

**IMPLEMENTACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE  
EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN MORRORICO DEL ACUEDUCTO  
METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

**JOSÉ LEONARDO URIBE PEDROZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**IMPLEMENTACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE  
EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN MORRORICO DEL ACUEDUCTO  
METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

**JOSÉ LEONARDO URIBE PEDROZA**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Químico**

**Director**

**Debora Alcida Nabarlatz, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **AGRADECIMIENTO**

A los ingenieros Yolanda Arboleda, Yolanda Otero, Sergio Patiño y Johana Chaparro y a los operadores y ayudantes de las plantas La Flora, Morrórico y Florida por su colaboración durante la práctica y el transcurso de este trabajo.

A la Doctora Debora Nabarlatz, por haber aceptado trabajar conmigo y haberme brindado tanta colaboración y apoyo.

*Dedicado a,*

*A Dios por darme la fuerza para levantarme cada día y tantas bendiciones que me  
ha regalado.*

*A mi mamá, Dora, y mis hermanas, Alejandra y Angélica, por brindarme tanto  
cariño y por ser el motivo por el cual me levante cada día.*

*A mis amigos, por compartir su conocimiento y su tiempo conmigo. Por los buenos  
momentos y no tan buenos que compartimos y todo lo que pudimos aprender.*

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO	16
1.1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA	16
1.1.1. Turbiedad	16
1.1.2. Color	17
1.1.3. pH	18
1.2. PROCESO GENERAL DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	18
1.2.1. Aireación	18
1.2.2. Coagulación o mezcla rápida	19
1.2.3. Floculación	19
1.2.4. Sedimentación	20
1.2.5. Filtración	20
1.2.6. Cloración o desinfección	20
2. METODOLOGÍA	21
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
2.2. BUSQUEDA DE LA RELACIÓN DE REEMPLAZO	21
2.2.1. Prueba de jarras	23
2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO	24
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
3.1. CALIDAD DEL AGUA POTABLE	24
3.2. DOSIS MÍNIMA ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO vs PAC	26
3.3. INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL PAC	27
3.4. INFLUENCIA DEL TIPO DE COAGULANTE SOBRE EL pH	28
3.5. RELACIÓN DE REEMPLAZO	29

3.6. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO	31
3.7. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO	33
4. CONCLUSIONES	35
5. CITAS BIBLIOGRÁFICAS	36
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	42

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Procesos de potabilización presentes dentro de la Planta Morrórico del amb	19
Figura 2: Metodología llevada a cabo en el proceso	21
Figura 3: Cálculo de la relación de reemplazo	22
Figura 4: Turbiedad del agua cruda en la planta Morrórico del amb	25
Figura 5: Color verdadero del agua cruda en la planta Morrórico del amb	25
Figura 6: Dosis mínima óptima de coagulante vs Turbiedad Inicial	26
Figura 7: Dosis de PAC al 1% y al 19,3% p/v vs turbiedad inicial	27
Figura 8: Variación del pH luego de la prueba de jarras para diferentes valores de turbiedad inicial	28

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Condiciones de operación de la prueba de jarras	23
Tabla 2: Parámetros Internos de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga	24
Tabla 3: Porcentaje promedio de cambio de pH	29
Tabla 4: Relación de reemplazo	30
Tabla 5: Relación de reemplazo en unidades volumétricas	31
Tabla 6: Dosis mínima, promedio y máxima de PAC para la planta	31
Tabla 7: Caudales de PAC a dosificar	32

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A: Métodos y equipos utilizados para medir turbiedad, color y pH	42
ANEXO B: Resultados de las pruebas de jarras	44
ANEXO C: Cotización bomba de dosificación	54
ANEXO D: Ficha técnica del policloruro de aluminio	55
ANEXO E: Cotización tanques de almacenamiento	56
ANEXO F: Diagrama de la planta con los nuevos equipos	60

## RESUMEN

**TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO COMO COAGULANTE EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN MORRORICO DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.\*

**AUTOR:** JOSÉ LEONARDO URIBE PEDROZA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Policloruro de aluminio, sulfato de aluminio, coagulación, floculación, relación de reemplazo.

**CONTENIDO:** El sulfato de aluminio sólido es un coagulante que hasta el día de hoy aún se usa en plantas de potabilización de agua, sabiendo que genera dificultades técnicas para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación, por su necesidad de un coadyuvante de coagulación cuando hay turbiedades altas y por su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas [2-4]. Teniendo en cuenta lo anterior, el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb), decidió cambiar este coagulante de sus plantas de potabilización, con el objetivo de buscar mejorar la eficiencia de las plantas y disminuir costos. El policloruro de aluminio es un nuevo coagulante que ya se ha implementado en diferentes partes del mundo y en otras plantas de potabilización dentro del amb debido a sus varias ventajas. Por un lado, las dosis que se necesitan de este coagulante son mucho menores que las dosis que se requieren de sulfato de aluminio para hacer la misma remoción de turbiedad. Además, el PAC no necesita de un coadyuvante de coagulación para trabajar con turbiedades altas. Por otro lado, el cambio de pH generado por el PAC es menos de la mitad del cambio generado por el sulfato de aluminio.

La implementación del PAC en la Planta Morrórico del amb trae consigo un cambio en el sistema de dosificación y almacenamiento. Se pasará de trabajar con un coagulante en fase sólida a trabajar con uno en fase líquida, es decir, sólo se necesitarán bombas dosificadoras para su manejo. En cuanto al almacenamiento, ya no se tendrá una bodega con costales sino tanques. Esto hará más fácil la operación en la planta y generará ahorro en los costos ya que se suprimirá el uso de coadyuvantes de coagulación y cal para ajustar el pH.

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Debora Alcida Nabarlatz.

## ABSTRACT

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF THE POLYCHLORIDE OF ALUMINIUM AS COAGULANT IN BUCARAMANGA METROPOLITAN AQUEDUCT MORRORICO PURIFICATION PLANT S.A. E.S.P.\*

**AUTHOR:** JOSÉ LEONARDO URIBE PEDROZA\*\*

**KEYWORDS:** Polychloride of aluminium, aluminum sulphate, coagulation, flocculation, relation of replacement.

**DESCRIPTION:** The solid aluminum sulphate is a coagulant which until today is still used in water treatment plants, knowing that generates technical difficulties to maintain the optimum coagulation pH during operation, by their need of a coagulant aid when there is high turbidity and its possible relationship to the appearance of neurodegenerative diseases [2-4]. According to the above, the Bucaramanga Metropolitan Aqueduct (amb), decided to change this coagulant from its water treatment plants, with the aim of improving the efficiency of the plants and to reduce costs. Polychloride aluminum is a new coagulant that has already been implemented in different parts of the world and other purification plants in amb due its several benefits. On the other hand, the doses required for this coagulant are much lower than the doses required of aluminum sulphate for the same turbidity removal. In addition, the PAC does not need a coagulant aid for working with high turbidities. Furthermore, the pH change produced by the PAC is less than half of the change caused by the aluminum sulphate.

The implementation of the PAC in the Morrорico amb Plant brings with it a change in the dosing system and storage. It will pass from working with a coagulant in solid phase to work with one liquid phase, in other words, only dosing pumps are needed for its handling. As for storage, there will be no necessary a storehouse with costal, instead there will be tanks. This will facilitate the operation on the plant and will generate cost savings as it aids abolish the use of the coagulation and lime to adjust the pH.

\* Degree Work. Research Mode.

\*\* Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director: Ph.D. Debora Alcida Nabarlatz.

## INTRODUCCIÓN

El uso y consumo de agua es una de las necesidades más importantes que debe satisfacer el hombre, puesto que con agua la vida puede seguir, pero sin ella, la vida termina [1].

Por esta razón el trabajo que tiene una planta de potabilización de agua es muy importante ya que debe garantizar que estará ofreciendo agua potable con las condiciones que satisfagan las normas de calidad establecidas para dicho uso y sin importar las condiciones de entrada (turbiedad, color, pH, alcalinidad, sólidos suspendidos, gases disueltos, minerales, etc.) del agua cruda.

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb) es una empresa de servicios públicos domiciliarios que satisface la necesidad de agua potable de más de novecientos mil habitantes con un producto y servicio de calidad, garantizando la conservación de los recursos naturales.

Fue fundado el 29 de Abril de 1916 por Monseñor José de Jesús Trillos, párroco de La Sagrada Familia. El objetivo de su construcción era la explotación de un acueducto que suministrara agua a la ciudad por un periodo de 50 años.

Las primeras fuentes de abastecimiento fueron pequeñas quebradas, que posteriormente se ampliaron con la captación del Río Tona y sus afluentes. Este río suministra agua para la planta La Flora (1961) y la planta Morrórico (1965). Tiempo después con la construcción de la planta Floridablanca (1972) y la planta Bosconia (1980) formaron parte de la fuente de abastecimiento el Río Frío y el Río Suratá.

A partir del año 2001 el amb empezó a implementar el Plan Estratégico hacia la competitividad, para la modernización organizacional, el fortalecimiento del potencial de negociación, la consolidación de nuevos abastecimientos, el mantenimiento y desarrollo del actual sistema, un mejor servicio al cliente y el manejo integral del recurso hídrico.

Como parte de este plan el amb ha buscado mejorar el proceso de potabilización. Por esta razón, empezó a cambiar el coagulante usado en las plantas de potabilización (sulfato de aluminio sólido) debido a que genera dificultades técnicas para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación, por su necesidad de un coadyuvante en la coagulación cuando hay turbiedades altas y por su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas [2-4]. El coagulante escogido para su reemplazo es el policloruro de aluminio (PAC por sus siglas en inglés) debido a que es capaz de formar flóculos con mayor rapidez, posee mayor velocidad de sedimentación y poder clarificante logrando remociones más altas de turbiedad. Su aumento en la eficiencia está dado por su baja dependencia de la temperatura y el pH, estando el óptimo de este último entre 5 y 9 [5-7].

