

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA COAGULACIÓN EN UNA PTAP

**JOHN JAIRO BARRENECHE MARTINEZ
HENDER ALEXIS SEQUEDA VILLAMIZAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2012

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA COAGULACIÓN EN UNA PTAP

**JOHN JAIRO BARRENECHE MARTINEZ
HENDER ALEXIS SEQUEDA VILLAMIZAR**

**Monografía para optar el título de:
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
William Ibáñez Pinedo
Ing. Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

*Este trabajo quiero dedicárselo primero a **DIOS**, que me acompaña en mis malos momentos inyectándome esa energía necesaria para salir adelante, y también me apoya en los buenos instantes dirigiéndome para alcanzar los objetivos que me he trazado en la vida, gracias Dios por estar siempre a mi lado.*

*A mi madre **AMALIA ROSA**, una mujer de un tesón descomunal, una generosidad incalculable y un sacrificio e inmenso amor por su familia. Gracias mamá, te quiero un montón.*

*A mis hermanos **HILDEMIRO MIGUEL, ALVARO ANTONIO, JAIME HUMBERTO, FARITH, YURIS MARGARITA, JORGE LUIS y YAZMIN MARGARITA**, gracias por estar conmigo en la adversidad y por formar parte de mi bonita familia, los quiero mucho.*

*A **CAMILO ANDRÉS, VALENTINA, NELSON ENRIQUE, ESTIBALIZ SOFÍA y SEBASTIAN FELIPE** para ellos todo mi amor, y reiterarles que con esfuerzo, dedicación y amor propio podemos obtener nuestros sueños.*

*Una dedicación muy especial para mi querido hermano **RICARDO JOSÉ Q.E.P.D.** que desde donde esté, sé que me envía todas sus bendiciones, y que en un día no muy lejano nos reuniremos. Te quiero hermano.*

*Finalmente a mi amado padre **JORGE ALBERTO Q.E.P.D.** ejemplo de lucha, coraje y perseverancia, tu amor y buen humor fue siempre un bálsamo para mi vida. Te amo y te extraño mucho Papá.*

JOHN JAIRO BARRENECHE MARTÍNEZ

DEDICATORIA

Primero que todo gracias a Dios razón y fuente de mi vida, por guiarme siempre en todos los caminos, y permitirme gozar de este nuevo paso como Especialista en Ingeniería Ambiental.

A mi Abuela Eloisa Acevedo (q.e.p.d.), con quien me hubiera gustado compartir este nuevo triunfo.

A mi Madre Albertina Villamizar, por brindarme permanente motivación y enseñanza para mi crecimiento personal y profesional.

A mi Esposa Luz Adriana, por toda su paciencia, comprensión y apoyo en todos los pasajes de mi vida.

A mis Hijas Angie Maryan y Annie Paola, por ser la gran fuente de inspiración para enfrentar cada uno de mis proyectos.

Hender Alexis Sequeda Villamizar

AGRADECIMIENTOS

*Al **ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E. S. P.** por apoyarme económicamente, y permitir adelantar este estudio en sus instalaciones.*

*A la Dra. **YOLANDA ARBOLEDA TOBAR**, por su amistad y por estimularme día a día a ser mejor profesional, mejor trabajador, pero especialmente mejor ser humano.*

*Al Dr. **CARLOS GERARDO BENITEZ RODRIGUEZ**, por su gran colaboración y apoyo en las dificultades, gracias por ser mi mejor amigo, porque sé que contaré siempre contigo. Todo mi afecto y estimación.*

*A **JOSE GABRIEL SALGAR HERNANDEZ, RAMON FERRER CARDENAS y GIOVANNI SERRANO VANEGAS**, porque sin su aporte no hubiese sido posible la consecución de este libro, ya que adelantaron el trabajo práctico, es decir, la parte vital de este estudio, pero lo más relevante para mí, es que a través de ustedes reconozco el verdadero valor de la amistad, son parte de mi familia, los quiero mucho.*

*A mis compañeros y amigos de la planta Bosconia: **MIGUEL ANGEL RAMON RICO, MARITZA EUGENIA PEÑUELA, CESAR IVAN ALFARO SERRANO, WILSON MENDEZ RODRIGUEZ, RODOLFO BARRERA VAZQUEZ, JULIO CESAR GUERRERO TARAZONA, EDGAR ESPINDOLA CHAPARRO, PEDRO JULIO CHACON FERREIRA y EVANGELINA TARAZONA**, muchas gracias por el apoyo y las muestras de afecto, solidaridad y lealtad que me han demostrado todos estos años. Cada día que pasa los valoro y aprecio más.*

*A la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL de SANTANDER**, por ser el centro educativo que me ha brindado la formación profesional, promoviendo mi crecimiento personal.*

JOHN JAIRO BARRENECHE MARTÍNEZ

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo General.	18
1.1.2. Objetivos Específicos.....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	18
1.3 ANTECEDENTES	20
2. MARCO REFERENCIAL	22
2.1. MARCO TEÓRICO	22
2.1.1 Normatividad Agua Potable en Colombia.....	22
2.1.2 Potabilización de Agua.....	22
2.1.2.1 Coagulación.....	23
2.1.2.2 Floculación.....	25
2.1.2.3 Sedimentación	27
2.1.2.4 Coagulantes.....	27
2.1.2.5 Sulfato de Aluminio.....	28
2.1.2.6 Policloruro de Aluminio.....	29
2.1.2.7 Efectos de los Coagulantes Sobre la salud humana.....	30
2.1.3 Normatividad para los ensayos de jarras.....	31
2.1.4 Pruebas de Jarras.....	32
2.1.4.1 Determinación de la Dosis Óptima de Coagulante.....	33
3. FASE EXPERIMENTAL.....	35
3.1. Recolección de muestras de agua cruda.....	36
3.2 Determinación de las características del agua cruda.....	36
3.3 Determinación de dosis óptima de coagulantes inorgánicos.....	36
3.4 Evaluación de eficiencias de los coagulantes inorgánicos.....	37

3.5 Evaluación económica de las alternativas de coagulación.	38
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	39
4.1. COMPORTAMIENTOS DE LOS COAGULANTES INORGÁNICOS.	39
4.1.1 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades entre 0-30 NTU.....	40
4.1.2 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31-100 NTU.....	43
4.1.3 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades entre 101-1000 NTU.....	47
4.1.4 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades > 1000 NTU.....	50
5. RELACIÓN COSTO BENEFICIO	55
6. CONCLUSIONES.....	57
7. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1. Características de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 0-30 NTU	40
Tabla No. 2. Características de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31-100 NTU	43
Tabla No. 3 Características de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 101-1000 NTU	47
Tabla No. 4 Características de las muestras de agua cruda con turbiedades > 1000 NTU	50
Tabla No. 5 Costo promedio de los coagulantes evaluados para cada uno de los rangos de turbiedad definidos.....	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Diagrama de Flujo de la metodología utilizada.	35
Figura No. 2 Equipo de Ensayo de Jarras	37
Figura No. 3 Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°1....	41
Figura No. 4 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°1.....	41
Figura No. 5. pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°1.....	41
Figura No. 6 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°1.	42
Figura No. 7. Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°1.	42
Figura No. 8. Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°13..	44
Figura No. 9 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.....	44
Figura No. 10. pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.....	45
Figura No. 11 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.	45
Figura No. 12. Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°13. .	45
Figura No. 13 Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.	48
Figura No. 14 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.....	48
Figura No. 15 pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.....	49
Figura No. 16 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.	49
Figura No. 17 Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°20. .	49
Figura No. 18. Turbiedad residual vs dosis coagulantes para la muestra N°24.....	51
Figura No. 19 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.....	51
Figura No. 20 pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.....	52
Figura No. 21 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.	52
Figura No. 22 Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°24. .	52

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo No. A. ENSAYOS DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTES INORGANICOS	62
Anexo No. B METODOS ANALÍTICOS	90
Anexo No. C MARCO LEGAL.....	98

TITULO: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA COAGULACIÓN EN UNA PTAP *

AUTOR: JOHN JAIRO BARRENECHE MARTINEZ
HENDER ALEXIS SEQUEDA VILLAMIZAR **

PALABRAS CLAVES: Tratamiento de aguas, Clarificación de aguas, Potabilización de aguas, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Sulfato de Aluminio Tipo B, Policloruro de Aluminio.

CONTENIDO:

El agua es un fluido indispensable para la vida humana y para su consumo se debe garantizar que ella cumpla con estrictos parámetros de calidad. El crecimiento demográfico de Bucaramanga en los últimos 30 años, ha incrementado la demanda de agua potable y no se han construido nuevas plantas de tratamiento.

Este proyecto tiene como objeto estudiar la eficiencia de coagulantes y establecer la viabilidad del cambio del sulfato de aluminio líquido y granular, como coagulante primario en una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), por el policloruro de aluminio. Además se pretende evaluar el comportamiento de estos tres coagulantes en el proceso de potabilización del agua, se realizó un estudio técnico económico para el sulfato y el policloruro de aluminio, con el fin de revisar cual es la mejor alternativa.

La variable dependiente fue el grado de 'turbiedad' del agua potable final, mientras la variable independiente fue la dosis de coagulantes que permiten alcanzar un valor de la turbiedad ideal, inferior a los límites permitidos. Utilizando técnicas de laboratorio denominadas 'pruebas de jarras', se simula y reproducen las condiciones operativas de la planta, comparando la eficiencia de estos productos y determinando su dosis óptima.

Los procesos de coagulación y floculación a nivel de laboratorio se simularon en un equipo para prueba de jarras usando los siguientes parámetros; mezcla rápida 100 rpm durante 1 minuto, mezcla lenta 40 rpm durante 15 minutos y sedimentación 0 rpm durante 15 minutos.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química, Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: IBANEZ, William Ing. Civil

TITTLE: STUDY OF ALTERNATIVES FOR THE COAGULATION IN A PTAP *

AUTHORS: JOHN JAIRO BARRENECHE MAARTINEZ
HENDER ALEXIS SEQUEDA VILLAMIZAR **

KEY WORDS: Water treatment, Water clarification, Water purification, Coagulation, Flocculation, Sedimentation, type B Aluminium Sulphate, Poly Aluminium.

CONTENT:

Water is an essential fluid in the human life and in order to be drink it is necessary to guarantee that it has the precise quality parameters. Bucaramanga population has grown considerably during the last 30 years. It has increased the demand of potable water and new treatment plants of water have no built.

This project aims to study the efficiency of coagulants and establish the feasibility of changing the liquid and granular aluminum sulfate, as a primary coagulant in a drinking water treatment plant by the poly aluminum. It also evaluates the performance of these three coagulants in water purification process. A technical and economic study of the sulfate and poly aluminum was conducted in order to check what the best alternative is.

The dependent variable was the degree of 'turbidity' of the potable water ready to be drunk, while the independent variable was the dose of coagulants that deliver great value of turbidity, below the limits. Laboratory techniques called "jar test water treatments", were used to simulate and reproduce the operating conditions of a plant and this way to compare the efficiency of these products and to determine the optimum dose.

The coagulation and flocculation processes at laboratory were simulated in a jar test equipment using the following parameters; fast mixing 100 rpm for 1 minute, slow mixing 40 rpm for 15 minutes and sedimentation 0 rpm for 15 minutes.

* Project of grade

** Faculty of Science, School of Chemistry, Specialization in Environmental Engineer.
Director: IBÁÑEZ, William Ing. Civil

INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido más importante para la humanidad ya que de él depende el desarrollo de la vida en este planeta. Su disponibilidad en cantidad y calidad está sujeta a todos los factores que afectan del ciclo hidrológico. Esta situación se agudiza en muchas regiones del mundo donde las fuentes son pocas y no contienen la cantidad necesaria para abastecer la creciente demanda. Además, la contaminación de los ríos, lagos e incluso de aguas subterráneas es cada vez mayor, lo que agrava la situación y hace que el tratamiento de potabilización del agua sea un reto cada vez más difícil [1].

La cobertura de servicio del agua y saneamiento en Colombia enfrenta el problema de suministro de agua potable en cantidad y calidad suficiente; los departamentos y municipios deben hacerse responsables de utilizar métodos y etapas de potabilización que se adapten a las condiciones de desarrollo de la región y minimicen los costos de operación y tratamiento para no disminuir el uso de agua potable a causa de incrementos tarifarios a los usuarios. Esto sumado al desarrollo industrial y el crecimiento poblacional en el país, hace pensar en la necesidad de optimizar procesos y etapas como la de coagulación-floculación, ajuste de pH, tiempos de mezcla rápida y de sedimentación que determinan la mayor o menor eficiencia y son componentes del costo total de la prestación de servicio de un acueducto [2].

Actualmente la industria del agua potable tiene como reto explorar nuevas tecnologías para el tratamiento y potabilización del agua, de ahí la importancia de buscar otros coagulantes que puedan tener mejores desempeños técnicos, todo esto con el fin de establecer resultados con mejor grado de eficiencia, economía y con el mínimo impacto sobre el medio ambiente y la salud humana, para que este costo se sitúe en valores al nivel de la capacidad de pago del usuario.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General.

Establecer el coagulante con mayor eficiencia para cada uno de los rangos de turbiedad definidos.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de la fuente en términos de turbiedad, para definir los rangos de muestreo, que serán objeto de estudio.
- Realizar ensayos de jarras con policloruro de aluminio (PAC), sulfato de aluminio líquido y granular, con el fin de determinar las dosis óptimas de cada uno de los coagulantes.
- Valorar las eficiencias técnicas de los coagulantes, para obtener la relación costo/beneficio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La normatividad colombiana mediante la resolución 2115 de 2007 estableció las condiciones mínimas de calidad para el agua destinada al consumo humano [3]. En términos generales el agua potable de la mayoría de ciudades colombianas cumple con la norma, sin embargo hay muchas regiones deprimidas y áreas rurales del país donde el agua potable es un bien muy escaso. En estos casos las comunidades deben acudir al uso de fuentes hídricas con aguas de baja calidad

no aptas para consumo directo. Esta situación afecta la salud humana especialmente en la población más vulnerable como los niños y adultos mayores, que son propensos a contraer enfermedades tipo Infecciones Diarreicas Agudas (IDA).

El proceso de coagulación-floculación es considerado como el componente básico y esencial de un sistema de tratamiento de agua convencional, que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento [2]. De éste depende en gran medida la mayor o menor eficiencia de los procesos siguientes a este y los costos totales de tratamiento.

Con el fin de prevenir este tipo de enfermedades se recomienda someter el agua destinada al consumo humano a un tratamiento físico químico de purificación y acondicionamiento que garanticen la inocuidad del producto. Sin embargo en la potabilización del agua se utilizan varios productos químicos, entre los cuales el sulfato de aluminio se destaca como el de mayor uso a nivel nacional. Esta sustancia, aplicada en las dosis correctas promueve la aglutinación de partículas y elementos ajenos al agua en partículas más grandes para su posterior remoción mediante métodos físicos. Sin embargo en muchos municipios y comunidades colombianas se aplica este producto sin la dosificación adecuada.

Como consecuencia, después del proceso de remoción de materiales suspendidos, quedan pequeñas cantidades de sulfato de aluminio en el agua. La ingesta constante del líquido, en estas condiciones, se traduce en una acumulación sistemática de aluminio en el organismo humano. Esta situación es potencialmente nociva, pues estudios epidemiológicos sugieren que existe una asociación entre el aluminio y enfermedades degenerativas como Alzheimer y Parkinson para poblaciones que consumen agua con concentraciones de Aluminio mayores de 0,1 mg/l [4].

1.3 ANTECEDENTES

La Planta de Bosconia está ubicada en el Kilómetro 2 vía Suratá, y su bocatoma está ubicada a 500 metros por la vía, aproximadamente. El caudal máximo de tratamiento es de 2.000 l/s, consta de dos desarenadores, dos presedimentadores, 16 cámaras de floculación, (cuatro por cada sedimentador), cuatro Sedimentadores, doce filtros y un tanque de almacenamiento de 10.000 m³ de volumen.

Desde el año 2001, se emprendió una serie de estudios en la planta Bosconia encaminados a mejorar el proceso de coagulación, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, operativos y económicos.

El primer trabajo consistió en precisar la dosificación de coagulante, por medio de un equipo controlador de carga denominado “Streaming Current Detector (SCD)” cuya función principal es la de ajustar la dosis de sulfato de aluminio en relación con la densidad de carga del agua, ya que la presencia de partículas que ocasionan turbiedad y color, afectan esta propiedad. Como resultado se obtuvo la dosis óptima aplicada al agua a tratar, disminuyendo el consumo de coagulante.

