

Coagulant selection for water treatment process in Plant "C", Maracaibo, Venezuela

Javier Castillo, Nibis Bracho*, Luis Vargas, Nathalie Romero y Gerardo Aldana

Centro de Investigación del Agua, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Apartado Postal 15380 Delicias. Maracaibo, Venezuela.

Abstract

For more than 30 years, solid aluminium sulphate has been used traditionally with iron (SATA) and iron free (SALH) as a coagulant in the clarification process. In the last decades, new products, such as Polialuminium Chloride (PAC), Aluminium Chlorhydroxide, and liquid Aluminium Sulphate (SATA-SM) have been introduced to the market. There is limited scientific information in Venezuela and South America about the advantages and disadvantages reported by these products in the drinking water process. Based on this facts, a research was carried out in the Plant *Alonso de Ojeda* (C Plant), located in Maracaibo city, in order to select the coagulant that offers the best benefits to the process. Natural water samples were collected interdaily. Jarr tests for low, medium and high turbidity (8, 14 and 30 NTU, respectively) were performed and the optimum dose, turbidity, color, pH, alkalinity, total suspended solids (SST), settleable solids, residual aluminium, floc resuspension capacity, appearance time and flock settlement were determined. The optimum dose for the SATA-SM was obtained to be 2.4 to 3.2 times more than that for the SATA and SALH; it is similar for the PAC, and it is approximately half the dose for the chlorhydroxide. The aluminium sulphate costs are four times less than those of the new products. The best flock formation, stability and settlement time was exhibited by the SATA-SM, and the less SST and settleable solids quantity was registered for the SALH, which guarantee the less washing frequency of filters and sediment. All products present the same treatment quality related to color and turbidity remotion, achieving values, for the optimum doses, of 3.5 NTU and 10 apparent color units for all the coagulants.

Key word: Coagulation, treatment, drinking water.

Selección del coagulante para el proceso de clarificación de las aguas de la Planta "C" de Maracaibo

Resumen

Desde hace más de 30 años se ha usado tradicionalmente el sulfato de aluminio sólido con hierro (SATA) y libre de hierro (SALH) como coagulante en el proceso de clarificación. En las últimas décadas han incursionado al mercado nuevos productos tales como el Cloruro de Polialuminio (PAC), el Clorohidróxido de Aluminio y el Sulfato de Aluminio líquido (SATA-SM). Existe poca información científica en Venezuela y en Sur América sobre las ventajas y desventajas de estos productos en el proceso de potabilización. En virtud de ello se desarrolló una investigación en la Planta *Alonso de Ojeda* (Planta "C") ubicada en la ciudad de Maracaibo con la finalidad de seleccionar el coagulante que ofrece los mejores beneficios para el tratamiento, captándose muestras interdiarias del agua cruda, las cuales fueron sometidas a la prueba de jarras, para baja, media y alta turbidez (8, 14 y 30 UNT, respectivamente). A cada producto se le determinó la dosis óptima, turbidez, color, pH, alcalinidad, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, aluminio residual, capacidad de resuspensión del flóculo, tiempo de aparición y sedimentación del flóculo. La

dosis óptima para el SATA-SM fue de 2,4 a 3,2 veces mayor que la del SATA y SALH, fue similar para el PAC y aproximadamente la mitad para el clorohidróxido, siendo los costos de los diversos tipos de sulfato de aluminio aproximadamente cuatro veces menor a la de los nuevos productos. La mejor formación del flóculo, estabilidad y tiempo de sedimentación del flóculo la presentó el SATA-SM y la menor cantidad de SST y sedimentables se registró para el SALH lo cual garantiza la menor frecuencia de lavado de los filtros y los sedimentadores. Todos los productos ofrecen la misma calidad de tratamiento en relación a la remoción de color y turbidez, alcanzándose para las dosis óptimas valores de 3,5 UNT y 10 unidades de color aparente para todos los coagulantes.

Palabras clave: Coagulación, tratamiento, agua potable, proceso de clarificación, dosis óptima de coagulante.

Introducción

El agua cruda proveniente de las fuentes superficiales contiene materia orgánica particulada que le imparte color causado por la descomposición de la materia orgánica.