El propósito de este trabajo fue hacer el estudio necesario para realizar el cambio de coagulante en la planta Morrórico del amb. Este estudio difiere al ya realizado en la planta La Flora, en que, si bien ambas plantas comparten la misma fuente hídrica, la planta La Flora antes del proceso de coagulación posee 2 sedimentadores que ayudan a mejorar la calidad del agua y, por ende, utiliza menor cantidad de coagulante. Por otro lado, esta planta posee 2 floculadores con un tiempo de residencia mucho mayor al que posee la planta Morrórico lo que hace que los flóculos formados por el coagulante tengan mayor tiempo para arrastrar las partículas en suspensión que se quieren remover.

Ahora bien, la implementación del PAC como coagulante trae consigo un cambio en la planta dado que el nuevo coagulante se encuentra en fase líquida, a diferencia del sulfato de aluminio sólido, y como las dosis van a cambiar, se hace necesario un nuevo diseño del proceso tanto para su aplicación como para su almacenamiento.

Este trabajo de grado nació durante el transcurso de una práctica empresarial que inició en mayo del 2013, el cual con base a lo anteriormente mencionado tuvo los siguientes objetivos:

- Encontrar la relación de reemplazo entre la dosis de PAC y la dosis de sulfato de aluminio sólido para la transición durante el cambio de coagulante.
- Calcular, en base a la relación de reemplazo, los caudales de las bombas dosificadoras y el tamaño de los tanques de almacenamiento, para con esto hacer las cotizaciones correspondientes para la compra de estos equipos.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA CRUDA.**

El agua cruda trae consigo una serie de contaminantes que deben ser eliminados durante el proceso de potabilización, antes de enviar el agua potable al usuario. Los principales parámetros a considerar, de acuerdo a la legislación vigente, son:

**1.1.1. Turbiedad:** La turbiedad es la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso. Constituye, junto con el color, el aspecto estético del agua. Aunque puede provenir de la presencia de algas o de otros microorganismos muertos, en general se debe a la presencia de barro o arcilla. La intensidad y carácter del enturbiamiento depende del tipo de suelo sobre el que haya circulado el agua y de la velocidad de la misma. Cuando el agua llega a detenerse, las partículas pesadas y las grandes se posan rápidamente, mientras que las más ligeras y más finamente divididas se sedimentan con gran lentitud. La arcilla muy finamente dividida puede exigir meses de completa quietud para posarse [8].

Actualmente el método más usado para determinar la turbiedad es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométricas, UTN.

Según el Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de Salud, el valor deseable para la turbiedad en agua potable es 1 UTN y el valor admisible es 5 UTN [9].

Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua [10].

**1.1.2. Color:** El color representa una condición casi exclusivamente psicológica de rechazo hacia este factor físico que no necesariamente debe estar asociado a alguna forma de contaminación. El color en el agua se debe a la presencia de varios iones metálicos característicos como el hierro o el magnesio, materia orgánica diversa y en algunos casos residuos de contaminación de tipo industrial. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el  $Al^{+3}$  o el  $Fe^{+3}$  [10]. Es muy importante distinguir entre color verdadero y color aparente; el primero es el que existe cuando se ha removido toda la turbiedad por medio de filtración o centrifugación para evitar que quede registrado como color. El segundo es el valor que resulta de medir el color sin remover la turbiedad, lo que no da una indicación muy precisa de las características del agua [9].

Las razones por las cuales se suele hacer remoción de color en el agua son de orden estético, químico-sanitario e industrial.

- Estético, porque la mayoría de la gente prefiere agua cristalina.
- Químico-sanitario, porque interfiere con el proceso de cloración al formar clorohalometanos que se sospechan son cancerígenos, dificulta el análisis colorimétrico del agua, complica el proceso de coagulación y estabiliza el hierro y magnesio en solución.
- Industrial, porque interfiere ciertos procesos industriales y obstaculiza el funcionamiento de resinas de intercambio iónico [11].

El color se determina por comparación visual o espectrofotométrica de la muestra con soluciones coloridas de platino-cobalto de concentraciones conocidas. La unidad de color es la producida por 1 mg/L de platino en forma de ión cloro-platinato.

Según el Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de Salud se establece como valor deseable de 5 y un valor admisible de 15 unidades de platino-cobalto (UPC) referidos al color verdadero para el agua potable [9].

**1.1.3. pH:** Es un valor adimensional en una escala de 0 a 14 y mide la concentración de iones hidrógeno en el agua, o dicho de otra manera mide la intensidad de la acidez o basicidad del agua.

Es importante considerar el pH de agua que se va a tratar, porque va a tener efectos sobre los procesos de tratamiento y a contribuir a fenómenos tales como la corrosión. No tiene efectos sobre la salud pero afecta el proceso de desinfección con cloro.

Se suele medir junto al color, pues la intensidad del color depende del pH. Normalmente, el color aumenta con el incremento del pH [9].

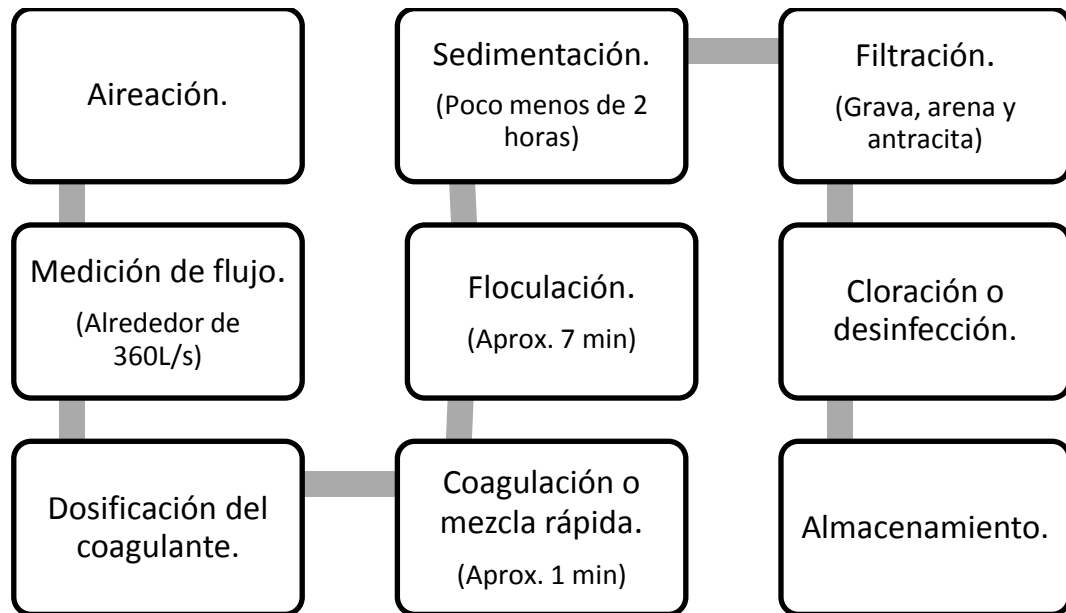
## **1.2. PROCESO GENERAL DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.**

En la figura 1 se encuentran todas las operaciones de tratamiento para la potabilización de agua, presentes dentro de la Planta Morrónico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.

**1.2.1. Aireación:** Mejora las características físicas y químicas del agua mediante el intercambio de gases y otras sustancias volátiles con el aire. La forma más común de realizar este proceso es haciendo pasar el agua por una caída para que se genere turbulencia. Este proceso aumenta el contenido de aire en el agua, elimina las sustancias volátiles tales como el sulfuro de hidrógeno, que afectan el

olor y el sabor, y oxida el hierro y el manganeso a fin de que formen precipitados que puedan eliminarse mediante sedimentación o filtración [12].

**Figura 1:** Procesos de potabilización presentes dentro de la Planta Morrónico del amb.



Fuente Autor.

**1.2.2. Coagulación o mezcla rápida:** La coagulación consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. Desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente [13].

Ha sido ampliamente demostrada la necesidad de una mezcla instantánea entre los coagulantes y el agua, por cuanto la mezcla de los compuestos queda completa en menos de un segundo, dependiendo de la alcalinidad del agua [14, 15].

**1.2.3. Floculación:** Con el fin de lograr que las partículas puedan aglomerarse y formar otras de mayor tamaño que se denominan flóculos o floc, el agua se somete a una agitación suave o moderada. Mediante la agitación se incrementa la posibilidad de que las partículas se encuentren y puedan juntarse o aglutinarse. El

movimiento de las partículas depende de varios factores, entre ellos, la temperatura del agua, la concentración de las partículas, la presencia de cargas eléctricas, etc.

Durante la floculación no se adiciona ninguna sustancia química al agua; su movimiento o intensidad de la agitación, no debe ser demasiado lento porque las partículas que se van formando pueden sedimentarse y en los floculadores no debe efectuarse la sedimentación. Tampoco la agitación debe ser muy intensa porque las partículas pueden deshacerse o romperse, y el floc formado sería muy pequeño y no sedimentaría en forma eficiente [16].

Con respecto al PAC, los flóculos formados por éste tienden a ser pequeñas esferas o cadenas compactas, mientras que los flóculos formados por el sulfato de aluminio sólido son estructuras porosas y esponjosas. Esta diferencia lleva a que el PAC permita obtener menor turbiedad en el agua tratada que el sulfato de aluminio [17]

**1.2.4. Sedimentación:** Es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado [5, 18]. Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación.

**1.2.5. Filtración:** Es la última operación física para remover la turbiedad y el color. En esta etapa se separan aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua, o que han sido suspendidos por cualquier causa en el flujo y que, por tanto, no quedan removidos en el proceso anterior [11].

**1.2.6. Cloración o desinfección:** Posterior a estas etapas, sigue el proceso en el cual se le adiciona cloro al agua para mantenerla desinfectada. Posteriormente, el agua se almacena y se distribuye a los usuarios.

## 2. METODOLOGÍA.

En el presente trabajo se realizó un estudio técnico para la implementación del Policloruro de Aluminio como coagulante en la planta Morrórico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.

Este trabajo tuvo la siguiente secuencia:

**Figura 2:** Metodología llevada a cabo en el proceso.



Fuente Autor.