Luego en el año 2003, se realizó un estudio para desarrollar un modelo de correlación entre las variables de agua cruda: pH, Turbiedad, Color, y Alcalinidad, con Dosis Óptima de coagulante, que se empleó como base para el diseño e implementación de un sistema automático de dosificación de coagulante para las condiciones de operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Bosconia” del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

Posteriormente, después de analizar su relevancia, en el año 2007, se correlacionaron las variables en estudio (Turbiedad, Color, pH y Alcalinidad) respecto a la dosis óptima de coagulante aplicando el concepto de Redes

Neuronales Artificiales. Este proyecto en su momento hizo un gran aporte académico, científico y tecnológico, debido a que no existía en nuestro medio ningún modelo que relacionara las variables que determinan el proceso de coagulación y a su vez determinara la dosificación óptima de coagulación, su aplicación fue exitosa, ya que además de disponer de un sistema automático de dosificación eficiente de coagulante, desarrollado por medio de Redes Neuronales (Inteligencia artificial), en una plataforma de instrumentación LabView; se minimizó la necesidad de realizar pruebas de jarras continuamente, se optimizó el consumo de coagulante, se facilitó la labor de los operadores y se implementó un mini sistema SCADA en la Planta Bosconia

Más tarde en el año 2009, se continuó con la automatización de la planta Bosconia, a través de la mejora de software implementado, incorporándole nuevas variables, ampliando la funcionalidad de sus aplicaciones e interviniendo nuevos equipos del control del proceso, con el fin de optimizar los recursos, sin bajar la calidad del agua en la etapa de potabilización.

Finalmente al reconocer el desafío que representa para el amb, remover tanto las altas turbiedades y colores en épocas de lluvias, como las bajas turbiedades y colores en intenso verano, con este estudio se procuró facilitar una orientación clara para tratar el agua cruda, adaptándose a la variabilidad de las características físico-químicas y microbiológicas de la fuente, permitiendo direccionar el uso de los coagulantes adicionados al tratamiento a un menor costo, sin prescindir de la importancia de garantizar la calidad del agua suministrada a la comunidad.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1 Normatividad Agua Potable en Colombia. En Colombia, la potabilización requiere de la combinación de procesos físicos y químicos de acuerdo con parámetros regulatorios (Resolución 2115 de 2007) para aguas destinadas al consumo humano. Estos procesos requieren del uso de sustancias químicas (como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, entre otras) que actúan como coadyuvantes en la limpieza del agua. Sin embargo aunque éstas sustancias cumplen eficientemente con su función limpiadora pueden ser nocivas. Su incorporación al agua tratada, que en su turno se ingiere por seres humanos, puede resultar en bioacumulación en el organismo con todas las consecuencias a la salud que esto conlleva.

2.1.2 Potabilización de Agua. A pesar de la definición química del agua como una sustancia constituida exclusivamente por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, en la naturaleza no se encuentra nunca en ese grado de pureza sino que está siempre impurificada con una serie de componentes inorgánicos y orgánicos.

Las estructuras de captación de aguas del Río Suratá están localizadas sobre el cauce del río, en el sitio de la antigua Planta Eléctrica de Zaragoza, a unos 700 metros de distancia aguas arriba de la Planta de Tratamiento Bosconia, pasa por un canal transportador donde se afora, se agrega los productos químicos y se produce el mezclado rápido. De allí es conducida a los sedimentadores, que son grandes módulos compuestos de dos partes, floculador y sedimentador.

El floculador posee paletas mecánicas que son las encargadas de mezclar lentamente el agua con los productos químicos y formar así los flóculos, que al

aumentar tamaño y peso precipitarán al fondo del sedimentador. Este tiene una tolva que es encargada de eliminar el barro floculado. Este proceso se hace diariamente.

El agua tarda 1 hora en recorrer estos sedimentadores donde al final es recogida por una canaleta donde cae en forma de lluvia para incorporarle oxígeno. Por esta canaleta el agua es conducida a filtros compuestos por mantos de arena de distinta granulometría, comenzando con antracita, arena fina hasta terminar con grava.

De los filtros el agua pasa a la reserva, que es un tanque de almacenamiento subterráneo de 10.000 m³ en donde se la agrega cloro para su desinfección, terminado aquí el proceso de Potabilización ya que se encuentra en condiciones óptimas para el consumo humano.

Una vez cumplido este paso el agua es elevada por medio de 4 bombas con una capacidad promedio de 750 l/s. comandadas con un tablero eléctrico por el personal de operación a dos tanques del sistema de distribución, elevado del suelo para dar impulso a la salida del agua por gravedad y así llegar a toda la ciudad.

El agua es controlada siguiendo todos los pasos de la purificación por un laboratorio donde se efectúan los análisis químicos y bacteriológicos.

Todo este proceso, desde que entra el agua al establecimiento hasta que sale en condiciones óptimas para el consumo, transcurre en 4,5 horas, este tiempo ha sido empleado con el fin de dar continuidad al suministro de agua.

2.1.2.1 Coagulación. Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, las cuales pueden ser orgánicas o inorgánicas, estas

partículas pueden tener un tamaño y densidad tal que puedan eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas de ellas tienen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y evitando su sedimentación. Estas partículas tienen un tamaño que suele estar entre 0,2 y 1 μ m, y se denominan coloides. Estas especies coloidales halladas en el agua cruda incluyen arcillas, sílice, hierro y otros metales pesados, color y flocs orgánicos como los residuos de organismos muertos [5].

Los coloides en una suspensión están sometidos a factores estabilizantes y desestabilizantes. Los factores desestabilizantes son aquellas fuerzas que provocan repulsión entre las partículas como lo son las fuerzas electrostáticas y la propia hidratación, y los factores estabilizantes son las fuerzas de atracción que dan lugar a la unión, entre estas figuran el movimiento Browniano y las fuerzas de menor grado como la fuerza de gravedad; de tal manera que lo que se busca es que los factores estabilizantes predominen sobre los desestabilizantes, para lograr juntar estas partículas y de esta forma crear una partícula de mayor tamaño que pueda ser removida por sedimentación y/o filtración. Esto sólo se puede lograr con la ayuda de un agente químico bajo condiciones de mezcla adecuadas.

La coagulación, es un proceso para incrementar la tendencia de estas partículas a agregarse, mediante la adición de un agente químico llamado coagulante, el cual produce especies químicas capaces de desestabilizar las partículas coloidales suspendidas en el agua.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones químicas y físicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. Debido a esto, éste proceso se efectúa en unidades de mezcla rápida donde se busca la dispersión rápida y efectiva del coagulante en el agua.

El proceso de coagulación consta esencialmente de tres pasos fundamentales: formación del coagulante, desestabilización de la partícula e interacción del Material Orgánico Natural (MON) con el coagulante [6] que ocurre durante e inmediatamente después de la dispersión en la mezcla rápida; las colisiones entre partículas que producen formación de flóculos ocurren principalmente en el proceso de floculación.

La coagulación es un proceso complejo que se ve afectado por los siguientes factores [7]:

- Características del agua
- Tipo de coagulante
- Dosis de coagulante
- pH de coagulación
- Condiciones de mezcla
- Temperatura

2.1.2.2 Floculación. Después de que las partículas coloidales han sido desestabilizadas, éstas tienen que trasladarse dentro del líquido para hacer contacto unas con otras y aglutinarse. A este proceso se le denomina FLOCULACIÓN. La rapidez con que esto ocurra va a depender del tamaño de las partículas en relación con el grado de turbulencia del líquido, la concentración, y el grado de desestabilización (coagulación), que es lo que permite que las condiciones sean efectivas para producir adherencia. Este proceso se lleva a cabo con una agitación suave y continua del agua, con el propósito de que se vayan formando los flocs que luego serán removidos por sedimentación.

Los contactos entre partículas pueden ocurrir por tres mecanismos diferentes o su combinación:

- Contactos por el movimiento térmico (Browniano) del líquido, que sólo influye en las partículas menores a $1\mu\text{m}$, a este mecanismo se le conoce como floculación pericinética [8].
- Contactos por turbulencia del líquido efectivo se presenta con partículas mayores a $1\mu\text{m}$, este mecanismo se denomina floculación ortocinética.
- Los contactos ocurridos durante la caída de los flocs sedimentables, entre partículas de diferente tamaño, densidad y velocidad de sedimentación, lo cual ocurre con flocs macroscópicos partículas primarias mayores de $50\mu\text{m}$, a lo cual se le conoce como floculación de barrido.

De las tres formas de contacto para la formación de los flocs, la más significativa es la ortocinética, o sea la que se produce debido al grado de turbulencia del agua. Esta turbulencia es inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas como por ejemplo las provocadas por paletas.

La turbulencia es el factor responsable de la mayor parte de la floculación, y debido a esto se debe definir un nuevo factor que afecta la frecuencia de contactos ortocinéticos, este es el gradiente de velocidad laminar (du/dy) y se representa como G , este término se refiere a la diferencia en la velocidad en distintos puntos del seno del agua, debido a la agitación de la misma.

Von smoluchowski, quien en 1916 presentó la teoría de la floculación pericinética, demostró que el gradiente de velocidad es directamente proporcional a la frecuencia de los choques [8].

El concepto de gradiente de velocidad du/dy fue utilizado por Von smoluchowski como parámetro para caracterizar la turbulencia y su influencia en la intensidad de colisiones.

En la práctica actual el gradiente de velocidad (G), es el único parámetro de diseño para los floculadores reales.

2.1.2.3 Sedimentación. Después de que ha ocurrido la floculación en el agua, el siguiente paso es separar los flocs del líquido, es decir los flocs formados y que están suspendidos en el agua.

La sedimentación es un proceso de separación granular-líquido utilizado en el tratamiento de agua para disminuir la concentración de flocs en esta última, aprovechando su diferencia de densidad, con una velocidad de caída tal que estos pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable.

Como resultado los filtros pueden operarse más fácilmente y a buen costo para producción de agua filtrada de buena calidad.

Existen muchos procesos de sedimentación y variantes de éstos, y cada uno tiene ventajas y desventajas. El proceso más apropiado para una aplicación particular dependerá del agua a tratar así como de las circunstancias y exigencias locales.

2.1.2.4 Coagulantes. En el proceso de coagulación se utilizan dos tipos diferentes de coagulantes: metálicos y polielectrolíticos (llamados también ayudantes de coagulación). Los coagulantes metálicos se pueden dividir en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios.

Las sales de aluminio son la más conocidas y usadas en Colombia; entre éstas se encuentran el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el policloruro de aluminio, de las cuales el sulfato de aluminio conocido como alumbre es el más

usado en Colombia por su bajo costo y disponibilidad en el mercado. Este se encuentra en forma granular o líquida.

2.1.2.5 Sulfato de Aluminio. Es el coagulante estándar empleado en tratamiento de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, con masa molecular de 600. El producto se consigue en presentación líquida o sólida.

Cuando se añade soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+3} y SO_4^{-2} . El Al^{+3} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal reduciendo así el potencial zeta a un valor en que la unión de las partículas puede ocurrir.

El Al^{+3} puede combinarse también con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio. Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que adsorbe iones positivos en soluciones para formar un sol cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar su aglomeración.

Con respecto a los coagulantes de hierro y de aluminio, se puede afirmar que los cationes metálicos reaccionan inmediatamente con el agua para formar iones acuimetálicos e hidrógeno; los aniones permanecen libres o combinados con otros cationes.

Como se dijo previamente, los coloides también pueden ser barridos por los flocs formados, al resultar atrapados dentro de ellos durante la floculación y sedimentación; o en otras palabras, los precipitados de $\text{Al}(\text{OH})_3$ entrapan los coloides efectuando una coagulación de barrido, la cual predomina en algunas soluciones de concentración coloidal baja. Debe tenerse en cuenta, sin embargo,

que si se sobredosifica el coagulante, el fenómeno puede revertirse y resurgir el coloide negativo, causando nuevamente el problema de turbiedad o color [9].

2.1.2.6 Policloruro de Aluminio. El PAC es coagulante inorgánico líquido, formulado principalmente para remover materia coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como remplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

El PAC es una serie de productos que varían en el grado de su neutralización ácida, polimerización y concentración de Al_2O_3 . Mientras el ácido es neutralizado en el proceso de producción, la parte de aluminio del producto se vuelve más polimerizada, resultando en una mayor carga catiónica y en un aumento de la capacidad de desempeño. El grado de neutralización ácida se mide por la basicidad la cual puede variar desde 0% (solución de cloruro de aluminio) hasta un 83% (solución de clorhidrato de aluminio). Normalmente, los productos disponibles de policloruro de aluminio, tienen una basicidad que varía desde el 10-70%.

El policloruro de aluminio se emplea como coagulante primario en plantas de tratamiento de agua potable municipales e industriales, remplazando la necesidad de otros coagulantes, como alumbre, y en muchos casos eliminando o al menos reduciendo notablemente la necesidad de químicos reguladores de pH y ayudantes de coagulación.

Algunos de los beneficios reconocidos del PAC son:

- Disminuye el residual de aluminio
- Mejora en la remoción de turbidez y color
- Aumento en la remoción de Carbón Orgánico Total
- Aumento de la operación de los filtros

- Reducción en la frecuencia de retrolavados en los filtros
- Reducción de lodos en el proceso de clarificación
- Operación simplificada al eliminar reguladores de pH y ayudantes de coagulación
- Menor costo de operación
- Rápida formación de flóculos
- Tiempos cortos para reaccionar y sedimentar
- Muy versátil para tratar aguas de variada turbiedad, alcalinidad y contenido de materia orgánica

2.1.2.7 Efectos de los Coagulantes Sobre la salud humana. Los trabajadores que respiran cantidades altas de polvo de aluminio pueden desarrollar problemas respiratorios tales como tos o alteraciones que se detectan en radiografías de tórax. El uso de máscaras para respirar y el control de los niveles de polvo en fábricas han eliminado este problema en gran parte.

Algunos trabajadores que respiran polvos que contienen aluminio o vapores de aluminio tienen bajo desempeño en pruebas que miden funciones del sistema nervioso.

La ingestión de aluminio generalmente no produce daño. Algunos estudios han sugerido que la exposición a cantidades altas de aluminio puede causar enfermedad de Alzheimer, mientras que otros estudios no han encontrado evidencia de que esto ocurra. No se sabe con certeza si la exposición al aluminio produce enfermedad de Alzheimer [10].

Algunas personas que sufren de enfermedad renal acumulan una gran cantidad de aluminio en sus cuerpos. La enfermedad del riñón impide la eliminación de aluminio en la orina. Algunas veces, estas personas desarrollaron enfermedades de los huesos o del cerebro que los doctores atribuyeron al exceso de aluminio.

Aunque los productos que contienen aluminio que se venden sin receta no se consideran peligrosos para personas sanas en las dosis que se recomiendan, su uso prolongado en ocasiones ha causado efectos adversos en algunas personas.

En niños con enfermedad renal se han observado enfermedades del cerebro y de los huesos causadas por los niveles altos de aluminio en el cuerpo. También se ha observado enfermedad de los huesos en niños que toman ciertos medicamentos que contienen aluminio. En estos niños, el daño de los huesos se debe a que el aluminio en el estómago previene la absorción de fosfato, una sustancia química necesaria para mantener los huesos en buenas condiciones.

La ingestión de cantidades altas de alimentos procesados que contienen aditivos con aluminio o cocinar frecuentemente alimentos ácidos en ollas de aluminio pueden exponer a una persona a niveles de aluminio más altos que una persona que generalmente consume alimentos no procesados o usa ollas de otros materiales (por ejemplo, acero inoxidable o vidrio). Sin embargo, los niveles de aluminio que se encuentran en alimentos procesados y en alimentos preparados en ollas de aluminio generalmente no representan peligro.

2.1.3 Normatividad para los ensayos de jarras. El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya misión fundamental es brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo. La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 3903 fue ratificada por el Consejo Directivo de 2010-04-21. Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

- Esta norma establece un procedimiento general para la evaluación de un tratamiento encaminado a reducir el material disuelto, en suspensión, coloidal y no sedimentable del agua mediante coagulación-floculación química, seguida por sedimentación. El procedimiento se puede usar para evaluar el color, la turbidez y la reducción de la dureza.
- La norma suministra una evaluación sistemática de las variables que se encuentran normalmente en el proceso de coagulación-floculación.
- En esta norma no se propone considerar los problemas de seguridad relacionados con su utilización. El usuario de esta norma es responsable de establecer procedimientos apropiados de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de usarla [11].

2.1.4 Pruebas de Jarras. El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas. Se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- Selección del coagulante más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayudante de coagulación.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de los tiempos de floculación y sedimentación previos a los procesos de filtración y desinfección.

Este ensayo es usado ampliamente, sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes.

2.1.4.1 Determinación de la Dosis Óptima de Coagulante. Se determinaron la turbiedad, el color verdadero, el pH y la alcalinidad del agua cruda.

