera del óptimo. El sulfato de aluminio se caracterizó por residuos solubles de aluminio en el agua clarificada, a diferencia del policloruro de aluminio – PAC.

PALABRAS CLAVE: Aluminio, agua potable, riesgo, salud.

1 INTRODUCCIÓN

El aluminio es un componente natural del agua debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas y puede estar presente en forma soluble en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad. Es un metal ubicuo en el medio y el más abundante en la corteza terrestre, apareciendo siempre combinado con otros elementos [1], es liberado al medio por procesos naturales, procesos de erosión del suelo y erupciones volcánicas, y por acciones antropogénicas, pudiendo incorporarse al agua para consumo humano no solo de forma natural, sino como un contaminante emergente por residual del proceso de tratamiento que utiliza sales de aluminio como coagulantes en la clarificación, siendo 0,20 mg/l la concentración máxima permitida por la normativa en Colombia [2], debido a su potencial riesgo para la salud humana por encima de este rango. En concentraciones altas y durante prolongado tiempo, el aluminio puede pasar al torrente sanguíneo acumulándose en el hígado, huesos y músculos estriados, interfiriendo con el transporte de hierro y produciendo algunos tipos de anemia, disminuyendo la absorción de calcio ocasionando dolores, deformaciones y fracturas de huesos, incluso en población infantil, y si pasa al cerebro producir enfermedades neurológicas, atribuyéndose como una de las causas del Alzheimer.

A partir de la expedición de la Resolución 2115 de 2007 [2], se inició el control del agua para consumo mediante el indicador de calidad de agua IRCA, cuyos registros permiten definir la evidente presencia retrospectiva de contaminación por aluminio en sistemas de acueducto de varios municipios del departamento del Tolima, exponiendo a una vasta población urbana al riesgo que implica consumirlo durante tiempo prolongado y por encima del máximo permisible por la normativa nacional e internacional con su consecuente efecto en la salud humana. La evaluación de las plantas de tratamiento que expusieron alto contenido de aluminio en el agua para consumo, presentaron deficiencias hidráulicas y operativas en el proceso de clarificación, donde se usa sulfato de aluminio como coagulante, encontrándose inadecuada aplicación de dosis óptimas por deficiencia o ausencia de ensayos en el equipo de jarras; o por deficiente intensidad de agitación y de gradientes de velocidad en la mezcla rápida y floculación; el uso de coagulación por barrido cuando las condiciones de calidad de agua cruda exigen por adsorción; tiempos de floculación y sedimentación por fuera del óptimo.

El tipo de coagulante usado también influyó en el residual de aluminio, porque en la mayoría de municipios afectados se usan como coagulantes, compuestos inorgánicos de aluminio (sulfato de aluminio), caracterizado por dejar residuales y permitiendo solubilizarse el aluminio en el agua clarificada y post-floculación en la red de distribución, tanques de almacenamiento y albercas domiciliarias; pero en aquellas plantas de tratamiento donde se usaron coagulantes policloruros de aluminio - PAC como integrantes de una nueva generación de coagulantes alternativos, dieron mejor desempeño respecto a mínimos residuales de aluminio.

2 METODOLOGIA

El tipo de investigación realizada es cuantitativa con diseño metodológico de carácter exploratorio y descriptivo, en la cual se definió la presencia de aluminio en el agua cruda y tratada para consumo humano, según la recopilación de registros históricos disponibles de calidad de agua para las 47 localidades urbanas del departamento del Tolima y 8 del departamento de Cundinamarca, región central de Colombia; todo ello en comparación con su concentración referente al rango máximo permisible en la normativa vigente, establecida por la resolución 2115 [2].

Se realizaron visitas técnicas a las fuentes de abastecimiento para su reconocimiento de contaminación natural y antrópica, que puedan incidir en la incorporación de aluminio en los cuerpos de agua, y plantas de tratamiento de agua PTAP de las localidades en estudio, tomando muestras de agua cruda y tratada para su análisis en laboratorio. La determinación de residual de aluminio en el agua se hizo mediante espectrofotómetro Hach 2800 disponible en el laboratorio con acreditación de alta calidad de la empresa de acueducto y alcantarillado de Ibagué IBAL S.A. ESP.