### 2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

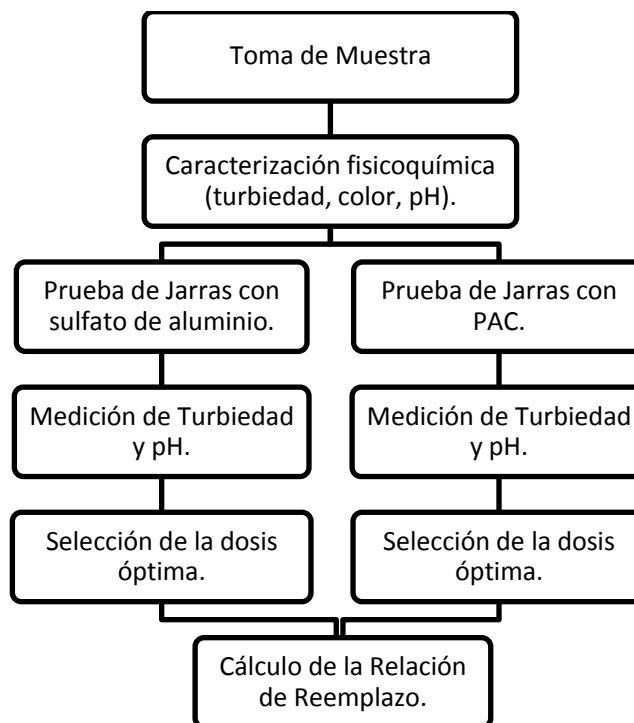
En esta etapa del procedimiento se buscó información acerca del proceso de potabilización de agua y de la calidad que debe tener antes de ser enviada al usuario.

Por otro lado, se revisaron los datos históricos de la planta Morrórico para encontrar las dosis de sulfato de aluminio mínima, promedio y máxima para los años 2010, 2012 y principios de 2013, así como los caudales mínimo, promedio y máximo.

### 2.2 BÚSQUEDA DE LA RELACIÓN DE REEMPLAZO.

Este procedimiento tuvo como fin, poder calcular la relación de reemplazo entre el policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio sólido, mediante la prueba de jarras. En la figura 3 se esquematiza este procedimiento.

**Figura 3:** Cálculo de la relación de reemplazo.



Fuente Autor.

La búsqueda de la relación de reemplazo se dividió en 2 partes. Para empezar se tomaron muestras de agua cruda (mayor a 12 litros) en diferentes épocas del año. Luego se realizó una caracterización que comprendía la determinación de la turbiedad, color verdadero y pH, para con estos datos establecer las cantidades aproximadas de coagulante a usar en el ensayo [19]. Los métodos y equipos utilizados para la medición de estas propiedades se encuentran en el Anexo A. Seguido a esto, a cada muestra se le realizó 2 pruebas de jarras: la primera se llevó a cabo utilizando una solución de sulfato de aluminio al 1% p/v como coagulante, y en la segunda se dosificó PAC al 1% p/v. Seguido a cada prueba de jarras se midió la turbiedad y el pH final a cada muestra, a fin de determinar la dosis mínima óptima para cada coagulante, para luego calcular la relación de reemplazo entre la dosis de PAC y la dosis de sulfato de aluminio.

En la segunda parte de la prueba de jarras se realizó el mismo procedimiento comparativo entre el sulfato de aluminio y PAC, con la diferencia de que el PAC se

empleó tal y como viene del proveedor, es decir, con una concentración del 19,3% p/v.

**2.2.1. Prueba de jarras:** El equipo para la Prueba de Jarras consta básicamente de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultáneamente en seis vasos de precipitados. En este equipo se trata de reproducir las condiciones en las cuales se produce la coagulación, la floculación y la sedimentación en la planta de potabilización.

Los parámetros de operación a usar en la prueba son los siguientes:

**Tabla 1:** Condiciones de operación de la prueba de jarras.

Tiempo de coagulación	1 minuto
Velocidad de agitación en la coagulación	100 rpm
Tiempo de floculación	5 minutos
Velocidad de agitación en la floculación	40 rpm
Tiempo de sedimentación	15 minutos

Fuente Autor.

Para una buena reproducibilidad de los resultados de la prueba de jarras se debe seguir el siguiente procedimiento. Primero se deben preparar las soluciones de los coagulantes. Después hay que aforar cuidadosamente las seis jarras con la muestra de agua cruda hasta un volumen de 1 L. Luego se introducen las paletas y se ponen a girar a una velocidad de 100 rpm. A continuación se suministra el coagulante en el seno del líquido y simultáneamente en todas las jarras (cuidando que no caiga en la superficie del agua, porque esto desmejora la eficiencia de la coagulación) y se deja mezclar por un minuto. Posteriormente, se disminuye la velocidad hasta 40 rpm y se deja flocular por 5 minutos. Finalizado este tiempo se detienen y se extraen las paletas, para dejar sedimentar por 15 minutos. Para

finalizar la prueba de jarras, se toma una muestra de agua de cada jarra en el seno del líquido (aproximadamente 10 cm bajo la superficie).

### **2.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO.**

En base a la relación de reemplazo calculada en la etapa anterior y en los datos históricos de la planta (dosis de sulfato de aluminio y caudal de agua cruda) se procedió a calcular la necesidad del nuevo coagulante por hora y por mes para conocer el caudal de las bombas dosificadoras y el tamaño necesario de los tanques de almacenamiento.

Con los datos anteriores y teniendo en cuenta que el PAC es moderadamente corrosivo, no se tuvieron en cuenta materiales que pudieran sufrir corrosión. Por el contrario, conociendo los materiales que pueden estar en contacto continuo con el PAC, como son la fibra de vidrio, polietileno, PVC y cualquier otro material termoplástico, se procedió a cotizar bombas dosificadoras (teniendo en cuenta que para una dosificación más exacta y uniforme se deben usar bombas de desplazamiento positivo) y tanques de almacenamiento.

## **3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

### **3.1. CALIDAD DEL AGUA POTABLE.**

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga determinó los siguientes parámetros estándares que el agua debe tener para poder ser enviada al usuario:

**Tabla 2:** Parámetros Internos de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

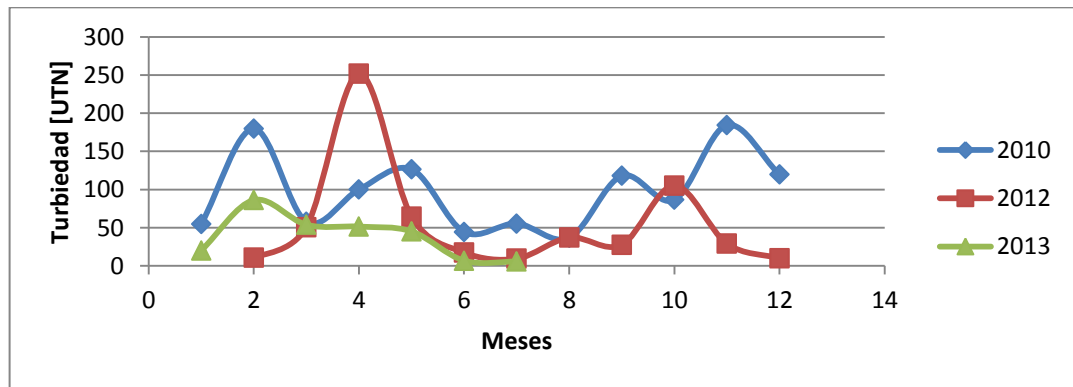
Turbiedad $\leq$ 2 UTN
Color $\leq$ 10 UPC
7 unid $\leq$ pH $\leq$ 8 unid

Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Sistema de gestión integral. Plan de calidad. [20]

Es importante mencionar que para que se cumpla con estos parámetros, el valor máximo permitido de turbiedad en el agua cuando sale de los sedimentadores, es de 10 UTN, dado que los filtros de la planta pueden remover la mayor parte de esta turbiedad para alcanzar un valor final de 2 UTN y así cumplir con los parámetros de la empresa.

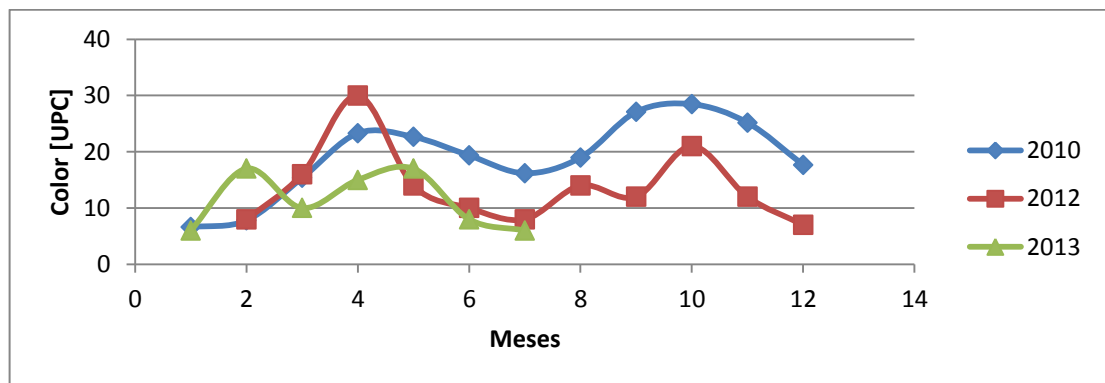
Para tener una idea de la calidad del agua cruda que llega a la planta Morrорico, en las figuras 4 y 5 se muestran los valores promedio (mes a mes) de turbiedad y color verdadero para los años 2010, 2012 y principios de 2013.

