

**ESTUDIO DE APLICABILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE COAGULANTES  
LÍQUIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE  
FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA  
a.m.b S.A E.S.P.**

**MARÍA CONSUELO SALCEDO SARMIENTO**

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

**2012**

**ESTUDIO DE APLICABILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE COAGULANTES  
LÍQUIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE  
FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA  
a.m.b S.A E.S.P.**

**MARÍA CONSUELO SALCEDO SARMIENTO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**Director:**

**MSc. CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**Codirector:**

**Dra. Yolanda Otero**

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

**2012**

*A Dios quien cada segundo me llena con su presencia y me regala la fortaleza que necesito para seguir adelante.*

*A mis padres Orlando y Consuelo que son mi ejemplo y guía, por su apoyo incondicional en mi formación y bienestar y sobre todo por su inmenso amor. Agradezco a ellos todo su esfuerzo.*

*A mi hermana Alejandra por ser mi compañera y consejera.*

*A mi hermano German por regalarme felicidad.*

*A mi sobrino Gerónimo por despertar en mí los mejores sentimientos y por robarme las sonrisas.*

*A mi prima Mónica Cala por ser mi confidente y apoyo en buenos y malos momentos.*

*A Jhair David Rodríguez por su amor incondicional y compañía.*

*A mis amigos quienes compartieron cada momento de mi vida y quienes también aportaron a mi desarrollo personal y profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la escuela de Ingeniería Química, por brindar formación profesional de calidad.

Al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga a.m.b S.A E.S.P., por permitir la realización de este estudio.

Al MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira, profesor de la Escuela de Ingeniería Química por su dirección y colaboración.

A la Dra. Yolanda Otero, jefe de la Planta de Tratamiento de Floridablanca por su apreciado apoyo y calidez humana.

A la ingeniera Yolanda Arboleda, jefe de la división tratamiento y a los ingenieros Javier Quiroga y Oscar Naranjo, por la valiosa colaboración y asesoría.

A todo el personal de la Planta de Tratamiento de Floridablanca, por la ayuda recibida y las invaluable enseñanzas.

A Teo, por su paciencia y servicio.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>1. MARCO REFERENCIAL</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PRINCIPALES PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.</b> ....	<b>14</b>
1.1.1 Coagulación.....	14
1.1.2 Floculación.....	16
1.1.3 Sedimentación.....	16
<b>1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLORIDABLANCA.</b> .....	<b>17</b>
<b>2. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Inducción a la potabilización del agua .....	19
2.1.2 Recolección de muestras de agua cruda.....	20
2.1.3 Etapa experimental.....	20
2.1.4 Evaluación técnica de las diferentes alternativas de coagulantes .....	21
2.1.5 Evaluación económica preliminar.....	21
2.1.6 Evaluación socio-ambiental.....	21
<b>2.2 PROCEDIMIENTO REALIZADO</b> .....	<b>22</b>
2.2.1 Caracterización del agua cruda .....	22
2.2.2 Determinación de la dosis mínima óptima de coagulante .....	22
2.2.3 Volumen de lodos producidos.....	23
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES</b> .....	<b>24</b>
3.1.1 Caracterización del agua cruda .....	24
3.1.2 Determinación de la dosis mínima óptima de coagulante .....	24
3.1.3 Determinación de aluminio residual .....	31
3.1.4 Volumen de lodos producidos.....	33
<b>3.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE COAGULANTES.</b> ....	<b>34</b>
3.2.1 Almacenamiento.....	34
3.2.2 Dosificación.....	34
3.2.3 Localización de nuevos equipos, dispositivos e infraestructura.....	36
3.2.4 Parámetros de calidad del agua tratada con las distintas alternativas de coagulantes...37	
3.2.5 Producción de lodos.....	37
<b>3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR</b> .....	<b>37</b>
3.3.1 Costo promedio por m <sup>3</sup> de agua tratada con cada coagulante.....	37
3.3.2 Costo de los principales equipos.....	38
<b>3.4 EVALUACIÓN SOCIO – AMBIENTAL</b> .....	<b>39</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>42</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>44</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SÍNTESIS DE TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA FLORIDABLANCA ....	17
FIGURA 2. DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA.....	19
FIGURA 3. TURBIEDAD RESIDUAL VS DOSIS MÍNIMA ÓPTIMA PARA UNA MUESTRA DE AGUA CRUDA DE TURBIEDAD INICIAL 27,5 NTU. ....	25
FIGURA 4. PH FINAL VS DOSIS MÍNIMAS ÓPTIMAS PARA UNA MUESTRA DE AGUA CRUDA DE PH INICIAL 7,44 UNIDADES.....	26
FIGURA 5. TURBIEDAD RESIDUAL VS DOSIS MÍNIMA ÓPTIMA PARA UNA MUESTRA DE AGUA CRUDA DE TURBIEDAD INICIAL 6866 NTU. ....	28
FIGURA 6. PH FINAL VS DOSIS MÍNIMAS ÓPTIMAS PARA UNA MUESTRA DE AGUA CRUDA DE PH INICIAL 6,99 UNIDADES.....	29
FIGURA 7. COMPORTAMIENTO DEL ALUMINIO RESIDUAL EN EL AGUA TRATADA EN LA PLANTA DE FLORIDABLANCA EN EL PERÍODO COMPRENDIDO ENTRE EL AÑO 2009 Y AGOSTO DE 2011. .....	32
FIGURA 8. DOSIS MÍNIMAS ÓPTIMAS DE SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO DE ACUERDO A LAS VARIACIONES DE TURBIEDAD INICIAL ESTUDIADAS. ....	35

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. VALOR PROMEDIO DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DEL AGUA CRUDA DE LA PLANTA FLORIDABLANCA. ....	24
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RÍO NO. 7.....	25
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RÍO NO. 11.....	27
TABLA 4. DOSIS DE REEMPLAZO DE SULFATO DE ALUMINIO DE ACUERDO A LA TURBIEDAD. ....	30
TABLA 5. RAZÓN DE REEMPLAZO DE COAGULANTES ALTERNATIVOS DE ACUERDO A LA TURBIEDAD. ....	31
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA DE AGUA DE RÍO NO. 12.....	32
TABLA 7. CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO RESIDUAL PARA LA MUESTRA DE AGUA DE RÍO N° 12. ....	33
TABLA 8. VOLUMEN DE LODOS PRODUCIDOS EN 6 MUESTRAS DE AGUA.....	34
TABLA 9. DOSIFICACIÓN MÍNIMA Y MÁXIMA DE LAS BOMBAS PARA CADA COAGULANTE. ....	36
TABLA 10. COSTO BOMBAS DOSIFICADORAS. ....	39

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. SECCIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLORIDABLANCA	44
ANEXO B. MEZCLADORES PARA COAGULACIÓN .....	45
ANEXO C. FLOCULADORES .....	46
ANEXO D. UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN .....	47
ANEXO E. PARÁMETROS OPERACIONALES PARA EL ENSAYO DE JARRAS. ....	48
ANEXO F. PARÁMETROS INTERNOS DE CALIDAD. ....	49
ANEXO G. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE JARRAS .....	50
ANEXO H. CONSUMO Y DOSIS DE LOS DIFERENTES COAGULANTES A PARTIR DEL SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO EN 2010 Y PRIMER SEMESTRE DE 2011.....	58
ANEXO I. CONSUMO DIARIO Y DOSIS DE LOS DIFERENTES COAGULANTES A PARTIR DEL SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO.....	60
ANEXO J. LOCALIZACIÓN DE NUEVOS DISPOSITIVOS, EQUIPOS E INFRAESTRUCTURA.....	61
ANEXO K. RESUMEN DEL COSTO PROMEDIO POR m <sup>3</sup> DE AGUA TRATADA. ....	62
ANEXO L. COTIZACIONES DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS. ....	63

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO DE APLICABILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE COAGULANTES LÍQUIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE FLORIDABLANCA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA a.m.b S.A E.S.P.\*

**AUTORA:** SALCEDO SARMIENTO, María Consuelo\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Sulfato de Aluminio sólido, coagulantes líquidos, tratamiento de agua, coagulación, Planta de Tratamiento de agua de Floridablanca.

### DESCRIPCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de diferentes alternativas de coagulantes para determinar la viabilidad de su implementación en la Planta de Tratamiento de agua de Floridablanca. Se llevo a cabo un análisis experimental, un estudio técnico, una evaluación económica preliminar y una evaluación socio - ambiental con el fin de lograr el objetivo propuesto.

El análisis experimental se desarrollo mediante pruebas de laboratorio de diversas muestras de agua, tratadas con los diferentes coagulantes para de esta manera comparar su comportamiento físico - químico. El estudio técnico se enfocó en el almacenamiento y dosificación de insumos químicos, localización de nuevos equipos, cumplimiento de parámetros de calidad del agua tratada y producción de lodos. La pre evaluación económica busco estimar el valor comparativo por m<sup>3</sup> de agua tratada y el costo de los principales equipos necesarios para la implementación de coagulantes líquidos. Finalmente se realizó una evaluación socio – ambiental para identificar el nivel de afectación que tiene la realización del proyecto, orientado al trabajador y al medio ambiente.

Los resultados obtenidos demostraron que los coagulantes líquidos incluyendo los poliméricos trabajan mejor en los procesos de coagulación – floculación – sedimentación que el Sulfato de Aluminio sólido, utilizado actualmente, y presentan algunas otras ventajas adicionales; a partir de estos resultados se comprobó la factibilidad de su implementación en la Planta de Tratamiento de agua de Floridablanca desde el punto de vista experimental, técnico, económico y socio - ambiental.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química  
Director: MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira  
Codirector: Dra. Yolanda Otero

## ABSTRACT

**Title:** APPLICABILITY STUDY AND IMPLEMENTATION OF LIQUID COAGULANTS IN THE FLORIDABLANCA WATER TREATMENT PLANT OF THE METROPOLITAN AQUEDUCT OF BUCARAMANGA a.m.b. S.A. E.S.P.\*

**AUTHOR:** SALCEDO SARMIENTO, María Consuelo\*\*

**KEYWORDS:** solid aluminum sulphate, liquid coagulant, water treatment, coagulation, Floridablanca water Treatment Plant.

### DESCRIPTION

This work's main objective is to evaluate the behavior of different coagulant alternatives to determine the feasibility of its implementation at the Floridablanca Water Treatment Plant. An experimental analysis, a technical study, a preliminary economic assessment and a socio - environmental evaluation were carried out in order to achieve the objective.

The experimental analysis was developed with laboratory testing of various samples of water, treated with different coagulants to thereby compare their physico - chemical behaviours. The technical study focused on storage and application of chemical inputs, location of new equipment, compliance with quality parameters of the treated water and sludge production. The pre economic evaluation sought to estimate the comparative value per m3 of treated water and the cost of major equipment necessary for the implementation of coagulating liquids. Finally, a socio - environmental evaluation was conducted to identify the level of involvement of the workers and the environment in the development of the project.

The results showed that liquid coagulants including the polymeric ones work better in the process of coagulation - flocculation - sedimentation than the solid aluminum sulfate, currently used, and present some additional advantages, from these results the feasibility of their implementation was proved in the Floridablanca Water Treatment Plant from the technical, economic and socio - environmental point of view.

---

\* Paper grade

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering, School of Chemical Engineering  
Director: MSc. Crisóstomo Barajas Ferreira  
Codirector: Dh.D. Yolanda Otero

## INTRODUCCIÓN

Con el tiempo, la calidad del agua disponible afectada por el crecimiento de los núcleos urbanos y por otros agentes externos, se convierte en un factor decisivo para la búsqueda de alternativas que proporcionen un adecuado tratamiento; como la optimización de procesos y el uso eficaz de los recursos que se utilizan regularmente.

Desafiar los nuevos retos a los que se enfrentan las plantas potabilizadoras de agua, se transforma en la necesidad de cambiar el sulfato de Aluminio sólido, actualmente utilizado, por las mejores opciones de coagulantes líquidos brindando la posibilidad de entregar un mejor servicio de abastecimiento de agua y de mejor calidad sin posibles riesgos para la salud.

Con el fin de averiguar la factibilidad de sustituir el coagulante actualmente utilizado, se realizaron ensayos de laboratorio para determinar si dan mejores resultados los coagulantes propuestos; las pruebas de laboratorio permitieron visualizar la excelente utilidad que poseen los coagulantes líquidos y determinar las ventajas técnicas, económicas y socio ambientales de los mismos.

El problema del deterioro del agua es creciente y pocos ven las consecuencias a futuro del mal manejo en la gestión y tratamiento para producir agua potable de calidad.

## **1. MARCO REFERENCIAL**

En este capítulo, conceptos básicos, complementarios y específicos son definidos con la idea de orientar al lector en el tema central de esta investigación.

### **1.1 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PRINCIPALES PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.**

Dentro de los principales procesos llevados a cabo durante el proceso de potabilización del agua tenemos:

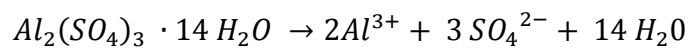
#### **1.1.1 Coagulación**

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de las partículas que forman la turbiedad y el color del agua, mediante la adición de sustancias químicas que son las coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades de mezcla rápida, en las cuales el agua se somete a una agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua, en el menor tiempo posible. Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas. También existen cargas eléctricas positivas, por lo cual el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas determinan unas fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Por ésta razón dichas partículas no sedimentan. El conjunto formado por las partículas constituye un sistema coloidal. Entre mayor sea la magnitud de las fuerzas de repulsión, más estable será el sistema coloidal y más difícil será obtener la aglomeración de las partículas para que puedan sedimentar. La función de los coagulantes es neutralizar las cargas eléctricas que poseen las partículas, con lo cual el sistema coloidal se desestabiliza y se pueden formar otras partículas de mayor tamaño que se separan en la sedimentación. Este fenómeno de la desestabilización se efectúa mediante una serie de reacciones

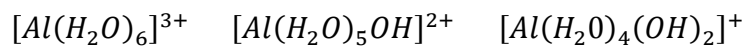
químicas, dentro de ellas se encuentran las que se efectúan con las diversas formas de la alcalinidad, por lo cual, el contenido de alcalinidad disminuye.

La serie de fenómenos y de reacciones químicas que se desarrollan como consecuencia de la adición de los coagulantes al agua cruda se resumen a continuación:

Ionización de la sal: El coagulante, como el Sulfato de Aluminio, cuya fórmula química es  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ , es una sal que se ioniza cuando se prepara una solución acuosa de ella. La ionización se puede escribir así:



El ión  $Al^{3+}$  no permanece en ésta forma en la solución sino que se asocia con varias moléculas de agua y forma una serie de compuestos complejos. Ésta formación de compuestos con el agua se denomina la hidrólisis del ión  $Al^{3+}$ . Éstos compuestos son de la forma:



Los compuestos complejos de la hidrólisis reaccionan con las formas de la alcalinidad para dar lugar a otros compuestos. Los compuestos así formados reaccionan con las partículas coloidales y producen la neutralización de las cargas eléctricas. Estas reacciones corresponden a la desestabilización de las partículas que producen la turbiedad y el color.

La desestabilización de las partículas permite la formación de otras de mayor tamaño llamadas floc o flóculo, que se separan en la sedimentación y en la filtración.

La consecuencia práctica de las reacciones de coagulación es la disminución de la alcalinidad y del pH del agua. Ésta última es la razón por la cual el tratamiento del agua incluye en la parte final la adición de un alcalinizante como la cal [1].