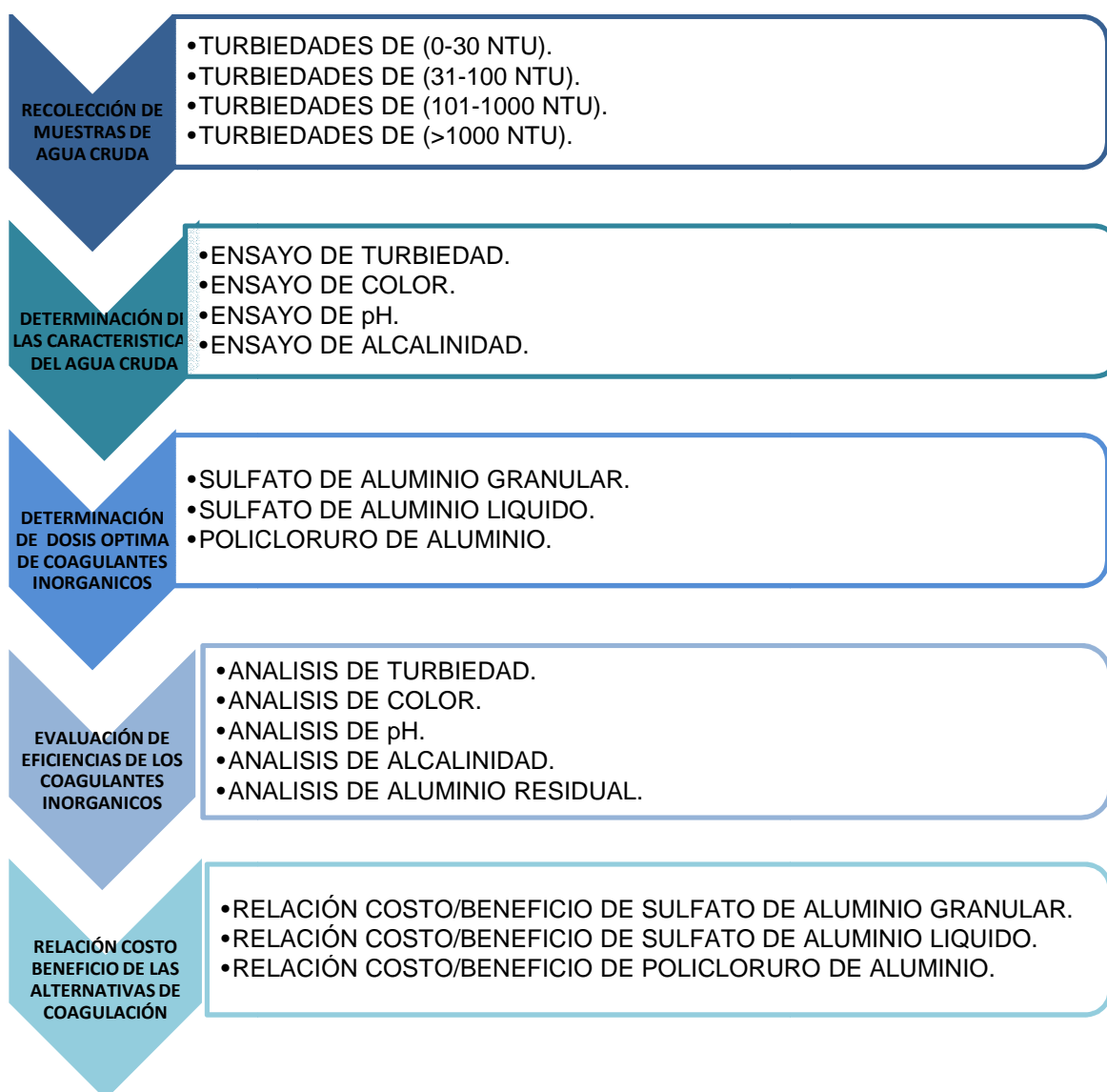
1. Se llenaron las jarras cuadradas de 2 litros con la muestra de agua cruda y se colocaron en la superficie del equipo para pruebas de jarras debajo de los agitadores, que a su vez fueron introducidos en las jarras.
2. Se adicionaron cantidades progresivas de sulfato de aluminio granular, líquido y PAC de concentración 10% p/v, al agua cruda mediante jeringas hipodérmicas (tratando de que las soluciones de coagulantes inorgánicos penetrarán profundamente para que la dispersión fuese más rápida), y simultáneamente se hizo girar las paletas del aparato a 100 rpm durante 35 segundos.
3. Transcurrido el tiempo de mezcla rápida fijado, se disminuyó la velocidad de rotación de las paletas del equipo para pruebas de jarras a 31 rpm, y se dejó flocular el agua durante 35 minutos.
4. Cumplido este tiempo se suspendió la agitación, se extrajeron las paletas y se dejó sedimentar el agua durante 50 minutos.
5. Luego se tomaron muestras de 100 ml, purgando las mangueras de las jarras previamente, es decir, dejando pasar un volumen no mayor a 5 ml antes de tomar la muestra a la cual se le iban a practicar los análisis correspondientes.

6. Una vez tomada las muestras se les determinaron la turbiedad residual, el pH, el color aparente, y el aluminio residual (ver anexo A)
7. Por último se procedió a graficar la turbiedad residual en (NTU) versus cantidad de coagulantes adicionados en (mg/l).

3. FASE EXPERIMENTAL

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la metodología utilizada, para la evaluación de los coagulantes inorgánicos en la PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable BOSCONIA).

Figura No. 1. Diagrama de Flujo de la metodología utilizada.



Fuente: Autores

3.1. Recolección de muestras de agua cruda.

Las muestras de agua empleadas en la evaluación de los diferentes coagulantes inorgánicos fueron recolectadas del río Suratá, entre los meses de Enero y Diciembre de 2011, para lograr un espectro amplio de turbiedades que incluyera la temporada de sol y de lluvia.

Se recolectaron 28 muestras de agua cruda con los siguientes rangos de turbiedad:

- 7 Muestras de agua cruda entre (0 NTU – 30 NTU).
- 7 Muestras de agua cruda entre (31 NTU – 100 NTU).
- 7 Muestras de agua cruda entre (101 NTU – 1000 NTU).
- 7 Muestras de agua cruda entre (>1000 NTU).

3.2 Determinación de las características del agua cruda. A las muestras de agua cruda se le practicaron los ensayos de turbiedad, color verdadero, pH y alcalinidad, para conocer las condiciones iniciales que permitieran realizar los ensayos de dosis óptima de coagulantes [12] (Ver Anexo A).

3.3 Determinación de dosis óptima de coagulantes inorgánicos. Mediante este ensayo se comparó el comportamiento de cada uno de los productos químicos empleados en el tratamiento de agua potable, objeto de este estudio, a través de la precisión de la dosis óptima de coagulante que produjera la más rápida desestabilización de las partículas coloidales.

Los coagulantes inorgánicos que se emplearon para realizar la evaluación fueron: Sulfato de aluminio granular tipo B, sulfato de aluminio líquido tipo B y policloruro de aluminio PAC, suministrados por Productos Químicos Panamericanos (PQP), Quinsa S.A. y EXRO, respectivamente.

Para esta determinación se utilizó el equipo de Pruebas de Jarras; que consta básicamente de un agitador múltiple de velocidad variable que puede crear turbulencia simultáneamente en seis (6) vasos de precipitado (figura 2). Utilizando este equipo, se reprodujeron las condiciones en las que se realizan los procesos de coagulación, floculación y la sedimentación en la PTAP evaluada, (Planta de Tratamiento de Agua Potable BOSCONIA).

VMR (Velocidad de mezcla rápida) = 100 rpm.
TMR (Tiempo de mezcla rápida) = 35 seg.
TML (Tiempo de mezcla lenta) = 35 min.
VML (Velocidad de mezcla lenta) = 31 rpm.
Ts (Tiempo de Sedimentación) = 50 min.

Figura No. 2 Equipo de Ensayo de Jarras



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Planta Bosconia

3.4 Evaluación de eficiencias de los coagulantes inorgánicos. En esta fase, se verificaron los rendimientos y eficiencias de los coagulantes inorgánicos utilizados en los ensayos de jarras, que se le practicaron a las diferentes muestras de agua

cruda, evaluando parámetros físico-químicos de control como la remoción de turbiedad residual y color aparente, disminución del pH y la alcalinidad y determinación de la concentración de aluminio residual en el agua sedimentada. (Ver Anexo A)

3.5 Evaluación económica de las alternativas de coagulación. Finalmente con la información obtenida de los ensayos de dosis óptima de coagulantes se determinó la relación costo/beneficio para cada uno de los productos químicos empleados (sulfato de aluminio granular, sulfato de aluminio líquido y policloruro de aluminio), con el fin de establecer criterios de aplicación en la PTAP, que no solo involucraran los aspectos técnicos, sino también los aspectos económicos.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. COMPORTAMIENTOS DE LOS COAGULANTES INORGÁNICOS.

A continuación se presenta el análisis de la comparación de las eficiencias entre el sulfato de aluminio granular y el sulfato de aluminio líquido, que son los coagulantes inorgánicos disponibles en el tratamiento de agua potable en la Planta Bosconia.

Al final de esta sección, se aborda las consideraciones para el Policloruro de Aluminio, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos se debe considerar esta opción en el futuro inmediato, como alternativa de tratamiento de agua. El estudio se desarrolló a pequeña escala, así que los resultados son únicamente válidos a nivel de laboratorio.

Para establecer las eficiencias de los coagulantes se tuvo en cuenta los porcentajes promedio de ingrediente activo, alúmina Al_2O_3 , presente en cada uno de ellos, así:

- Sulfato de Aluminio Granular 7,3 %
- Sulfato de Aluminio Líquido 15,2 %
- Policloruro de Aluminio 20,0 %

Se exceptúa la presentación comercial, forma de preparación, punto de aplicación, y dosificación de los coagulantes, para establecer el rendimiento obtenido en las determinaciones de dosis óptima en los ensayos de jarras.

La preparación de las soluciones y equipos empleados, así como los métodos analíticos de las diferentes determinaciones de los parámetros físico-químicos evaluados en este estudio, pueden ser consultados en el anexo B.

4.1.1 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades entre 0-30 NTU. La Tabla 1, presenta el resumen de las características de los ensayos de dosis óptima de los coagulantes inorgánicos practicados a las muestras de agua cruda del río Suratá con turbiedades entre 0-30 NTU.

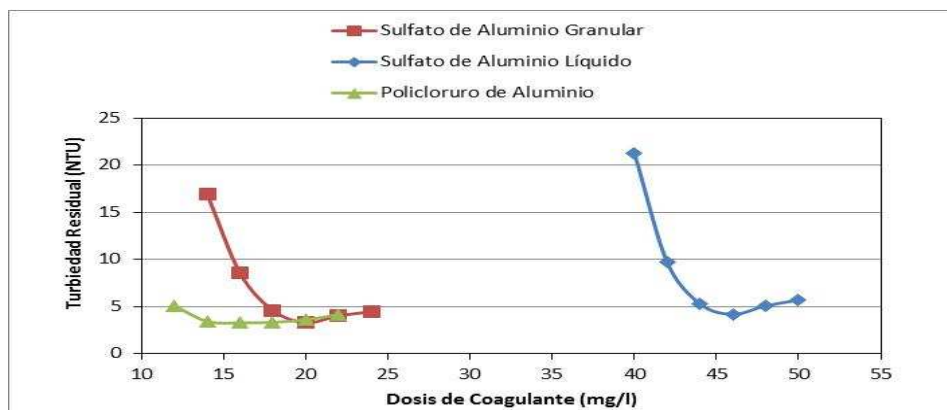
Tabla No. 1. Características de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 0-30 NTU

Muestras de Agua Cruda	[0 NTU- 30 NTU]						
	1	2	3	4	5	6	7
Caudal (l/s)	660	1090	1100	830	720	820	960
Turbiedad (NTU)	28,20	17,40	21,70	16,10	14,80	26,00	12,80
Color Verdadero (UPC)	192	51	163	98	65	44	37
pH (Unidades)	7,93	7,95	8,30	8,24	7,94	8,19	7,82
Alcalinidad (mg CaCO₃/l)	60,60	55,60	64,40	72,20	59,00	63,60	58,40
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Granular (mg/l)	20	18	20	16	10	20	10
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Líquido (mg/l)	44	42	44	40	26	44	22
Dosis Óptima Policloruro de Aluminio (mg/l)	14	10	12	10	8	12	6

Fuente: Autores

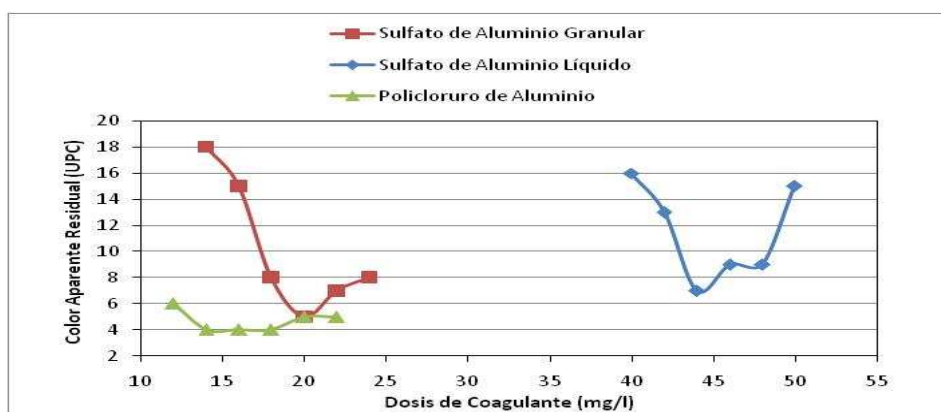
A manera de ejemplo, los resultados de la muestra N°1 se grafican en las figuras 3 - 7, con el fin de presentar la eficiencia del sulfato de aluminio granular, sulfato de aluminio líquido y el policloruro de aluminio, en términos de la turbiedad residual, color aparente, pH, alcalinidad y aluminio residual del agua sedimentada.

Figura No. 3 Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N^o1.



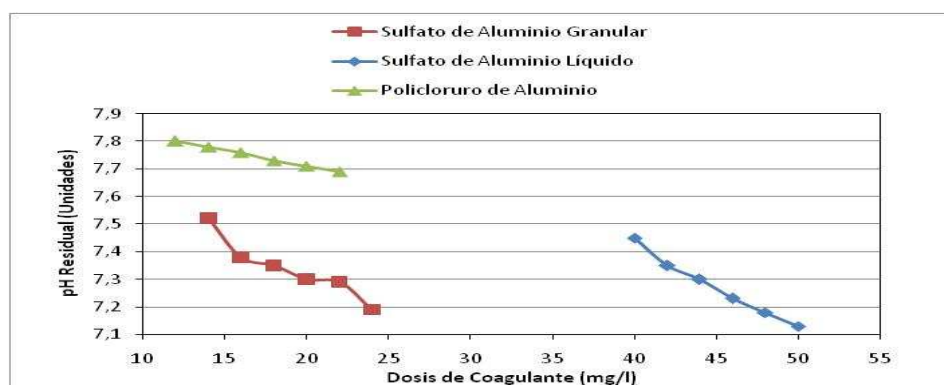
Fuente: Autores

Figura No. 4 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N^o1.



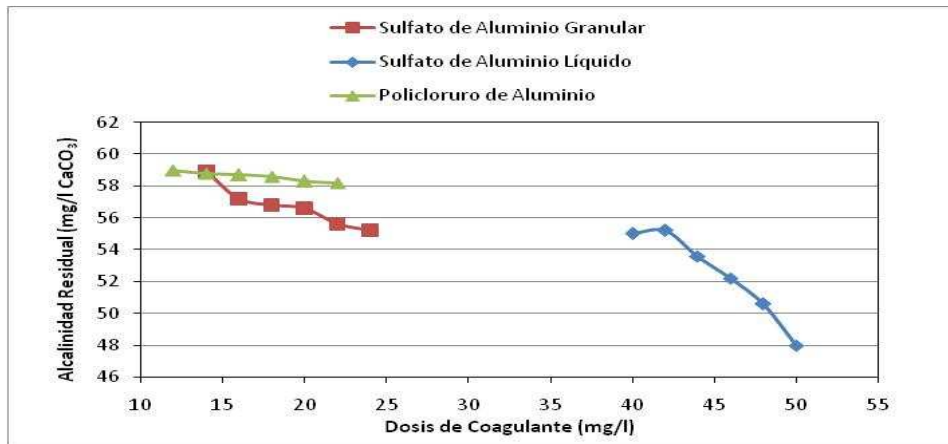
Fuente: Autores

Figura No. 5. pH vs dosis de coagulantes para la muestra N^o1.