**Figura 4:** Turbiedad del agua cruda en la planta Morrорico del amb.



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Planillas de operación diaria. [21]

**Figura 5:** Color verdadero del agua cruda en la planta Morrорico del amb.



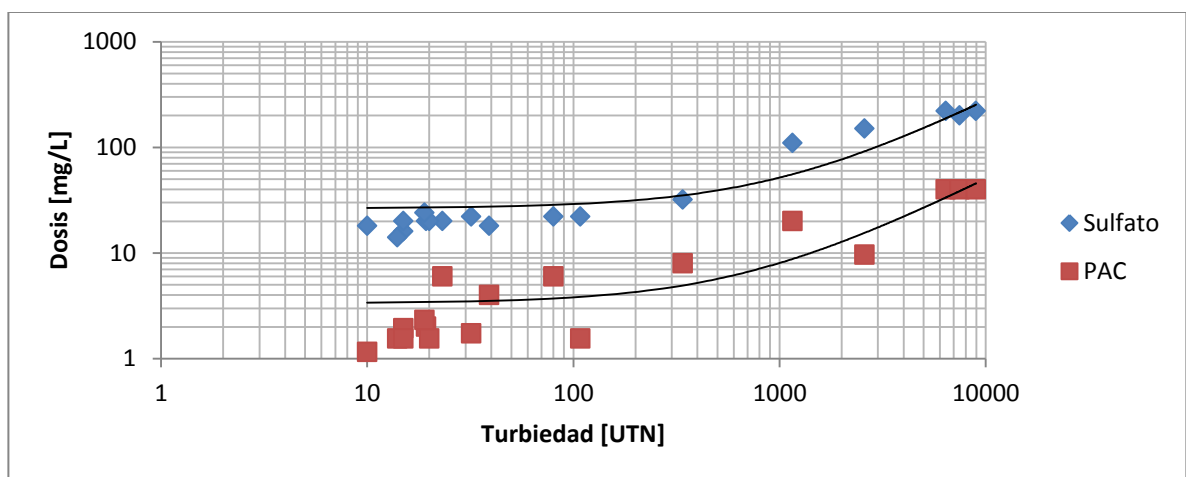
Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Planillas de operación diaria. [21]

### 3.2. DOSIS MÍNIMA ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO VS PAC.

Para la prueba de jarras se trabajó con 18 muestras de agua con diferente calidad inicial. Los resultados detallados de estas pruebas se encuentran en el Anexo B. En general los valores de turbiedad inicial oscilaron entre 10 y 8980 UTN, el color verdadero estuvo entre 6 y 88 UPC, y el rango del pH estuvo entre 6,89 y 8,23. Los valores de pH por debajo de 7 lo tuvieron las muestras con turbiedad por encima de 6000 UTN. Esto se debe al tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y la prueba de jarras, durante el cual las muestras se acidificaron debido al alto contenido de materia orgánica presente.

Como se puede ver en la figura 6, las dosis de PAC utilizadas son menores a las dosis de sulfato de aluminio, lo que constituye una gran ventaja para la planta Morrórico, debido a que con la implementación del PAC se disminuye el valor de las dosis a aplicar. Por esta razón la planta Morrórico estaría en capacidad de trabajar con turbiedades mayores que las actuales, cosa que actualmente no se puede debido que el tiempo de floculación es muy corto, lo que hace necesaria la aplicación de dosis muy altas de sulfato y de coadyuvante de coagulación, lo que trae consigo repercusiones tanto en el pH como en los costos de operación de la planta.

**Figura 6:** Dosis mínima óptima de coagulante vs Turbiedad Inicial.



Fuente Autor.

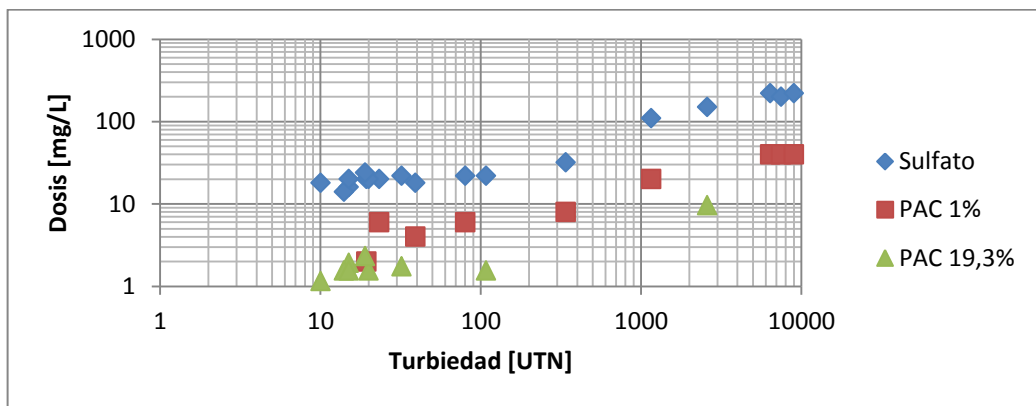
En la anterior figura también se puede apreciar que la relación entre la dosis de cada coagulante y la turbiedad inicial tiende a ser una línea recta a bajos valores de turbiedad inicial. No obstante, este comportamiento no es directamente lineal debido a que existen dosis que disminuyeron al aumentar la turbiedad, esto pudo ser a causa de que el color también haya disminuido.

Otro hecho importante que se ve en la figura 6 es que para valores altos de turbiedad inicial (mayores a 6000 UTN) las dosis de los coagulantes tienden a estabilizarse, dado que las dosis del sulfato de aluminio no superó los 220 mg/L y la del PAC se mantuvo alrededor de 40mg/L.

### 3.3 INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO.

En algunas plantas de potabilización de agua los coagulantes se aplican en una concentración menor a la que trae cuando se adquiere del proveedor. Esto influye en la eficiencia de la mezcla rápida debido a que, cuanto más diluida sea la solución se conseguirá una mejor dispersión y por ende aumenta la remoción de la turbiedad. Pero el ajuste de esta disolución se debe hacer sin permitir que el pH suba por encima de 4, para que exista mayor presencia de iones hidratados que de hidróxidos (lo que sucede a pH mayor de 4) [11].

**Figura 7:** Dosis de PAC al 1% y al 19,3% p/v vs turbiedad inicial.



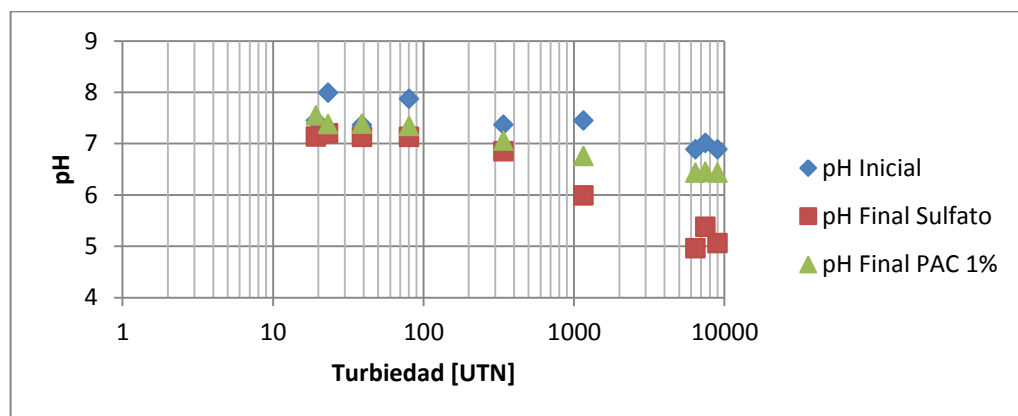
Fuente Autor.

En la figura 7 se puede observar que las dosis óptimas a aplicar para una solución de PAC al 1% p/v son mayores que las dosis óptimas cuando se utiliza la solución de PAC al 19,3% p/v. Esto se debe a que para la concentración de PAC menor, se superó el límite de pH permitido y el aluminio empezó a hidrolizarse, pasando por iones hidratados, hasta formar hidróxidos, los cuales son insolubles y se precipitan; por esto perdió efectividad para la remoción de la turbiedad.

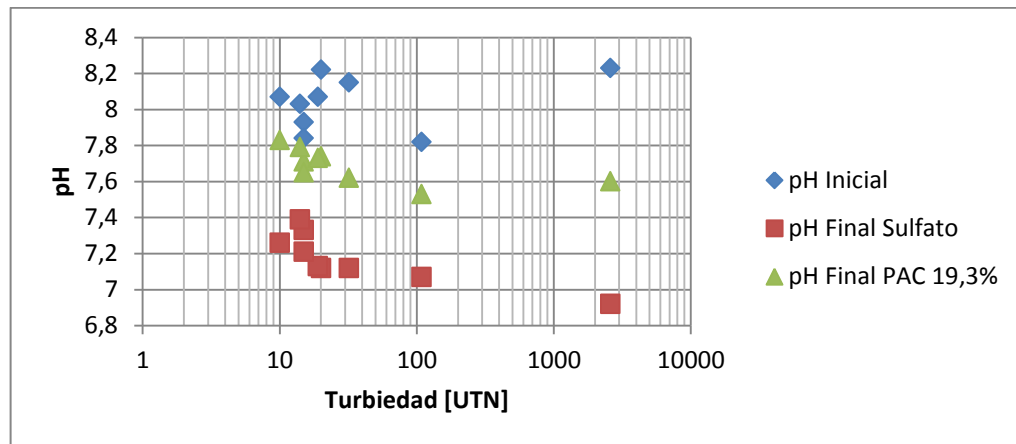
### 3.4 INFLUENCIA DEL TIPO DE COAGULANTE SOBRE EL PH.

En la figura 8 se puede observar claramente que los valores del pH residual luego de la aplicación de PAC siempre son mayores al pH después de aplicar sulfato de aluminio. Además, los valores más altos de turbiedad inicial, que requieren mayores dosis de coagulante, son los puntos en los cuales se da la mayor disminución en el valor del pH, destacándose aquellos casos en los que se utiliza sulfato de aluminio como coagulante. Cuando el valor del pH residual final está por debajo de los valores recomendados (lo que se da a altos valores de turbiedad inicial) se hace necesaria la aplicación de cal para ajustar el pH.

**Figura 8:** Variación del pH luego de la prueba de jarras para diferentes valores de turbiedad inicial.



a) Variación del pH utilizando sulfato de aluminio y PAC al 1% p/v como coagulantes.



b) Variación del pH utilizando sulfato de aluminio y PAC al 19,3% p/v como coagulantes.