Las partículas de arcilla en dispersión proveniente de la erosión de los suelos, así como algas o crecimiento bacteriano constituyen los elementos que le aportan la turbiedad al agua (1). Los elementos causantes del color y turbiedad pueden ser fáciles de remover por coagulación, floculación y sedimentación durante el proceso de potabilización (2). La coagulación es el efecto producido por la adición de una sustancia química denominada coagulante (sales de hierro o de aluminio u otros productos como los probados en este trabajo) a la dispersión coloidal, lo cual se traduce en la desestabilización de las partículas por la reducción de aquellas fuerzas que las mantienen separadas. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, las superficies de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. Desde el punto de vista operativo se debe tener una buena distribución del coagulante y aumentar la oportunidad de contacto entre las partículas lo cual se logra con una mezcla rápida en corto tiempo (1). La floculación es un proceso de prolongada agitación para formar una estructura porosa muy fibrosa denominada flóculo, con tamaño y peso específico suficiente para sedimentar. La agitación puede ser inducida por métodos hidráulicos o mecánicos (3).

En la operación de los procesos de coagulación y floculación existen tres componentes esenciales (4):

- Selección de los coagulantes

- Aplicación de los coagulantes
- Control efectivo del proceso

Históricamente, los coagulantes metálicos (el alumbre y las sales de hierro) han sido los más empleados en la clarificación de las aguas, actuando como coagulantes y floculantes a la vez, formando especies cargadas positivamente en el intervalo típico de pH para la clarificación, esto es de 6 a 7. Las sales de aluminio más conocidas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el aluminato de sodio. El primero es el más comúnmente usado en las plantas de potabilización por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo. Las sales de hierro conocidas como el cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso (1) forman un flóculo más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio, actúan satisfactoriamente a pH de 4,5 y por encima de 9,5. Su desventaja se presenta con el hierro residual en solución que puede producir manchas en las máquinas lavadoras (5), por lo tanto se utiliza cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada y resulta económico aumentar el peso del flóculo para incrementar la eficiencia, pero posee la propiedad de crear más cantidad de lodos en los sedimentadores (6).

El $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{+7}$, polímero Al_{13} , es identificado por ser el mayor componente en algunas preparaciones del PAC. Este compuesto tiene mayor carga positiva que el alumbre y es por ello que precipitan en forma diferente en forma sólida (8).

Los PAC y los clorohidróxidos de aluminio son sustancias poliméricas que se han desarrollado con el fin de mejorar la efectividad de los coagulantes, para operar con diversos cambios y fluctuaciones en las características físicas y químicas del agua natural (7).

A estos productos se les atribuye una elevada eficiencia en aguas de alta turbidez, así como también un comportamiento satisfactorio en aguas contaminadas (11).

Debido a la importancia que tiene la selección del coagulante para la operación de los procesos de coagulación – floculación en la potabilización de las aguas, se desarrollará una investigación en la Planta Alonso de Ojeda orientada a escoger el coagulante que ofrezca las mejores ventajas para el tratamiento de las aguas procedentes del embalse de Tulé, cuyo color oscila entre 16 y 50 unidades de color platino-cobalto, entre 8 y 30 UNT de turbiedad y pH comprendido entre 7 y 8,5. La planta Alonso de Ojeda (Planta C) abastece a la población de la ciudad de Maracaibo y maneja un caudal promedio de 7.000 L/s. Los productos a analizar son: Sulfato de aluminio con hierro (SATA), Sulfato de aluminio libre de hierro (SALH), ambos en presentación sólida, Sulfato de aluminio líquido (SATA-SM), Clorhidróxido de aluminio (HESSIDREX-WT y E-200) y Cloruro de polialuminio (PAC).

Metodología

Actualmente existen en el mercado mundial diferentes presentaciones de coagulantes, cuyas ventajas dependen de las características del agua. En este estudio se evalúan seis produc-

tos comerciales, cuyas especificaciones técnicas están indicadas en la Tabla 1.

La metodología experimental consiste en determinar para cada producto la dosis óptima para el agua cruda procedente del embalse de Tulé, utilizando la prueba de jarras. Al final del periodo de sedimentación se tomaron muestras de los sobrenadantes en cada uno de los vasos de precipitado, para determinar: turbiedad (método 2130B), color, pH (método 4500-H⁺B), alcalinidad (método 2320), sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables (método 2540D); adicionalmente se determinó aluminio residual presente en cada uno de los sobrenadantes utilizando un equipo de absorción atómica con horno de grafito con llama (método 3500-Al) (10). Siguiendo la metodología estándar (10), se determinó la dosis óptima para baja (8 UNT), media (14 UNT) y alta turbidez (30 UNT), con colores comprendidos entre 16 y 50 unidades de color platino-cobalto, para diferentes épocas del año, al mismo tiempo se determinó la capacidad de resuspensión del flóculo, tiempo de aparición del flóculo, tiempo de sedimentación del flóculo, para lo cual se utilizó un cronómetro.