### **1.1.2 Floculación**

Con el fin de lograr que las partículas puedan aglomerarse y formar otras de mayor tamaño que se denominan flóculos o floc, el agua se somete a una agitación suave o moderada. El movimiento de las partículas depende de varios factores, entre ellos la temperatura del agua, la concentración de las partículas, la presencia de cargas eléctricas, etc. Durante la floculación no se adiciona ninguna sustancia química al agua; el movimiento o intensidad de la agitación, no debe ser demasiado lento porque las partículas que se van formando pueden sedimentarse y en los floculadores no debe efectuarse la sedimentación pero tampoco debe ser muy intensa porque las partículas pueden deshacerse o romperse y el floc formado sería muy pequeño y no se sedimentaría en forma eficiente [2].

### **1.1.3 Sedimentación**

La sedimentación es la separación de las partículas o del floc que se ha formado en el agua por acción de la gravedad y depende principalmente de los siguientes factores:

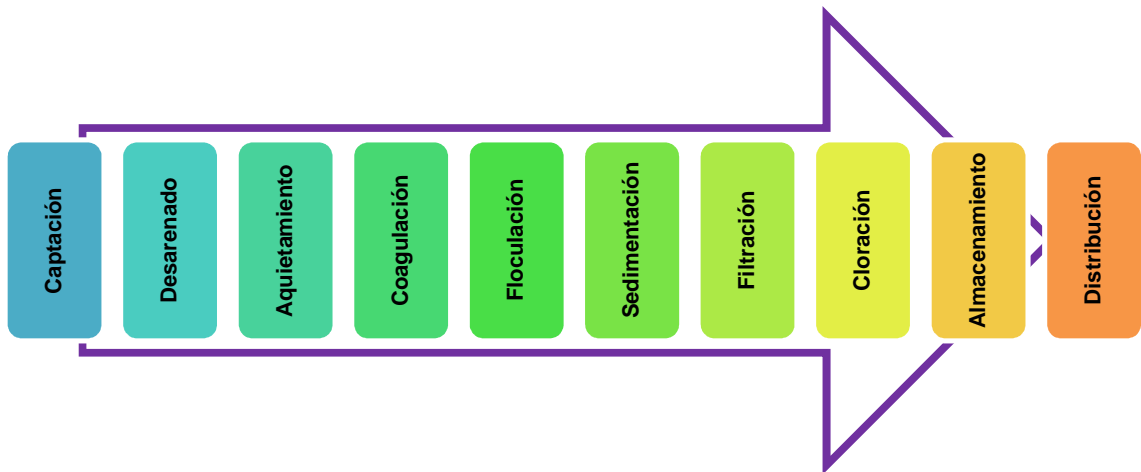
- Tipo de partícula: En el caso del tratamiento de aguas naturales siempre se considerará que se trata de partículas discretas o que se comportan como tales y que el tipo de sedimentación que presentan es sedimentación libre.
- Velocidad de sedimentación: Una partícula suspendida en un líquido, está sometida a la acción de varias fuerzas: la fuerza debida a la acción de la gravedad y que determina su movimiento descendente; la fuerza de empuje, dirigida hacia arriba y que experimenta todo cuerpo sumergido en un líquido, y la fuerza de rozamiento, dirigida hacia arriba debida a la fricción de la superficie de la partícula con el medio líquido. En el sedimentador el agua fluye con una velocidad horizontal que trata de llevarse consigo a las partículas. Finalmente la velocidad con la cual se sedimenta la partícula es la velocidad resultante de las velocidades antes mencionadas.

- Temperatura del agua: La temperatura del agua determina la variación en algunas propiedades del agua como la densidad y la viscosidad. Si la temperatura es baja, la viscosidad aumenta y la fuerza de rozamiento también aumenta. Como consecuencia, la velocidad de sedimentación de la partícula disminuirá [3].

## 1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLORIDABLANCA.

La Planta de tratamiento se encuentra localizada en el Barrio Altos de Caracolí del Municipio de Floridablanca, zona sur-oriental del Municipio de Bucaramanga y está destinada a tratar las aguas provenientes de Río Frío y de ésta manera abastece la zona sur del Área Metropolitana y una parte de Girón [4]; para éste fin cuenta con dos secciones: la original o Planta Antigua (P.A) y la de ampliación o Planta Nueva (P.N) que permiten una capacidad máxima de tratamiento de agua para potabilización de 620 litros por segundo, siguiendo las etapas que se muestran en la Figura 1; un esquema general de la planta puede ser observado en el ANEXO A.

Figura 1. Síntesis de tratamiento de potabilización en la Planta Floridablanca



Fuente. El Autor.

Las fases de captación y desarenado se realizan fuera de la Planta en un lugar denominado bocatoma <sup>(1)</sup>.

La mezcla de los coagulantes con el agua en la P.N se genera en la canaleta parshall <sup>(2)</sup> y en la P.A. la coagulación se efectúa por medio de mezcladores que se encuentran a continuación de la cámara de llegada y al lado de los floculadores mecánicos. Para verificar su localización se puede referir al ANEXO B.

La planta cuenta con dos tipos de floculadores: mecánico para la P.A. ubicado al lado de la cámara de llegada, la mezcla rápida y contiguo al sedimentador N° 4; e hidráulico para la otra sección, localizado en el extremo oriental de la planta al lado de la cámara de llegada, la canaleta parshall y el sedimentador de placas inclinadas. Su ubicación espacial se encuentra en el plano del ANEXO C.

La sedimentación acelerada es causada gracias a cuatro unidades de sedimentación localizadas al lado del floculador mecánico y con un extremo frente a la batería de filtros para la P.A; en la sección de ampliación hay una sola unidad de placas inclinadas con dos compartimentos ubicada entre el floculador hidráulico y la galería de operación de filtros. El plano del ANEXO D ayuda a comprender mejor su localización [5].

---

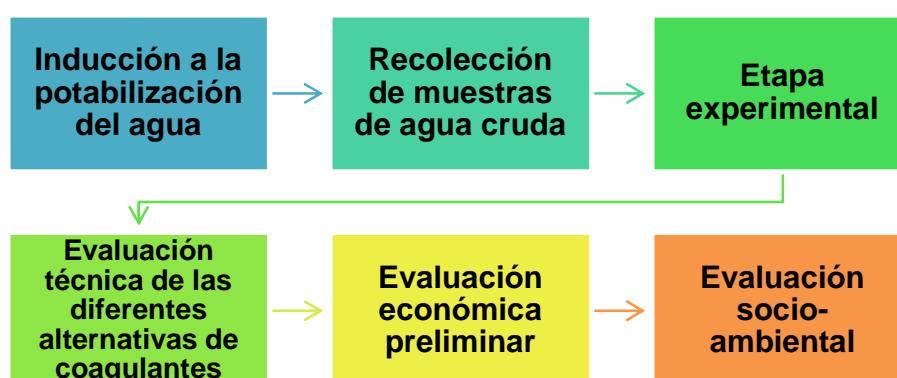
<sup>(1)</sup> Lugar donde ocurre la captación (de fondo y lateral) del agua de río y donde además se encuentran ubicados tres desarenadores para el pre-tratamiento del agua potable.

<sup>(2)</sup> Es un canal simple de paredes paralelas, que sufre un estrechamiento hacia la mitad; si aumenta el caudal aumenta la altura de la lámina de agua, y al revés.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El presente trabajo desarrolla un análisis técnico, socio-ambiental y económico preliminar llevado a cabo a nivel laboratorio en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de agua potable de Floridablanca; para su realización se llevaron a cabo diferentes etapas en el proceso, como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama de bloque de la metodología desarrollada.



Fuente: El Autor.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

#### 2.1.1 Inducción a la potabilización del agua

Esta etapa hace referencia al entrenamiento recibido por parte de la jefe y de los operadores en cuanto a las técnicas de análisis en el laboratorio [6] que principalmente incluyen procedimientos para la respectiva caracterización del agua cruda y el manejo apropiado del equipo de clarificación junto con los parámetros operacionales para el ensayo de jarras [7] [8], así mismo, el estudio de las normas legales vigentes sobre la calidad del agua potable (Resolución 2115 de Junio 22 de 2007 [9] y el decreto 1575 de Mayo 9 de 2007 [10]) y la planeación del desarrollo del estudio.

### **2.1.2 Recolección de muestras de agua cruda.**

Para la evaluación del comportamiento de las diferentes alternativas de coagulantes se recolectaron 12 muestras de agua cruda de la cámara de llegada de la Planta de Floridablanca provenientes de Río Frío, que se encuentran en el intervalo comprendido entre 17,9 y 13500 NTU <sup>(3)</sup>.

### **2.1.3 Etapa experimental**

El desarrollo experimental se hizo a nivel laboratorio comenzando por los análisis físico-químicos del agua cruda para la caracterización de la misma con la medición de variables tales como: turbiedad, color, pH, alcalinidad, conductividad y temperatura [6]. Seguido de esto la atención se centro en la simulación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación plasmados en el ensayo de jarras [7] [8].

En el equipo clarificador, luego de conocer los parámetros operacionales [7], se realizó un estudio comparativo por medio de la obtención de la dosis mínima óptima entre 6 diferentes tipos de coagulantes: sulfato de aluminio sólido tipo B (Sulfato sólido), sulfato de aluminio líquido tipo B (Sulfato líquido) y súper sulfato Mackenfloc II (Mackenfloc) del proveedor Qinsa S.A <sup>(4)</sup>; Policloruro de Aluminio líquido (P.A.C. La Flora) de Sulfoquímica <sup>(5)</sup> S.A; P.A.C. Polytron C-122 (Polytron C-122) y P.A.C. Insatron V-100 (Insatron V-100) de Clorsa Ltda.<sup>(6)</sup>, en cuya selección se tuvo en cuenta el cumplimiento de la Norma Técnica Colombiana 4760 [11].

---

<sup>(3)</sup> Unidad nefelométrica de turbidez, expresada con el acrónimo del inglés Nefelometric Turbidity Unit, es una unidad para medir la turbidez de un fluido.

<sup>(4)</sup> Química Integrada S.A. Empresa del sector industrial productora de insumos químicos para el tratamiento de aguas, con comercialización nacional e investigación en mercados internacionales.

<sup>(5)</sup> Sulfoquímica S.A. Empresa que cuenta con un amplio portafolio de productos y servicios destinados principalmente al tratamiento, manejo y conservación del agua para consumo humano, industrial y residual.

<sup>(6)</sup> Clorsa Ltda. Empresa especializada en productos químicos para el tratamiento de agua potable y aguas residuales.

A las 6 muestras de agua sedimentada obtenidas de cada ensayo se les determinó la turbiedad residual y el pH final para establecer cuál de ellas correspondía a la dosis mínima óptima (siendo esta la jarra óptima) y de esta manera hacerle determinación de aluminio residual [6].

Posteriormente, a la jarra óptima se le encontró el volumen de lodos producidos, dando por terminado así todos los análisis de laboratorio; con toda la información recolectada se hizo posible fijar relaciones de reemplazo entre los coagulantes.

#### **2.1.4 Evaluación técnica de las diferentes alternativas de coagulantes**

En esta fase se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en la etapa anterior y los datos registrados en las planillas de operación de la Planta Floridablanca [12] para con ellos realizar un análisis técnico enfocado en el almacenamiento, dosificación, localización de nuevos equipos, dispositivos e infraestructura, parámetros de calidad del agua tratada y producción de lodos.

#### **2.1.5 Evaluación económica preliminar**

La pre-evaluación económica se basó en resultados experimentales y en los informes mensuales de operación de la Planta Floridablanca [13] del año 2010 y lo corrido del primer semestre del 2011. Este estudio arroja el valor comparativo por m<sup>3</sup> de agua tratada y el costo de la infraestructura, dispositivos y equipos principales necesarios para la implementación de coagulantes líquidos en la Planta de tratamiento de agua potable de Floridablanca.

#### **2.1.6 Evaluación socio-ambiental**

Es una etapa de gran importancia porque con ella se valoró el nivel de afectación enfocado al trabajador, de las actividades propias actuales y de las posteriores con la ejecución de este nuevo proyecto.

## **2.2 PROCEDIMIENTO REALIZADO**

### **2.2.1 Caracterización del agua cruda**

Inicialmente se examinaron las propiedades del agua cruda de los informes mensuales de operación de la Planta [13], para con ellos formar una idea de su comportamiento físico-químico durante el 2010 y el primer trimestre de 2011.

En tanto se desarrollo la práctica, la caracterización de las muestras de agua cruda fue un aspecto fundamental para la posterior consecución de hallazgos y el desarrollo normal de la misma.

### **2.2.2 Determinación de la dosis mínima óptima de coagulante**

Para la determinación de la dosis mínima óptima en el ensayo de jarras, es necesario conocer e implementar los parámetros operacionales del proceso que son una serie de cuantificaciones establecidas y controladas para tener un óptimo desarrollo de la prueba, las cuales hacen referencia a la velocidad de rotación de los agitadores o paletas, ver ANEXO E.

El objetivo de esta prueba es determinar la concentración mínima de coagulante que produce la mayor eficiencia de reacción en el proceso de desestabilización de las partículas coloidales del agua [14] para ello se utilizo el equipo clarificador PHIPPS & BIRD, provisto de seis jarras de vidrio con capacidad de 1 L. Se tuvo en cuenta que el periodo entre el muestreo y el ensayo fuera mínimo en razón a que la actividad biológica u otros factores puedan alterar las características de coagulación del agua por reposo prolongado; así mismo se controlo la temperatura asegurando que los recipientes estén retirados de áreas iluminadas generadoras de calor para de éste modo evitar interferencias con la sedimentación.

La concentración de la solución de trabajo fue de 1 % p/v, proveniente de una solución madre de concentración 10% p/v; para dar cumplimiento a la NTC 3903 [8], dichas soluciones se prepararon y conservaron por un periodo de tiempo no

mayor a 24 horas y 3 meses respectivamente, ya que de lo contrario existe la posibilidad de que pierdan su efectividad.

Se efectuaron 44 ensayos según instructivo para la determinación de la dosis óptima de coagulante [7] tomando aproximadamente 50 ml (extraídos de la mitad de la profundidad del recipiente) de cada una de las jarras por ensayo, para realizar los siguientes análisis: turbiedad residual, pH final y aluminio residual en los equipos: turbidímetro HACH 2100 N, pHchímetro ORION 3 STAR y espectrofotómetro HACH DR 2800 respectivamente.

### **2.2.3 Volumen de lodos producidos**

Esta determinación se realiza con el fin de conocer el contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante el proceso de tratamiento [14]. Una vez encontrada la jarra a la cual pertenecía la concentración mínima óptima de coagulante, se procede a verter el contenido de la misma en un cono imhoff <sup>(7)</sup>, se espera una hora y se lee directamente en la graduación del cono, el volumen de lodos producidos por litro de agua [15].

---

<sup>(7)</sup> Recipiente cónico transparente de plástico rígido con graduación para medir los mililitros de sólidos sedimentables por litro de agua.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se encuentran los resultados experimentales, acompañados de la evaluación técnica, económica preliminar y socio – ambiental.