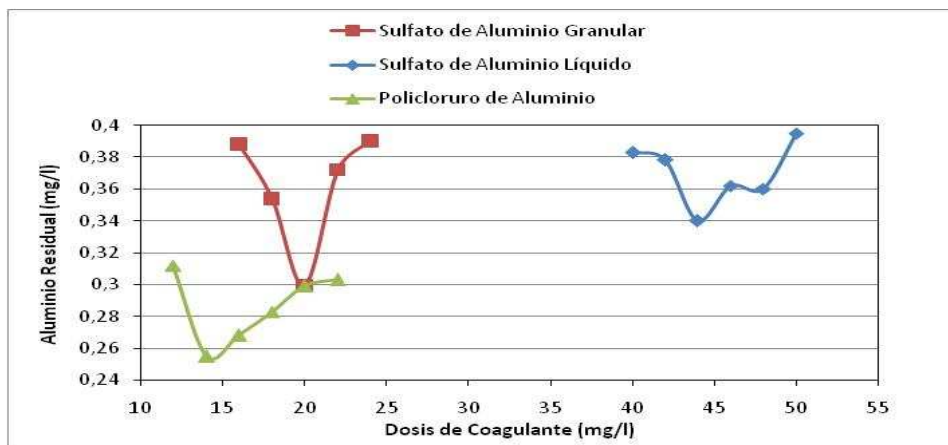
Fuente: Autores

Figura No. 6 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°1.



Fuente: Autores

Figura No. 7. Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°1.



Fuente: Autores

Para las muestras de agua cruda con turbiedades entre 0 y 30 NTU, en terminos de remoción de las turbiedades y colores residuales en el agua sedimentada, se observa un mejor rendimiento del sulfato de aluminio granular, comparado con el sulfato de aluminio líquido, probablemente, este comportamiento sea producto de la gran cantidad de material insoluble que contiene, y que al ser adicionado al agua con turbiedades bajas, le proporciona a la misma, sólidos inertes que transfieren peso al floc que se forma y favorece su posterior sedimentación.

No se aprecia una tendencia clara entre cual de los dos productos, el sulfato de aluminio granular y sulfato de aluminio líquido, sea el que consume mas alcalinidad, y por consiguiente desminuya mas el pH, sin embargo con ambos coagulantes se obtienen los parametros dentro del rango establecido por la resolución 2115 de 2007, para determinación de agua apta para consumo humano.

4.1.2 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31-100 NTU. La Tabla 2, presenta el resumen de las características de los ensayos de dosis óptima de los coagulantes inorgánicos practicados a las muestras de agua cruda del río Suratá con turbiedades entre 31-100 NTU.

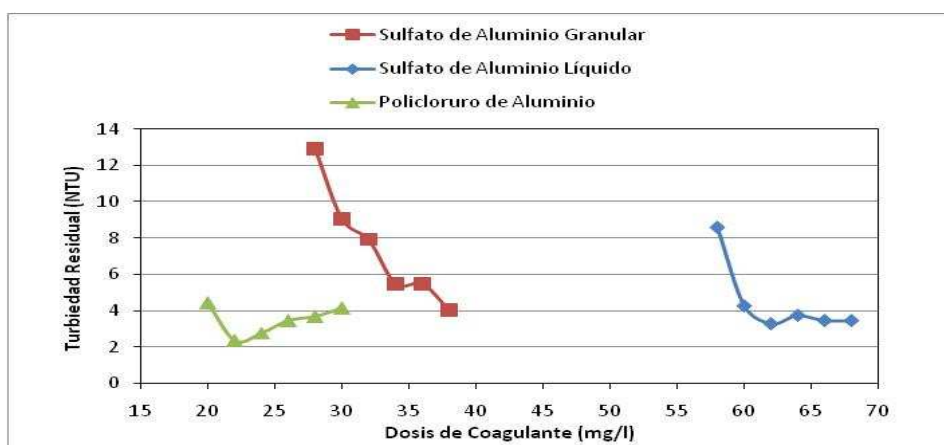
Tabla No. 2. Características de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31-100 NTU

Muestras de Agua Cruda	[31 NTU- 100 NTU]						
	8	9	10	11	12	13	14
Caudal (l/s)	750	725	1050	820	800	1010	1200
Turbiedad (NTU)	42,10	45,20	65,20	80,70	93,90	53,50	74,50
Color Verdadero (UPC)	75	82	170	265	190	178	112
pH (Unidades)	8,06	7,95	7,91	7,87	7,96	8,18	8,14
Alcalinidad (mg CaCO₃/l)	64,40	63,60	58,80	54,80	64,00	66,40	65,50
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Granular (mg/l)	22	24	34	38	36	34	30
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Líquido (mg/l)	40	46	64	68	68	62	56
Dosis Óptima Policloruro de Aluminio (mg/l)	16	18	26	26	26	22	24

Fuente: Autores

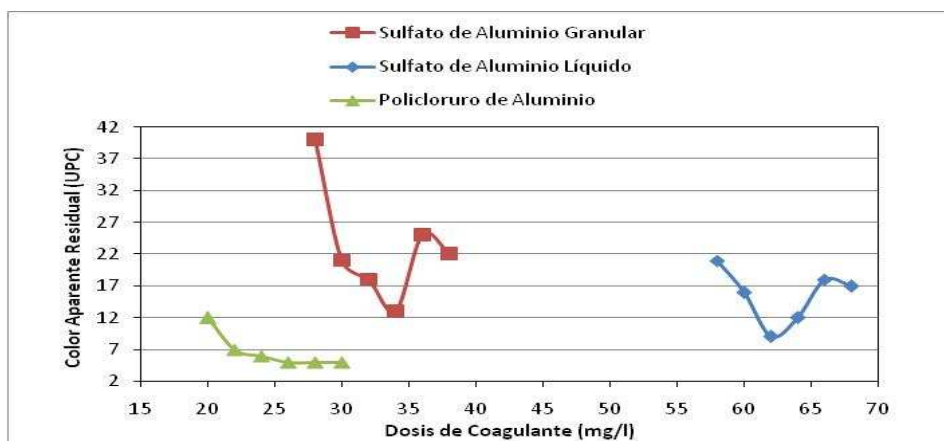
A manera de ejemplo, los resultados de la muestra N°13 se grafican en las figuras 8 - 12, con el fin de presentar la eficiencia del sulfato de aluminio granular, sulfato de aluminio líquido y el policloruro de aluminio, en términos de la turbiedad residual, color aparente, pH, alcalinidad y aluminio residual del agua sedimentada.

Figura No. 8. Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.



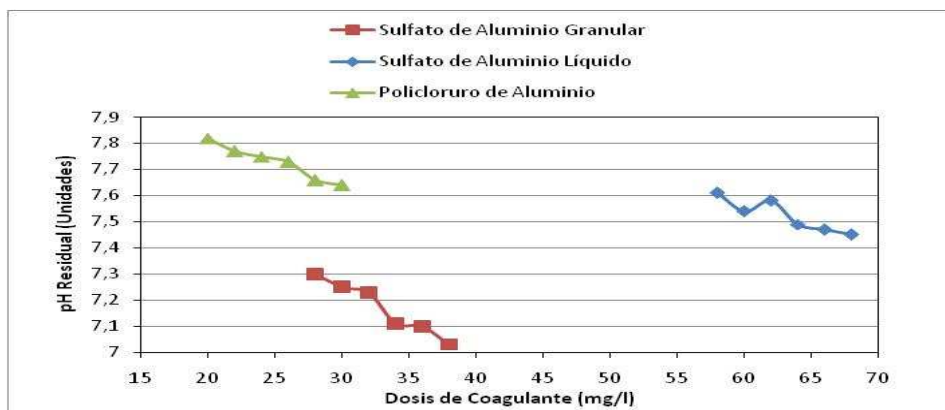
Fuente: Autores

Figura No. 9 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.



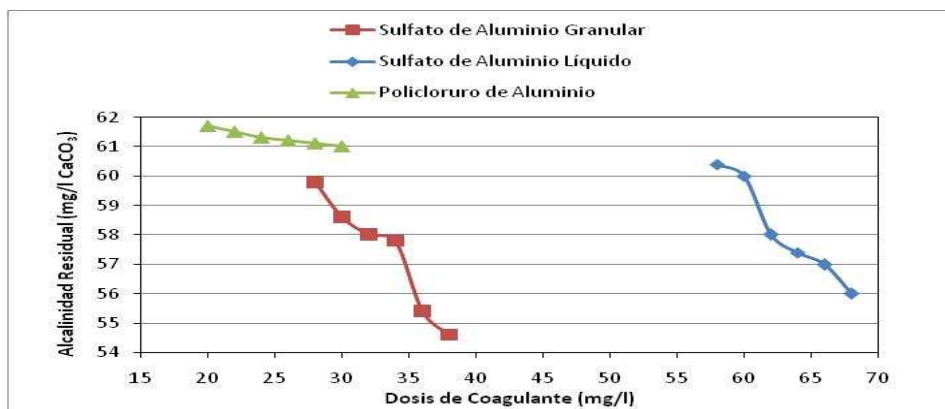
Fuente: Autores

Figura No. 10. pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.



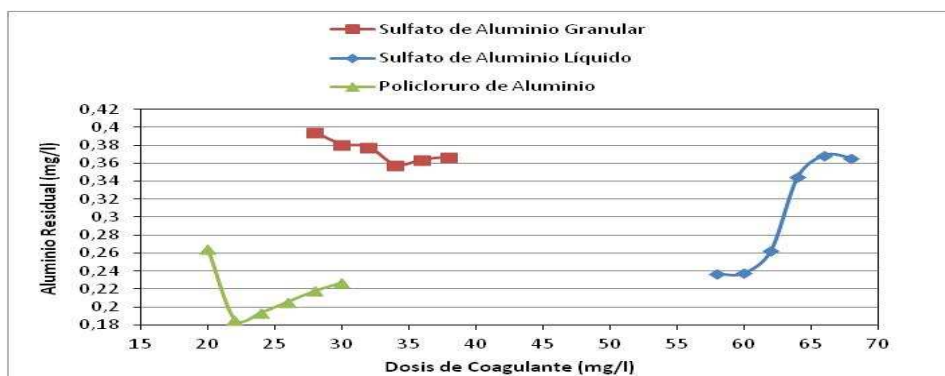
Fuente: Autores

Figura No. 11 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.



Fuente: Autores

Figura No. 12. Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°13.



Fuente: Autores

Para las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31 y 100 NTU, se observa en términos de remoción de las turbiedades y colores residuales en el agua sedimentada, un mejor rendimiento del sulfato de aluminio líquido, comparado con el sulfato de aluminio granular, lo anterior puede obedecer a que las dosis de coagulante son mayores en este rango de turbiedades, potenciando aún más la hidrólisis en el sulfato de aluminio granular, y por consiguiente disminuyendo los sitios activos que favorecen la unión entre cargas negativas del agua cruda y las cargas positivas del coagulante adicionado, ocasionando una reducción de la eficiencia del sulfato de aluminio granular.

Un aspecto que merece la atención y que está relacionado con lo expuesto anteriormente, es la competencia que existe entre las especies químicas en el agua cruda por los sitios activos de los coagulantes, y que de acuerdo a los resultados obtenidos, se advierte en menor proporción con el sulfato de aluminio líquido, quizás influya el tipo de presentación en el que se encuentran los coagulantes, cuando reaccionan con el agua cruda, para lograr en un mayor porcentaje la interacción con la alcalinidad, que con los otros iones químicos presentes, es decir, hay una mayor afinidad de la alcalinidad del agua cruda por el sulfato de aluminio líquido.

Otra razón por la cual el sulfato de aluminio granular reduce su eficiencia es que debe ser solubilizado para poderse dosificar, lo que conlleva a que algunas moléculas se aglomeren, y no puedan interactuar con las cargas negativas presentes en el agua cruda, dicha situación no se presenta con el sulfato de aluminio líquido, ya que se comercializa solubilizado en una matriz líquida (agua). Respecto al pH y la alcalinidad se observa que las muestras trabajadas con sulfato de aluminio líquido ofrecen una ventaja adicional para el tratamiento de este tipo de aguas, ya que disminuyen en menor proporción el pH y la alcalinidad residual es mayor, lo cual garantiza que si fuese necesario mayores dosis de coagulantes,

se podría agregar sin inconvenientes, porque todavía cuenta con alcalinidad para seguir reaccionando, sin comprometer el pH de coagulación.

Sin embargo con ambos coagulantes se obtienen los parametros dentro del rango establecido por la resolución 2115 de 2007, para determinación de agua apta para consumo humano.

4.1.3 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades entre 101-1000 NTU. La Tabla 3, presenta el resumen de las características de los ensayos de dosis óptima de los coagulantes inorgánicos practicados a las muestras de agua cruda del río Suratá con turbiedades entre 101-1000 NTU.

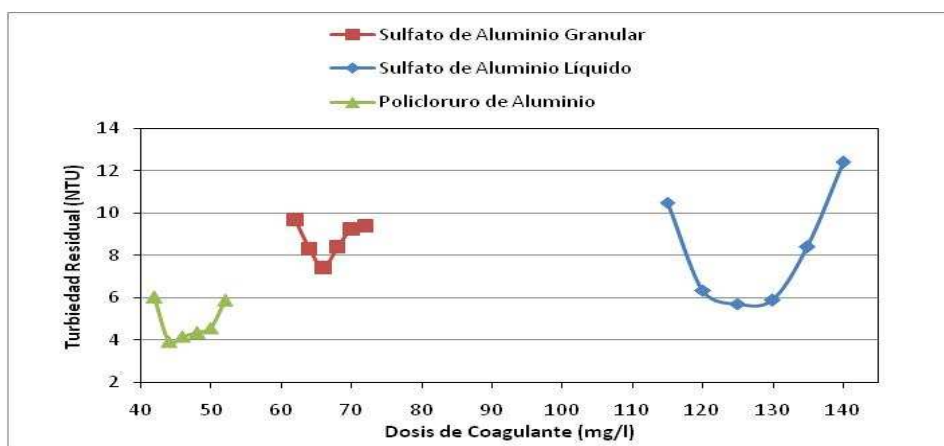
Tabla No. 3 Características de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 101-1000 NTU

Muestras de Agua Cruda	[101 NTU- 1000 NTU]						
	15	16	17	18	19	20	21
Caudal (l/s)	780	800	850	760	850	810	850
Turbiedad (NTU)	190	410	690	270	518	750	925
Color Verdadero (UPC)	273	880	1050	490	990	1120	1462
pH (Unidades)	7,93	7,69	7,80	8,17	8,04	8,06	7,95
Alcalinidad (mg CaCO₃/l)	62,00	47,00	52,00	62,80	58,60	58,20	60,00
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Granular (mg/l)	42	50	62	46	60	66	68
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Líquido (mg/l)	80	90	115	86	110	125	130
Dosis Óptima Policloruro de Aluminio (mg/l)	28	32	42	30	34	44	46

Fuente: Autores

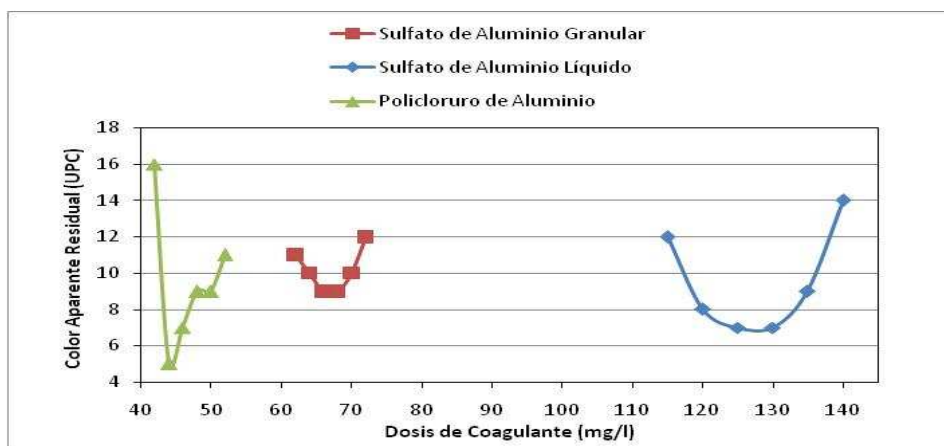
A manera de ejemplo, los resultados de la muestra N°20 se grafican en las figuras 13 - 17, con el fin de presentar la eficiencia del sulfato de aluminio granular, sulfato de aluminio líquido y el policloruro de aluminio, en términos de la turbiedad residual, color aparente, pH, alcalinidad y aluminio residual del agua sedimentada.

Figura No. 13 Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.