Captación de la muestra y determinación de la dosis óptima

Se captaron muestras interdiarias a diversas horas del día por un periodo de 8 meses, en la tubería de entrada a la Planta "C", proveniente

Tabla 1
Especificaciones Técnicas de los Coagulantes

Productos	Apariencia	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	Densidad TN/m ³	Material Activo	% Insoluble	pH
PAC	Líquido amarillo	16	0.01	1.36	3.1 dm/kg	0.05	1.68
SATA	Sólido marrón	15.8	0.2	-	-	4.5	3.0-3.9
SATA-SM	Líquido ámbar	7.5	0.1	Ge: 1.3	-	0.2	2
SALH	Sólido Blanco	16.0	1.6	-	-	5.0	-
HESSHIDREX-WT	Líquido ámbar	23.56	Fe: 25 ppm	Ge: 1.335	50.68%	-	4.03
E-200	Líquido ámbar	25	-	Ge: 1.3	50%	-	3.4 – 4.4

del embalse de Tulé. Las muestras se captaron en envases de plástico de veinte litros (20 L), previamente lavados con agua destilada y curados con la muestra. Para cada producto se determinó la dosis óptima considerando las características naturales del agua en cuanto a color, turbidez y pH, utilizando como criterio de selección los rangos permisibles señalados en la Gaceta Oficial N° 36395 del 13/2/98, en la cual se recomienda lo siguiente: la turbidez residual luego de la prueba de jarras debe estar por debajo de 5 UNT, las unidades de color deben estar por debajo de 15 y el pH debe estar alrededor de 7. Conocida la dosis óptima se procedió a repetir la prueba con todos los productos simultáneos, empleando la misma calidad físico-química del agua, e decir, pH, color y turbiedad. Esto se efectuó con la finalidad de determinar la dosis óptima de cada producto, bajo un mismo patrón de comparación, empleando como criterio de selección de la dosis óptima un residual de turbiedad entre 3,5 y 3,8 UNT y color residual de 10 U.C.

Resultados y Discusión

Con la finalidad de evaluar los requerimientos de dosificación de las aguas tratadas en la planta Alonso de Ojeda, tomando en cuenta las diferentes condiciones que pudiera presentar el agua durante un año, se evaluaron los parámetros de Dosis óptima, pH final, turbiedad final y alcalinidad final, y se compararon los valores obtenidos para las condiciones de baja, media y alta turbiedad (Tabla 2)

PAC y Clorohidróxidos de aluminio (HESSIDREX-WT y E-200)

La dosis óptima del PAC fue de 19 mg/L para baja y media turbiedad, y de 25 mg/L para alta turbiedad. La dosis óptima utilizada para el caso de los dos tipos de clorohidróxidos de aluminio (HESSIDREX-WT y E-200) fue de 8 mg/L para baja y media turbiedad y de 12 mg/L para alta turbiedad, en ambos productos, lo cual indica una

Tabla 2
Valores de pH final, turbiedad residual y alcalinidad final obtenidos para cada coagulante con la dosis óptima para baja, media y alta turbiedad

Producto	Dosis (mg/L)			pH			Turbiedad (UNT)			Alcalinidad		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
PAC	0	0	0	8.3	8.15	8.39	8.8	14	30	84	86	87
	19	19	25	7.6	7.6	7.5	3.0	4.8	3.4	78	80	80
HESSIDREX-WT	0	0	0	8.1	8.4	8.3	8	14	30	86	86	92
	8	8	12	8.1	8.2	8.1	3.4	4.1	3.7	82	85	84
E-200	0	0	0	8.0	8.3	8.2	8	14.4	30	92	86	90
	8	8	12	7.9	8.1	8.1	4	3.2	3.7	84	84	84
SATA	0	0	0	7.7	7.1	7.7	8	14	30	79	82	80
	18	20	33	7.1	7.1	6.9	3.4	4.1	4.5	68	68	59
SALH	0	0	0	7.6	7.5	7.5	8.2	14	30	90	96	92
	15	16	25	7.3	7.1	7.1	3.7	4.4	4.5	85	70	81
SATA-SM	0	0	0	8.5	7.6	8.5	8.8	15	30	84	78	86
	53	41	78	7.0	7.1	6.9	4.4	4.2	4.6	64	66	64

B: baja turbiedad. M: media turbiedad. A: alta turbiedad.