#### 3.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES

##### 3.1.1 Caracterización del agua cruda

Según las planillas de operación de la Planta Floridablanca [12] del año 2010 y primer trimestre de 2011 se realizaron tablas de caracterización de agua cruda tomando el valor mínimo de los mínimos valores diarios reportados hora a hora durante los meses allí estipulados para una determinada propiedad. De igual manera se hizo para los valores máximos y promedio, y para las otras variables. Las propiedades fisicoquímicas promedio del agua cruda de La Planta de Tratamiento de Floridablanca (para el periodo de tiempo anteriormente mencionado) se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valor promedio de las principales propiedades del agua cruda de La Planta Floridablanca.

PROPIEDAD	VALOR PROMEDIO
Turbiedad (NTU)	207,80
Color (UPC)	43,32
pH (Unidades)	7,70
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	25,85
Conductividad (μS/s)	61,07
Fuente: El Autor.	

##### 3.1.2 Determinación de la dosis mínima óptima de coagulante

Para el ensayo de jarras se tomaron 12 muestras de agua con diferentes valores de turbiedad y pH. Los valores de las turbiedades trabajadas fueron: 17,9; 26,6; 27,5; 31,3; 34,3; 104; 1761; 1860; 3413; 4360; 6866; y 13500 NTU; y los valores de pH inicial fueron: 7,94; 7,10; 7,44; 7,46; 7,29; 7,49; 7,05; 7,07; 6,88; 6,67; 6,99; 6,95 unidades respectivamente.

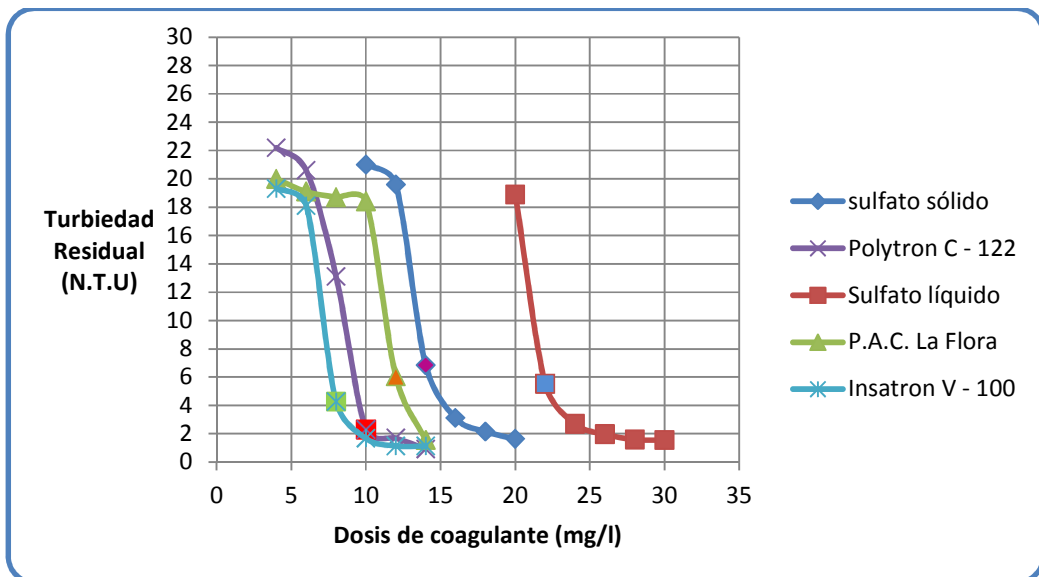
En la Figura 3 y la Figura 4 se encuentran graficados los resultados del ensayo de jarras para una de las muestras de agua cruda que cuenta con las siguientes características:

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la muestra de agua de río No. 7.

PARÁMETROS INICIALES			PRUEBA N° 7		
Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH (unidades)	Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)
27,5	18	7,44	18	59,4	-----

Fuente: El Autor.

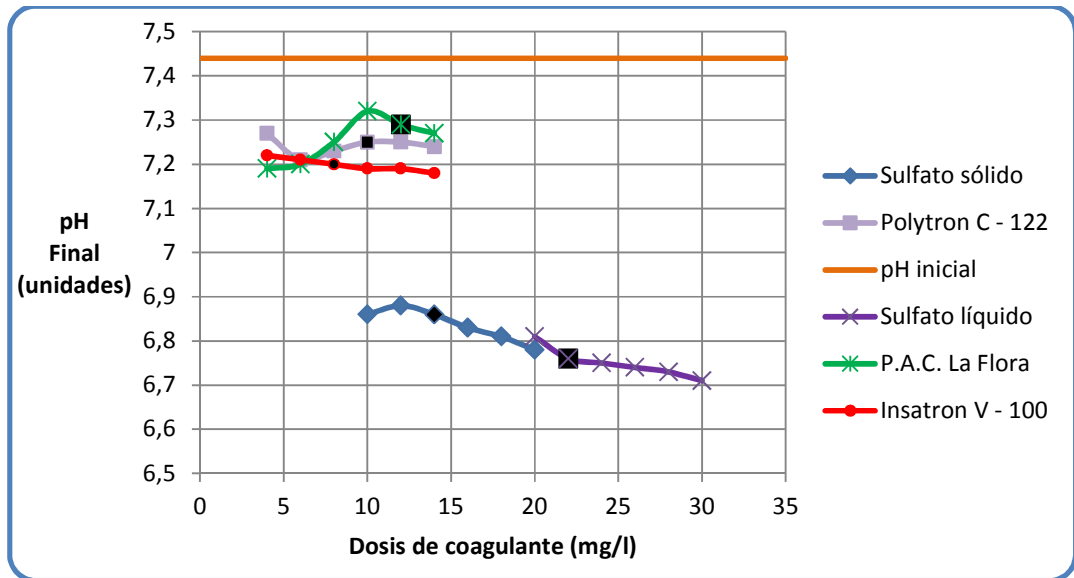
Figura 3. Turbiedad residual Vs Dosis mínima óptima para una muestra de agua cruda de turbiedad inicial 27,5 NTU.



Fuente: El Autor.

Cabe resaltar que se escogió como jarra óptima aquella que presentara una turbiedad residual por debajo de 10 NTU ya que los filtros de la planta pueden remover dicha cantidad de unidades en promedio y de esta manera poder obtener agua tratada que cumpla con los parámetros internos de calidad [16], los cuales pueden observarse en el ANEXO F.

Figura 4. pH final Vs Dosis mínimas óptimas para una muestra de agua cruda de pH inicial 7,44 unidades.



Fuente: El Autor.

Como puede observarse en las gráficas anteriores, las dosis mínimas óptimas están marcadas con diferente color, y es visible que para todos los coagulantes excepto para el sulfato líquido, las dosis son menores; las dosis óptimas son: para el sulfato sólido, sulfato líquido, P.A.C. La Flora, Polytron C – 122, e Insatron V – 100: 14, 22, 12, 10 y 8 mg/l respectivamente.

Este resultado hace notar que la cantidad de coagulante utilizada para los P.A.C. es similar a la manejada para el sulfato sólido, pero a pesar de esto todos ellos tienen una ventaja frente al coagulante actual, ya que para producir un agua de la misma calidad se necesitaría una dosis menor de las nuevas alternativas de coagulantes poliméricos; por ejemplo, para que el P.A.C. La Flora produzca un agua con turbiedad residual de 6,85 NTU (Dosis de 14 mg/l), que corresponde a la turbiedad dejada por el sulfato sólido, solo necesita 11 mg/l.

Respecto al pH final para cada cantidad de coagulante (Figura 4), es evidente que a lo largo de los experimentos realizados con el Polytron C – 122, el Insatron V – 100, y el P.A.C. La Flora, éstos permanecen estables y cercanos al inicial,

diferente de lo que ocurre con el sulfato sólido y el líquido, a pesar de que son dosis bajas.

El problema de afectación del pH con el coagulante actual y su presentación líquida, hace inevitable la corrección de la propiedad al final del proceso con alcalinizante, en este caso la cal, que acarrea un costo adicional en el tratamiento del agua.

La no eficiencia de los coagulantes en la remoción lleva a otros problemas no contabilizados como es el aumento del consumo de energía para el retro-lavado de filtros y el inminente riesgo de tener valores fuera de la norma [9] o de los establecidos al interior de la empresa [16], que obligan a realizar operaciones adicionales al proceso.

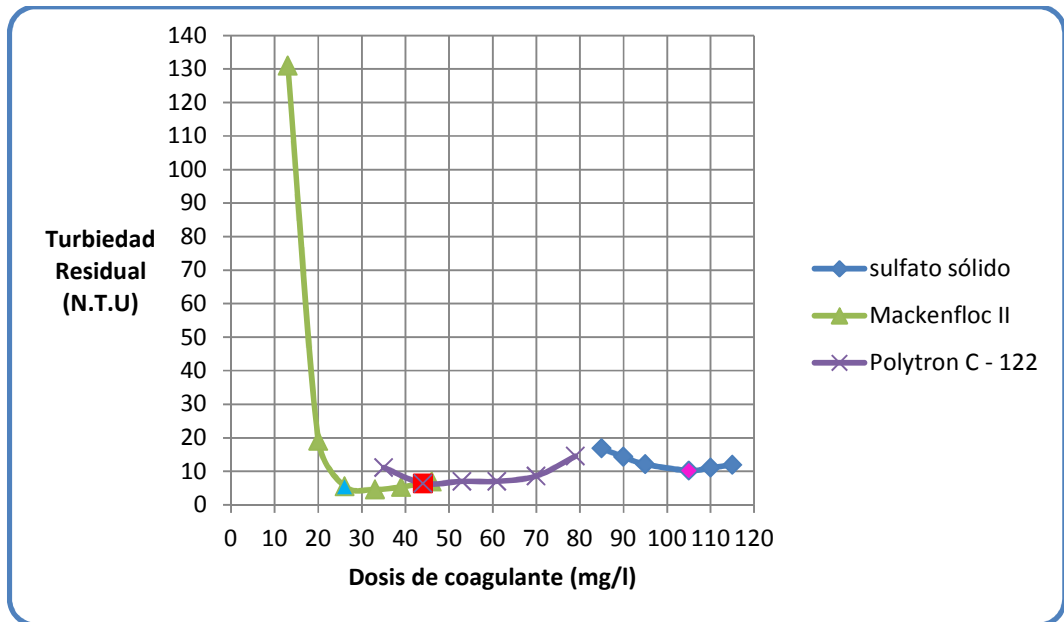
Al trabajar con una turbidez inicial de 6866 NTU (Tabla 3) (Figura 5) se observa cierta reestabilización del floc con dosis superiores a 44 mg/l, siendo mayor la cantidad de coagulante Polytron C – 122 necesaria para alcanzar valores semejantes de turbiedad residual. Este comportamiento fue presentado de igual forma por el Insatron V – 100 en algunos casos.

**Tabla 3. Características fisicoquímicas de la muestra de agua de río No. 11.**

PARÁMETROS INICIALES / PRUEBA Nº 11					
Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH (unidades)	Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)
6866	240	6,99	-----	42,9	21,1
Fuente: El Autor.					

La conducta evidenciada por los polímeros deja claro que la dosis de coagulante es un parámetro crítico dado que si este se adiciona por debajo de la cantidad requerida, no se neutralizan totalmente las cargas de las partículas, la formación de microfloculos es escasa y la turbiedad del agua tratada es elevada; si se adiciona exceso de coagulante, se produce la inversión de las cargas de las partículas y la sucesiva formación de gran cantidad de microfloculos de tamaños muy pequeños haciendo que la turbiedad del agua sea, igualmente, elevada.

Figura 5. Turbiedad residual Vs Dosis mínima óptima para una muestra de agua cruda de turbiedad inicial 6866 NTU.



Fuente: El Autor.

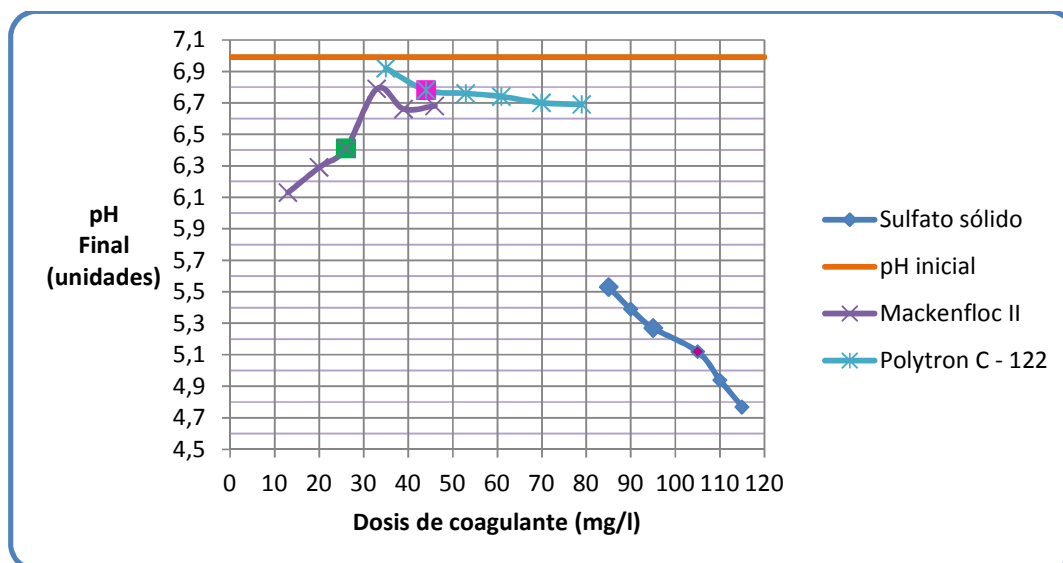
La Figura 5 además prueba, que existen circunstancias en las cuales el agua de la planta de Floridablanca tratada con sulfato de aluminio sólido, actualmente utilizado, no alcanza valores de turbiedad residual permitidos para ninguna de las dosis, siendo estas muy elevadas, lo que demuestra la poca eficiencia en la remoción de partículas coloidales que implica la utilización de floculantes, también llamados ayudantes de coagulación, ayudantes de floculación é incluso ayudantes de filtración; son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones y se aplican o dosifican al agua cruda posterior al sulfato de aluminio; haciendo que su utilización genere incrementos en el costo del agua tratada.

A pesar de que el sulfato de aluminio sólido no alcanza por si solo valores aceptables de turbiedad residual, es notoria la eficiencia del Mackenfloc, pues es capaz de generar agua de muy buena turbidez residual con dosis realmente bajas en comparación a las utilizadas por el primer coagulante mencionado. En este

momento se podría decir que, el Mackenfloc de cierta forma facilita el estancamiento de la dosis en turbiedades elevadas.

El estudio del efecto que sobre el pH del agua tuvo la adición de diferentes alternativas de coagulantes en los procesos de coagulación – floculación – sedimentación, representado en la Figura 6 para una muestra de agua con pH inicial de 6,99; se observa que la reducción del pH en la aplicación de sulfato sólido es bastante significativa en relación con los otros productos al emplear elevadas dosis para el tratamiento del agua; esta última condición no impide a los coagulantes poliméricos mantener una tendencia cercana a las características iniciales de la muestra y además, en algunos casos mostrar una tendencia mejorada del pH a lo largo de la utilización de dosis progresivas de coagulante, como es el caso del Mackenfloc.

**Figura 6. pH final Vs Dosis mínimas óptimas para una muestra de agua cruda de pH inicial 6,99 unidades.**



Fuente: El Autor.