Figura 1. Localización de los 55 municipios de la región central de Colombia (departamentos del Tolima y Cundinamarca)

Fuente: los autores

4 RESULTADOS Y DISCUSION

Con los registros de calidad de agua cruda y potable del periodo 2008 – 2016 de las zonas urbanas de los departamentos del Tolima y Cundinamarca, se definió la presencia y concentraciones de aluminio, información oficial correspondiente al Instituto Nacional de Salud sobre la caracterización físico-química del agua para consumo, mediante su programa de vigilancia denominado SIVICAP, cuyo análisis permite determinar que los municipios con concentraciones superiores al rango máximo permisible por la normativa colombiana (0.2 mg/l), realizan potabilización del agua mediante plantas de tratamiento, mientras que en todos los municipios donde no se realiza, el aluminio presentó concentración sin riesgo. El consolidado de municipios que evidenciaron aluminio en el agua para consumo humano durante el periodo 2008 – 2016, se muestran en la figura 2, pudiendo con ello deducir que más del 70% de la población urbana del departamento del Tolima estuvo expuesta al consumo y potencial incidencia en la salud por aluminio; en la provincia del Alto Magdalena del departamento de Cundinamarca, 3 de los 8 municipios presentó también exposición de aluminio para el año 2017.

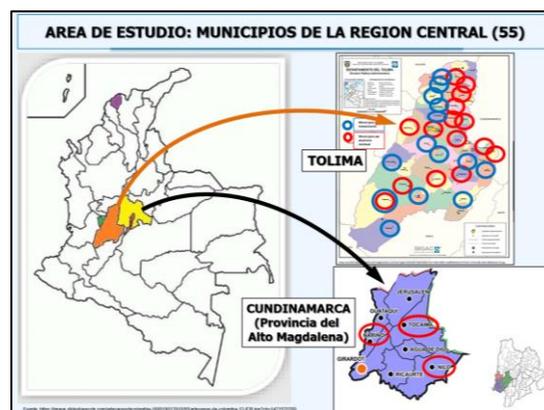


Figura 2. Municipios del departamento del Tolima y Cundinamarca con eventual presencia de aluminio en el agua para consumo, período 2008 – 2017.

Fuente: los autores.

Los municipios del departamento del Tolima que no realizaron tratamiento del agua para consumo humano, se identificaron por la presencia permanente de coliformes totales y fecales, y la ausencia de cloro residual en los muestreos realizados, aunque varios de ellos poseen planta de tratamiento de agua PTAP, pero por diversas causas pudieron no estar operando para potabilizar el agua para consumo, y algunas de ellas haber funcionado eventualmente en el periodo de estudio pero sin cumplir con los requerimientos de calidad de agua de la resolución 2115/07 [2]. Los 8 municipios del departamento de Cundinamarca realizaron tratamiento de agua durante el periodo evaluado. Los municipios que no realizaron tratamiento del agua en el departamento del Tolima, no presentaron aluminio residual en el agua para consumo; pudiendo colegirse que la incorporación del aluminio se debió a origen antrópico ocurrido en las plantas de tratamiento del agua PTAP, y no a las condiciones de calidad de agua de las fuentes hídricas de abastecimiento. El coagulante utilizado para la clarificación del agua puede contribuir a la incorporación de aluminio residual, como es el caso de las sales de aluminio utilizadas y especialmente el sulfato de aluminio, el cual es de uso masivo en la región por su bajo costo y fácil adquisición [3]. Existen otro tipo de coagulantes que han mostrado mayor eficiencia en determinadas condiciones de calidad de agua cruda, y con bajos residuales de aluminio en el agua para consumo, como los policloruros de Aluminio PAC, de mayor uso en el departamento de Cundinamarca [4].