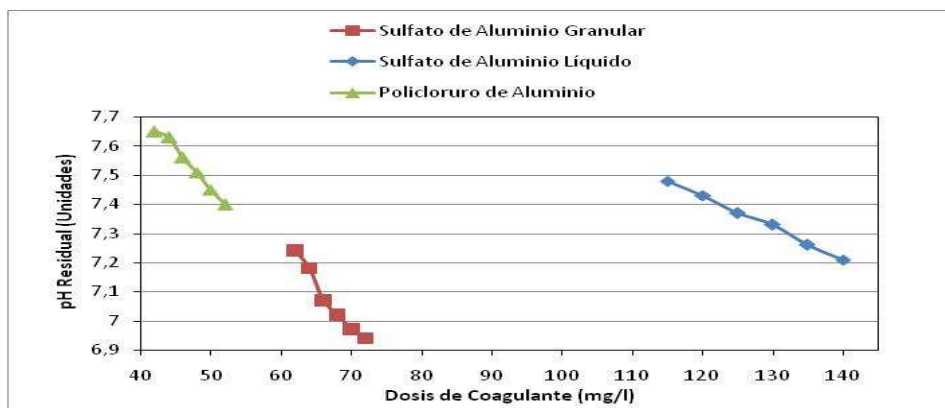
Fuente: Autores

Figura No. 14 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.



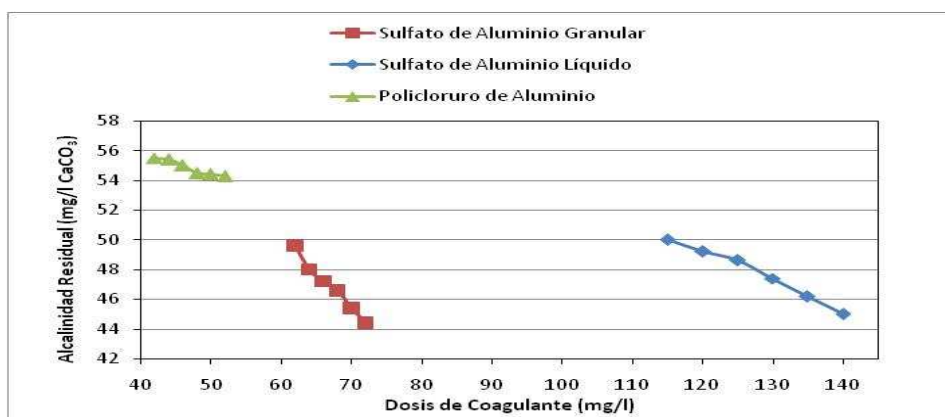
Fuente: Autores

Figura No. 15 pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.



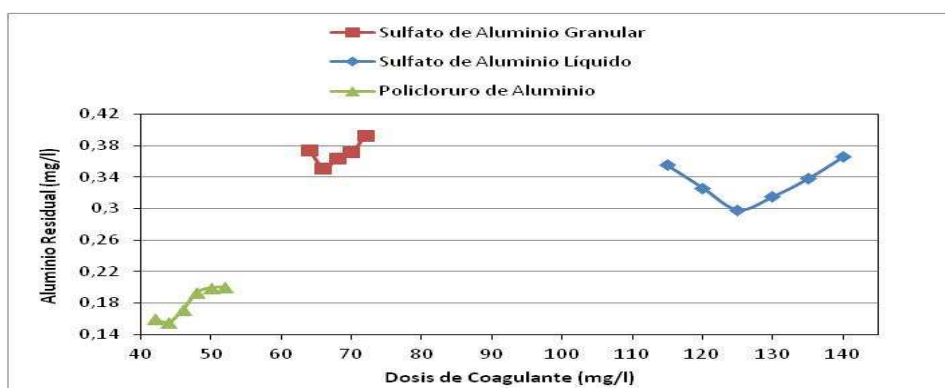
Fuente: Autores

Figura No. 16 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.



Fuente: Autores

Figura No. 17 Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°20.



Fuente: Autores

Para las muestras de agua cruda con turbiedades entre 101 y 1000 NTU, se observa las mismas tendencias de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31 y 100 NTU, en terminos de remoción de las turbiedades, colores, pH y alcalinidades residuales del agua sedimentada.

Por tal razón, son aplicables los mismos comentarios efectuados en el rango de turbiedades analizados anteriormente, para explicar los rendimientos del sulfato de aluminio líquido, comparado con el sulfato de aluminio granular, ya que el comportamiento es similar.

4.1.4 Comportamientos de los Coagulantes Inorgánicos en las muestras de agua cruda con turbiedades > 1000 NTU. La Tabla 4, presenta el resumen de las características de los ensayos de dosis óptima de los coagulantes inorgánicos practicados a las muestras de agua cruda del río Suratá con turbiedades >1000 NTU.

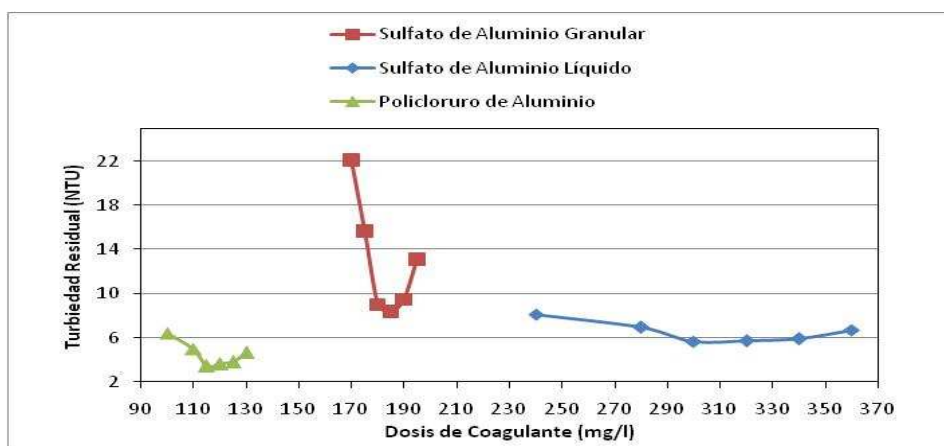
Tabla No. 4 Características de las muestras de agua cruda con turbiedades > 1000 NTU

Muestras de Agua Cruda	[>1000 NTU]						
	22	23	24	25	26	27	28
Caudal (l/s)	600	720	870	790	800	935	1000
Turbiedad (NTU)	1100	2370	3422	4250	1800	2900	3600
Color Verdadero (UPC)	1570	1730	2250	2620	1660	1940	2380
pH (Unidades)	7,68	7,65	7,50	7,60	7,62	7,70	7,80
Alcalinidad (mg CaCO₃/l)	60,60	54,20	50,00	53,00	53,40	62,10	62,50
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Granular (mg/l)	70	110	180	220	105	140	190
Dosis Óptima Sulfato de Aluminio Líquido (mg/l)	120	180	300	360	175	230	310
Dosis Óptima Policloruro de Aluminio (mg/l)	46	68	115	140	68	86	115

Fuente: Autores

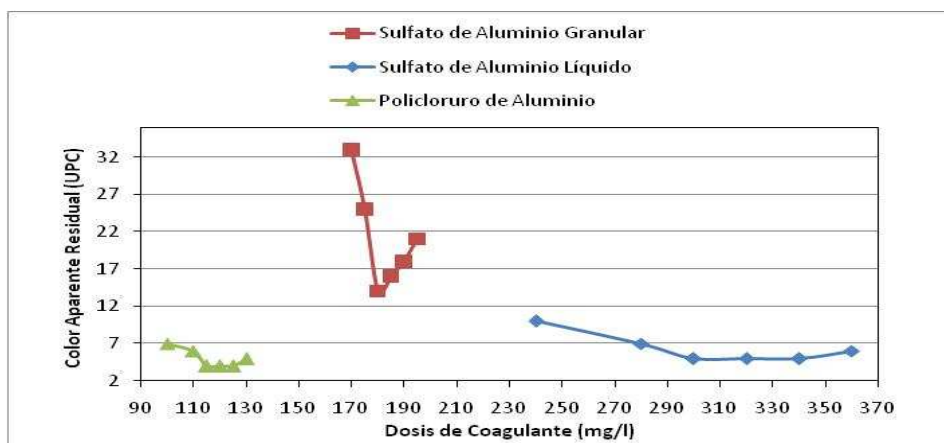
A manera de ejemplo, los resultados de la muestra N°24 se grafican en las figuras 18 - 22, con el fin de presentar la eficiencia del sulfato de aluminio granular, sulfato de aluminio líquido y el policloruro de aluminio, en términos de la turbiedad residual, color aparente, pH, alcalinidad y aluminio residual del agua sedimentada.

Figura No. 18. Turbiedad residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.



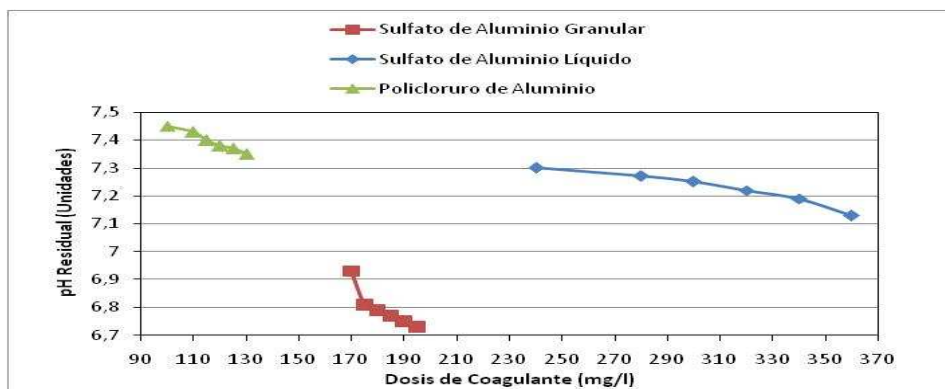
Fuente: Autores

Figura No. 19 Color aparente vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.



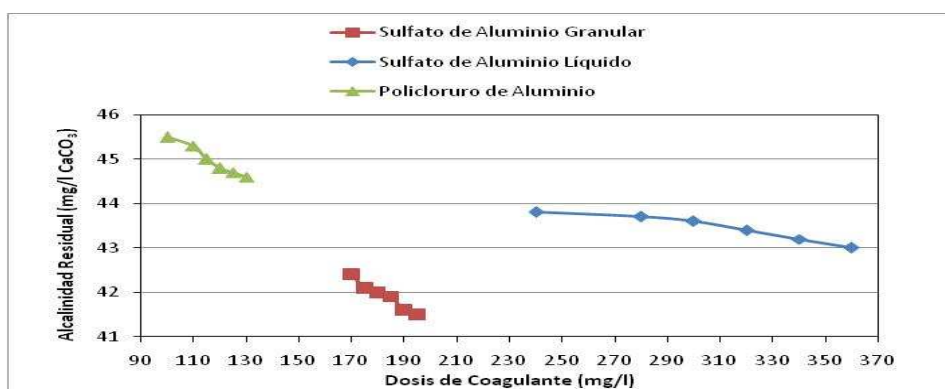
Fuente: Autores

Figura No. 20 pH vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.



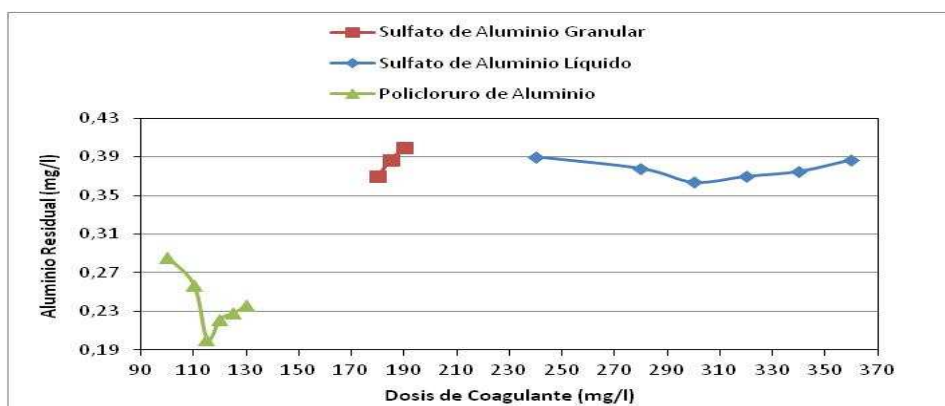
Fuente: Autores

Figura No. 21 Alcalinidad vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.



Fuente: Autores

Figura No. 22 Aluminio residual vs dosis de coagulantes para la muestra N°24.



Fuente: Autores

Para las muestras de agua cruda con turbiedades superiores a 1000 NTU, se observa igual similitud en el comportamiento de las muestras de agua cruda con turbiedades entre 31 - 100 NTU y 101 - 1000 NTU.

Las pruebas de aluminio residual, que se efectuaron a las 28 muestras de agua cruda, arrojaron valores superiores al establecido en el la resolución 2115 de 2007, sin embargo, el espíritu de la normatividad está orientado a la evaluación del agua tratada, y como la muestra utilizada para los ensayos fué agua sedimentada, los resultados no se pueden considerar como un indicador de calidad del agua, ya que el proceso de potabilización incluye entre otros la FILTRACIÓN, en donde también ocurre la remoción del coagulante residual, y la cual no fué objeto de estudio en este trabajo.

No obstante, el proposito del ensayo fue la de identificar cual de los coagulantes presentaba mayor afectación al medio ambiente por vertimiento contaminados, relacionandolos con la concentración de aluminio residual en el agua sedimentada, y el grado de impacto a la salud de los consumidores por la magnitud de las concentraciones de aluminio residual en el agua analizada.

Por lo expuesto anteriormente podemos concluir que se presenta mayor afectación con los vertimientos de lodos producidos con sulfato de aluminio granular, debido a una mayor concentración de aluminio residual en las aguas tratadas con este coagulante, de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de jarras presentados en el anexo A.

Técnicamente el policloruro de aluminio, se evidencia como la mejor alternativa de coagulación en terminos de calidad del agua, ya que en la totalidad de los ensayos se demostró con un amplio margen comparandolo tanto con el sulfato de aluminio granular como con el sulfato de aluminio líquido que se obtienen menores turbiedades y colores residuales en el agua sedimentada.

Además ofrece la ventaja de no consumir la alcalinidad del agua cruda, generando que se disminuya en menor proporción el pH del agua, por consiguiente reduce al mínimo la probabilidad de adicionar cal primaria para la estabilización al final del proceso de tratamiento.

La gráfica en forma de U muy común en estos tipos de ensayos de jarras, en los que se pretende determinar la dosis óptima de coagulante se explica de la siguiente forma, primero se origina un descenso en la turbiedad a medida que se incrementa la dosis de sulfato de aluminio comportamiento generado por el coagulante que aporta partículas positivas que reaccionan con la gran cantidad de partículas negativas (potencial zeta negativo), provenientes del agua cruda para su desestabilización y posterior precipitación, seguido encontramos el punto de inflexión el cual, es considerado como la dosis óptima de coagulante, después se produce un aumento de la turbiedad al agregar mayores dosis de sulfato de aluminio, debido al efecto producido por exceso del coagulante inorgánico (Sulfato de Aluminio), lo cual genera una inversión de cargas en la doble capa eléctrica, modificando el potencial zeta, es decir, volviéndolo positivo y provocando una estabilización de la emulsión, pero ya no por la acumulación de cargas negativas, sino de cargas positivas.

5. RELACIÓN COSTO BENEFICIO

La Tabla 5 indica el costo de los coagulantes teniendo en cuenta las dosis promedio de cada uno de ellos para los rangos de las turbiedades evaluadas.

NOTA: Se consideraron los precios promedios actuales del mercado para estos tres coagulantes:

- Sulfato de Aluminio Granular \$ 665 /Kg.
- Sulfato de Aluminio Líquido \$ 385 /Kg.
- Policloruro de Aluminio \$ 1125 /Kg.

Tabla No. 5 Costo promedio de los coagulantes evaluados para cada uno de los rangos de turbiedad definidos.

Rangos de Turbiedades	Dosis Promedio Sulfato de Aluminio Granular g/m ³	Costo Sulfato de Aluminio Granular \$/g	Dosis Promedio Sulfato de Aluminio Líquido g/m ³	Costo Sulfato de Aluminio Líquido \$/g	Dosis Promedio Policloruro de Aluminio g/m ³	Costo Policloruro de Aluminio \$/g
0-30 NTU	16,28	10,83	37,42	14,41	10,28	11,57
31-100 NTU	31,14	20,71	57,71	22,22	22,57	25,39
101-1000 NTU	56,28	37,43	105,14	40,48	36,57	41,14
>1000 NTU	145,00	96,43	239,28	92,13	91,14	102,53

Fuente: Autores

Analizando los resultados, el sulfato de aluminio granular presenta las mayores ventajas económicas en los tres primeros rangos evaluados (0-30 NTU, 31-100 NTU y 101-1000 NTU), a excepción del último rango (>1000 NTU) en el cual podemos observar que el sulfato de aluminio líquido implica un menor costo.