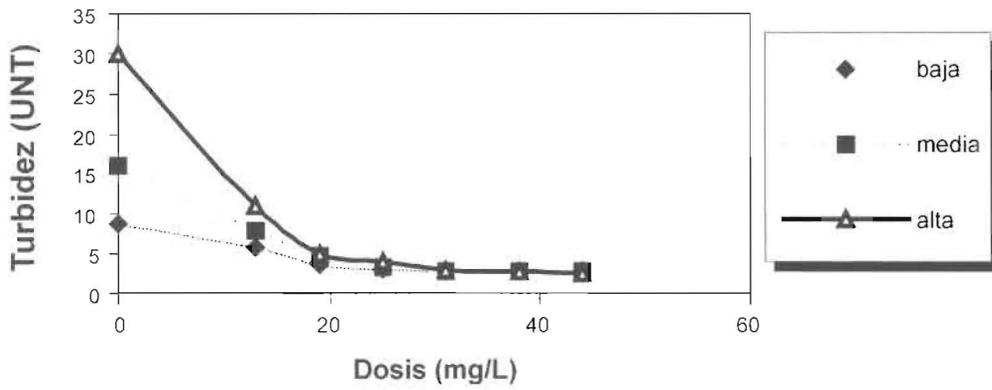


Figura 1. Turbidez residual (PAC).

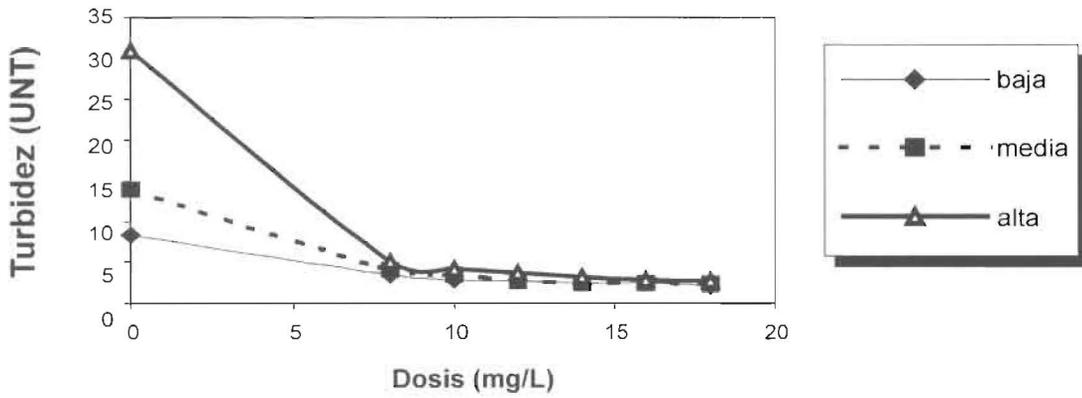


Figura 2. Turbidez residual (clorohidróxido de aluminio B).

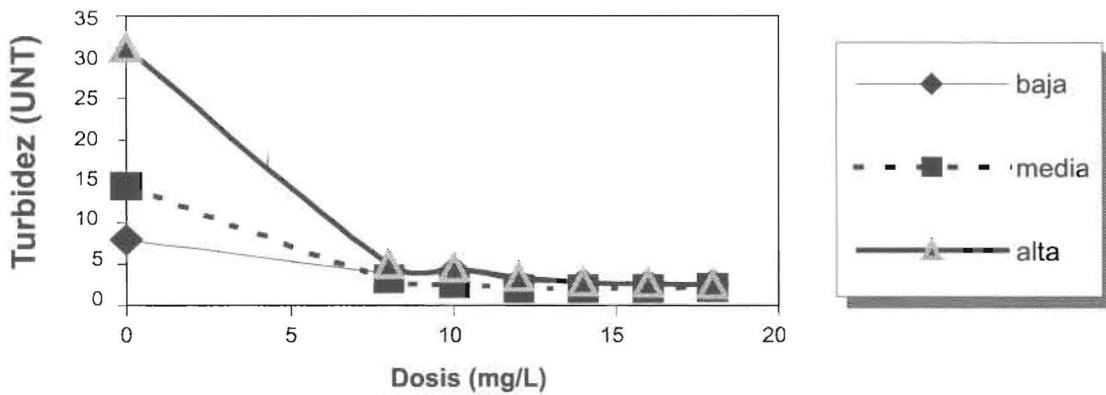


Figura 3. Turbidez residual (clorohidróxido de aluminio C).

igualdad en cuanto a los requerimientos de dosificación, a diferencia del PAC que necesita una dosis de casi el doble en comparación con los productos anteriores; esto se debe primordialmente a la concentración de Al_2O_3 , que difiere en los productos, ya que para el PAC el porcentaje es aproximadamente 16%, y para los clorohidróxidos es de 23 a 24% (Figuras 1, 2 y 3).