Como se puede observar en la tabla 3, el porcentaje de cambio del pH (en promedio) para el PAC en ambos casos (al 1% y 19,3% p/v) es pequeño. Por otro lado el porcentaje de cambio en el pH final al usar sulfato de aluminio se incrementa al doble, alcanzando valores finales por fuera del rango permitido. Por esta razón, utilizando PAC como coagulante se podría eliminar el consumo de cal utilizado para ajuste del pH.

**Tabla 3:** Porcentaje promedio de cambio de pH.

	PAC 1%	PAC 19,3%	Sulfato de Aluminio
% Promedio de cambio	6,320	4,342	12,747
Desviación Estándar	2,309	1,768	7,017

Fuente Autor.

### 3.5 RELACIÓN DE REEMPLAZO.

Por las razones anteriormente expuestas, al finalizar las pruebas de jarras, de cada ensayo se tomó como dosis óptima aquella que hacía disminuir la turbiedad por debajo de 10 UTN. Con estos valores se realizó la siguiente tabla, en la cual se encontró la relación de reemplazo entre el sulfato de aluminio y el PAC a las dos concentraciones utilizadas (1% p/v y 19,3% p/v):

**Tabla 4:** Relación de reemplazo.

Turbiedad Inicial [UTN]	Dosis [mg/L]		Relación Reemplazo [mg PAC/mg Sulfato]
	Sulfato	PAC 1%	
339	32	8	0,250
19,3	20	2	0,100
39	18	4	0,222
80	22	6	0,273
23,2	20	6	0,300
6400	220	40	0,182
7470	200	40	0,200
8980	220	40	0,182
1158	110	20	0,182
Promedio			0,210
Desviación Estándar			0,056

a) Relación de reemplazo entre el sulfato de aluminio y PAC al 1% p/v.

Turbiedad Inicial [UTN]	Dosis [mg/L]		Relación Reemplazo [mg PAC/mg Sulfato]
	Sulfato	PAC 19,3%	
2589	150	9,650	0,064
108	22	1,544	0,070
15	16	1,930	0,121
20	20	1,544	0,077
32	22	1,737	0,079
19	24	2,316	0,097
14	14	1,544	0,110
15	20	1,544	0,077
10	18	1,158	0,064
Promedio			0,084
Desviación Estándar			0,019

b) Relación de reemplazo entre el sulfato de aluminio y PAC al 19,3% p/v. Fuente Autor.

De la tabla 4 se puede observar el grado de magnitud de la relación de reemplazo con el cual el PAC logra sustituir al sulfato de aluminio. De las dos relaciones de reemplazo, la menor es la correspondiente al uso de PAC al 19,3%. Esto significa que utilizando este coagulante a esta concentración conllevaría un mayor ahorro para la planta, no sólo porque la magnitud de la dosis disminuiría, sino porque al implementarlo en la planta se eliminaría la necesidad de utilizar un polímero como

coadyuvante en la coagulación, además de eliminar el uso de cal para ajustar el pH cuando se esté trabajando a turbiedades muy altas.

### 3.6 SISTEMA DE DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO.

Para esta parte, la relación de reemplazo se transformó a unidades volumétricas recordando que se va a dosificar el coagulante tal y como viene del proveedor. En la tabla 5 se muestran los resultados y el ajuste de la relación de reemplazo.

A partir de las nuevas unidades de la relación de reemplazo y junto con los valores históricos de las dosis de sulfato de aluminio aplicadas durante los años 2010, 2012 y principios de 2013, se puede aproximar a las dosis que se requieren si se estuviera aplicando PAC. Estos resultados se ven reflejado en la tabla 6.

**Tabla 5:** Relación de reemplazo en unidades volumétricas.

Turbiedad Inicial [UTN]	Dosis Sulfato [mg/L]	Dosis PAC [ $\mu$ L/L]	Relación Reemplazo [ $\mu$ L PAC/ mg Sulfato]
2589	150	50	0,333
108	22	8	0,364
15	16	10	0,625
20	20	8	0,400
32	22	9	0,409
19	24	12	0,500
14	14	8	0,571
15	20	8	0,400
10	18	6	0,333
Promedio			0,437
Desviación Estándar			0,099

Fuente Autor

**Tabla 6:** Dosis mínima, promedio y máxima de PAC para la planta.

Valor	Dosis históricas de Sulfato de aluminio sólido [mg/L]	Dosis PAC [ $\mu$ L/L]
Mínimo	5	2,18
Promedio	15,81	6,91
Máximo	172,2	75,25

Fuente Autor

Con estos valores para las dosis de PAC y junto con los valores de los caudales históricos de agua cruda se puede estimar cuánto PAC se gastaría por hora y por mes (suponiendo 30 días al mes). Estos datos son los que definirán los caudales de las bombas dosificadoras y el tamaño de los tanques de almacenamiento respectivamente. Los resultados se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7:** Caudales de PAC a dosificar.

Valor	Caudal de agua cruda [L/s]	Dosis PAC [ $\mu$ L/L]	Caudal de PAC	
			[L/h]	[L/mes]
Mínimo	100	2,18	0,79	566,35
Promedio	361	6,91	8,98	6464,81
Máximo	510	75,25	138,16	99476,33

Fuente Autor.

En cuanto al caudal de PAC que se gasta por hora, es importante mencionar que los valores mínimo y máximo son casos hipotéticos, por las siguientes razones:

- Como se dijo anteriormente el valor de turbiedad máximo permitido a la salida de los sedimentadores es 10 UTN ya que los filtros pueden remover esta turbiedad por sí solos. Según esto para un caudal de agua cruda con una turbiedad por debajo de 10 UTN no es necesario aplicar coagulante ya que en los filtros se disminuiría este valor. El amb, para no forzar el trabajo de los filtros y aumentar su vida útil, aplica coagulante aún para turbiedades entre 5 y 10 UTN y así asegura que se cumplan con los parámetros internos de calidad [20]. Ahora, combinando este valor con el caudal de agua mínimo no se hace necesaria la aplicación de coagulante ya que para tan poca agua no se estaría forzando el trabajo de los filtros.
- En cuanto al caudal máximo de PAC, este valor en la realidad nunca se alcanzaría, debido a que cuando el caudal de agua es muy alto a la vez que contiene una turbiedad muy alta, se disminuye el caudal de agua para no tener que aplicar dosis tan altas de coagulante. De esta manera, no se trabajaría a la máxima capacidad del sistema de dosificación.

El valor promedio es la referencia ya que es el caudal en el cual trabajará más tiempo el sistema de dosificación. Aunque los valores mínimo y máximo son casos hipotéticos, no se puede descartar la posibilidad de trabajar la dosis mínima y máxima de PAC junto con el caudal de agua cruda promedio, lo que daría unos caudales de PAC de aproximadamente 2,84 y 97,79 L/h respectivamente. Con estos datos se cotizó una bomba (Anexo C) que cumpliera con los requisitos de los materiales compatibles (Anexo D) y con los caudales de PAC. Pensando en la exactitud y uniformidad de la dosificación, la bomba es de desplazamiento positivo. Está compuesta por sólo 6 piezas lo que la hace económica y de fácil mantenimiento. El caudal de esta bomba tiene un rango de 3 a 60 L/h, por lo que trabaja muy bien con el caudal mínimo y promedio del PAC. En cuanto al valor máximo se hace necesaria la compra de otra bomba para cumplir con esta necesidad poder trabajar ambas en modo paralelo.

Para el caso de la cantidad de PAC que se necesita tener almacenada al mes se cotizaron 2 tanques de 10 mil litros (Anexo E) debido a que, aunque en promedio sólo se necesitan un poco más de 6 mil litros al mes, es conveniente tener coagulante de reserva para suplir cualquier turbiedad extraordinaria que se presente en el agua cruda. Las turbiedades altas, aunque son una realidad, sólo se presentan de manera esporádica y durante cortos períodos de tiempo. Esto se puede justificar en el hecho de que la dosis promedio está mucho más cerca de la dosis mínima que de la dosis máxima. Además, la bocatoma del río Tona se encuentra ubicada en la alta montaña lo que hace que el agua que llega a la planta sea muy limpia a lo largo del año.

### **3.7 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO.**

Los tanques de almacenamiento se ubicarán dentro de un dique rectangular de 7,5 m de largo por 4,5 m de ancho, con un muro de 0,9 m de alto. Esta altura fue escogida con el fin de que el dique tuviera el volumen necesario para que fuera capaz de retener el coagulante en caso de fuga. Los tanques de almacenamiento

se ubicarán aproximadamente 2 m por encima del punto de aplicación del coagulante (canaleta Parchal) y de las bombas dosificadoras, así la alimentación de las bombas será por gravedad. En cuanto a las bombas, éstas se ubicarán cerca y a la misma altura de la canaleta Parchal. Su ubicación se puede ver en el Anexo F.

#### 4. CONCLUSIONES

- El policloruro de aluminio es un nuevo coagulante que tiene la capacidad para reemplazar al sulfato de aluminio, debido a que necesita dosis menores para realizar el mismo o incluso mejorar el trabajo del sulfato. Esto sin necesidad de un coadyuvante cuando se trabaje con turbiedades elevadas. Además influye mucho menos en el cambio del pH del agua lo que genera un ahorro ya que evita la necesidad de utilizar cal para el ajuste del pH final.
- Utilizar PAC con una concentración de 19,3% p/v trae consigo una menor relación de reemplazo que trabajando con él al 1% p/v. Lo que conlleva a que se utilice menos coagulante durante el proceso de potabilización y esto genera un mayor ahorro económico.
- El PAC es de muy fácil manejo ya que sólo requiere el uso de bombas para su transporte dentro de la planta. Caso contrario al sulfato de aluminio sólido, el cual debe ser cargado en algún punto entre la bodega y el dosificador, exponiendo al operador a los daños que trae el sulfato de aluminio.
- Finalmente, por el ahorro generado y la mayor eficiencia en el proceso de potabilización de agua, el PAC es una muy buena alternativa para trabajar con el agua del Río Tona en la planta Morrónico del amb.