Se describe a continuación la evaluación realizada a dos municipios del departamento del Tolima (Ibagué y Melgar) y dos de Cundinamarca (Nariño y Ricaurte), como ejemplo de la trazabilidad de aluminio en fuentes hídricas y sistemas de acueducto (abastecimiento):

La fuente hídrica de Ibagué corresponde al río Combeima donde se instalaron 7 estaciones de muestreo a lo largo del mismo y a sus tres principales afluentes, según se describe en la figura 3. Los resultados muestran cambios de concentración de aluminio lo largo del río Combeima [5], producto de diferentes afluentes y población que contribuyen o no en ello, hasta el sitio de captación del sistema de acueducto de Ibagué, donde la concentración arrojada fue de 0.034 mg/l y en la red de distribución 0.118 mg/l, mostrando un incremento producto del proceso de tratamiento, pero cumple al estar por debajo del máximo permisible (0,2 mg/l). De los 3 afluentes evaluados, la quebrada Guamal es la de mayor aporte de aluminio, con una concentración de 0.14 mg/l.

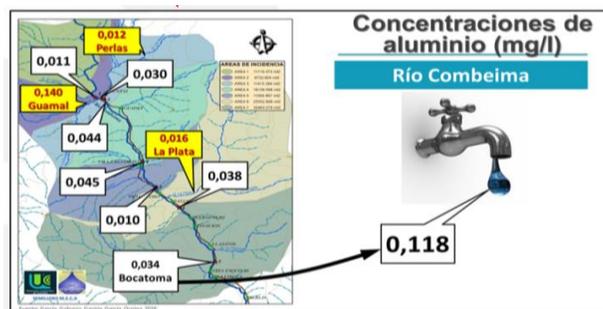


Figura 3. Trazabilidad de aluminio a lo largo del río Combeima, municipio de Ibagué
Fuente: [5]

La evaluación del sistema de acueducto de Melgar, se realizó en agua cruda y tratada teniendo en cuenta que se evidencia residual de aluminio en el agua para consumo y utiliza actualmente el coagulante Sulfato de Aluminio tipo B para la clarificación. Para ello se establecieron 3 puntos de

muestreo, uno para agua cruda a la entrada de la planta de tratamiento de agua PTAP y dos en la red de distribución. Los resultados de laboratorio arrojaron los resultados consignados en la figura 4. Las fuentes hídricas de abastecimiento de agua de Melgar (río Sumapaz y quebrada la Palmara), poseen bajo contenido de aluminio, pero una vez tratada sufre incremento.

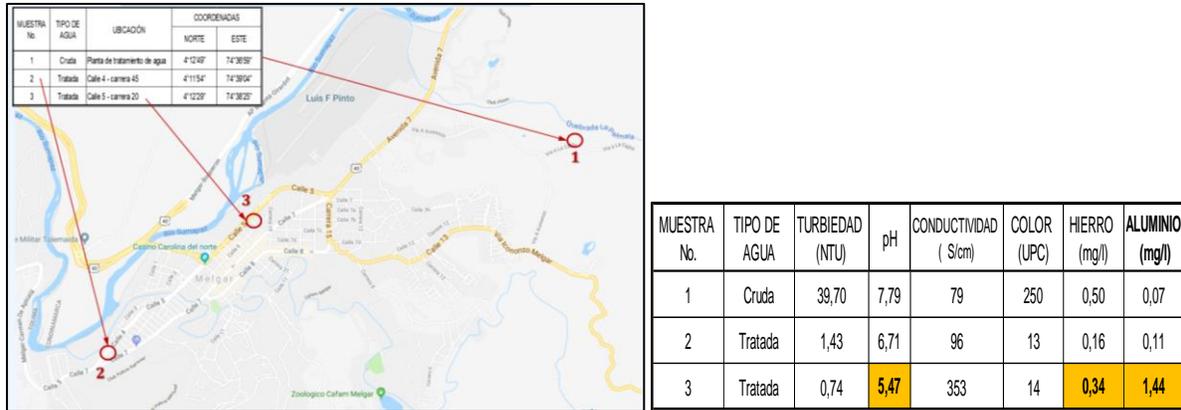


Figura 4. Resultados de aluminio de agua cruda y tratada, municipio de Melgar
Fuente: [3]