Experimentalmente con el agua cruda de Tulé y aplicando el PAC como coagulante, el floculo se forma después de iniciada la mezcla lenta, transcurrido de 3 a 5 minutos y para el caso de los clorohidróxidos ocurrió de 5 a 7 minutos. Según las investigaciones realizadas por Rihter *et al.* en 1992, el proceso de aglutinamiento ocurre en todos los casos al culminar la neutralización

Tabla 3
SST para la dosis óptima de sulfato de aluminio sólido y líquido

Producto	SST (mg/L)			SST (kg./día)		
	8 UNT	14 UNT	30 UNT	8 UNT	14 UNT	30 UNT
SATA	8	4	5	4838	2419	3024
SALH	4	3	1	2419	1814	605
SATA-SM (A)	4	7	4	2419	4233	2419
(PAC)	6	10	11	3629	6048	6653
HESSIDREX	5	9	3	3024	5443	1814
E-200	6	4	3	3629	2419	1814

de cargas negativas de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua cruda [13].

La turbidez analizada es relativamente baja y teóricamente los productos poseen alta carga positiva, pudiendo formar un flóculo con poco peso específico. Esto quizá explique la estructura de los flóculos formados durante el proceso de floculación, los cuales fueron finos y poco estables, capaces de resuspenderse por condiciones externas, dificultando por ende la sedimentación de los mismos [13].

Los sólidos suspendidos totales (SST) determinados en la prueba de jarras después del proceso de sedimentación para el PAC fueron de 6 mg/L para condiciones bajas de turbiedad (8 UNT), de 10 y 11 mg/L para condiciones media y altas de turbiedad (14 y 30 UNT respectivamente), para los Clorohidróxidos los valores fueron muy semejantes entre sí, presentando menores SST el Clorohidróxido E-200 los cuales fueron de 6 mg/L, 4 mg/L y 3 mg/L (Tabla 3) para las condiciones antes mencionadas demostrando su efectividad durante el proceso de sedimentación. Este es un parámetro de gran importancia ya que el mismo indica la cantidad de materia suspendida que queda de manera residual después del proceso, influyendo en la eficiencia de los filtros en la planta, aumentando o disminuyendo la frecuencia de lavado y por consiguiente restringiendo la vida útil de los filtros. En relación a los sólidos sedimentables puede señalarse que el SATA Y SALH alcanzaron los mismos valores, mientras que el E-200 generó 6 mg/L.

Para todas las condiciones y con todos los productos el pH disminuye menos de una unidad por debajo del valor original del agua tratada, no

siendo entonces necesario el ajuste del pH. Esto se comprobó midiendo el pH al final del tratamiento y corroborando que se encuentra dentro de las normas establecidas por la Gaceta Oficial N° 36.395 de fecha 13/02/98 (Tabla 2).

Muchos de los estudios realizados en los Estados Unidos reflejan la importancia que tiene la temperatura del agua en la eficiencia de estos productos, demostrando en muchos casos que su efectividad es mayor en climas templados (12). Para las condiciones del estudio esto no se aplica, ya que la temperatura promedio anual es de 30°, siendo esto un punto desfavorable para la actuación del producto durante su aplicación al proceso.

Sulfato de aluminio sólido y líquido (SATA, SALH y SATA - SM)

El sulfato de aluminio es el coagulante más ampliamente usado en nuestro país y en el mundo entero desde principios de siglo, debido a su bajo costo y su efectividad en la remoción de color y turbidez a diferentes condiciones de agua natural (9).

El sulfato de aluminio se encuentra disponible de manera comercial en forma sólida y líquida. En forma sólida se presenta en placas compactas, en forma granulada y en polvo (13).

Durante la evaluación del SATA, SALH y SATA - SM, mediante la prueba de jarras se obtuvieron los siguientes resultados: para el SATA una dosis óptima de 18 mg/L, 20 mg/L y 33 mg/L, para las condiciones de baja, media y alta turbidez. Mientras que para el SALH - B la dosis fueron de 15 mg/L tanto para turbidez baja

y media, y para 25 mg/L para alta. Se destaca una disminución entre un 25 a 30% para SALH con respecto al SATA. En relación al SATA - SM se obtuvo una dosis óptima de 41 mg/L, 41mg/L y 78 mg/L para condiciones de baja, media y altas turbidez respectivamente, notándose que la dosis requerida de este producto es un factor de 2,4 a 3,2 veces mayor que para el SATA y de 3,2 a 4,4 veces mayor que para SALH, debiéndose esto a que el porcentaje de Al_2O_3 es de un 16% aproximadamente para el SATA y SALH mientras que para el SATA-SM es de 7,5 a 8%, es decir un 48 a un 49% equivalente al sólido SATA y SALH (Tabla 2, Figuras 4, 5 y 6).