## 5. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] PEÑA, C. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 1995. 115 p.
- [2] BECARI, A., LAHIRI, D., BONDY, S., CHEN, D., HAMADEH, A. Aluminium and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain. En: Journal of Neuroimmunology. Vol. 176. (2006). P. 16-23.
- [3] FLATEN, T. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease with emphasis on drinking water. En: Brain Research Bulletin. Vol. 55. No. 2. (2001). p. 187-196.
- [4] NORDBERG, G.F. Human health effects of metals in drinking water: relationship to cultural acidification. En: Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 9. No. 7. (1990). p.887-894.
- [5] COGOLLO, J. RHENALS, A. Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de agua de una embotelladora de bebidas. Montería, 2003. Trabajo de grado (Ingeniería en alimentos). Universidad de Córdoba.
- [6] ROMERO, C. SOLÓRZANO, R. ABREU, O. BRIZUELA, L. PÉREZ, Z. Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. En: Revista Ingeniería U.C. Vol. 14 (3). (2007). P.16-23.
- [7] SHEN, Y., DEMPSEY, B. Synthesis and speciation of poly-aluminum chloride for water treatment. En: Environment International. Vol. 24 (8). (1998). P. 899-910.
- [8] MCGHEE, T.J. Abastecimiento de agua y alcantarillado: Ingeniería Ambiental. 5ª Ed. Santafé de Bogotá: McGraw Hill. 1999. 636 p.
- [9] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCAMARAMANGA. Instructivo: Métodos analíticos para el control de la calidad del agua. Bucaramanga: amb, 11 p. (ICC 801-001).

- [10] MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira, 2011, 128p. Trabajo de grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnologías.
- [11] ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3<sup>a</sup> ed. Santafé de Bogotá: McGraw Hill. 2000. 1<sup>er</sup> Tomo.
- [12] ROJAS, Christian. Estudio de aplicabilidad e implementación del policloruro de aluminio como coagulante primario en la planta La Flora del amb S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2005, 142 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
- [13] GHAFARI, S., ABDUL, H., HASNAIN, M. AKBAR, A. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. En: Journal of Hazardous Materials. Vol. 163. (2008) p. 650-653.
- [14] HAHN, H.H. Effect of chemical parameters upon the rate of coagulation. Universidad de Harvard, 1968. 578 p.
- [15] STENQUIST, R.J., KAUFMAN, W.S. Initial mixing in coagulation processes. Report No 72-2. Universidad de California, Feb 1972.
- [16] SALCEDO, María. Estudio de aplicabilidad e implementación de coagulantes líquidos en la planta de tratamiento de agua de Floridablanca del amb S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2012, 67 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
- [17] PÉREZ, Daisy. Evaluación técnica, económica y ambiental de coagulantes líquidos para la implementación de una nueva dosificación en la planta Floridablanca del amb S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2012, 77 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

- [18] QUINTANA, R. Como tratar el agua. Bogotá D.C.: Coca-Cola de Colombia, 2000.
- [19] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCAMARAMANGA. Instructivo: Determinación dosis optima de coagulante. Bucaramanga: amb, 10 p. (ICC 801-002).
- [20] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA. Sistema de gestión integral. Plan de calidad 2009.
- [21] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA. Planillas de operación diaria de la planta Morrórico.

## BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCAMARAMANGA. Instructivo: Determinación dosis optima de coagulante. Bucaramanga: amb, 10 p. (ICC 801-002).

\_\_\_\_\_ Instructivo: Métodos analíticos para el control de la calidad del agua. Bucaramanga: amb, 11 p. (ICC 801-001).

\_\_\_\_\_ Planillas de operación diaria de la planta Morrórico.

\_\_\_\_\_ Sistema de gestión integral. Plan de calidad 2009.

ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3<sup>a</sup> ed. Santafé de Bogotá: McGraw Hill. 2000. 1<sup>er</sup> Tomo.

BECARI, A., LAHIRI, D., BONDY, S., CHEN, D., HAMADEH, A. Aluminium and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain. En: Journal of Neuroimmunology. Vol. 176. (2006). P. 16-23.

COGOLLO, J. RHENALS, A. Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de agua de una embotelladora de bebidas. Montería, 2003. Trabajo de grado (Ingeniería en alimentos). Universidad de Córdoba.

FLATEN, T. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease with emphasis on drinking water. En: Brain Research Bulletin. Vol. 55. No. 2. (2001). p. 187-196.

GHAFAARI, S., ABDUL, H., HASNAIN, M. AKBAR, A. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. En: Journal of Hazardous Materials. Vol. 163. (2008) p. 650-653.

HAHN, H.H. Effect of chemical parameters upon the rate of coagulation. Universidad de Harvard, 1968. 578 p.

MCGHEE, T.J. Abastecimiento de agua y alcantarillado: Ingeniería Ambiental. 5ª Ed. Santafé de Bogotá: McGraw Hill. 1999. 636 p.

MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. Pereira, 2011, 128p. Trabajo de grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnologías.

NORDBERG, G.F. Human health effects of metals in drinking water: relationship to cultural acidification. En: Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 9. No. 7. (1990). p.887-894.

PEÑA, C. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 1995. 115 p.

PÉREZ, Daisy. Evaluación técnica, económica y ambiental de coagulantes líquidos para la implementación de una nueva dosificación en la planta Floridablanca del amb S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2012, 77 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

QUINTANA, R. Como tratar el agua. Bogotá D.C.: Coca-Cola de Colombia, 2000.

ROJAS, Christian. Estudio de aplicabilidad e implementación del policloruro de aluminio como coagulante primario en la planta La Flora del amb S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2005, 142 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

ROMERO, C. SOLÓRZANO, R. ABREU, O. BRIZUELA, L. PÉREZ, Z. Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. En: Revista Ingeniería U.C. Vol. 14 (3). (2007). P.16-23.

SALCEDO, María. Estudio de aplicabilidad e implementación de coagulantes líquidos en la planta de tratamiento de agua de Floridablanca del amb S.A. E.S.P.

Bucaramanga, 2012, 67 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

SHEN, Y., DEMPSEY, B. Synthesis and speciation of poly-aluminum chloride for water treatment. En: Environment International. Vol. 24 (8). (1998). P. 899-910.

STENQUIST, R.J., KAUFMAN, W.S. Initial mixing in coagulation processes. Report No 72-2. Universidad de California, Feb 1972.

## ANEXOS

### **ANEXO A: Métodos y equipos utilizados para medir turbiedad, color y pH**

Los siguientes métodos analíticos se encuentran en el Manual de Calidad del Laboratorio de Control de Calidad de Aguas del amb S.A. E.S.P. que se basa en el Decreto 1575 de 2007.

#### **Determinación de la turbiedad:**

- Encender el equipo.
- Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado y agitar
- Trasvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo.
- Tomar la celda por la tapa y agitar por inmersión para eliminar las burbujas de aire y limpiar la celda con toallas de papel.
- Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo y cerrar la tapa.
- Presionar ENTER y registrar el valor que aparece en la pantalla.

El equipo usado fue un *Turbidímetro HACH 2100P*. Los resultados se expresan en unidades UTN. Para valores mayores a 800 UTN hacer diluciones y multiplicar el resultado del equipo por el factor de dilución.

#### **Determinación del color:**

- Encender el equipo.
- Tomar una muestra representativa en una jeringa de 60 mL, ajustar la membrana Millipore de 0,45  $\mu\text{m}$  y filtrar. Mínimo 25 mL de muestra para cada determinación.
- Trasvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo de llenado.
- Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo y cerrar la tapa.
- Leer un blanco de agua destilada y la muestra.

El equipo usado fue un Espectrofotómetro HACH DR-2800. Para medir el color se trabaja con una longitud de onda de 455 nm. La lectura es directa y se expresa como UPC. Para valores mayores a 500 UPC, hacer dilución.

**Determinación del pH:**

- Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Lavar el electrodo con agua destilada e introducirlo en la muestra.
- Presionar el botón de encendido y el botón READ y esperar hasta estabilizar lectura.

Leer directamente en el pH metro y expresar en unidades de pH. Después de cada lectura, lavar con agua destilada, sumergir el electrodo en KCl 3M y apagar el equipo.

## ANEXO B: Resultados de las pruebas de jarras.

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la prueba de jarras. Los espacios vacíos son debido a que se dio lugar la inversión de cargas o no hubo suficiente muestra de agua cruda. Un ejemplo de inversión de cargas se puede ver en la Figura A.1.

Figura A.1: Ejemplo de inversión de cargas.



Tabla A.1: Resultados de pruebas de jarras con el PAC al 1% p/v.