Los resultados de todas las pruebas de dosis mínimas óptimas obtenidas en el ensayo de jarras se encuentran en el ANEXO G; pero para determinar cuánto es la reducción en el consumo de coagulante, se tomó como referencia la dosis

mínima óptima de sulfato de aluminio para cada valor de turbiedad estudiado y el valor de turbiedad residual obtenido con esta dosis, para con esto y utilizando curvas de turbiedad residual vs. Dosis mínima óptima, buscar la dosis de los otros coagulantes que producen el mismo valor de turbiedad residual que el obtenido con el sulfato de aluminio. Con estos valores, presentados en la Tabla 4 <sup>(8)</sup> se halló la razón de reemplazo de sulfato de aluminio para cada coagulante referida a la turbiedad (Tabla 5).

**Tabla 4. Dosis de reemplazo de sulfato de aluminio de acuerdo a la turbiedad.**

AGUA CRUDA		DOSIS DE COAGULANTE (mg/l)					
<u>Turb.</u> <u>(NTU)</u>	<u>pH</u> <u>(unid)</u>	<u>S. Al</u> <u>sól</u>	<u>S. Al</u> <u>líq</u>	<u>PAC</u> <u>La Flora</u>	<u>PAC C -</u> <u>122</u>	<u>PAC V -</u> <u>100</u>	<u>Mack</u>
17,9	7,94	16,00	26,50				
104	7,49	24,00			18,50	15,50	
34,3	7,29	14,00	29,00		16,50	10,50	7,50
1860	7,07	60,00		43,00		28,50	
31,3	7,46	16,00	25,00	12,50	8,50	7,50	
4360	6,67	75,00		59,00	43,00	42,00	
3413	6,88	65,00			39,00		
27,5	7,44	14,00	21,00	11,00	9,00	7,00	
26,6	7,1	16,00	22,50	11,50			
1761	7,05	60,00	118,00		47,00	31,00	32,00

Fuente: El Autor.

La relación de reemplazo para los cinco coagulantes no fue la misma, obteniéndose el menor valor (0,53) para el Mackenfloc, es decir con este coagulante se reduce el consumo de esta materia prima a aproximadamente la mitad; un valor cercano a él (0,56) lo obtuvo el Insatron V – 100. En el caso de los otros dos coagulantes poliméricos, la razón de reemplazo se encuentra alrededor de 0,7 incrementándose de esta forma en relación al Insatron V – 100 y al Mackenfloc, ya mencionados. Por otra parte, el sulfato de aluminio líquido es quien muestra que se hacen necesarias, cantidades superiores de producto en

<sup>(8)</sup> La tabla no contiene los datos hallados de dosis mínima óptima para las turbiedades iniciales de 6866 y 13500 NTU, debido a que no se encontró un valor referencia del coagulante actual por no cumplir con los parámetros estipulados en la decisión de escogencia de la jarra óptima.

concordancia con las utilizadas en su presentación sólida, pero lejanas de ser el doble.

Tabla 5. Razón de reemplazo de coagulantes alternativos de acuerdo a la turbiedad.

RAZÓN DE REEMPLAZO DE SULFATO DE AL SÓLIDO A:				
Sulfato de Al líq	PAC La Flora	Polytron C - 122	Insatron V - 100	Mackenfloc
1,66				
		0,77	0,65	
2,07		1,18	0,75	0,54
	0,72		0,48	
1,56	0,78	0,53	0,47	
	0,79	0,57	0,56	
		0,60		
1,50	0,79	0,64	0,50	
1,41	0,72			
1,97		0,78	0,52	0,53
1,69	0,76	0,73	0,56	0,53

Fuente: El Autor.

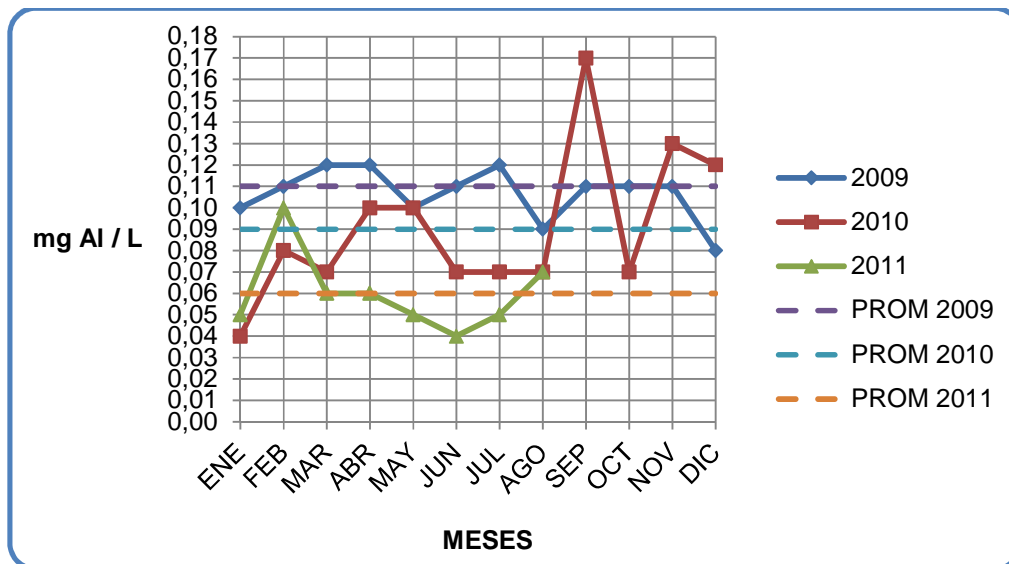
### 3.1.3 Determinación de aluminio residual

La Figura 7 muestra el comportamiento del Aluminio residual en el agua tratada en la Planta Floridablanca con el coagulante actual, durante el período comprendido entre el año 2009 y Agosto de 2011, con sus respectivos promedios; evidenciando de esta manera que el valor medio general se encuentra por debajo de 0,11 mg Al/L y desciende a medida que pasa el tiempo; lo cual deja entrever el empeño por mejorar la calidad del agua tratada.

La Reglamentación colombiana, basada en la Resolución 2115 de 2007 [9] establece para el aluminio, una concentración máxima admisible de 0,2 mg/l. Así mismo, el a.m.b S.A. E.S.P.<sup>(9)</sup> recomienda no sobrepasar dicha concentración en el agua tratada para consumo humano dentro de sus parámetros internos de calidad [16].

<sup>(9)</sup> Siglas en español del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. Empresa de Servicios públicos.

Figura 7. Comportamiento del Aluminio residual en el agua tratada en la Planta de Floridablanca en el período comprendido entre el año 2009 y Agosto de 2011.



Fuente: El Autor.

Por tanto, la determinación de la cantidad de aluminio en el agua es interesante y, más aún si se tienen en cuenta trabajos de investigación que inciden en la correlación entre tasa de aluminio en el cerebro y distintos tipos de desórdenes neurodegenerativos.

La Tabla 6 expone las características fisicoquímicas de una muestra de agua de río para quien se encontró el aluminio residual luego de realizar la respectiva sedimentación.

Tabla 6. Características fisicoquímicas de la muestra de agua de río No. 12.

PARÁMETROS INICIALES				PRUEBA N° 12	
Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH (unidades)	Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Conductividad (µs/cm)	Temperatura (°C)
1761	58	7,05	-----	46,9	21,8

Fuente: El Autor.

Es claro que los coagulantes poliméricos alternativos al sulfato de aluminio sólido, producen agua sedimentada con niveles de aluminio residual muy por debajo del insumo empleado en la actualidad, como se ve en la Figura 7, incluso llegando a ser nulos como en el caso del P.A.C. Polytron C – 122. Sin embargo, el sulfato de aluminio líquido no exhibe valores de concentración de aluminio residual tan bajos en comparación con los otros productos; aunque todas las materias primas empleadas cumplen con la normatividad legal vigente en relación a la calidad del agua para consumo humano [9].

**Tabla 7. Concentración de Aluminio residual para la muestra de agua de río N° 12.**

<b>NOMBRE DEL COAGULANTE</b>	<b>Mg Al/L</b>
Sulfato de Aluminio sólido	0,16
Sulfato de Aluminio líquido	0,10
Mackenfloc	0,01
P.A.C. Polytron C - 122	0,00
P.A.C. Insatron V - 100	0,06
Fuente: El Autor.	

### **3.1.4 Volumen de lodos producidos**

Esta prueba se realizó en 6 muestras de agua con turbiedades iniciales entre 27,5 y 6866 NTU como lo indica la Tabla 8.

Los resultados obtenidos en la prueba evidencian de forma clara que el sulfato de aluminio sólido, es quien presenta igual o menor volumen de lodos producidos en comparación con los demás coagulantes, aunque estos últimos no varíen significativamente.

Estimar cuanto mayor es la producción de lodos de los cinco coagulantes respecto al utilizado en la actualidad sería proporcionar una apreciación bastante subjetiva; pues todos los lodos no sedimentan a la misma velocidad, y adicional a esto el paso del agua de las jarras a los conos imhoff ocasiona una ruptura involuntaria de los flóculos restando compactación a los lodos.

Tabla 8. Volumen de lodos producidos en 6 muestras de agua.

AGUA CRUDA	VOLUMEN DE LODOS PRODUCIDOS (ml/l)					
<u>Turbiedad</u> <u>(NTU)</u>	<u>S. Al</u> <u>sólido</u>	<u>S. Al</u> <u>líquido</u>	<u>PAC La</u> <u>Flora</u>	<u>PAC</u> <u>C - 122</u>	<u>PAC</u> <u>V - 100</u>	<u>Mackenfloc</u>
34,3	0,5	0,5				
4360	35		40	37	36	
6866	41			41		
3413	22,5			24		
27,5	0,4	0,6	0,5	0,6		
1761	14,5			16	16	15
Fuente: El Autor.						

### 3.2 EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE COAGULANTES.

#### 3.2.1 Almacenamiento

El almacenamiento de los insumos coagulantes se hará en tanques cilíndricos verticales, de fondo plano y cabezal superior abombado, para almacenamiento estático, apoyados sobre una base plana y uniforme (dique); fabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio que contrarresta el mayor poder corrosivo presentado por los policloruros respecto al sulfato sólido.

Se estará provisto de tres tanques de 25000 L situados en posición triangular y a la intemperie.

#### 3.2.2 Dosificación

El sistema de dosificación está compuesto por los tanques de almacenamiento anteriormente expuestos, un tanque de 1m<sup>3</sup> que hará las veces de aforador y las bombas de desplazamiento positivo de diafragma recíprocante.

La elección de las bombas se efectuó mediante el siguiente cálculo:

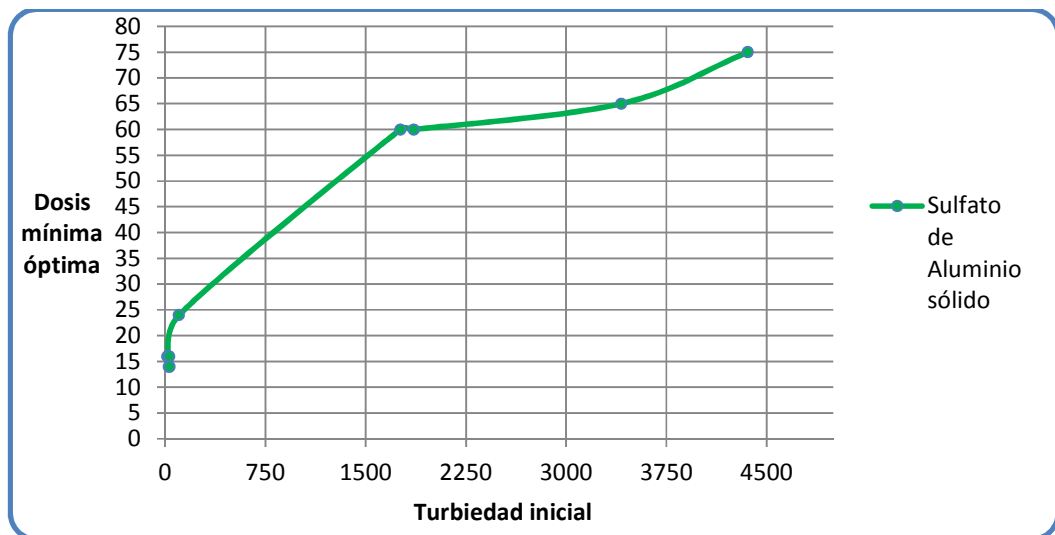
Se elige la cantidad de coagulante a aplicar en Kg/h teniendo en cuenta la dosis (g/m<sup>3</sup>) y el caudal de agua a tratar (m<sup>3</sup>/s); seguido de esto con la densidad (Kg/l) y

lo hallado inicialmente, se encuentra el volumen de coagulante a dosificar en cada hora (17).

Se tomo como limitante inicial para decidir en qué instante dosificar sulfato líquido y en cual otro momento los coagulantes poliméricos, una turbiedad de 3000 NTU, ya que en el procedimiento de operación [17] de la planta se resuelve iniciar pretratamiento con ayudantes de floculación para estas condiciones y en el caso de que supere las 4000 NTU, suspender el tratamiento.

Teniendo en cuenta esto, mediante la Figura 8 que muestra las dosis mínimas óptimas de sulfato de aluminio sólido de acuerdo a las variaciones iniciales de turbiedad estudiadas, se determino cual sería la dosis mínima óptima requerida para una turbiedad inicial de 3000 NTU (62 mg/l) que se convierte en el punto final de dosificación del sulfato de aluminio liquido y el inicio de los otros coagulantes.

**Figura 8. Dosis mínimas óptimas de Sulfato de Aluminio sólido de acuerdo a las variaciones de turbiedad inicial estudiadas.**



Fuente: El Autor.

Por medio del consumo y las dosis de Sulfato de Aluminio sólido en el período comprendido entre 2010 y primer semestre de 2011 (ANEXO H) junto con las

relaciones halladas en la Tabla 5, se determinó las dosis correspondientes a los coagulantes restantes (ANEXO I).

Expuesto lo anterior, la Tabla 9 ilustra la dosificación mínima y máxima de las bombas para cada coagulante.

De esta manera, las bombas a utilizar poseen una tasa de dosificación que va de 12.1 l/h a 121 l/h para la primera y 23,6 l/h a 236 l/h para la segunda, teniendo en cuenta que en el caso de presentar turbiedades bastante elevadas, el caudal de agua de tratamiento se disminuye considerablemente.

**Tabla 9. Dosificación mínima y máxima de las bombas para cada coagulante.**

COAGULANTE	DOSIFICACIÓN BOMBA	
	MÍNIMA (l/h)	MÁXIMA (l/h)
Sulfato de Aluminio líquido	18,33	115,32
P.A.C La Flora	54,28	284,54
Polytron C - 122	37,24	195,22
Insatron V - 100	38,46	201,6
Mackenfloc	36,40	190,8
Fuente: El Autor.		

### 3.2.3 Localización de nuevos equipos, dispositivos e infraestructura.

Los tanques de almacenamiento (contenidos en un dique) se encontrarán ubicados contiguos al floculador hidráulico de la planta nueva y las cuatro bombas (dos para cada sub planta) estarán dispuestas en la terraza lindante a la bodega de aseo. La bomba de trasvase se ubicará fronteriza al taller mecánico debido a la facilidad de llegada a este punto de los carrotanques que contienen el insumo químico, como se observa en el ANEXO J.