En la relación costo beneficio no se contemplaron las ventajas operativas de cada uno de los coagulantes, tales como:

- La no adición de productos para estabilización de pH.
- Menor grado de incidencia en la afectación a la salud de los operarios cuando se realizan las actividades de descargue del producto granular por emisiones de material particulado.
- Reducción del pago de tasas retributivas por la disminución en la producción de lodos.
- Disminución del costo de mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Reducción en el pago de energía de eléctrica por el uso de motores para la preparación del sulfato de aluminio granular.

Lo anterior finalmente se puede traducir en la reducción de costos del tratamiento, modificando la selección del coagulante.

6. CONCLUSIONES

Comparando las eficiencias de los coagulantes sulfato de aluminio granular y sulfato de aluminio líquido, que son las alternativas de coagulación actuales que dispone la Planta de tratamiento de agua potable Bosconia en donde se desarrolló el estudio, podemos concluir lo siguiente:

Para muestras de agua cruda entre 0-30 NTU, el coagulante que presentó un mejor eficiencia en la remoción de turbiedad y color, al menor costo, fue el sulfato de aluminio granular, aunque presenta algunas desventajas, como su difícil manipulación, degradación por la exposición a la humedad, aumento de las actividades ya que se debe preparar la solución a aplicar, emisión de material particulado y mayor mantenimiento de los equipos dosificadores y tanques de preparación de la solución debido a la producción de sedimentos.

Para muestras de agua cruda superiores a 31 NTU, que es un intervalo de frecuencia que comprende el 90% de las aguas del río suratá que abastece a la planta **Bosconia**, se concluye que la mejor alternativa técnica de coagulación para la remoción de turbiedad y color es el sulfato de aluminio líquido, el cual posee la ventaja de utilizarse tal cual como se comercializa lo que facilita su dosificación.

Reconocimiento especial merece el policloruro de aluminio quien obtuvo la mejor eficiencia técnica en todo el espectro de turbiedades del agua cruda analizada, mediante los ensayos de dosis óptima de los coagulantes, el cual ofrece dentro de sus beneficios para el proceso de clarificación, mayor velocidad de sedimentación de los flocs producidos y un comportamiento eficaz en un rango más amplio de pH del agua cruda, promoviéndolo como una alternativa de coagulación viable en el futuro inmediato de la planta Bosconia.

Las pruebas de aluminio residual, nos indican una menor afectación al ambiente con los vertimientos de lodos producidos con sulfato de aluminio líquido y policloruro de aluminio, e igualmente también se produce un menor impacto a la salud con estos coagulantes.

En términos generales utilizando cualquier coagulante empleado en este estudio, para el tratamiento de agua potable, se garantiza el cumplimiento de la normatividad aplicable vigente, lo que demuestra un tratamiento del agua factible y técnicamente acertado en la Planta Bosconia.

Con respecto a la evaluación económica podemos concluir que los tres coagulantes son alternativas que nos brindan una relación costo/beneficio viable para el tratamiento del agua potable.

7. RECOMENDACIONES

Se sugiere almacenar las muestras de agua en un lugar fresco donde se conserven sus propiedades y realizar las pruebas de jarras lo más rápido posible con el propósito de no alterar los resultados de las pruebas.

Lavar muy bien todo el material utilizado, después de realizar cada ensayo, para evitar las posibles contaminaciones cruzadas en las muestras a caracterizar en el laboratorio.

Realizar la prueba en planta por un tiempo determinado con el Policloruro de aluminio, con el fin de obtener datos más representativos que permitan tomar decisiones acertadas, en la implementación o no de esta alternativa.

Realizar en las pruebas de jarras, el análisis de coagulante residual a las muestras de agua filtradas y no sedimentadas, para establecer un concepto más acertado acerca de las posibles afectaciones al ambiente y a la salud generadas por los coagulantes evaluados.

BIBLIOGRAFÍA

[1] RINNE, Tuomas. Superación sanitaria y ambiental: El reto. XXII congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental. AIDIS: asociación interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental – capitulo Honduras: 2001

[2] ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 ed. Bogotá. Asociación colombiana de ingeniería sanitaria y ambiental “ACODAL”. Mc Graw Hill. 2000.

[3] RESOLUCIÓN 2115 de junio 22 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. República de Colombia.

[4] SUAY, Llopis, Loreto. BALLESTER, Díez Ferran. Revisión de los Estudios sobre Exposición al Aluminio y Enfermedad de Alzheimer. Revista Española de Salud Pública ISSN 1135-5727 Rev. Esp. Salud Publica vol. 76 no. 6 Madrid: 2002.

[5] KEMMER, Frank N; McCallion, John. Manual Del agua, tratamiento y aplicaciones. 1 ed. México. Nalco Chemical Company. Mc Graw Hill, 1989. Pág: 2-8

[6] AMERICAN WATER WORKS ASOCIATION (AWWA). Calidad y tratamiento del agua. 5 ed. Madrid. Mc Graw-Hill. 2002, Pág: 297-298, 363, 917-921

[7] BERÓN, Fabiola. Uso de Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio en el río Cauca como coagulante Primario. Santiago de Cali. Seminario internacional:

Actualización y nuevas tendencias en potabilización de agua. ACODAL, 2004. Pág.: 5-10, 13.

[8] MONTEJO, E. nuevos conceptos en los procesos de coagulación-floculación de agua cruda. Puerto la cruz. Universidad de oriente, escuela de ingeniería y ciencias aplicadas. 1989. Pág.:66, 67, 69,70

[9] ROMERO, Rojas Jairo Alberto. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2009, Pág: 239-240

[10] BJORKSTEIN, J.A. Dietary aluminium and alzheymer's disease. The science of the total environmental 25: 81 – 84 1982. Consultado en: <http://www.inmunotec.com.ar/index.php>.2006.

[11] ICONTEC, Normas Técnicas Colombianas NTC3903 de 1996. República de Colombia.

[12] Departamento de control de calidad del agua del AMB S.A. "ICC 801-001 métodos analíticos para el control de la calidad del agua". Noviembre del 2004.

ANEXOS

Anexo No. A. ENSAYOS DE DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTES INORGANICOS

Febrero 15 de 2011

$Q_{\text{Planta}} = 750 \text{ l/s}$

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
42,10	8,06	64,40	75

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
14	7,43	8,88	15	60,00	<i>Gama Exc,</i>
16	7,36	5,50	14	59,00	<i>Gama Exc,</i>
18	7,30	4,10	14	57,00	<i>Gama Exc,</i>
20	7,30	2,20	14	56,50	0,341
22	7,28	1,95	13	55,40	0,330
24	7,26	2,40	16	53,40	0,352

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
34	7,38	9,82	18	61,40	<i>Gama Exc,</i>
36	7,35	5,18	18	59,20	<i>Gama Exc,</i>
38	7,30	4,70	17	57,00	<i>Gama Exc,</i>
40	7,28	1,67	12	53,60	0,327
42	7,26	2,02	13	54,80	0,336
44	7,24	3,30	14	53,60	0,387

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
12	7,70	2,56	10	62,00	0,279
14	7,64	2,10	9	61,20	0,256
16	7,60	1,20	8	60,00	0,231
18	7,58	1,24	8	60,00	0,236
20	7,50	1,22	7	59,80	0,246
22	7,46	1,18	7	59,70	0,255

Febrero 28 de 2011

Q_{Planta} = 725 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
45,20	7,95	63,60	82

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
16	7,29	16,33	29	60,80	<i>Gama Exc,</i>
18	7,27	9,5	20	59,40	<i>Gama Exc,</i>
20	7,25	8,3	20	58,80	<i>Gama Exc,</i>
22	7,20	2,12	17	57,20	0,398
24	7,16	1,52	12	56,00	0,342
26	7,13	2,10	12	54,00	0,372

Ensayo Sulfato de Aluminio LÍQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
42	7,30	7,50	20	61,00	<i>Gama Exc,</i>
44	7,22	3,15	18	59,80	<i>Gama Exc,</i>
46	7,20	1,23	12	59,00	0,320
48	7,17	1,25	15	57,80	0,329
50	7,14	1,25	16	56,00	0,332
52	7,13	1,34	16	55,00	0,341

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
12	7,60	2,45	10	60,00	0,265
14	7,57	2,36	9	59,20	0,247
16	7,51	2,10	8	59,00	0,222
18	7,48	1,04	7	59,00	0,198
20	7,43	1,22	7	58,70	0,206
22	7,35	1,18	7	58,60	0,200

Marzo 17 de 2011

Q_{Planta} = 780 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
190	7,93	62,00	273

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
36	7,35	8,60	20	57,40	<i>Gama Exc,</i>
38	7,24	4,20	15	57,00	<i>Gama Exc,</i>
40	7,16	2,54	10	56,40	0,383
42	7,13	1,55	9	55,80	0,346
44	7,09	1,65	16	54,20	0,391
46	7,05	1,43	14	53,20	0,343

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
72	7,31	8,17	22	59,00	<i>Gama Exc,</i>
74	7,26	6,05	10	58,00	<i>Gama Exc,</i>
76	7,21	3,34	7	57,20	<i>Gama Exc,</i>
78	7,17	2,71	8	56,40	0,316
80	7,14	1,30	9	55,00	0,295
82	7,09	1,65	15	53,40	0,390

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
22	7,70	2,45	10	62,00	0,265
24	7,64	2,36	9	61,20	0,247
26	7,60	2,10	8	60,00	0,222
28	7,58	1,14	5	60,00	0,206
30	7,50	1,12	6	59,80	0,200
32	7,46	1,08	6	59,70	0,198

Abril 22 de 2011

Q_{Planta} = 800 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
410	7,69	47,00	880

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
42	7,06	12,50	35	39,20	<i>Gama Exc,</i>
44	7,02	8,30	29	38,00	<i>Gama Exc,</i>
46	6,98	7,60	25	37,20	0,253
48	6,95	3,60	24	36,60	0,212
50	6,93	2,40	18	35,00	0,176
52	6,87	2,90	20	33,00	0,194

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
84	7,04	14,20	86	37,40	<i>Gama Exc,</i>
86	7,00	8,90	63	36,80	<i>Gama Exc,</i>
88	6,97	5,20	41	35,40	0,182
90	6,96	1,50	16	33,60	0,140
92	6,90	1,46	20	32,60	0,165
94	6,86	1,45	24	31,00	0,169

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
28	7,56	2,45	10	45,70	0,265
30	7,53	2,36	9	45,60	0,247
32	7,50	1,18	6	45,50	0,200
34	7,49	1,24	5	45,40	0,205
36	7,42	1,22	5	45,30	0,218
38	7,36	1,20	5	45,10	0,215

Abril 25 de 2011

Q_{Planta} = 850 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
690	7,80	52,00	1060

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
54	6,86	29,80	175	37,40	<i>Gama Exc,</i>
56	6,80	24,00	90	36,00	<i>Gama Exc,</i>
58	6,72	7,10	47	34,80	0,279
60	6,65	4,90	32	33,60	0,202
62	6,45	3,40	16	29,00	0,177
64	6,45	3,00	18	29,00	0,182

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
100	6,8	23,00	73	36,00	<i>Gama Exc,</i>
105	6,73	12,10	50	34,20	<i>Gama Exc,</i>
110	6,65	5,30	29	33,20	0,392
115	6,61	3,30	14	30,80	0,162
120	6,50	4,60	19	29,40	0,203
125	6,41	4,90	23	28,00	0,358

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
38	7,65	6,45	14	46,80	0,275
40	7,63	4,36	9	46,60	0,237
42	7,60	2,38	9	46,00	0,146
44	7,56	2,44	9	45,60	0,155
46	7,55	2,42	8	45,40	0,158
48	7,56	2,40	8	45,30	0,158

Abril 27 de 2011

Q_{Planta} = 760 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
270	8,17	62,80	490

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
42	7,31	15,72	35	58,40	<i>Gama Exc,</i>
44	7,26	12,30	27	58,00	0,381
46	7,22	6,20	15	57,60	0,312
48	7,17	6,10	22	56,40	0,329
50	7,12	5,40	18	54,00	0,306
52	7,10	4,70	18	52,40	0,302

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
80	7,27	13,90	26	58,40	<i>Gama Exc,</i>
82	7,20	9,57	18	58,00	0,379
84	7,16	5,89	12	57,40	0,350
86	7,14	3,70	7	56,00	0,302
88	7,1	2,80	12	54,40	0,343
90	7,07	3,90	14	53,60	0,388

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
26	7,90	4,87	10	58,70	0,269
28	7,88	3,63	7	58,40	0,247
30	7,86	2,18	5	57,80	0,234
32	7,84	1,25	4	57,60	0,226
34	7,80	1,09	4	57,50	0,218
36	7,79	1,00	3	57,40	0,203

Mayo 08 de 2011

Q_{Planta} = 850 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
518	8,04	58,60	990

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
56	7,17	20,80	160	51,20	<i>Gama Exc,</i>
58	7,10	14,50	50	50,00	<i>Gama Exc,</i>
60	7,07	7,90	10	49,60	0,350
64	7,02	9,98	15	48,20	0,360
68	6,86	9,96	18	47,20	0,384
72	6,92	9,30	27	45,60	0,375

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
105	7,10	10,40	32	51,00	<i>Gama Exc,</i>
110	7,02	4,90	8	48,90	0,348
115	7,00	5,20	9	49,20	0,389
120	6,96	7,03	9	48,60	0,383
125	6,95	7,65	9	48,00	0,385
130	6,94	7,45	8	46,00	0,363

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
30	7,70	4,87	10	53,10	0,269
32	7,75	3,63	7	52,90	0,247
34	7,66	2,18	5	52,50	0,234
36	7,63	2,25	4	52,40	0,226
38	7,62	2,39	4	52,30	0,218
40	7,59	1,90	3	52,00	0,203

Mayo 09 de 2011

Q_{Planta} = 1050 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
65,20	7,91	58,80	170

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
26	7,04	11,68	24	48,40	Gama Exc,
28	7,03	8,24	19	47,00	Gama Exc,
30	7,01	7,98	16	45,60	Gama Exc,
32	7,0	6,08	12	44,60	0,394
34	7,02	4,49	9	43,60	0,379
36	7,04	1,34	9	42,80	0,335

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
56	7,06	7,21	21	48,00	Gama Exc,
58	7,08	6,70	15	46,40	0,380
60	7,03	5,16	10	45,20	0,378
62	7,00	4,82	6	44,40	0,363
64	7,04	3,54	5	43,00	0,298
66	7,01	2,62	5	42,00	0,314

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
20	7,76	4,59	6	51,50	0,312
22	7,65	3,53	6	51,00	0,291
24	7,61	3,18	5	50,50	0,267
26	7,61	2,67	3	50,00	0,245
28	7,55	2,46	5	49,80	0,268
30	7,54	3,03	5	49,70	0,281

Mayo 10 de 2011

Q_{Planta} = 820 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
80,70	7,87	54,80	265

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
32	7,12	14,3	15	44,00	<i>Gama Exc,</i>
34	7,14	10,1	10	43,20	0,388
36	7,10	4,06	8	42,60	0,347
38	7,04	1,81	6	42,40	0,257
40	7,01	1,61	6	41,40	0,328
42	7,02	1,65	5	41,00	0,327

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
62	7,22	5,78	8	48,40	0,322,
64	7,14	3,12	7	48,00	0,301
66	7,11	2,59	7	47,80	0,280
68	7,08	1,34	4	47,00	0,253
70	7,06	1,51	3	46,40	0,274
72	7,01	1,66	3	45,60	0,297

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
20	7,65	2,59	4	51,30	0,239
22	7,62	1,53	4	51,00	0,208
24	7,60	1,18	2	50,90	0,189
26	7,56	0,97	1	50,50	0,143
28	7,54	1,16	1	50,20	0,178
30	7,50	1,13	2	50,10	0,195

Mayo 15 de 2011

Q_{Planta} = 800 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
93,90	7,96	64,00	190

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
32	7,36	22,50	25	62,00	0,346
34	7,41	16,13	17	68,00	0,328
36	7,23	7,28	9	58,20	0,317
38	7,23	8,16	13	58,00	0,326
40	7,18	8,27	11	57,60	0,346
42	7,19	9,43	13	56,40	0,370

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
64	7,38	14,30	22	61,60	<i>Gama Exc,</i>
66	7,37	9,65	16	60,60	<i>Gama Exc,</i>
68	7,28	5,30	7	58,80	0,311
70	7,28	5,41	10	58,40	0,345
72	7,30	5,24	12	56,60	0,359
74	7,17	5,27	14	54,40	0,361

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
20	7,73	8,56	12	62,50	0,324
22	7,71	6,34	7	62,10	0,304
24	7,68	5,78	6	62,00	0,269
26	7,66	3,17	5	61,80	0,246
28	7,64	3,46	5	61,50	0,268
30	7,60	4,53	5	61,20	0,285