En Melgar la mezcla rápida se realiza en una canaleta Parshall con ancho de garganta 1ft para tratar un caudal que varía según la temporada del año. Dadas las condiciones del agua cruda, prevalece la alta concentración de coloides manifestado en valores de turbidez promedio relativamente altos durante el año, y baja alcalinidad, que requiere coagulación por adsorción, realizada en un tiempo de mezcla menor a 1 segundo entre el coagulante con la masa de agua, requiriendo intensidades de agitación que se calculan para gradientes de velocidad entre 1000 s-1 y 2000 s-1, garantizando remoción eficiente de sólidos en suspensión y coloides del agua [6]. Se calcularon los parámetros de la canaleta, obteniéndose que el resalto hidráulico formado no es consistente (no cumple con el número de Froude), pero la intensidad de agitación es adecuada por el valor del gradiente de velocidad, y se cumple la relación entre *altura del agua/ancho de garganta*, considerándose que en general la canaleta Parshall es adecuada como mezcla rápida para los requerimientos de la PTAP de Melgar, pero se está desaprovechando teniendo en cuenta la coagulación por desestabilización-adsorción no se realiza aplicando la solución de coagulante en el punto de mayor turbulencia, sino al final del resalto hidráulico.

Para el caso de los municipios de Nariño y Ricaurte del departamento de Cundinamarca, se establecieron tres sitios de muestreo para determinar el aluminio en agua cruda y tratada, cuyos resultados se describen en la figura 5 [4], cuya fuente hídrica corresponde al río Magdalena que para los dos casos presentó concentración de aluminio por encima del máximo permisible para consumo humano (2 mg/l), pero una vez tratada disminuye a rangos sin riesgo para la salud humana, siendo contrario a lo ocurrido en el caso de los municipios de departamento del Tolima.



Figura 5. Resultados de aluminio de agua cruda y tratada, municipios de Nariño y Ricaurte
Fuente: [4]

La remoción del aluminio del agua se realiza mediante tratamiento convencional más procesos específicos: intercambio iónico u ósmosis inversa, lo cual y por su complejidad y costo tecnológico, no es accesible para buena parte de los municipios de la región central de Colombia, siendo un riesgo que debe ser rigurosamente vigilado para evitar las potenciales patologías que se le atribuyen y descritas en la figura 6.

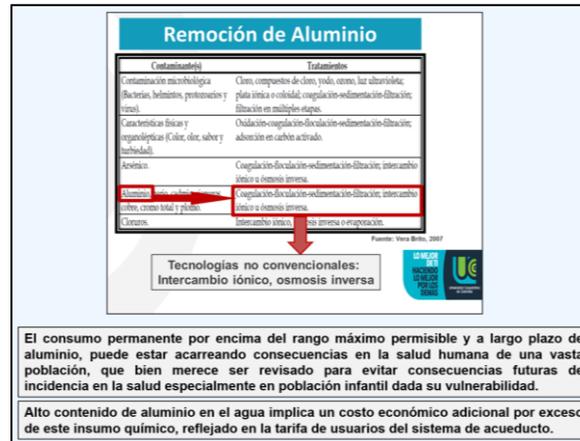


Figura 6. Tecnología de remoción de aluminio y potenciales patologías.
Fuente: los autores

REFERENCIAS

1. Soni, White, Flamm, Burdock (2001). Safety evaluation of dietary aluminum. Regul Toxicol Pharmacol 2001;33(1):66-79
2. Ministerio de la Protección Social de la República de Colombia (2007). Resolución 2115: Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
3. Ospina, O., Cardona, O., Bulla, L. (2017). Evaluación de la contaminación del agua para consumo humano, por aluminio. Universidad Cooperativa de Colombia. Ibagué, Colombia.
4. OSPINA, O., LEAL, D., GRANADOS, Y. (2017). EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO POR ALUMINIO, PROVINCIA DEL ALTO MAGDALENA, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA. GIRARDOT, COLOMBIA.
5. García, C., Galeano, V., Gaviria, L., García, C. y Ospina, O. (2016) Modelo de evaluación del recurso hídrico de la ciudad de Ibagué. Universidad Cooperativa de Colombia.



6. Ministerio de Vivienda, Cultura y territorio (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico R.A.S. 17. Bogotá, Colombia.