El tiempo de aparición del floculo con respecto al SATA Y SALH para las condiciones de baja turbiedad fue de 10 minutos para ambos productos, para turbiedad media de 3 a 4 minutos y para valores de alta turbiedad el tiempo fue entre 5 y 7 minutos, notándose una amplia diferencia en relación al SATA-SM donde la aparición del floculo fue casi instantánea, debido que el SA-

TA-SM se presenta de forma líquida lo que facilita su dispersión y difusión en el agua, aumentando el área de contacto entre el producto y la materia coloidal. Para cada uno de los sulfatos se obtuvo un floculo con una alta resistencia a resuspenderse y un tamaño considerablemente mayor con respecto a los obtenidos con el PAC y los clorohidróxidos. Este comportamiento que poseen los sulfatos de aluminio se debe a que los mismos presentan una menor carga catiónica que los clorohidróxidos y el PAC, representando esto un factor favorable para las condiciones del agua de estudio, ya que permite que durante el proceso de coagulación se genere menor cantidad de núcleos pero con mayor carga orgánica. Además de producir floculos de tamaño, mejora los tiempo de sedimentación, siendo para el SATA de 7, 5 y 2,5 min para las tres condiciones evaluadas mientras que para el SALH fueron de 8,4 y 2 min, y para el SATA-SM la sedimentación ocurrió en forma total en 3 minutos para todas las condiciones.

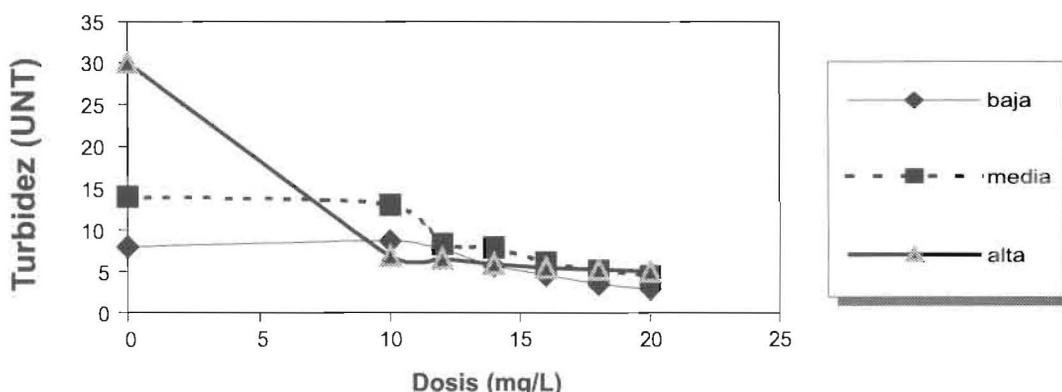


Figura 4. Turbidez residual (SATA).

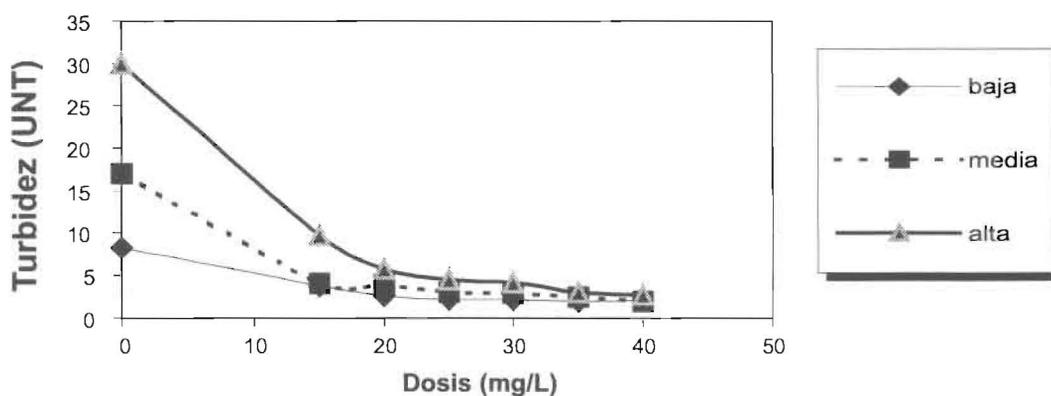


Figura 5. Turbidez residual (SALH).