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	339	Color R. [UPC]	7	pH	7,369

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	10,1	11,5	15,5	9,9	9,05	8,99
pH	6,912	6,867	6,804	6,852	6,824	6,74
Dosis [mg/L]	26	28	30	32	34	36

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	9,26	49	63,6	128	130	148

<b>pH</b>	7,056	6,868	6,788	6,7	6,659	6,555
<b>Dosis [mg/L]</b>	8	12	14	18	20	24

<b>Condiciones Iniciales</b>					
<b>Turbiedad [UTN]</b>	19,3	<b>Color R. [UPC]</b>	11	<b>pH</b>	7,45

<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>						
<b>Condición Final</b>	<b>JARRAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Turbiedad [UTN]</b>	19,8	19,7	20,3	19,9	17,5	15,1
<b>pH</b>	7,342	7,333	7,231	7,237	7,181	7,14
<b>Dosis [mg/L]</b>	10	12	14	16	18	20

<b>POLICLORURO DE ALUMINIO</b>						
<b>Condición Final</b>	<b>JARRAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Turbiedad [UTN]</b>	4,02	1,82	3,78	1,41	2,99	1,93
<b>pH</b>	7,55	7,528	7,227	7,095	6,99	6,94
<b>Dosis [mg/L]</b>	2	4	6	8	10	12

<b>Condiciones Iniciales</b>					
<b>Turbiedad [UTN]</b>	39	<b>Color R. [UPC]</b>	9	<b>pH</b>	7,363

<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>						
<b>Condición Final</b>	<b>JARRAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Turbiedad [UTN]</b>	8,07	8,725	7,453	6,6	5,485	
<b>pH</b>	7,198	7,133	7,094	7,067	7,031	
<b>Dosis [mg/L]</b>	16	18	20	22	24	

<b>POLICLORURO DE ALUMINIO</b>						
<b>Condición Final</b>	<b>JARRAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Turbiedad [UTN]</b>	6,06	1,61	2,555	2,505	5,505	
<b>pH</b>	7,385	7,221	7,067	6,958	6,967	
<b>Dosis [mg/L]</b>	4	8	12	16	20	

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	80	Color R. [UPC]	19	pH	7,87

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	25,7	16,2	12,3	9,79	5,63	6,56
pH	7,34	7,22	7,18	7,13	7,12	7,06
Dosis [mg/L]	16	18	20	22	24	26

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	4,49	3	2,56	2,73	2,53	3,4
pH	7,34	7,26	7,18	7,15	7,03	6,98
Dosis [mg/L]	6	8	10	12	14	16

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	23,2	Color R. [UPC]	17	pH	7,99

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	17,7	15,8	16,6	16	15	14,6
pH	7,48	7,42	7,37	7,28	7,29	7,2
Dosis [mg/L]	10	12	14	16	18	20

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	2,36	2,54	1,87	1,98	2,11	2,48
pH	7,44	7,38	7,26	7,16	7,1	7,02
Dosis [mg/L]	4	6	8	10	12	14

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	6400	Color R. [UPC]	52	pH	6,89

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	22,9	15,3	12,7			
pH	5,44	5,15	4,96			
Dosis [mg/L]	180	200	220			

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	7,97					
pH	6,43					
Dosis [mg/L]	40	60	90	110	130	150

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	7470	Color R. [UPC]	88	pH	7,01

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	4,55	3,4	2,72			
pH	5,38	4,99	4,79			
Dosis [mg/L]	200	220	240			

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	8,27					
pH	6,45					
Dosis [mg/L]	40	60	80	100	120	140

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	8980	Color R. [UPC]	75	pH	6,89

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	3,77	2,86	3,28			
pH	5,06	4,79	4,61			
Dosis [mg/L]	220	240	260			

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	15,2					
pH	6,43					
Dosis [mg/L]	40	60	80	100	120	140

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	1158	Color R. [UPC]	37	pH	7,45

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	12,2	12,3	11,4	14,1	14,4	13,6
pH	6,26	6,15	5,99	5,84	5,75	5,64
Dosis [mg/L]	90	100	110	120	130	140

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	7,9					
pH	6,77					
Dosis [mg/L]	20	30	40	50	60	80

**Tabla A.2:** Resultados de pruebas de jarras con el PAC al 19,3% p/v.

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	2589	Color R. [UPC]	-	pH	8,23

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	493	172	284	67,4	12,7	
pH	7,15	7,07	7	6,99	6,92	
Dosis [mg/L]	100	120	130	140	150	

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	9,73	7,22	6,58			
pH	7,6	7,55	7,4			
Dosis [mg/L]	50	55	60			

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	108	Color R. [UPC]	28	pH	7,82

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	2,9	2,07	1,85	1,53	1,57	
pH	7,07	6,96	6,95	6,91	6,92	
Dosis [mg/L]	22	24	26	28	30	

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	7,59	30,2	18,5	0,813	0,583	
pH	7,53	7,53	7,56	7,46	7,39	
Dosis [mg/L]	8	10	12	14	16	

Condiciones Iniciales						
Turbiedad [UTN]	15	Color R. [UPC]	20	pH	7,43	

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	4,22	2,21	2,09	1,19	1,7	1,44
pH	7,33	7,23	7,21	7,2	7,04	7
Dosis [mg/L]	16	18	20	22	24	26

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	1,08	1,1	1,12	0,99	0,93	1,04
pH	7,72	7,79	7,66	7,59	7,52	7,49
Dosis [mg/L]	10	11	12	13	14	15

Condiciones Iniciales						
Turbiedad [UTN]	20	Color R. [UPC]	6	pH	8,22	

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	1,18	1,02	1,06	1,14	1,07	1,31
pH	7,12	7,08	7,01	6,98	6,95	6,91
Dosis [mg/L]	20	22	24	26	28	30

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	1,91	8,88	1,7	1,13	1,08	1,26
pH	7,74	7,61	7,63	7,59	7,56	7,52
Dosis [mg/L]	8	9	10	11	12	13

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	32	Color R. [UPC]	29	pH	8,15

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	26,4	12,4	11,8	7	6,55	5,99
pH	7,25	7,22	7,21	7,12	7,1	7,04
Dosis [mg/L]	16	18	20	22	24	26

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	6,08	5,48	4,11	4,21	3,94	4,06
pH	7,62	7,67	7,63	7,64	7,61	7,59
Dosis [mg/L]	9	10	11	12	13	14

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	19	Color R. [UPC]	24	pH	8,07

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	14	13,6	13,7	8,21	7,04	6,61
pH	7,53	7,28	7,25	7,2	7,13	7,15
Dosis [mg/L]	18	20	22	24	26	28

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	5,36	6,77	5,53	4,74	12,7	4,03
pH	7,73	7,72	7,67	7,61	7,52	7,55
Dosis [mg/L]	12	13	14	15	16	17

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	14	Color R. [UPC]	20	pH	8,03

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	12,2	11,8	11,5	12,3	12,7	11,5
pH	7,51	7,49	7,39	7,37	7,33	7,31
Dosis [mg/L]	10	12	14	16	18	20

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	8,32	9,91	5,67	5,42	5,36	8,9
pH	7,79	7,88	7,69	7,64	7,62	7,55
Dosis [mg/L]	8	10	12	14	16	18

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	15	Color R. [UPC]	18	pH	7,84

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	11,1	12,5	13	14,2	7,02	6,5
pH	7,45	7,37	7,33	7,29	7,21	7,18
Dosis [mg/L]	12	14	16	18	20	22

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	5,56	5,54	4,46	3,78	6,25	3,68
pH	7,65	7,63	7,61	7,59	7,56	7,5
Dosis [mg/L]	8	10	12	14	16	18

Condiciones Iniciales					
Turbiedad [UTN]	10	Color R. [UPC]	8	pH	8,07

SULFATO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	11	10,7	11,3	10,5	7,71	6,29
pH	7,59	7,42	7,36	7,32	7,26	7,24
Dosis [mg/L]	10	12	14	16	18	20

POLICLORURO DE ALUMINIO						
Condición Final	JARRAS					
	1	2	3	4	5	6
Turbiedad [UTN]	8,69	5,9	7,33	6,36	5,6	
pH	7,83	7,8	7,79	7,78	7,77	
Dosis [mg/L]	6	7	8	9	10	

## ANEXO C: Cotización bomba de dosificación.



**DUEÑAS OROZCO**  
**REPRESENTACIONES LTDA.**  
 NIT: 830.041.403-1



CODIGO: FM-CL-003  
 VERSION: 0  
 APROBACION: 18.07.2011  
 PAGINA: 1 DE 1

**Renglón 03: PAC – ITEM 03**  
**BOMBA TIPO "NETZSCH/NEMO" MODELO – C.PRO CY15/150**

Página | 3

**EJECUCIÓN DE LA BOMBA**

Carcasa	PVC
Sellado de la carcasa	vitón
Ejes	PVDF
Rotor	Super Duplex
Estator	Viton
Sellado del eje	Sello mecánico NETZSCH
Sentido de rotación	Izquierda
Instalación	Horizontal
Conexión de succión	Brida

**CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Fluido	PAC
Temperatura de bombeo	Ambiente
Caudal de proyecto	3 a 60 lts/H
Presión de succión	Positiva
Presión de descarga	3 BAR (45 PSIG)
Revoluciones	30 a 400 RPM (7 a 90 HZ)
Potencia absorbida	0,12 kW

**PRECIOS RENGLÓN 03**

Cant.	Descripción	Vr. Unit (\$)
01	Bomba NETZSCH Mod. C.PRO CY15/150, descrita.	
01	Base en acero inoxidable	
01	Motorreductor NS17, i =6,15:1, Na= 265rpm, 0.55Kw, 4 polos, 220/440V, ico , IP-55, TFFC	
01	Ventilación forzada con bornera independiente a 220V	
01	Manual de instrucciones de operación, mantenimiento y montaje en español	
<b>PRECIO UNITARIO DEL CONJUNTO \$</b>		<b>9.650.000</b>

Calle 56 A N° 73A – 41 ☎ Teléfonos: 2951093 - 3771868 ☎ Telefax: 4299704 ☎ Fax: 8120175  
 Celular: (315) 3350954 ☎ e-mail: dor@etb.net.co ☎ Bogotá, D.C.

## ANEXO D: Ficha técnica del policloruro de aluminio.



**Policloruro de Aluminio, PAC**  
Ficha Técnica del Producto



Fórmula Química	$Al(OH)_m Cl_{3-m}$
Densidad a 25 °C, g/mL	1.20 – 1.40
% $Al_2O_3$	>19
Relación de Basicidad	50 – 90
Turbiedad (NTU)	< 50

### Indicaciones

El policloruro de aluminio (PAC) es una sal de alta basicidad con base en anión cloruro y con una alta concentración de alúmina.

El resultado de lo anterior es lograr un desempeño eficiente en costos en casos de aguas sin dificultades especiales de formación de floc, sin causar depresión en el pH.

### Condiciones de manejo

El producto debe ser almacenado en tanques de fibra de vidrio, polietileno o acero recubierto en caucho y conducido empleando fibra de vidrio, PVC o cualquier otro material termoplástico. También es compatible con EPDM, caucho natural y vitón. El producto no debe estar en contacto con hierro, acero al carbón, acero inoxidable y bronce.

Es deseable que el PAC sea dosificado tal como se recibe del proveedor.