### **3.2.4 Parámetros de calidad del agua tratada con las distintas alternativas de coagulantes.**

Los parámetros evaluados en el agua tratada, con los cinco coagulantes alternativos fueron: turbiedad, pH y aluminio residual; que conforme a la Resolución 2115 de 2007[9] y a los parámetros internos de calidad de la empresa [16], tuvieron en su totalidad un cumplimiento favorable que hace que el proyecto resulte viable desde este punto de vista.

### **3.2.5 Producción de lodos.**

Según lo indicado en la sección 3.1.4, la producción de lodos por parte de las alternativas coagulantes es superior a la presentada por el Sulfato de Aluminio sólido, resultando ser una desventaja técnica frente al utilizado en la actualidad, pero no en gran magnitud si se analiza que las variaciones no representan significancia.

## **3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR.**

### **3.3.1 Costo promedio por m<sup>3</sup> de agua tratada con cada coagulante.**

Los costos del tratamiento de agua de río se realizaron de la siguiente forma: de las planillas de operación de la Planta de Floridablanca [12] se tomaron los valores que corresponden a la cantidad de agua tratada con Sulfato de Aluminio sólido en el período comprendido entre el 2010 y el primer semestre de 2011, y el consumo de insumos químicos (sulfato, cal, cloro); con estos datos se calculó el costo de esas materias primas y con base a esto se dedujo el valor por m<sup>3</sup> de agua tratada con el coagulante actual.

Obtenido lo anterior, se repitió el proceso para los otros coagulantes teniendo en cuenta las relaciones de reemplazo y sobretodo colocando como condición principal que el consumo de cal con los coagulantes alternativos, excepto el Sulfato de Aluminio líquido, es cero; de esta manera se hallaron costos promedio

iguales a 21,52; 23,88; 27,91; 21,86; 22,57y 24,96 pesos mcte para el Sulfato de Aluminio sólido, el P.A.C. La Flora, el Polytron C – 122, el Sulfato de Aluminio líquido, el Insatron V – 100 y el Mackenfloc, respectivamente (ver ANEXO K).

Estos datos muestran con total claridad que el costo más bajo lo obtiene el Sulfato de Aluminio sólido (utilizado en el presente); pero pensando en tener un cambio hacia los coagulantes líquidos, se ve que el Sulfato de Aluminio en su presentación líquida es quien sigue en la lista como el más ocionado para realizarlo.

De los coagulantes poliméricos, el Insatron V – 100, el P.A.C. La Flora y el Mackenfloc, en su orden son los más económicos de su género y quienes presentan poca variación en el costo; y el Polytron C – 122 es el coagulante que genera el mayor costo para la tratabilidad del agua.

Desde el punto de vista económico resultaría poco favorable el cambio del coagulante sólido a presentaciones líquidas en la Planta Floridablanca, pero no en gran medida, pues existen muchas razones que muestran dicho cambio como la mejor opción para los nuevos retos en cuanto al tratamiento de agua potable.

### **3.3.2 Costo de los principales equipos.**

Los principales equipos dentro de este proyecto son: las bombas dosificadoras y los tanques de almacenamiento de los productos químicos.

El costo de las bombas dosificadoras, al igual que los tanques de almacenamiento requeridos se encuentran en la Tabla 10; sus respectivas características de fabricación junto con la cotización hecha a la empresas Serviclora y Fibratore S.A respectivamente, se presentan en el ANEXO L.

La mayor inversión reflejada en la compra de los equipos principales sería de aproximadamente 69´932.000.

**Tabla 10. Costo bombas dosificadoras <sup>(10)</sup>.**

EQUIPO	COSTO POR UNIDAD (COP)	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO TOTAL (COP)
Bomba 12.1 l/h – 121 l/h	3'448.500	2	6'897.000
Bomba 23.6 l/h – 236 l/h	5'243.500	2	10'487.000
Tanque 25000 L	17'516.000	3	52'548.000
<b>TOTAL</b>			<b>69'932.000</b>
Fuente: El Autor.			

### 3.4 EVALUACIÓN SOCIO – AMBIENTAL.

Es muy probable que las personas que se encuentran expuestas con mayor frecuencia a niveles altos de partículas de aluminio estén propensas a sufrir riesgos en salud; como es el caso de la Planta Floridablanca donde el Sulfato de Aluminio sólido es el coagulante por excelencia, haciendo que el riesgo ocupacional sea alto no solo debido a la cantidad de bultos que se deben cargar por turno cuando las turbiedades son considerablemente elevadas sino debido también a la exposición como tal.

Se conoce que las finas partículas sólidas del aluminio son relativamente insolubles en el ambiente por lo que es baja la concentración de este compuesto disuelto en las aguas naturales; efecto que se vería anulado con la utilización de la opción expuesta en el presente estudio.

Por otra parte, el alto consumo de Sulfato sólido es directamente proporcional a la cantidad de sacos vacíos, a quienes se les debe realizar su respectiva disposición final y que por supuesto genera un costo adicional en el proceso.

Consiguientemente con lo anterior, los coagulantes líquidos se convierten en una alternativa bastante atractiva que mitiga e incluso elimina por completo los conflictos ocasionados por las presentaciones sólidas.

<sup>(10)</sup> El costo de las bombas dosificadoras cotizadas en € se expresó en COP según cierre del euro para el 3 de Febrero de 2012 (2361,92 COP).

#### **4. CONCLUSIONES**

En relación a los resultados obtenidos en la etapa experimental se establece que todos los coagulantes poliméricos requieren bajas dosis para producir agua de la misma calidad que la tratada con una dosis superior de Sulfato de Aluminio sólido, y adjunto a esto, mantienen el pH incluso con dosis elevadas de coagulante; condiciones que no ofrece el Sulfato de Aluminio líquido haciendo por consiguiente que los coagulantes poliméricos se conviertan en una opción atractiva en la potabilización del agua.

La Turbiedad Residual arrojada por el Sulfato de Aluminio sólido en ocasiones no logra alcanzar un valor aceptable, transformando la utilización de floculantes en una constante en el proceso cuando las turbiedades de agua de río son elevadas lo que genera un incrementando en el costo del tratamiento.

Los valores de Aluminio Residual encontrados para los polímeros coagulantes se hallan muy por debajo de los encontrados con Sulfato de Aluminio sólido, llegando incluso a ser nulos, lo que favorece en gran medida la salud humana y el cumplimiento de lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007; ventaja que no es de gran notoriedad en el uso del Sulfato de Aluminio de presentación líquida.

Desde el punto de vista técnico, el almacenamiento y dosificación de los insumos químicos son de relativa facilidad, adicional a esto la Planta de Floridablanca cuenta con el espacio necesario y suficiente para la ubicación de los mismos.

En cuanto a los parámetros evaluados para corroborar la efectividad en la utilización de coagulantes líquidos, se cumple a cabalidad con lo indicado por las normas legales vigentes e internas de la empresa; aunque en la parte de producción de lodos, el Sulfato de Aluminio sólido es quien mejor se encuentra posicionado.

Económicamente hablando, el costo por m<sup>3</sup> de agua tratada es más bajo cuando se implementa la potabilización de agua con Sulfato de Aluminio sólido, seguido del Sulfato de Aluminio con presentación líquida, aunque la variabilidad de precios entre todos los coagulantes es bastante reducida; dicha limitante no constituye significancia frente a las exigencias que representan los nuevos retos en tratabilidad de agua potable. Conjuntamente, el valor de la inversión del proyecto cercana a los 70'000.000 de pesos mcte destinada para la compra de los principales equipos, es reducida al confrontarla con la contribución que genera en el mejoramiento de la calidad del agua.

En términos ambientales y de salud, las partículas finas de Aluminio que se encuentran en el medio laboral gracias a la utilización del Sulfato sólido, constituyen un eminente riesgo para los trabajadores, sumado a la vulnerabilidad a la que se exponen de sufrir lesiones ocupacionales propias de su actividad. La disposición final de los sacos que contienen el insumo actual origina un costo complementario y perjudica la gestión ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. RODRÍGUEZ PENA, Carlos. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Agua. Bogotá D.C : Oficina de Publicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995.
- [2]. ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Bogotá D.C : McGraw-Hill, 2000.
- [3]. PEREZ, Jorge Arturo. Manual de Potabilización del Agua. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 1990.
- [4]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Instructivo de operación del sistema de captación y suministro de agua cruda del sistema Río Frío a la Planta Floridablanca. IPT 702-001. Procesos para la potabilización del agua.
- [5]. ORTIZ RIOS, Juan Carlos. Evaluación y Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Floridablanca y Actualización del Manual de Operación de la Planta. Bucaramanga : Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.
- [6]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Instructivo de métodos analíticos para el control de la calidad del agua. ICC 801-001.
- [7]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Instructivo para la determinación de la dosis óptima de coagulante. ITR 705-006.
- [8]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de Coagulación-Floculación en un recipiente con agua ó Método de Jarras. Bogotá D.C : Norma Técnica Colombiana 3903. INCOTEC, 2001. pág. 15.
- [9]. COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 (22 de Junio de 2007). Por medio de la cual se señalan Características, Instrumentos Básicos y Frecuencias de Sistema de Control y Vigilancia paa la Calidad del Agua para Consumo Humano. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2007 : No. 46.679.
- [10]. COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 1575 (9 de Mayo de 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C, 2007 : No. 46.632.
- [11]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Productos Químicos. Policloruro de aluminio líquido para

tratamiento de Agua Potable. Bogotá D.C : Norma Técnica Colombiana 4760. INCONTEC, 2001. pág. 17.

[12]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Planillas de Operación de la Planta de Floridablanca.

[13]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Informes mensuales de operación de la Planta Floridablanca.

[14]. REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Sistemas de Potabilización. Aspectos Generales de los Sistemas de Potabilización. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C : Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS 2000, pág. C.7 a C.15.

[15]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Instrutivo de Ensayos de tratabilidad de lodos.

[16]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P - Sistema de gestión integral. Plan de calidad.

[17]. Cárdenas, Ing. Yolanda Andía. Tratamiento de agua: coagulación floculación. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Lima : s.n., 2000.

[18]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. Procedimiento de operación planta de tratamiento. P TR 701-002.

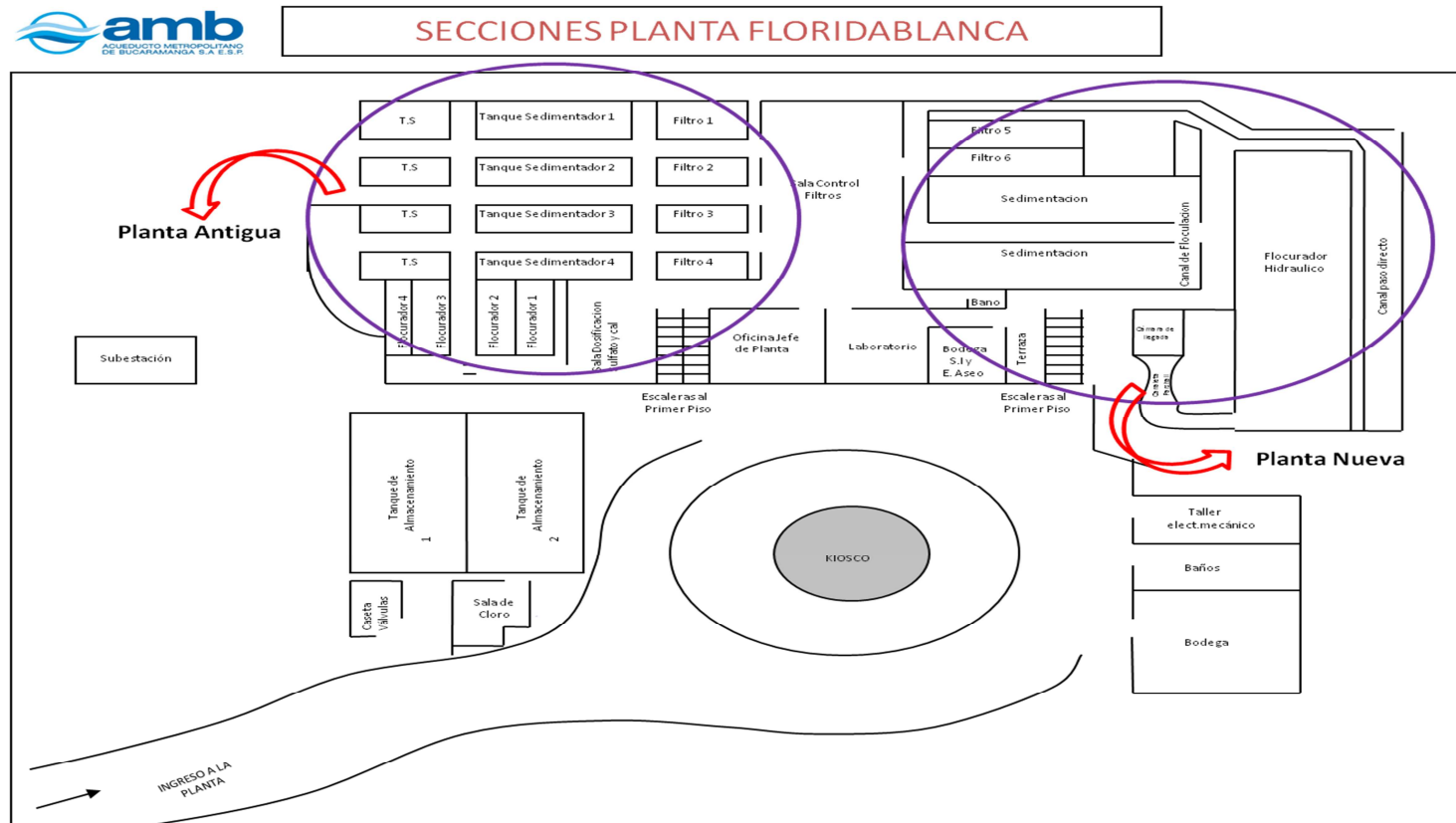
[19]. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuiquímica. Bogotá D.C. : Escuela Colombiana de Ingeniería, 1996.

[20]. GUERRERO TORRES, RAUL. Manual de Tratamiento de Aguas. México : Limusa-Wiley, 2004.