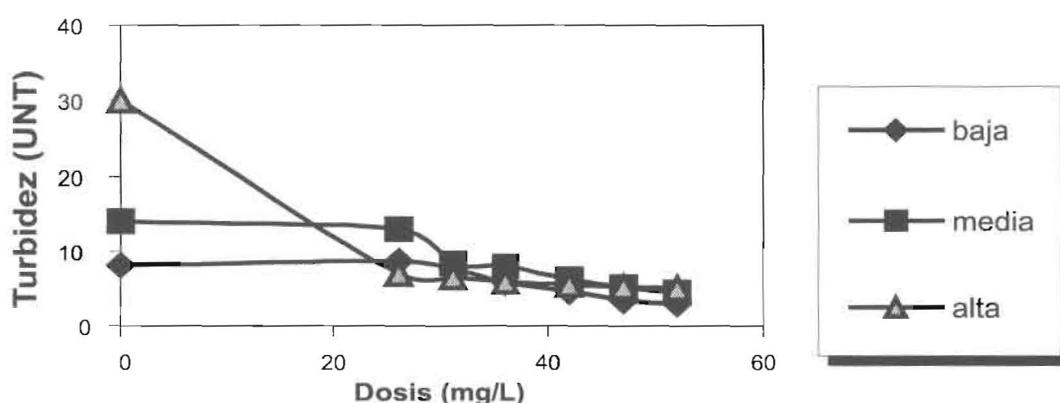


Figura 6. Turbidez residual (SATA-SM).

La diferencia entre las sales de aluminio sólidas es mínima debido a que su estructura química es similar, la única disparidad es la cantidad de hierro que posee una con respecto a la otra ya que el SALH es un producto con bajo contenido de este metal, donde la función de este metal es aumentar el peso del floculo para facilitar la sedimentación.

El SALH, es el producto que presentó la menor concentración de SST con respecto a todos los evaluados, representando éste un valor favorable para lograr un manejo eficiente en el proceso de filtración (Tabla 3).

El pH no sufre variaciones apreciables con la aplicación de las dos sales de aluminio sólidas, a diferencia del sulfato de aluminio líquido que por ser un producto sumamente ácido con un pH de 2,5 necesita mayor capacidad amortiguadora del agua que la requerida por el sulfato de aluminio sólido que posee un pH de 4, lo que implica por lo tanto un alto consumo de alcalinidad del agua por parte del sulfato líquido, lo que posteriormente podría traducirse en una inversión de dinero para un ajuste del pH del agua cruda.

En la Tabla 4 puede observarse que todos los valores de aluminio residual están por debajo del límite permisible de la Gaceta Oficial N° 36395 de 13/02/98, que es 0,2 mg/L.

Comparación de dosis óptima entre productos

Después de conocida la dosis óptima de cada coagulante primario, se repitió de nuevo la prueba, pero esta vez se ensayaron todos los productos simultáneamente. A esta prueba se le efec-

Tabla 4
Concentración de aluminio residual aportada por cada producto en el tratamiento

Producto	Aluminio Residual (mg/L)
SATA	0,123
SATA-SM	0,0993
SALH	0,1512
PAC	0,130
HESSIDREX-WT	0,084
E-200	0,0777

taron los análisis de pH, color, turbiedad, SST, sólidos sedimentables, aluminio residual, tiempo de aparición y de sedimentación del floculo.

Los resultados indicaron que todos los productos poseen un comportamiento similar en cuanto a remoción de color y turbiedad, sin embargo el tiempo de aparición y sedimentación del floculo, favorece a los productos tradicionales (Sulfato de Aluminio), por otra parte estos productos forman un floculo más estable que los productos no tradicionales (Tabla 5).

Conclusiones

La remoción de color y turbiedad efectuada por el SATA, SALH, SATA-SM, HESSIDREX-WT, E-200 Y EL PAC, resultaron similares para todos estos productos, alcanzando un valor residual de turbiedad por debajo del límite máximo permisible por la Norma Nacional (<5 unidades de turbiedad). Sin embargo, existen diferencias en lo que se re-

Tabla 5
Comparación de los parámetros físico-químicos obtenidos para la dosis óptima con aguas de las mismas características (14 UNT. y 35 U.C.)