Mayo 16 de 2011

Q_{Planta} = 1010 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
53,50	8,18	66,40	178

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
28	7,30	12,9	40	59,80	0,394
30	7,25	9,03	21	58,60	0,381
32	7,23	7,91	18	58,00	0,378
34	7,11	5,48	13	57,80	0,358
36	7,10	5,47	25	55,40	0,364
38	7,03	4,03	22	54,60	0,367

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
58	7,61	8,56	21	60,40	0,237
60	7,54	4,26	16	60,00	0,238
62	7,58	3,27	9	58,00	0,263
64	7,49	3,73	12	57,40	0,345
66	7,47	3,44	18	57,00	0,369
68	7,45	3,43	17	56,00	0,366

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
20	7,82	4,43	12	61,70	0,265
22	7,77	2,34	7	61,50	0,186
24	7,75	2,78	6	61,30	0,194
26	7,73	3,45	5	61,20	0,206
28	7,66	3,67	5	61,10	0,218
30	7,64	4,13	5	61,00	0,227

Mayo 17 de 2011

Q_{Planta} = 1200 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
74,50	8,14	65,50	112

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
26	7,49	14,41	17	60,20	<i>Gama Exc,</i>
28	7,44	8,13	14	60,00	0,380
30	7,37	5,14	8	58,00	0,346
32	7,35	4,49	8	58,80	0,366
34	7,33	4,06	8	56,00	0,392
36	7,27	4,83	9	57,00	0,395

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
50	7,56	6,72	9	60,70	0,394
54	7,51	5,39	7	60,00	0,356
56	7,49	3,20	7	58,00	0,322
58	7,43	3,80	7	56,00	0,341
60	7,37	3,73	7	57,00	0,395
62	7,33	3,93	7	57,00	0,397

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
20	7,72	5,52	6	63,30	0,355
22	7,65	2,54	4	62,50	0,332
24	7,61	2,04	3	62,40	0,298
26	7,56	2,35	3	62,30	0,276
28	7,54	2,62	2	62,10	0,241
30	7,51	2,13	4	61,80	0,298

Mayo 22 de 2011

Q_{Planta} = 660 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
28,20	7,93	60,60	192

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
14	7,52	16,90	18	58,90	<i>Gama Exc,</i>
16	7,38	8,56	15	57,20	0,388
18	7,35	4,61	8	56,80	0,354
20	7,30	3,31	5	56,60	0,299
22	7,29	4,05	7	55,60	0,372
24	7,19	4,46	8	55,20	0,390

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
40	7,45	21,30	16	55,00	0,383
42	7,35	9,70	13	55,20	0,378
44	7,30	5,30	7	53,60	0,340
46	7,23	4,20	9	52,20	0,362
48	7,18	5,10	9	50,60	0,360
50	7,13	5,70	15	48,00	0,395

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
12	7,80	5,10	6	59,00	0,312
14	7,78	3,44	4	58,80	0,255
16	7,76	3,29	4	58,70	0,268
18	7,73	3,35	4	58,60	0,283
20	7,71	3,62	5	58,30	0,299
22	7,69	4,17	5	58,20	0,303

Mayo 24 de 2011

Q_{Planta} = 600 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
1100	7,68	60,60	1570

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
66	6,77	23,4	45	43,00	0,310
68	6,65	14,6	29	41,80	0,296
70	6,62	7,28	15	38,0	0,293
72	6,58	13,9	21	36,60	0,377
74	6,52	9,38	28	36,40	0,390
76	6,49	7,73	28	36,80	0,313

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
105	6,65	8,73	39	43,60	<i>Gama Exc,</i>
110	6,69	6,78	26	42,00	0,385
115	6,71	6,43	20	42,50	0,371
120	6,73	5,55	11	41,80	0,356
125	6,67	6,90	16	40,60	0,383
130	6,63	9,10	22	40,00	0,391

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
42	7,44	6,33	18	56,40	<i>Gama Exc,</i>
44	7,43	5,78	14	56,30	<i>Gama Exc,</i>
46	7,40	3,78	6	56,20	0,321
48	7,37	4,46	8	56,20	0,363
50	7,35	4,97	8	56,00	0,387
52	7,34	5,62	10	55,80	<i>Gama Exc,</i>

Junio 04 de 2011

Q_{Planta} = 810 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
750	8,06	58,20	1120

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
62	7,24	9,70	11	49,60	<i>Gama Exc,</i>
64	7,18	8,30	10	48,00	0,374
66	7,07	7,40	9	47,20	0,351
68	7,02	8,40	9	46,60	0,364
70	6,97	9,25	10	45,40	0,372
72	6,94	9,40	12	44,40	0,393

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
115	7,48	10,50	12	50,00	0,355
120	7,43	6,35	8	49,20	0,326
125	7,37	5,71	7	48,60	0,298
130	7,33	5,89	7	47,40	0,315
135	7,26	8,40	9	46,20	0,338
140	7,21	12,40	14	45,00	0,366

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
42	7,65	6,04	16	55,50	0,160
44	7,63	3,92	5	55,40	0,155
46	7,56	4,17	7	55,00	0,171
48	7,51	4,35	9	54,50	0,193
50	7,45	4,57	9	54,40	0,199
52	7,40	5,89	11	54,30	0,200

Junio 05 de 2011

Q_{Planta} = 1090 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
17,40	7,95	55,60	51

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
12	7,74	8,20	14	51,60	<i>Gama Exc,</i>
14	7,57	6,48	12	52,80	<i>Gama Exc,</i>
16	7,44	4,25	9	49,40	0,398
18	7,35	3,29	5	49,20	0,255
20	7,26	3,34	6	47,00	0,297
22	7,16	3,59	7	45,60	0,329

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
38	7,68	30,70	21	52,40	<i>Gama Exc,</i>
40	7,62	19,60	16	51,40	0,399
42	7,51	5,50	8	49,80	0,343
44	7,48	8,88	11	49,20	0,372
46	7,40	13,32	14	49,00	0,381
48	7,32	15,80	15	48,90	0,390

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
6	7,88	6,69	9	52,80	0,391
8	7,85	4,14	7	52,60	0,377
10	7,83	2,82	3	52,40	0,200
12	7,82	2,35	3	52,30	0,247
14	7,80	3,51	5	52,20	0,299
16	7,79	3,89	6	52,00	0,320

Junio 12 de 2011

Q_{Planta} = 1100 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
21,70	8,30	64,40	163

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
12	7,89	12,30	37	59,00	<i>Gama Exc,</i>
14	7,76	10,50	32	58,60	<i>Gama Exc,</i>
16	7,74	9,88	25	58,00	<i>Gama Exc,</i>
18	7,72	3,27	14	56,40	0,364
20	7,68	2,82	10	56,00	0,345
22	7,65	4,44	17	54,40	0,385

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
40	7,90	8,55	41	60,00	<i>Gama Exc,</i>
42	7,82	7,25	27	58,20	<i>Gama Exc,</i>
44	7,76	5,30	14	58,10	0,335
46	7,73	5,85	18	55,40	0,367
48	7,70	5,90	18	53,10	0,371
50	7,68	6,10	23	52,90	0,398

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
6	7,94	5,77	12	62,30	0,352
8	7,92	4,39	11	62,20	0,317
10	7,90	3,82	9	62,10	0,277
12	7,86	2,68	7	62,00	0,198
14	7,85	2,64	7	61,80	0,219
16	7,83	2,94	8	61,70	0,230

Junio 13 de 2011

Q_{Planta} = 830 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
16,10	8,24	72,20	98

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
10	7,53	13,5	16	59,40	<i>Gama Exc,</i>
12	7,42	10,8	13	56,80	<i>Gama Exc,</i>
14	7,41	4,08	9	56,60	0,334
16	7,40	2,12	5	56,20	0,314
18	7,36	2,46	7	56,00	0,321
20	7,33	2,38	7	55,40	0,358

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
34	7,67	14,48	28	61,00	<i>Gama Exc,</i>
36	7,64	12,10	21	62,00	<i>Gama Exc,</i>
38	7,60	5,06	13	58,20	0,398
40	7,36	4,70	9	56,60	0,311
42	7,34	4,97	11	56,20	0,361
44	7,29	5,64	15	56,00	0,376

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
6	7,76	4,70	8	68,80	0,314
8	7,75	4,26	8	68,70	0,288
10	7,74	1,82	3	68,60	0,187
12	7,72	2,18	5	68,50	0,212
14	7,70	2,37	5	68,30	0,236
16	7,68	2,54	6	68,00	0,242

Junio 14 de 2011

Q_{Planta} = 720 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
14,80	7,94	59,00	65

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
8	7,50	1,85	3	29,50	0,270
10	7,46	0,56	2	29,40	0,190
12	7,39	0,68	2	29,10	0,203
14	7,30	0,96	2	28,70	0,226
16	7,29	1,17	3	28,30	0,241
18	7,26	1,53	3	27,40	0,255

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
22	7,53	3,22	7	40,00	<i>Gama Exc,</i>
24	7,51	2,24	5	39,80	0,375
26	7,50	1,74	4	38,70	0,340
28	7,49	1,84	4	36,80	0,355
30	7,47	1,75	4	36,20	0,348
32	7,43	2,40	6	36,00	0,394

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
6	7,78	3,22	8	54,30	0,385
8	7,76	0,86	3	54,20	0,225
10	7,75	1,22	4	54,10	0,257
12	7,73	1,43	4	54,00	0,278
14	7,70	1,89	4	53,90	0,316
16	7,68	2,76	6	53,80	0,350

Junio 19 de 2011

Q_{Planta} = 820 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
26,00	8,19	63,60	44

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
14	7,54	7,10	16	58,40	0,381
16	7,53	6,40	10	56,60	0,367
18	7,51	3,60	7	56,40	0,342
20	7,42	2,14	4	55,60	0,210
22	7,40	2,68	6	55,00	0,275
24	7,36	2,48	6	54,80	0,250

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
38	7,45	8,75	24	57,40	<i>Gama Exc,</i>
40	7,40	6,84	18	57,00	<i>Gama Exc,</i>
42	7,34	4,27	13	56,60	0,367
44	7,33	3,90	10	56,20	0,308
46	7,27	4,26	13	56,00	0,363
48	7,25	4,37	13	55,80	0,388

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
6	7,85	3,02	7	60,60	0,333
8	7,83	2,93	5	60,50	0,278
10	7,81	2,22	4	60,40	0,217
12	7,80	1,64	2	60,20	0,156
14	7,79	1,69	2	60,10	0,165
16	7,78	1,72	2	60,00	0,189

Julio 04 de 2011

Q_{Planta} = 960 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
12,80	7,82	58,40	37

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
6	7,32	15,40	32	56,40	<i>Gama Exc,</i>
8	7,31	7,42	12	56,20	0,351
10	7,30	5,14	8	54,00	0,298
12	7,24	7,30	11	52,00	0,344
14	7,15	8,68	15	50,80	0,369
16	7,11	9,76	20	50,20	0,396

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
20	7,31	12,77	22	54,80	<i>Gama Exc,</i>
22	7,24	8,23	12	52,40	0,391
24	7,23	9,70	14	50,20	<i>Gama Exc,</i>
26	7,16	10,25	18	48,40	<i>Gama Exc,</i>
28	7,09	14,35	25	46,00	<i>Gama Exc,</i>
30	7,05	18,60	33	45,40	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
4	7,68	5,22	9	56,70	0,365
6	7,66	3,86	5	56,50	0,205
8	7,64	4,51	7	56,40	0,237
10	7,58	4,90	8	56,10	0,271
12	7,52	5,25	10	55,90	0,367
14	7,48	5,48	10	55,70	0,386

Julio 16 de 2011

Q_{Planta} = 850 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
925	7,95	60,00	1462

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
62	6,94	29,46	41	46,60	<i>Gama Exc,</i>
64	6,88	15,99	28	45,00	<i>Gama Exc,</i>
66	6,77	11,21	19	44,20	<i>Gama Exc,</i>
68	6,62	9,70	14	43,60	0,394
70	6,50	10,25	18	43,40	<i>Gama Exc,</i>
72	6,45	12,35	22	42,40	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
115	7,16	10,22	15	52,00	<i>Gama Exc,</i>
120	7,10	8,30	11	51,30	<i>Gama Exc,</i>
125	7,04	6,71	9	50,60	0,354
130	7,01	4,82	6	49,50	0,287
135	6,96	6,30	9	48,40	0,331
140	6,92	7,52	10	47,00	0,386

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
42	7,45	5,13	8	57,50	<i>Gama Exc,</i>
44	7,40	3,72	5	57,20	0,365
46	7,38	2,98	4	56,00	0,281
48	7,33	3,46	6	55,50	0,336
50	7,30	3,62	6	55,00	0,359
52	7,26	4,89	7	54,60	0,387

Octubre 26 de 2011

Q_{Planta} = 720 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
2370	7,65	54,20	1730

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
95	7,10	13,09	36	48,50	<i>Gama Exc,</i>
100	7,07	11,24	24	48,30	<i>Gama Exc,</i>
105	7,05	9,13	18	48,20	<i>Gama Exc,</i>
110	7,03	7,60	10	48,00	0,376
115	7,01	7,65	15	47,90	0,390
120	6,98	7,80	16	47,80	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
170	7,20	8,22	8	50,20	<i>Gama Exc,</i>
175	7,18	6,71	7	50,00	0,375
180	7,14	4,90	6	49,80	0,333
185	7,12	5,60	6	49,70	0,350
190	7,10	6,90	7	49,50	0,388
195	7,07	9,87	10	49,30	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
66	7,38	5,49	5	52,10	0,386
68	7,35	2,48	3	52,00	0,267
70	7,33	3,01	3	51,80	0,294
72	7,31	3,87	3	51,70	0,315
74	7,29	4,12	4	51,60	0,328
76	7,27	4,47	4	51,50	0,355

Octubre 30 de 2011

Q_{Planta} = 870 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
3422	7,50	50,00	2250

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
170	6,93	22,10	33	42,40	<i>Gama Exc,</i>
175	6,81	15,68	25	42,10	<i>Gama Exc,</i>
180	6,79	8,98	14	42,00	0,370
185	6,77	8,34	16	41,90	0,387
190	6,75	9,45	18	41,60	0,399
195	6,73	13,10	21	41,50	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
240	7,30	8,12	10	43,80	0,390
280	7,27	6,92	7	43,70	0,378
300	7,25	5,68	5	43,60	0,364
320	7,22	5,72	5	43,40	0,370
340	7,19	5,91	5	43,20	0,375
360	7,13	6,70	6	43,00	0,387

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
100	7,45	6,43	7	45,50	0,286
110	7,43	5,02	6	45,30	0,257
115	7,40	3,44	4	45,00	0,201
120	7,38	3,63	4	44,80	0,222
125	7,37	3,85	4	44,70	0,228
130	7,35	4,67	5	44,60	0,236

Noviembre 17 de 2011

Q_{Planta} = 790 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
4250	7,60	53,00	2620

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
200	6,64	41,94	56	45,00	<i>Gama Exc,</i>
210	6,60	27,37	36	44,50	<i>Gama Exc,</i>
220	6,57	14,68	17	44,20	0,389
230	6,54	15,70	21	43,70	<i>Gama Exc,</i>
240	6,51	18,23	26	43,20	<i>Gama Exc,</i>
250	6,48	20,35	32	42,80	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
340	7,12	14,22	18	47,40	<i>Gama Exc,</i>
350	7,08	10,36	14	47,00	<i>Gama Exc,</i>
360	7,03	8,71	10	46,70	0,371
370	7,00	9,73	12	46,20	0,399
380	6,98	11,40	13	45,80	<i>Gama Exc,</i>
390	6,96	14,91	20	45,40	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
130	7,40	10,35	12	48,70	<i>Gama Exc,</i>
135	7,35	7,78	7	48,50	0,344
140	7,30	6,55	6	48,30	0,313
145	7,26	8,45	8	48,00	0,355
150	7,21	9,12	9	47,80	0,380
155	7,15	9,80	10	47,60	0,394

Noviembre 24 de 2011

Q_{Planta} = 800 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
1800	7,62	53,40	1660

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
95	7,13	12,38	26	40,80	<i>Gama Exc,</i>
100	7,11	10,45	21	40,50	<i>Gama Exc,</i>
105	7,07	6,78	9	40,20	0,381
110	7,02	7,00	10	39,90	0,395
115	6,97	8,46	14	39,60	<i>Gama Exc,</i>
120	6,95	9,78	15	39,30	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
160	7,30	7,59	8	42,20	0,395
165	7,28	5,48	7	42,00	0,369
170	7,21	4,78	6	41,80	0,351
175	7,18	4,25	5	41,20	0,347
180	7,15	6,53	7	40,90	0,380
185	7,10	8,69	9	40,60	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
64	7,38	5,62	7	45,20	0,367
66	7,34	3,80	6	44,90	0,291
68	7,30	3,22	4	44,50	0,277
70	7,27	4,64	6	44,10	0,314
72	7,24	5,33	6	43,90	0,353
74	7,20	6,77	7	43,60	0,379