## ANEXOS

### ANEXO A. SECCIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLORIDABLANCA

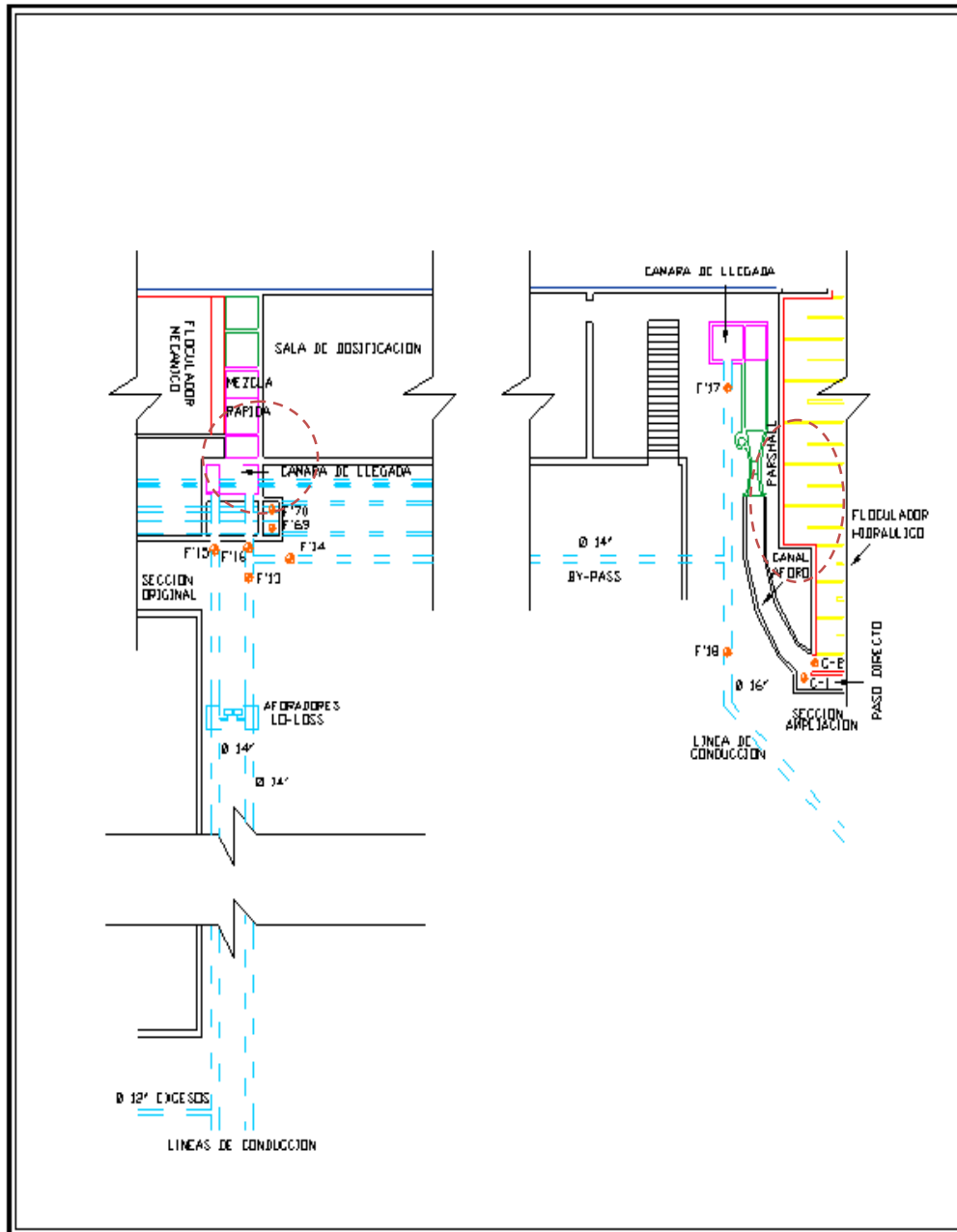
Figura A. 1. Secciones de la Planta de tratamiento de Floridablanca.



Fuente: El Autor.

## ANEXO B. MEZCLADORES PARA COAGULACIÓN

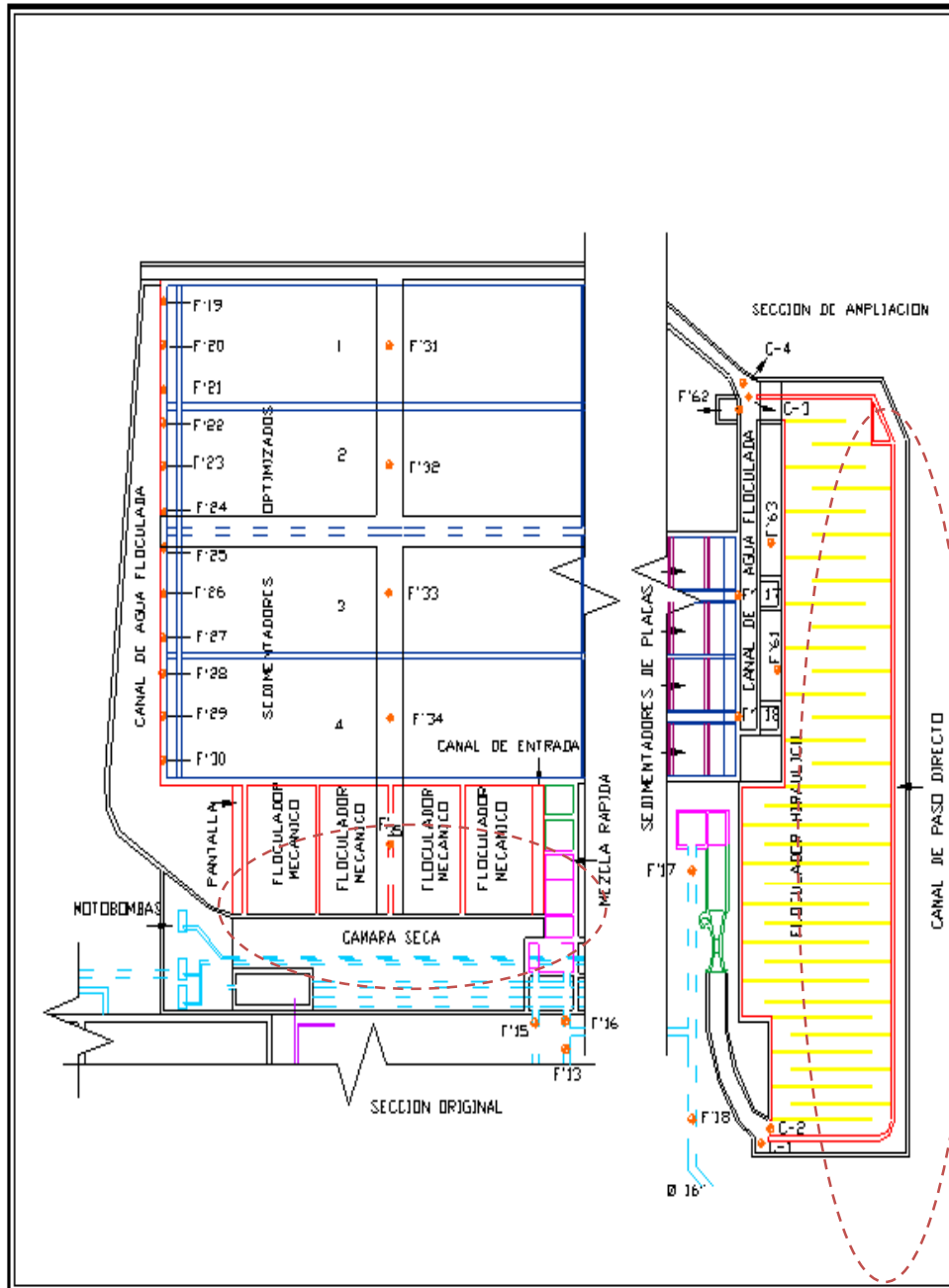
Figura B. 1 Plano de los mezcladores para coagulación.



Fuente: ORTIZ RIOS, Juan Carlos. *Evaluación y Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Floridablanca y Actualización del Manual de Operación de la Planta*. Bucaramanga : Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

## ANEXO C. FLOCULADORES

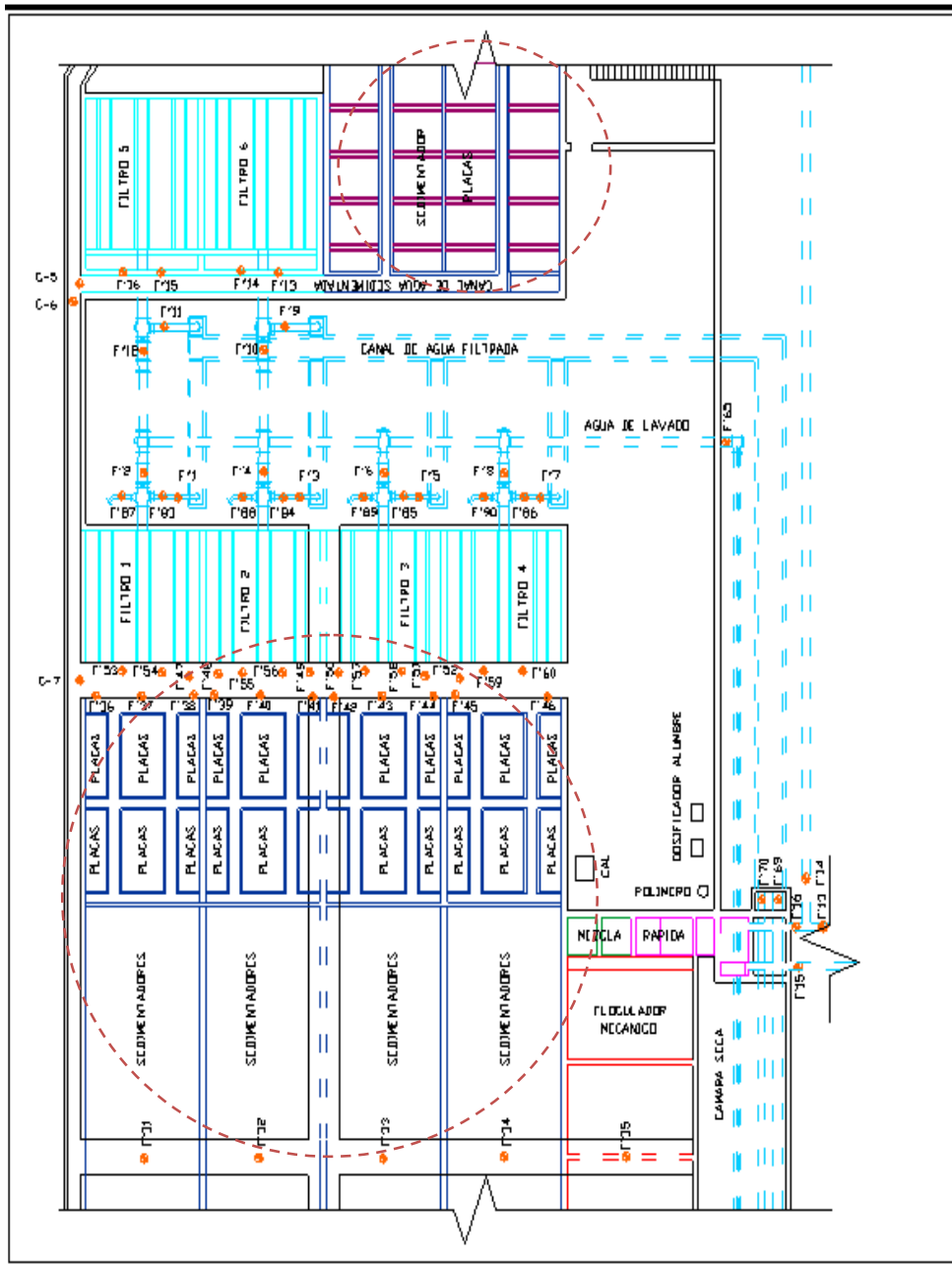
Figura C. 1. Plano de los floculadores.



Fuente: ORTIZ RIOS, Juan Carlos. *Evaluación y Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Floridablanca y Actualización del Manual de Operación de la Planta*. Bucaramanga : Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

## ANEXO D. UNIDADES DE SEDIMENTACIÓN

Figura D. 1 Plano de las unidades de sedimentación.



Fuente: ORTIZ RIOS, Juan Carlos. *Evaluación y Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Floridablanca y Actualización del Manual de Operación de la Planta*. Bucaramanga : Tesis (Ingeniero Sanitario y Ambiental). Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

## ANEXO E. PARÁMETROS OPERACIONALES PARA EL ENSAYO DE JARRAS.

Tabla E. 1 Parámetros de operación para el ensayo de jarras

PARÁMETRO OPERACIONAL	VALOR ESTABLECIDO
Velocidad de agitación - Mezcla rápida	100 rpm
Tiempo de Mezcla rápida	1 min
Velocidad de agitación – Flocculación	40 rpm
Tiempo de Flocculación	15 min
Velocidad de agitación - Sedimentación	0 rpm
Tiempo de Sedimentación	15 min

Fuente: ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. - Instructivo para la determinación de la dosis óptima de coagulante. ITR 705-006.

## ANEXO F. PARÁMETROS INTERNOS DE CALIDAD.

Figura F. 1. Parámetros internos de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.



Fuente: ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P - Sistema de gestión integral. Plan de calidad.

## ANEXO G. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE JARRAS

Tabla G. 2 Resultados de los ensayos de jarras.

AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO					Coag <sub>1,1</sub>	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
17,9	38	7,94	28			16,5	7,05	5,98	7,28	3,76	6,72	2,73	7,07	2,45	6,71	1,39	6,65
						(mg/l): 14	(mg/l): 16	(mg/l): 18	(mg/l): 20	(mg/l): 22	(mg/l): 24						
AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO					Coag <sub>2,1</sub>	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
13,8	6,83	13	6,88	4,2		6,78	2,32	6,73	2,3	6,67	1,31	6,63					
						(mg/l): 21	(mg/l): 24	(mg/l): 27	(mg/l): 30	(mg/l): 33	(mg/l): 36						
AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO					Coag <sub>1,2</sub>	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
104	66	7,49	22			59,6	6,78	48,1	6,76	3,73	6,7	3,4	6,68	3,1	6,64	2,75	6,61
						(mg/l): 20	(mg/l): 22	(mg/l): 24	(mg/l): 26	(mg/l): 28	(mg/l): 30						
AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO					Coag <sub>3,2</sub>	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
62,1	7,35	65	7,33	55,4		7,29	53,2	7,29	5,21	7,3	2,04	7,3					
						(mg/l): 10	(mg/l): 12	(mg/l): 14	(mg/l): 16	(mg/l): 18	(mg/l): 20						
AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO					Coag <sub>4,2</sub>	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
59	7,3	50,5	7,3	9,71		7,43	1,84	7,45	1,28	7,4	1,04	7,33					
						(mg/l): 10	(mg/l): 12	(mg/l): 14	(mg/l): 16	(mg/l): 18	(mg/l): 20						
AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO					Coag <sub>1,3</sub>	JARRA 1	JARRA 2	JARRA 3	JARRA 4	JARRA 5	JARRA 6						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>

T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>		10,8	5,99	6,52	5,81	4,05	5,65	3,61	5,53	3,15	5,36	2,72	5,12					
1860	44	7,07	20	46,2		(mg/l): 55	(mg/l): 60	(mg/l): 65	(mg/l): 70	(mg/l): 75	(mg/l): 80											
<b>AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO</b>					<b>Coag<sub>4,3</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>											
						T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>					
						234	6,91	35	6,78	3,52	6,77	2,15	6,76	2,29	6,75	2,8	6,73					
							(mg/l): 20	(mg/l): 25	(mg/l): 30	(mg/l): 35	(mg/l): 40	(mg/l): 45										
					<b>Coag<sub>5,3</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>											
						T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>					
						284	6,8	93,7	6,72	21,9	6,69	4,16	6,68	1,94	6,66	1,55	6,64					
							(mg/l): 30	(mg/l): 35	(mg/l): 40	(mg/l): 45	(mg/l): 50	(mg/l): 55										
					<b>Coag<sub>1,4</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>											
						T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>					
						20,7	6,9	4,65	6,84	2,73	6,85	2,04	6,85	2,06	6,81	1,65	6,77					
							(mg/l): 14	(mg/l): 16	(mg/l): 18	(mg/l): 20	(mg/l): 22	(mg/l): 24	(mg/l): 26	(mg/l): 28								
					<b>Coag<sub>2,4</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>											
						T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>					
						23,8	6,87	21,8	6,83	9,51	6,83	8,72	6,84	2,28	6,81	1,75	6,8					
							(mg/l): 18	(mg/l): 20	(mg/l): 22	(mg/l): 24	(mg/l): 26	(mg/l): 28										
					<b>Coag<sub>5,4</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>											
						T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>					
						25,9	7,39	23,1	7,35	21,5	7,37	19,9	7,38	6,54	7,36	2,06	7,36					
							(mg/l): 4	(mg/l): 6	(mg/l): 8	(mg/l): 10	(mg/l): 12	(mg/l): 14										
					<b>Coag<sub>3,4</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>											
						T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>					
						23,4	7,44	22	7,38	5,66	7,41	1,79	7,4	1,67	7,33	121	7,32					

AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO				
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>
4360	69	6,67		36

AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO				
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>
3413	67	6,88	13	40,7

	(mg/l): 4	(mg/l): 6	(mg/l): 8	(mg/l): 10	(mg/l): 12	(mg/l): 14
<b>Coag<sub>4,4</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
	T <sub>2,1</sub> p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub> T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub> T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub> T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub> p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub> p <sub>2,6</sub>
	22,1 7,38	23,1 7,54	24,2 7,53	3,79 7,5	2,15 7,47	1,34 7,44
	(mg/l): 2	(mg/l): 4	(mg/l): 6	(mg/l): 8	(mg/l): 10	(mg/l): 12
<b>Coag<sub>1,5</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
	T <sub>2,1</sub> p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub> T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub> T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub> T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub> p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub> p <sub>2,6</sub>
	13,1 5,86	7,17 5,63	3,98 5,47	2,6 5,27	2,31 5,13	2,06 5,03
	(mg/l): 70	(mg/l): 75	(mg/l): 80	(mg/l): 85	(mg/l): 90	(mg/l): 95
<b>Coag<sub>5,5</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
	T <sub>2,1</sub> p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub> T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub> T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub> T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub> p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub> p <sub>2,6</sub>
	485 6,64	221 6,55	87,3 6,5	41 6,48	6,29 6,46	2,57 6,44
	(mg/l): 40	(mg/l): 45	(mg/l): 50	(mg/l): 55	(mg/l): 60	(mg/l): 65
<b>Coag<sub>3,5</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
	T <sub>2,1</sub> p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub> T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub> T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub> T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub> p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub> p <sub>2,6</sub>
	19,1 6,66	4,45 6,56	2,47 6,48	1,99 6,46	1,73 6,45	1,63 6,43
	(mg/l): 40	(mg/l): 45	(mg/l): 50	(mg/l): 55	(mg/l): 60	(mg/l): 65
<b>Coag<sub>4,5</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
	T <sub>2,1</sub> p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub> T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub> T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub> T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub> p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub> p <sub>2,6</sub>
	191 6,67	51 6,55	19,4 6,52	4,06 6,51	1,74 6,5	1,11 6,48
	(mg/l): 30	(mg/l): 35	(mg/l): 40	(mg/l): 45	(mg/l): 50	(mg/l): 55
<b>Coag<sub>1,6</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
	T <sub>2,1</sub> p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub> T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub> T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub> T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub> p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub> p <sub>2,6</sub>
	47,7 5,83	15,3 5,65	7,31 5,5	4,01 5,25	3,09 5,02	2,84 4,81
	(mg/l): 55	(mg/l): 60	(mg/l): 65	(mg/l): 70	(mg/l): 75	(mg/l): 80

AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO				
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>
27,5	18	7,44	18	59,4

Coag <sub>3,6</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	851	6,96	355	6,92	65,9	6,92	24,4	6,85	5,37	6,84	2,13	6,81
	(mg/l): 20		(mg/l): 25		(mg/l): 30		(mg/l): 35		(mg/l): 40		(mg/l): 45	
Coag <sub>1,7</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	21	6,86	19,6	6,88	6,85	6,86	3,11	6,83	2,16	6,81	1,64	6,78
	(mg/l): 10		(mg/l): 12		(mg/l): 14		(mg/l): 16		(mg/l): 18		(mg/l): 20	
Coag <sub>2,7</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	8,9	6,81	5,54	6,76	2,7	6,75	1,97	6,74	1,59	6,73	1,55	6,71
	(mg/l): 20		(mg/l): 22		(mg/l): 24		(mg/l): 26		(mg/l): 28		(mg/l): 30	
Coag <sub>5,7</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	20	7,19	17	7,2	18,7	7,25	18,4	7,32	6,06	7,29	1,55	7,27
	(mg/l): 4		(mg/l): 6		(mg/l): 8		(mg/l): 10		(mg/l): 12		(mg/l): 14	
Coag <sub>3,7</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	22,2	7,27	20,6	7,21	13,1	7,23	2,3	7,25	1,7	7,25	0,93	7,24
	(mg/l): 4		(mg/l): 6		(mg/l): 8		(mg/l): 10		(mg/l): 12		(mg/l): 14	
Coag <sub>4,7</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	19,3	7,22	18,1	7,21	4,27	7,2	1,68	7,19	1,14	7,19	1,13	7,18
	(mg/l): 4		(mg/l): 6		(mg/l): 8		(mg/l): 10		(mg/l): 12		(mg/l): 14	
Coag <sub>1,8</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	

AGUA CRUDA /				
--------------	--	--	--	--

AGUA DE RÍO					T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>											
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>																							
13500	780	6,95		55,3	(mg/l): 200	(mg/l): 210	(mg/l): 220	(mg/l): 230	(mg/l): 240	(mg/l): 250																	
					<b>Coag<sub>5,8</sub></b>		<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>															
					T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>											
					15	6,63	12,7	6,59	6,92	6,54																	
					(mg/l): 80	(mg/l): 90	(mg/l): 100	(mg/l):	(mg/l):	(mg/l):																	
					<b>Coag<sub>3,8</sub></b>		<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>															
					T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>											
					18,1	6,74	10,8	6,68	9,7	6,63	8,67	6,62	8,66	6,61	8,65	6,6											
					(mg/l): 65	(mg/l): 70	(mg/l): 75	(mg/l): 80	(mg/l): 85	(mg/l): 90																	
					<b>Coag<sub>4,8</sub></b>		<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>															
					T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>											
					14,6	6,72	9,65	6,68	8,38	6,65																	
					(mg/l): 60	(mg/l): 70	(mg/l): 80	(mg/l):	(mg/l):	(mg/l):																	
										<b>Coag<sub>1,9</sub></b>		<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>										
										T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>						
										20,6	6,87	11,8	6,83	3,04	6,81	2,52	6,79	2,26	6,76	2,02	6,73						
										(mg/l): 12	(mg/l): 14	(mg/l): 16	(mg/l): 18	(mg/l): 20	(mg/l): 22												
										<b>Coag<sub>2,9</sub></b>		<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>										
										T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>						
19,6	6,8	19,5	6,78	3,33						6,77	2,47	6,77	2,38	6,77	1,87	6,76											
(mg/l): 18	(mg/l): 20	(mg/l): 22	(mg/l): 24	(mg/l): 26						(mg/l): 28																	
<b>Coag<sub>5,9</sub></b>		<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>						<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>															
T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>						T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>											

AGUA CRUDA / AGUA DE RÍO																						
T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>																		
34,3	11	7,29	27	63,5																		
					<b>Coag<sub>1,10</sub></b>		22,2	7,1	18,9	7,17	10,8	7,16	2,42	7,19	1,73	7,21	1,23	7,2				
							(mg/l): 6		(mg/l): 8		(mg/l): 10		(mg/l): 12		(mg/l): 14		(mg/l): 16					
							<b>JARRA 1</b>		<b>JARRA 2</b>		<b>JARRA 3</b>		<b>JARRA 4</b>		<b>JARRA 5</b>		<b>JARRA 6</b>					
							T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
10,5	6,82	4,33	6,86	3,07	6,88	2,58	6,87	2,47	6,85	2,46	6,83											
(mg/l): 12		(mg/l): 14		(mg/l): 16		(mg/l): 18		(mg/l): 20		(mg/l): 22												
					<b>Coag<sub>2,10</sub></b>		<b>JARRA 1</b>		<b>JARRA 2</b>		<b>JARRA 3</b>		<b>JARRA 4</b>		<b>JARRA 5</b>		<b>JARRA 6</b>					
							T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
							25,29	7,03	25,1	7,07	8,79	7,07	4,8	7,06	3,62	7,03	2,56	6,98				
							(mg/l): 21		(mg/l): 24		(mg/l): 27		(mg/l): 29		(mg/l): 32		(mg/l): 35					
					<b>Coag<sub>6,10</sub></b>		<b>JARRA 1</b>		<b>JARRA 2</b>		<b>JARRA 3</b>		<b>JARRA 4</b>		<b>JARRA 5</b>		<b>JARRA 6</b>					
							T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
							17,7	7,31	3,87	7,41	2,51	7,4	2,18	7,37	2,06	7,36	1,63	7,33				
							(mg/l): 5		(mg/l): 8		(mg/l): 10		(mg/l): 13		(mg/l): 16		(mg/l): 18					
					<b>Coag<sub>3,10</sub></b>		<b>JARRA 1</b>		<b>JARRA 2</b>		<b>JARRA 3</b>		<b>JARRA 4</b>		<b>JARRA 5</b>		<b>JARRA 6</b>					
							T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
							24,7	7,18	19,4	7,35	26,8	7,43	4,88	7,41	3,16	7,44	2,19	7,4				
							(mg/l): 5		(mg/l): 90		(mg/l): 12		(mg/l): 16		(mg/l): 19		(mg/l): 21					
					<b>Coag<sub>4,10</sub></b>		<b>JARRA 1</b>		<b>JARRA 2</b>		<b>JARRA 3</b>		<b>JARRA 4</b>		<b>JARRA 5</b>		<b>JARRA 6</b>					
							T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
							23,8	7,08	10,4	7,25	7,3	7,28	1,73	7,27	1,82	7,25	2	7,23				
							(mg/l): 4		(mg/l): 7		(mg/l): 9		(mg/l): 12		(mg/l): 14		(mg/l): 17					
					<b>Coag<sub>1,11</sub></b>		<b>JARRA 1</b>		<b>JARRA 2</b>		<b>JARRA 3</b>		<b>JARRA 4</b>		<b>JARRA 5</b>		<b>JARRA 6</b>					
							T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
							16,8	5,53	14,3	5,39	12,1	5,27	10,2	5,12	11,1	4,94	11,9	4,77				

6866	240	6,99		42,9		(mg/l): 85	(mg/l): 90	(mg/l): 95	(mg/l): 105	(mg/l): 110	(mg/l): 115																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">AGUA CRUDA /</th> </tr> <tr> <th colspan="5">AGUA DE RÍO</th> </tr> <tr> <th>T<sub>1</sub></th> <th>C<sub>1</sub></th> <th>p<sub>1</sub></th> <th>A<sub>1</sub></th> <th>Co<sub>1</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1761</td> <td>58</td> <td>7,05</td> <td></td> <td>46,9</td> </tr> </tbody> </table>					AGUA CRUDA /					AGUA DE RÍO					T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>	1761	58	7,05		46,9	<b>Coag<sub>3,11</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>
					AGUA CRUDA /																										
					AGUA DE RÍO																										
					T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	p <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	Co <sub>1</sub>																						
					1761	58	7,05		46,9																						
					T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>															
					11,1	6,92	6,39	6,78	6,98	6,76	7,01	6,74	8,59	6,7	14,5	6,69															
					(mg/l): 35	(mg/l): 44	(mg/l): 53	(mg/l): 61	(mg/l): 70	(mg/l): 79																					
										<b>Coag<sub>6,11</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>															
											T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>									
											131	6,13	19,1	6,29	5,54	6,41	4,57	6,79	5,32	6,66	6,93	6,68									
											(mg/l): 1	(mg/l): 20	(mg/l): 26	(mg/l): 33	(mg/l): 39	(mg/l): 46															
										<b>Coag<sub>1,12</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>															
											T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>									
											340	6,62	142	6,24	41,7	6,17	12	6,08	7,76	6,01	5,62	5,88									
											(mg/l): 40	(mg/l): 45	(mg/l): 50	(mg/l): 55	(mg/l): 60	(mg/l): 65															
															<b>Coag<sub>2,12</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>										
																T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
																10,1	6,08	8,66	5,95	7,43	5,75	5,06	5,61	4,59	5,46	3,52	5,3				
																(mg/l): 106	(mg/l): 113	(mg/l): 120	(mg/l): 126	(mg/l): 133	(mg/l): 140										
															<b>Coag<sub>6,12</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>										
																T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
																408	6,86	33,9	6,9	5,84	6,98	3,61	6,96	3,43	6,93	2,88	6,91				
																(mg/l): 20	(mg/l): 26	(mg/l): 33	(mg/l): 39	(mg/l): 46	(mg/l): 52										
															<b>Coag<sub>3,12</sub></b>	<b>JARRA 1</b>	<b>JARRA 2</b>	<b>JARRA 3</b>	<b>JARRA 4</b>	<b>JARRA 5</b>	<b>JARRA 6</b>										
																T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>				
																553	6,97	369	7	14,6	7,03	3,04	7,04	3,93	7,02	4,52	6,99				
																(mg/l): 26	(mg/l): 35	(mg/l): 44	(mg/l): 53	(mg/l): 61	(mg/l): 70										

Coag <sub>4,12</sub>	JARRA 1		JARRA 2		JARRA 3		JARRA 4		JARRA 5		JARRA 6	
	T <sub>2,1</sub>	p <sub>2,1</sub>	T <sub>2,2</sub>	T <sub>2,2</sub>	p <sub>2,3</sub>	T <sub>2,3</sub>	p <sub>2,4</sub>	T <sub>2,4</sub>	p <sub>2,5</sub>	p <sub>2,5</sub>	T <sub>2,6</sub>	p <sub>2,6</sub>
	779	6,96	28,4	6,99	5,28	7,01	2,79	7	3,22	6,98	3,29	6,96
	(mg/l): 20		(mg/l): 23		(mg/l): 33		(mg/l): 39		(mg/l): 46		(mg/l): 52	

Fuente: El Autor.

CONVENCIONES		
SIMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
T <sub>1</sub>	Turbiedad inicial	NTU
C <sub>1</sub>	Color verdadero	UPC
p <sub>1</sub>	pH	Unidades
A <sub>1</sub>	Alcalinidad	mg/l CaCO <sub>3</sub>
Co <sub>1</sub>	Conductividad	μs/cm
T <sub>2,y</sub>	Turbiedad Residual, jarra y	NTU
p <sub>2,y</sub>	pH final, jarra y	unidades
Coag <sub>2,x</sub>	Sulfato de aluminio líquido, prueba número x	
Coag <sub>3,x</sub>	Polytron C – 122, prueba número x	
Coag <sub>4,x</sub>	Insatron V – 100, prueba número x	
Coag <sub>5,x</sub>	P.A.C. La Flora, prueba número x	
Coag <sub>6,x</sub>	Mackenfloc, prueba número x	

## ANEXO H. CONSUMO Y DOSIS DE LOS DIFERENTES COAGULANTES A PARTIR DEL SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO EN 2010 Y PRIMER SEMESTRE DE 2011.

Tabla H. 1 Consumo y dosis de Sulfato de Aluminio sólido en la Planta Floridablanca en 2010 y primer semestre de 2011.

SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO							
AÑO		2010					
MES		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
DOSIS [p.p.m]	MIN	16,01	12,10	15,01	13,89	14,61	15,64
	MAX	22,26	44,00	42,15	95,02	160,09	150,01
	PROM	18,14	20,21	17,65	22,70	28,34	25,91
CONSUMO [Kg]	MIN	363,48	97,38	61,20	365,34	341,34	782,28
	MAX	447,12	1205,88	931,32	1661,28	2285,34	2138,82
	PROM	405,30	673,82	389,69	1049,48	1267,99	1171,64
CONSUMO TOTAL [Kg]		810,60	13476,48	6624,72	31484,35	39397,56	35149,20
CONSUMO TOTAL [Ton]		0,81	13,48	6,62	31,48	39,40	35,15
SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO							
AÑO		2010					
MES		JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DOSIS [p.p.m]	MIN	13,85	16,00	12,44	11,81	10,55	15,95
	MAX	185,09	132,06	200,09	302,00	206,21	259,74
	PROM	22,15	23,85	24,65	24,64	35,92	29,80
CONSUMO [Kg]	MIN	667,14	813,06	733,14	734,04	834,96	810,78
	MAX	2023,44	2364,60	1717,50	2271,96	3152,64	2154,60
	PROM	975,84	1063,65	1072,33	1082,90	1437,64	1281,99
CONSUMO TOTAL [Kg]		30251,04	32973,30	32169,84	33569,88	43129,26	39741,54
CONSUMO TOTAL [Ton]		30,25	32,97	32,17	33,57	43,13	39,74
SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO							
AÑO		2011					
MES		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
DOSIS [p.p.m]	MIN	12,58	10,02	16,00	15,88	15,79	11,94
	MAX	178,97	179,25	137,77	325,00	259,99	220,06
	PROM	17,93	21,50	27,42	35,84	31,43	25,23
CONSUMO [Kg]	MIN	665,70	612,72	846,30	863,10	848,10	823,14
	MAX	1225,38	1730,94	2031,72	2979,66	2440,98	2144,64
	PROM	851,73	992,01	1239,34	1572,32	1396,46	1144,72

CONSUMO TOTAL [Kg]	26403,72	27776,28	38443,02	47169,48	43290,18	34341,72
CONSUMO TOTAL [Ton]	26,40	27,78	38,44	47,17	43,29	34,34
Fuente: ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. <i>Planillas de Operación de la Planta de Floridablanca.</i>						

**Tabla H. 2. Resumen del consumo y dosis de Sulfato de Aluminio sólido en la Planta Floridablanca en 2010 y primer semestre de 2011.**

Sulfato de Al sólido	DOSIS [p.p.m]	CONSUMO DIARIO	
		[Kg]	[Ton]
MIN	10,02	61,20	0,06
MAX	325,00	3152,64	3,15
PROM	24,82	1048,79	1,05
Fuente: ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A E.S.P. <i>Planillas de Operación de la Planta de Floridablanca.</i>			

## ANEXO I. CONSUMO DIARIO Y DOSIS DE LOS DIFERENTES COAGULANTES A PARTIR DEL SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO.

Tabla I. 1 Resumen del consumo y dosis de los diferentes coagulantes estudiados en la Planta Floridablanca en 2010 y primer semestre de 2011.

Sulfato de Al líquido	DOSIS	CONSUMO DIARIO	
	[p.p.m]	[Kg]	[Ton]
MIN	16,93	103,43	0,10
MAX	549,25	5327,96	5,33
PROM	41,94	1772,46	1,77
PAC La Flora	DOSIS	CONSUMO DIARIO	
	[p.p.m]	[Kg]	[Ton]
MIN	7,62	46,51	0,05
MAX	247,00	2396,01	2,40
PROM	18,86	797,08	0,80
Polytron	DOSIS	CONSUMO DIARIO	
	[p.p.m]	[Kg]	[Ton]
MIN	7,31	44,68	0,04
MAX	237,25	2301,43	2,30
PROM	18,12	765,62	0,77
Insatron	DOSIS	CONSUMO DIARIO	
	[p.p.m]	[Kg]	[Ton]
MIN	5,61	34,27	0,03
MAX	182,00	1765,48	1,77
PROM	13,90	587,33	0,59
Mackenfloc	DOSIS	CONSUMO DIARIO	
	[p.p.m]	[Kg]	[Ton]
MIN	5,31	32,44	0,03
MAX	172,25	1670,90	1,67
PROM	13,15	555,86	0,56

Fuente: El Autor.



## ANEXO K. RESUMEN DEL COSTO PROMEDIO POR m<sup>3</sup> DE AGUA TRATADA.

Tabla K. 1 Resumen costo promedio por m<sup>3</sup> de agua tratada.

RESUMEN COSTO PROMEDIO POR m <sup>3</sup> DE AGUA TRATADA							
COAGULANTE		S Al sólido	PAC La Flora	Politron	S. Al líquido	Insatron	Mackenfloc
2010	Ene	5,71	5,75	5,81	5,72	5,73	5,77
	Feb	13,44	15,05	17,04	13,62	14,29	15,61
	Mar	9,12	9,84	10,73	9,19	9,50	10,09
	Abr	22,63	25,65	29,83	23,00	24,07	26,83
	May	25,40	28,44	33,16	25,81	26,66	29,77
	Jun	24,34	26,71	31,09	24,73	25,05	27,94
	Jul	20,86	23,08	26,76	21,19	21,69	24,12
	Ago	23,07	25,61	29,82	23,45	24,01	26,79
	Sep	23,65	26,18	30,50	24,03	24,54	27,39
	Oct	23,57	26,41	30,79	23,95	24,75	27,64
	Nov	28,23	31,56	36,99	28,71	29,51	33,09
	Dic	26,08	28,91	33,80	26,52	27,06	30,29
2011	Ene	18,60	20,56	24,22	18,88	19,66	21,47
	Feb	20,34	22,86	27,03	20,67	21,84	23,90
	Mar	26,14	29,03	34,58	26,57	27,67	30,41
	Abr	28,25	31,10	37,09	28,72	29,62	32,59
	May	24,43	26,82	31,86	24,82	25,58	28,08
	Jun	23,53	26,23	31,24	23,91	25,02	27,55
<b><i>COSTO PROMEDIO</i></b>		<b>21,52</b>	<b>23,88</b>	<b>27,91</b>	<b>21,86</b>	<b>22,57</b>	<b>24,96</b>

Fuente: El Autor.

**ANEXO L. COTIZACIONES DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS.**

 <b>SERVICIORO</b> NIT 860.353.061-4		<b>EQUIPOS - SUMINISTROS - ASESORIA</b> <b>MANTENIMIENTO - INSTALACIÓN - CAPACITACIÓN</b>		
Cámara 47A N 103 - 40 PBO: 623 5670 Fax: 621 3852 - www.servicloro.com E-mail: info@servicloro.com - Bogotá, D.C.				
<b>SEÑORES:</b> PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLORIDABLANCO Ing. María Consuelo Salcedo S. <a href="mailto:concha_sa@hotmail.com">concha_sa@hotmail.com</a> Bucaramanga-Santander		<b>Fecha:</b> Enero 31 de 2012		
		<b>Oferta #:</b> Z40024/01/12	<b>PAG:</b> 1/1	
		<b>Validez de la Oferta:</b> Treinta (30) días		
		<b>ENTREGA:</b> Inmediata salvo venta previa		
<b>Solicitado por:</b> Ing. María Consuelo Salcedo S.		<b>F. de pago:</b> Anticipado para proceder al despacho		
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	Según requerimiento de AMB: 100 l/h PAC Bomba dosificadora de productos químicos líquidos para trabajo Industrial tipo diafragma-mecánica, marca OBL modelo MB121PP32 de fabricación europea. Combina las características de una bomba de pistón (basa de flujo lineal a cualquier contrapresión) con la exactitud en la dosificación de una bomba de diafragma. Características técnicas: * Rata de dosificación - Mínima: 12.1 litros/hora - Máxima: 121 litros/hora * Presión máxima de descarga: 6 bar (87PSI) * Precisión: 2% * Motor eléctrico trifásico, tipo jaula de ardilla Industrial de 0,3 H.P., 60Hz, 220VAC, y grado de protección IP 55. * Material del diafragma: PTFE (Teflón) * Cabezal en PP reforzado en fibra de vidrio. * Gula de la válvula en polipropileno PP. * Válvula en esfera de Hastelloy C. * Asiento de la válvula en Incoloy 825 * Sellos de la válvula en Vitón * Conexión 3/8" * Un (1) Frasco de aceite para la caja reductora * Peso: 10 Kg.	1	€ 1.460	€ 1.460
				
<b>OBSERVACIONES:</b> La tasa del Euro se liquidará a la fecha de facturación y entrega del equipo. <b>Adicional el IVA</b>				
Gerencia	Ing. Mauricio Pinzon J. Gerente Comercial	Juan David Ruge Asesor Técnico Comercial		

<b>SEÑORES:</b> <b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE FLORIDABLANCO</b> Ing. María Consuelo Salcedo S. <a href="mailto:concha_ss@hotmail.com">concha_ss@hotmail.com</a> Bucaramanga-Santander	<b>Fecha:</b>	Febrero 1 de 2012
	<b>Oferta #</b>	Z40025/01/12 <b>PAG.</b> 2
	<b>Validez de la Oferta:</b>	Treinta (30) días
	<b>Entrega:</b>	Seenta (60) días
<b>Solicitud por:</b> Ing. María Consuelo Salcedo S.	<b>F. de pago:</b>	Anticipado para proceder al despacho

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
------	-------------	-------	-------------	-------------

2	<p>Bomba dosificadora de productos químicos para trabajo industrial, tipo diafragma para una mayor exactitud en la dosificación, marca OBL, modelo MO238PP32, de fabricación europea con indicación analoga de la rata de flujo instantánea.</p> <p>Características técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Rata de dosificación           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínima 23,6 litros/hora</li> <li>- Máxima 236 litros/hora</li> </ul> </li> <li>* Presión máxima de descarga: 6 bar (87 PSI)</li> <li>* Precisión: 2%</li> <li>* Motor eléctrico trifásico, tipo jaula de ardilla industrial de 0.4 H.P., 60Hz, 220VAC, 1700 RPM y grado de protección IP 55.</li> <li>* Sistema de dosificación tipo diafragma mecánico para mayor precisión. El material del diafragma es PTFE (Teflon)</li> <li>* Cabezal en PP reforzado en fibra de vidrio.</li> <li>* Válvula en Esfera de Hastelloy</li> <li>* Asiento de la válvula en INCOLOY 825</li> <li>* Sellos en Vitón</li> <li>* Conexión roscada 3/4"</li> <li>* Succión Max: 1,5 m.w.c</li> </ul>	1	€ 2.220	€ 2.220
---	---	---	---------	---------



**OBSERVACIONES:**  
La tasa del Euro se liquidará a la fecha de facturación y entrega del equipo.  
Adicional el IVA

Gerencia	Ing. Mauricio Pinzon J. Gerente Comercial	Juan David Ruge Asesor Técnico Comercial
----------	--	---

Medellín, 25 de Mayo de 2011

Ingeniero  
**YOLANDA BOTERO**  
AMB  
[ybotero@amb.com.co](mailto:ybotero@amb.com.co)  
Bucaramanga

#### REFERENCIA

Cotización de tanques para almacenamiento de productos químicos, fabricados en poliéster reforzado con fibras de vidrio, PRFV.

#### MATERIAS PRIMAS

Barrera corrosiva: Fabricada en resina Poliéster Bisfenol A, con velo de superficie.

Laminado estructural: Resina Poliéster Ortoftalica modificada.

Fibras de vidrio de refuerzo tipo Matt 723B de 450 gr./m<sup>2</sup> y Woven Roving 366B de 800 gr./m<sup>2</sup>, Vetrotex, Brasil.

#### NORMAS DE FABRICACION

ICONTEC 2888, ICONTEC 2890. ASTM D 4097-88, ASTM C 582-87.

#### ACABADOS

Post curado interior con inyección de aire caliente seco.

Acabado exterior en pintura poliéster, con estabilizadores de rayos U.V. para uso a la intemperie.

#### TIPO DE TANQUE

Tanque cilíndrico vertical, de fondo plano y cabezal superior abombado, para almacenamiento estático, diseñado para ser apoyado totalmente, sobre una base plana y uniforme.

ASOCIACIÓN ICONTEC

CALLE 100 B SUR N° 51-10 LA ESTRELLA TEL: 276 17 90 - 276 17 36 FAX: 276 14 58 Web site: [www.fibratore.com](http://www.fibratore.com)  
MEDELLÍN - COLOMBIA

#### ACCESORIOS INCLUIDOS

Un manhole superior de inspección de 50 cm. de diámetro con tapa y tornillos galvanizados.

Un manhole inferior de 50 centímetros de diámetro, con empaque de neopreno y tomillería de acero inoxidable.

Cuatro accesorios tipo brida, norma ANSI B 16.5, Full Face, para entrada, salidas y drenaje.

Un venteo superior en PVC tipo cuello de ganso.

Accesorios de izaje (Lifting Lugs), en platina de acero galvanizados en frío.

Dos bandas traslúcidas de control de nivel, con tabla de aforo en litros.

#### NO SE INCLUYE

Las obras civiles como bases o diques.

No se incluye el suministro de escaleras, guardas, válvulas, equipos o dispositivos diferentes a los descritos.

#### PARAMETROS DE DISEÑO

Proceso: Almacenamiento estático atmosférico

Producto: Policloruro de Aluminio o Sulfato de Aluminio.

Densidad: 1.33 – 1.4 ton/m<sup>3</sup>

Temperatura: Ambiente

Presión: Atmosférica

#### DIMENSIONES Y VALOR

Diámetro interior: 260 cm

Altura del cilindro: 475 cm

Altura del cabezal: 28 cm

Volumen: 25.000 litros

Valor: \$ 15'100.000.00 / unidad, más IVA (16 % régimen común).

#### FORMA DE PAGO

50 % anticipo, 50 % contra entrega.

AFILIADOS A: ICONFEX

CALLE 100 B SUR N° 51-16 LA ESTRELLA TEL: 276 17 96 - 276 17 36 FAX: 276 14 38 Web site: [www.fibratore.com](http://www.fibratore.com)  
MEDELLÍN - COLOMBIA



#### LUGAR DE ENTREGA

Instalaciones en Bucaramanga, sobre plataforma de camión.

#### TIEMPO DE ENTREGA

30 días, después de confirmada la orden de compra.

#### GARANTIA

Dos (2) años por defectos de fabricación o falla en la materia prima, operando en las condiciones solicitadas.

No es alcance de esta garantía la responsabilidad civil con terceros afectados, ni con equipos o productos deteriorados, ni el lucro cesante ocasionado por una eventual falla en el equipo suministrado.

Nuestra única garantía se limita a una de las tres opciones: reparación del tanque afectado, a la sustitución por un equipo nuevo, o al re-embolso del valor de adquisición.

#### VALIDEZ DE LA OFERTA

30 días.

Cordialmente,

**NATACHA GIRALDO ANGEL**  
Departamento Técnico

ASOCIADOS A CONTIC

CALLE 100 S SUR N° 51-10 LA ESTRELLA TEL: 278 17 90 - 278 17 36 FAX: 278 14 34 Web site: [www.fibratore.com](http://www.fibratore.com)  
MEDELLÍN - COLOMBIA