### Oficina Principal y Producción

Medellín: Calle 55 No 46-85 Itagüí, Antioquia; Tel: (574)370 1170; Fax: (574)277 5676; [sulfosa@sulfoquimica.com](mailto:sulfosa@sulfoquimica.com)

### Producción

- Barbosa: Vía Girardota - El Hatillo km. 4 (Vereda Platanito), Barbosa, Antioquia. Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234; [sqbarbosa@sulfoquimica.com](mailto:sqbarbosa@sulfoquimica.com)
- Barranquilla: Vía Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico. Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353; [sqbarranquilla@sulfoquimica.com](mailto:sqbarranquilla@sulfoquimica.com)
- Caloto: Vía Caloto - Santander de Quilichao, km. 7, Caloto, Cauca. Tel (572)550 4344; Fax: (572)550 4343; [sqcaloto@sulfoquimica.com](mailto:sqcaloto@sulfoquimica.com)

Ficha Técnica Policloruro de Aluminio / FT CLI 7.2 – 63 / Versión 1 13/03/12

## ANEXO E: Cotización tanques de almacenamiento.

AQUA-COLOMBIA-LTDA

Bogotá D.C., 06 de noviembre de 2013

COT: 655-2013

Señores  
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.  
Yolanda Arboleda Tovar  
yarboleda@amb.com.co  
Jefe División Tratamiento  
Tel.: (7) 632 3448  
Diagonal 32 nº 30º-5 | Parque del Agua  
Bucaramanga – Colombia

REF.: SUMINISTRO DE DOS (2) TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC) PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MORRORICO – PARQUE DEL AGUA.

Cordial saludo:

De acuerdo a su solicitud estamos presentando nuestra mejor oferta para el suministro de dos tanques elaborado en políester reforzado con fibra de vidrio (PRFV) para almacenamiento de policloruro de aluminio (PAC).

AQUA COLOMBIA-LTDA está calificado por el Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) en el Sistema de Seguridad Industrial, Salud Ocupacional y Medio Ambiente para Contratistas del sector hidrocarburos (Registro Único de Contratistas), con calificación de 87/100. Lo anterior, garantiza el cumplimiento de los requerimientos legales vigentes en salud, seguridad industrial y medio ambiente.

### PROPUESTA TÉCNICA

#### CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO A ALMACENAR

Las características de importancia del Policloruro de Aluminio-PAC se muestran en el Cuadro No. 1.

Cuadro No. 1		
Ítem	Unidad	PAC
pH	Und.	2,5 +/- 0,3
Densidad	g/ml	1,2 – 1,4
Contenido de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	> 19,0
Temperatura	°C	Ambiente
Presión	Atm	1

#### TANQUES CILÍNDRICOS

Se suministrarán dos (2) tanques cilíndricos verticales de fondo plano y tope superior tonsférico (casquete esférico), diseñado para operar totalmente apoyado sobre una base plana y uniforme construida en concreto, que cumpla las siguientes especificaciones:

#### ITEM 1

AQUA-COLOMBIA E.V. LTDA  
Carrera 28B-76-37  
TELEFAX: (57) 1-3100046  
www.aquacolombia.com  
Email: aqua\_colombia@yahoo.es  
Bogotá D.C. Colombia

Líquidos a almacenar	PAC Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , T. ambiente y P. atm.
Capacidad:	10.000 litros
Geometría:	Cilindro vertical, con fondo plano y tapa tonsténica
Diámetro:	2,50m
Altura cilindro:	2,04m
Altura del cabezal:	0,30m
Peso aproximado	350Kg
Espesor	Según norma ASTM D-4097.
Accesorios:	<p>Un manhole en la parte superior de cada tanque, Ø 0,50 m tipo brida con tapa removible.</p> <p>Un manhole en la parte inferior de cada tanque, Ø 0,50 m tipo brida con tapa y tornillos inoxidables.</p> <p>Un dispositivo de venteo sobre la tapa superior en PVC tipo cuello de ganso.</p> <p>Un accesorio tipo brida norma ANSI B 16,5 fabricado en PRFV, Ø 3", en la parte superior del tanque, para la instalación de control de nivel.</p> <p>Dos accesorios tipo brida norma ANSI B 16,5 fabricados en PRFV, Ø 2"; Uno superior para la entrada y uno inferiores para la salida de cada tanque.</p> <p>Un accesorio tipo brida norma ANSI B 16,5 fabricado en PRFV, Ø 4", inferior para el drenaje del tanque.</p> <p>Banda traslúcida de control de nivel con tabla de aforo, a la altura total del tanque.</p> <p>Cuatro soportes en la parte superior del tanque, para instalación de plataforma horizontal de circulación entre tanques</p> <p>Dos accesorios para permitir el izaje y manipulación del tanque para facilitar la instalación sobre la placa de soporte.</p> <p>Cuatro platinas de anclaje en acero galvanizado en caliente.</p> <p>Escalera metálica con guarda (maya) de seguridad, plataforma y baranda superior en hierro, protegidos con pintura epóxica</p>

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES**

Barrera Corrosiva: DERAKANE 411 de Ahsland (*Resinas epoxi vinil-éster estándar, basadas en resina epoxi de tipo bisfenol-A. Resisten a una amplia gama de ácidos, de álcalis, de agentes blanqueadores y de disolventes, empleadas en numerosas aplicaciones de transformación de productos químicos. Ofrecen también una tenacidad y una resistencia excelentes a la fatiga*) con velo de superficie.

Laminado Estructural: Resina Poliéster Tereftálica, ref.: Cnstalán 847 de Andercol.  
 Refuerzo: Reforzado con fibras de vidrio tipo Mat de 450 g/m2 y Woven Roving de 800 g/m<sup>2</sup>.



Los tanques se fabricarán Fabricado por el método de moldeo manual por contacto Hand Lay-up según normas: ASTM D-4097 (O NTC 2890) (tanques cilíndricos) ASTM C 582 Y/O NTC 2888 (LAMINADOS PLANOS)

Post-curado interior con inyección de aire caliente seco a 80 °C.  
Superficie interior lisa. Acabado exterior en pintura poliéster blanca, con estabilizador U.V., a base de Tinuvin.

#### MATERIALES

- Barrera Corrosiva: Resina Cristalán 805 (Ortoftálica) de Andercol con velo de superficie.
- Laminado Estructural: Resina Epóxica Viniléster, ref.: Derakene 411 de Ashland.
- Refuerzo: Reforzado con fibras de vidrio tipo Mat de 450 g/m<sup>2</sup> y Woven Roving de 800 g/m<sup>2</sup>, por el método de moldeo Hand Lay up.
- Fabricado por el método de moldeo por contacto Hand Lay-up y Spray-up, según normas: ASTM D 4097; ASTM C 582; ICONTEC NTC-2890; ICONTEC NTC-2888.

Otros Insumos: MEK; Dimetil-anilina; Octoato de cobalto; Parafina.

#### DESCRIPCIÓN DEL LAMINADO DEL TANQUE:

**Barrera química:** Conformada por una capa rica en resina Derakene 411 (epoxi vinil éster), Andercol; reforzada con velo de superficie vidrio tipo C, seguido de dos capas de Tela Mat-723B de 450 g/m<sup>2</sup>, impregnadas con la misma resina.

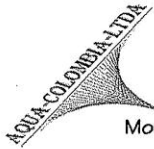
**Refuerzo estructural:** se emplearan capas alternadas Mat de 450 g/m<sup>2</sup> y Woven Roving de 800 con la resina de refuerzo, en las paredes, para garantizar la estabilidad mecánica a las condiciones de operación. La resina empleada en el refuerzo es resina Cristalán 847 de Andercol.

#### RECURSO HUMANO.

El personal empleado por AQUA COLOMBIA LTDA. En la división de Ingeniería y el personal técnico que fabrica los equipos ha sido cuidadosamente seleccionado y capacitado en la fabricación de equipos en plástico reforzado con fibra de vidrio, siendo permanentemente actualizado en las Técnicas de fabricación, e instruido en los métodos de control de calidad de los equipos en proceso.

#### ESQUEMA DE LAMINADO EN EL CUERPO CILINDRICO

Distancia desde el tope	Barrera de protección química	Refuerzo estructural	ESPESOR APROXIMADO
0.00 - 2.04m	V-MM	2M+1W	5.49mm



**Montaje y Pruebas de estanqueidad**

El Contratista realizara el montaje é instalaci3n de los tanques en los sitios seleccionados por el AMB como se presentan en el dibujo enviado.

Las pruebas de estanqueidad (prueba durante 48 h) de los tanques suministrados, se ejecutarán en coordinaci3n con el Interventor del A.M.B. S.A. E.S.P, la prueba de estanqueidad, consignando en el acta de recibo final del suministro, el resultado de dichas pruebas.

**CONDICIONES COMERCIALES.**

1	Suministro Tanque de almacenamiento en PRFV de 2,5m de diámetro * 2,04 m de alto (10,000 litros) . Incluye dos manholes de 20" en la parte superior y otro lateral inferior, escalera tipo gato con guarda hombre con pintura epóxica, una brida de 3"; dos bridas de 2" y una brida de 4"; cuatro soportes para instalaci3n de plataforma; dos orejas de izado; cuatro platinas para anclaje. Peso aproximado 350Kg.	2	\$ 8.183.259	\$ 16.366.518
			<b>Costos directos</b>	\$ 16.366.518
			<b>IVA 16%</b>	\$ 2.618.643
			<b>Costos Total</b>	\$ 18.985.161

**FORMA DE PAGO:** Cuarenta por ciento (40%) de anticipo y saldo contra entrega.

**PLAZO DE ENTREGA:** Treinta (30) días contados a partir de la orden de compra y recibido el anticipo.

**SITIO DE ENTREGA:** DDP Planta Tratamiento de Morronico – Parque Del Agua.

**VALIDEZ DE LA PROPUESTA:** Hasta el 31 de diciembre de 2013.

Cualquier duda o aclaraci3n al respecto gustosamente será atendida por nuestro departamento técnico-comercial.

Atentamente,



Ing. ALVARO NAVARRO  
Gerente Comercial

Cel. 311 405 788  
AQUA COLOMBIA EV LTDA.



**ANEXO F: Diagrama de la planta con los nuevos equipos.**