Diciembre 04 de 2011

Q_{Planta} = 935 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
2900	7,70	62,10	1940

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
130	6,93	23,30	32	43,90	<i>Gama Exc,</i>
135	6,89	15,39	24	43,50	<i>Gama Exc,</i>
140	6,85	9,12	16	43,10	0,385
145	6,80	9,96	18	42,80	0,398
150	6,75	10,14	20	42,50	<i>Gama Exc</i>
155	6,71	13,27	22	42,20	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
210	7,21	13,49	17	50,70	<i>Gama Exc</i>
220	7,19	8,42	11	50,40	0,396
230	7,16	6,61	8	49,90	0,321
240	7,12	6,58	8	49,50	0,348
250	7,07	8,03	10	49,00	0,382
260	7,02	9,49	14	48,40	<i>Gama Exc</i>

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
82	7,43	6,90	8	53,50	0,369
84	7,36	5,06	6	53,00	0,331
86	7,31	4,82	5	52,50	0,276
88	7,25	5,54	5	52,00	0,342
90	7,21	6,73	7	51,50	0,359
92	7,18	7,14	9	51,00	0,381

Diciembre 05 de 2011

Q_{Planta} = 1000 l/s

Condiciones del Agua Cruda			
Turbiedad (NTU)	pH (Unidades)	Alcalinidad (mg/l)	Color Verdadero (UPC)
3600	7,80	62,50	2380

Ensayo Sulfato de Aluminio SÓLIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
175	6,90	25,71	47	43,40	<i>Gama Exc,</i>
180	6,85	19,44	34	42,90	<i>Gama Exc,</i>
185	6,80	13,55	20	42,40	<i>Gama Exc,</i>
190	6,75	10,25	15	41,80	0,385
195	6,70	12,54	18	41,20	0,399
200	6,65	17,02	26	40,80	<i>Gama Exc,</i>

Ensayo Sulfato de Aluminio LIQUIDO					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
290	7,22	10,56	13	45,50	0,396
300	7,16	8,52	11	44,90	0,364
310	7,12	7,61	9	44,30	0,317
320	7,04	7,72	9	43,60	0,323
330	6,98	7,90	10	43,00	0,341
340	6,95	8,10	11	42,50	0,357

Ensayo Policloruro de Aluminio PAC					
Dosis (mg/l)	pH (Unidades)	Turbiedad (NTU)	Color Aparente (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	Aluminio Residual (mg/l)
105	7,50	9,72	11	51,50	<i>Gama Exc,</i>
110	7,45	6,65	8	51,00	0,328
115	7,40	5,20	6	50,60	0,265
120	7,35	6,33	7	50,00	0,312
125	7,30	7,41	9	49,50	0,359
130	7,26	9,30	10	49,10	0,387

Anexo No. B METODOS ANALÍTICOS

DETERMINACIÓN DE LA TURBIEDAD [12]

1. Encender el equipo (Turbidímetro), para medir las muestras.
2. Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado y agitar.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo (aproximadamente 30 ml).
4. Tomar la celda por la tapa y agitar por inmersión para eliminar las burbujas de aire y limpiar la celda con el paño antiestático (color negro).
5. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo, con la muesca (flecha) hacia fuera y cerrar la tapa.
6. Esperar que a aparezca el valor en la pantalla o presionar ENTER y registrar el valor de la pantalla.

Figura 23. Turbidímetro HACH 2100 N



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Planta Bosconia

Los resultados se leen directamente en los Equipos **TURBIDIMETRO HACH 2100 N ó 2100 P** y se expresa en unidades **NTU** (unidades de turbiedad nefelométricas).

Nota: Verificar que la medida se haga con la selección del rango automático, el botón de señal promedio, unidades NTU y el radio (indicado con la luz verde encendida).

Si la señal de la lámpara parpadea indica bajo nivel, y debe cambiarse.

Para valores mayores de 4000 NTU (**TURBIDIMETRO HACH 2100N**) ó valores mayores de 800 NTU (**TURBIDIMETRO HACH 2100P**), hacer diluciones y multiplicar el resultado del equipo por el factor de dilución.

DETERMINACIÓN DEL pH

1. Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado de 100ml.
2. Lavar el electrodo con agua destilada e introducirlo en la muestra.
3. Presionar el botón de encendido y el botón Read y esperar hasta estabilizar lectura.
4. Leer directamente en el pHmetro SEVEN EASY Mettler Toledo y expresar en unidades de pH.

Figura 24. PHmetro Mettler Toledo.



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Planta Bosconia

Nota: Después de cada lectura, lavar con agua destilada, sumergir el electrodo en KCl 3M y apagar el equipo.

DETERMINACIÓN DEL COLOR VERDADERO.

1. Encender el equipo, de medir las muestras, DR-2000/DR-2400/DR-2800.
2. Tomar una muestra representativa en una jeringa de 60 ml, ajustar la membrana Milipore de 0.45 μm y filtrar. Mínimo 25 ml de muestra para cada determinación.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo de llenado.
4. Leer un blanco de agua destilada y la muestra, en el espectrofotómetro HACH DR-2000/DR-2400/DR-2800, longitud de onda de 455 nm. La lectura es directa y los resultados se expresan como UPC (unidades platino cobalto).

Figura 25. Espectrofotómetro HACH DR- 2000/DR-2400/ DR-2800



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Planta Bosconia

Nota: Para los valores mayores de 500 UPC, hacer dilución.

- La misma membrana se puede utilizar para varias determinaciones, pero se debe purgar para cada vez.

DETERMINACIÓN DEL COLOR APARENTE.

1. Encender el equipo, de medir las muestras, **DR-2000/DR-2400/DR-2800**.
2. Tomar una muestra representativa como mínimo de 25 ml de muestra para cada determinación.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo de llenado.
4. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo y cerrar la tapa.
5. Leer un blanco de agua destilada y la muestra, en el espectrofotómetro **HACH DR-2000/DR-2400/ DR-2800**, longitud de onda de **455 nm**. La lectura es directa y los resultados se expresan como **UPC** (unidades platino cobalto).

Nota: Para los valores mayores de 500 UPC, hacer dilución.

DETERMINACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL POR EL MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO (ERIOCROMO CIANINA R)

1. Tomar en 2 probetas de 25 ml, un volumen de 12.5 ml de muestra y 12.5 ml de agua destilada para el blanco.
2. Adicionar a ambas 1 ml de ácido sulfúrico 0.02N y agregar al blanco 1 ml de EDTA.0.02 N.
3. Adicionar a las dos muestras 1 ml de solución de ácido ascórbico 0.1% (recién preparado) y 5 ml de solución buffer (acetato de sodio-ácido acético).
4. Finalmente se les adiciona 2.5 ml de indicador eriocromo-cianina al 10% (diluido del concentrado).
5. Aforar a 25 ml con agua destilada y mezclar. Esperar de 8 a 10 minutos para el desarrollo del color.
6. Leer en el espectrofotómetro **HACH DR-2000/DR-2400/DR-2800** método aluminio residual a una longitud de onda de 535 nm.

Cálculos

Para la prueba colorimétrica con el equipo **HACH DR2000/DR2400 DR-2800** la lectura es directa y se expresa en mg/L de Al⁺⁺⁺ residual.

DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL

1. Tomar en un vaso de precipitado de 100ml, una muestra de 50 ml de agua de río (solo a esta muestra se le hace análisis).
2. Agregar 4 gotas de indicador mixto rojo de metilo bromocresol, (presenta coloración azul).
3. Con agitación constante se titula (Titulador electrométrico Metrohm) con H₂SO₄ 0.02N, hasta que cambie a color durazno.
4. Se hace blanco de reactivo con agua destilada.

Cálculo

$$\text{mgCaCO}_3 / \text{l} = \frac{\text{Vol. H}_2\text{SO}_4 * \text{N} * 50 * 1000}{\text{Vol. Muestra}}$$

$$\text{mg CaCO}_3 / \text{l} = (\text{Vol. H}_2\text{SO}_4 \text{ muestra} - \text{Vol. H}_2\text{SO}_4 \text{ Blanco}) \times 20$$

Figura 26. Titulador electrométrico Metrohm



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, Planta Bosconia

Nota: La anterior formula es válida únicamente cuando se toman 50 ml de muestra.

PREPARACIÓN DE REACTIVOS QUÍMICOS

REACTIVOS QUÍMICOS PARA DETERMINACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL

Indicador Eriocromo Cianina –R:

Solución Concentrada: Disolver 0.300 g de Eriocromo Cianina R en aproximadamente 50 ml de agua destilada, ajustar el pH desde 9 a 2.9 con ácido acético (1:1), (se gastan aprox. 3 ml de este ácido), y finalmente aforar a 100 ml con agua destilada. Esta solución es estable por 1 año.

Solución diluida: Tomar 10 ml de la solución anterior y aforar a 100 ml con agua destilada. Esta solución es estable durante 6 meses.

Solución de Ácido ascórbico: Disolver 0.05 g ácido ascórbico y diluir a 50 ml con agua destilada. Preparar esta solución semanalmente.

Solución de H₂SO₄ 0.02N: (es el mismo ácido con el que se determina alcalinidad). Tomar 100 ml de H₂SO₄ 0.1N se lleva a 500 ml con agua destilada.

Solución de EDTA 0.01M: Tomar 10 ml de la solución 0.1 M de EDTA y aforar a 100 ml en un balón con agua destilada.

Solución Buffer para aluminio: Disolver 136 g de acetato de sodio trihidratado y 40 ml de solución de ácido acético 1 N y aforar a 1000 ml de agua destilada.

Ácido acético 1 N: 2.3 ml de ácido acético glacial en 40 ml de agua destilada.

REACTIVOS QUÍMICOS PARA DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD TOTAL

Solución de H₂SO₄ 0.02N: Tomar 100 ml de H₂SO₄ 0.1 N se lleva a 500 ml con agua destilada.

Indicador mixto: Tomar 0.04 g de rojo de metilo y 0.2 g de verde de bromocresol y se disuelven en 200 ml de etanol.

REACTIVOS QUÍMICOS PARA DETERMINACIÓN DE PRUEBA DE JARRAS

Solución Madre de Alumbre (solución de sulfato de aluminio al 10%), Pesar 10 g de sulfato de aluminio sólido en un vaso de precipitado de 200 ml. Disolver en aproximadamente 80 ml de agua destilada, agitar durante 5 minutos y llevar a un volumen de 100 ml en una probeta. El tiempo máximo de preservación de la solución madre de alumbre es de un (1) mes. Cuando se trabaja en planta con solución de sulfato sólido al 10%, se toma esta solución directamente como solución madre.

Solución de trabajo (solución de sulfato de aluminio al 1%), agitar la solución madre de alumbre, tomar 10 ml en una pipeta y llevar a un volumen de 100 ml con agua destilada en una probeta. El tiempo máximo de preservación de esta solución es de ocho (8) horas.

Nota: Para el caso de sulfato de aluminio líquido, tipo B:

La solución madre: Solución que llega con una densidad de 1,32 g/ml.

Solución de trabajo: Para una densidad de 1,32 g/ml, tomar 7,6 ml de la solución madre y se lleva 100 ml ó 76 ml y se lleva a 1000 ml.

Para el caso de policloruro de aluminio:

La solución madre: Solución que llega con una densidad de 1,32 g/ml.

Solución de trabajo: Para una densidad de 1,32 g/ml, tomar 7,6 ml de la solución madre y se lleva 100 ml ó 76 ml y se lleva a 1000 ml.

Anexo No. C MARCO LEGAL

CALIDAD DEL AGUA.

La calidad de las aguas en el país esta regida en sus valores mínimos para cada uso, de acuerdo al Decreto 1594/84 y para agua potable se establecen los valores permitidos mínimos en el Decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007.

LEGISLACIÓN COLOMBIANA PARA EL SECTOR DE AGUA

Colombia maneja una de las legislaciones más completas y exigentes en el panorama mundial en lo que se refiere a la parte ambiental. Esta legislación que arranca desde 1974 se desarrolla con base en los códigos nacionales de recursos renovables y a partir de allí se desprenden los diferentes aspectos que tienen que ver con las entidades encargadas de los manejos, las empresas de servicios públicos, la descentralización y la función municipal frente a los usos de los recursos, toda la legislación tarifaria y la base de los impuestos en esta materia. A partir de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente y la parte agua que venía manejada por el Ministerio de Salud es acogida por el nuevo ministerio.

Desde el punto de vista de calidad de agua se podría resumir esta legislación en los siguientes decretos-ley:

Decreto 2811 de 1974 Código nacional de recursos renovables y Plan de manejo ambiental.

Ley 9ª de 1979 medidas sanitarias.

Decreto 2104 de 1983 Reglamenta el D. 2811 y la ley 9ª en recursos sólidos.

Decreto 2105 de 1983 Reglamenta Potabilización del agua.

Decreto 1594 de 1984 Reglamenta el D. 2811 y la ley 9ª. Usos del agua y recursos líquidos.

Decreto 951 de 1989 Reglamento para servicios de acueducto y alcantarillado.

Decreto 1842 de 1991 Estatuto nacional de usuarios de servicios públicos domiciliarios.

Decreto 2167 de 1992 Reestructuración del departamento nacional de planeación y crea las comisiones reguladoras de servicios públicos.

Ley 60 de 1993 le da competencia a los municipios para agua potable.

Ley 99 de 1993 crea el ministerio del medio ambiente.

Resolución 02 de 1994 normas para servicio de aseo.

Ley 136 de 1994 modernización de los municipios.

Ley 142 de 1994 Régimen de servicios públicos domiciliarios.

Decreto 1524 de 1994 Delegación en la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico.

Resolución 08 de 1995 Criterios y metodología para determinación de tarifas por empresas de servicios Públicos.

Decreto 1429 de 1995 Conformación de comités para el control social. (ley 142/94).

Resolución 12 de 1995 Evaluación de resultados. Criterios- indicadores- características- moderadores.

Decreto 1575 de 2007: Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Resolución 2115 de 2007: por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Los decretos más importantes sobre el recurso agua desde el punto de vista de calidad son:

DECRETO 1575 DE 2007- “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.

Capítulo I - Disposiciones generales.

Capítulo II - Características y criterios de la calidad del agua para consumo humano.

Capítulo III - Responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano

Capítulo IV - Instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano

Capítulo V - Procesos básicos del control y la vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano

Capítulo VI - Disposiciones comunes

Capítulo VIII – Disposiciones finales.

DECRETO 1594 DE 1984 - "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 09 de 1979, así como el capítulo II del título VI -parte III- libro II y el título III de la parte III - libro I - del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del Agua y residuos líquidos".

Capítulo I - Definiciones.

Capítulo II - Del ordenamiento del recurso.

Capítulo III - de la destinación genérica de las aguas.

Capítulo IV - de los criterios de calidad para la destinación.

Capítulo V - de las concesiones y de las normas de vertimiento.

Capítulo VII - de los registros de los vertimientos.

Capítulo VIII - De la obtención de los permisos de vertimiento y de los planes de cumplimiento para usuarios existentes.

Capítulo IX - De los permisos de vertimiento y autorizaciones sanitarias.

Capítulo X - De las autorizaciones sanitarias. Disposiciones Generales.

Capítulo XI - De los procedimientos para la modificación de normas de vertimiento, y criterios de calidad.

Capítulo XII - De las tasas retributivas.

Capítulo XIII - de los estudios de efecto ambiental.

Capítulo XIV - de los métodos de análisis y de la toma de muestras.

Capítulo XV - De la vigilancia y control.

Capítulo XVI - De las medidas sanitarias, las sanciones y los procedimientos.

Estos decretos son la base para que las Entidades de manejo ambiental - EMAR- que en la actualidad son las Corporaciones Regionales Autónomas, vigilen y controlen el uso y la calidad de las aguas en el país.

Las plantas de potabilización de agua en los municipios tienen concesiones específicas para tomar parte del caudal de las cuencas y de acuerdo a las características del agua al

entrar a la planta, se realizan las dosificaciones y se plantean los tratamientos más adecuados. La medición de características como turbiedad, color y alcalinidad son fundamentales para conocer el grado de calidad y la exigencia en los tratamientos de agua potable. Una vez terminado el paso del agua por las distintas unidades de tratamiento, se almacena y se mide la calidad del agua que será suministrada a la población. Esta calidad es controlada en cada municipio y los Servicios de Salud certifican la calidad y el seguimiento que se hace de acuerdo a lo recomendado en el Decreto 1575 y en la resolución 2115 de 2007.