Producto	Dosis (mg/L)	Color (U.C.)	Turbiedad (UNT)	Tiempo de aparición del flóculo	Tiempo de Sediment.	SST (mg/L)	SSS (mg/L)	Caract. del flóculo
SATA	18	11	3,8	3 min	2 min	4	4	Fino y estable
SATA-SM	40	10	3,5	Instant.	1 min	7	5	Grueso y estable
SALH	15	10	3,6	3 min	3 min	3	4	Fino y estable
PAC	18	10	3,5	2 min	Sediment. parcial a los 20 min	7	-	Fino e inestable
HESSI-DREX-WT	9	10	3,5	3-7 min	Sediment. parcial a los 20 min	7	-	Fino e inestable
E-200	9	10	3,6	1,5 min	Sediment. parcial a los 20 min	4	6	Finos y mediana. Estable

No se le midieron SSS a PAC y HESSIDREX-WT.

fiere al tiempo de aparición, tiempo de sedimentación y capacidad de resuspensión del flóculo entre los diversos tipos de sulfatos, y clorohidróxidos y el PAC, resultando mejor estos parámetros en los diversos productos de sulfato de aluminio, puesto que presentan un flóculo más estable y mejor formado, que sedimenta totalmente en un período menor a los 20 minutos de la prueba de jarras, con poca facilidad de resuspensión, mientras que el flóculo producido con el resto de los productos presenta una sedimentación parcial además de ser un flóculo fino e inestable.

La menor concentración de SST es aportada por el sulfato de aluminio libre de hierro (SALH), alcanzando 1814 Kg/día para una turbidez de 14 UNT, mientras que para el SATA, SATA-SM, PAC, HESSIDREX-WT Y E-200 resultaron de 2419, 4233, 6048, 5443 y 2419 Kg/día, respectivamente. El uso del SALH permite un mejor uso del sistema de filtración disminuyéndose la frecuencia de lavado de los mismos, puesto que este producto genera menor cantidad de SST en el agua sedimentada.

La concentración de aluminio residual obtenido en la prueba de jarras, en general, estuvo por debajo del límite máximo permisible por la norma (0,2 mg/L). Es bueno señalar que la menor concentración de aluminio residual es aportada por los clorohidróxidos.

Los sulfatos son los productos que ofrecen las mejores ventajas durante el tratamiento, siendo el sulfato de aluminio libre de hierro (SALH), el que necesita la menor dosis, y es el que genera menor cantidad de SST, los clorohidróxidos y el PAC tienen un precio cuatro veces superior a los sulfatos y la dosis no representa la relación inversa, por lo cual los diversos tipos de sulfato son técnicamente mejores y más económicos para tratar aguas con bajos niveles de color y turbiedad.

Los coagulantes analizados ofrecen la misma calidad de tratamiento, por lo que la selección de cualquiera de ellos es una decisión económica donde los coagulantes tradicionales se ven favorecidos.

Referencias Bibliográficas

1. Pérez J.: "Selección de Procesos de tratamiento de Agua". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (1995).
2. Crozes G, White P. y Marshall M. "Enhanced Coagulation: its effect on NOM removal and chemical costs". J. A.W.W.A., January (1995). 78-89.
3. Schulz C., Singer P., Gandley R., And Nix J.: "Evaluating buoyant coarse media flocculation". J. A.W.W.A., August (1994). 51-63.
4. Romero J.: "Acuipurificación". Edición Alberto Sandino Ulloa, Pub. Escuela Colombiana de Ingeniería (1993). 171-172.
5. Tebbutt T. H. Y. "Fundamentos de la Calidad del Agua". Limusa. Noruega (1990). 133-136.
6. Thompson P. and Paulson W.: "Dewaterability of Alum and Ferric Coagulation Sludges". J. A.W.W.A., April (1998). 164-170.
7. Gray K., Yao C. and O'Melia C.: "Inorganic metal polymers: preparation and characterization". J. A.W.W.A., April (1995). 136-146.
8. Van Benschoten J., Edzwald J.: "Chemical aspect of coagulation using aluminium salts-I. Hydrolytic reactions of alum and Polyalum Chloride". Wat. Res., Vol. 24 N° 12 (1990).
9. A.W.W.A.: "Use of aluminium salt in drinking water treatment". <http://c:w.w.w.awwa.org/govstaff/alumipap.htm>, April 11, 1997
10. Greenberg A., Clesceri L., Eaton, A.: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Edit. 18 (1992).
11. Montes S.: "Uso de Agentes Floculantes Poliméricos Inorgánicos en Aguas Contaminadas". Facultad de Química y Biología, Universidad de Santiago de Chile. <http://c:www.Chilesat.net/ima/montes.htm>. Mayo 1998.
12. Koether M., Deuleschman J. and Van Loon G.: "Low-cost Polimeric Aluminium Coagulant". J. Env. Eng. (1997).
13. Rihter C., Pérez C., Vargas L.: "Programa regional HPE/OPS/CEPIS DE Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Manual III: Teoría". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Pro Salute Novi Mundi, (1992).

Recibido el 17 de Mayo de 1999
En forma revisada el 19 de Junio de 2000