

**ANÁLISIS TÉCNICO- ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SULFATO  
DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO B EN LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y  
FLOCULACIÓN, CASO DE ESTUDIO: PLANTA MORRORICO.**

**ASTRID NAYIBE PICO CRISTANCHO**

**ERIKA LORENA SANCHEZ MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ANÁLISIS TÉCNICO- ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SULFATO  
DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO B EN LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y  
FLOCULACIÓN, CASO DE ESTUDIO: PLANTA MORRORICO.**

**ASTRID NAYIBE PICO CRISTANCHO**

**ERIKA LORENA SANCHÉZ MORENO**

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

**Ingeniero Químico**

**Director**

**Prof. CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**Ingeniero Químico M.Sc.**

**Codirector:**

**Ing. Civil. Johanna C. Chaparro V.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

*Este trabajo quiero dedicárselo primero a Dios, quien me brindó la sabiduría, salud y fortaleza para seguir adelante y alcanzar los objetivos que he planeado para mi vida.*

*A mis padres Ricardo Pico y Edilia Cristancho que siempre me apoyan en todos mis sueños y me han enseñado los mejores valores, por todo el esfuerzo y sacrificio que hacen por mí solo me queda decirles que los amo mucho y doy gracias a dios por tenerlos como padres.*

*A mi hermano Anderson Pico por estar siempre a mi lado escuchándome, protegiéndome y aconsejándome como todo hermano mayor.*

*A mi compañera de proyecto por aguantar mi genio, por todo su apoyo y confianza durante toda la carrera, una amiga con la que siempre puedo contar.*

*A mis amigos con los que compartí momentos de alegrías, locuras y tristezas que hicieron más agradable mi paso por la universidad y me brindaron su confianza.*

*Astrid Nayibe Pico-Cristancho*

## DEDICATORIA

*Cada logro que obtienes en la vida es el producto de los esfuerzos y de la voluntad con la que te propones cumplir tus metas.*

*Es por ello que hoy quiero agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este alcance en mi formación académica. Debo resaltar que todo esto ha sido posible gracias a mi motor principal MI FAMILIA HERMOSA: PAPAS Y HERMANOS, quienes día a día me dan su mejor ejemplo y me brindan su constante apoyo. A mi abuelita lolita Q.E.P.D quien siempre oró por mi bienestar y con quien me hubiera gustado también compartir esta gran alegría. No puedo dejar atrás a Javier Acero que me ha enseñado a luchar por lo que se quiere y que en la distancia me demuestra que se puede amar y apoyar incondicionalmente.*

*Quiero agradecer también a mis compañeros de la escuela en especial a mi amiga Astrid Pico por su valiosa amistad, por hacer parte de este trabajo y haber hecho todo lo posible para realizarlo. Amigos gracias por los buenos momentos compartidos durante el trayecto universitario, para todos mis mejores deseos.*

*Erika Lorena Sánchez Moreno*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos una educación de calidad.*

*A la escuela de Ingeniería Química y a todo el personal docente quienes nos formaron profesionalmente.*

*Al profesor Crisóstomo Barajas Ferreira por su tiempo, orientación y colaboración.*

*Al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga a.m.b S.A E.S.P., por darnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de grado.*

*A la ingeniera Yolanda Arboleda, jefe de la división de tratamiento de la planta Morrórico por confiar en nuestras capacidades.*

*A la ingeniera Johanna C. Chaparro V. jefe de la planta Morrórico por la confianza entregada, aportes y disposición de su tiempo.*

*A la ingeniería Yolanda Otero jefe de la planta Floridablanca por su valiosa colaboración y asesoría.*

*Al ingeniero Carlos Parra y al ingeniero Luis Fernando Castañeda por sus asesorías y orientación de la técnica de trazadores.*

*A todo el personal de la planta de tratamiento Morrórico por la ayuda, consejos y enseñanzas.*

*Astrid Pico y Erika Sánchez*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	17
1. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL .....	20
1.1.OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA.....	20
1.1.1.Procesos de oxidación – aireación: .....	20
1.1.2.Coagulación: .....	20
1.1.3.Floculación:.....	22
1.1.4.Sedimentación: .....	22
1.1.5.Filtración: .....	22
1.1.6.Cloración:.....	23
1.2.PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA EL DESARROLLO DE LOS PROCESOS COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.....	23
1.2.1.Pruebas de jarras:.....	23
1.2.2.Prueba de trazadores:.....	23
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	23
2.1.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	26
2.2.ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA BASE DE DATOS (2013-2014) .....	27
2.3.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	28
2.4.DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE AGUA CRUDA .....	29
2.5.PRACTICA EN EL ENSAYO DE JARRAS Y PRUEBAS DE LABORATORIO	30
2.6.DETERMINACIÓN DE LA DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE .....	30
2.7.BÚSQUEDA DE LA RELACIÓN DE REEMPLAZO .....	31

2.8.DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DEL AGUA CRUDA DESDE LA CANALETA PARSHALL HASTA LA SALIDA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO PARA DIFERENTES CAUDALES POR MEDIO DE UNA PRUEBA DE TRAZADORES. ....	32
2.9.EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR.....	33
2.10.EVALUACIÓN SOCIO-AMBIENTAL.....	33
3. RESULTADO Y ANALISIS.....	34
3.1.DETERMINACIÓN DE LA DOSIS MÍNIMA ÓPTIMA DE CADA COAGULANTE.....	34
3.2.RELACIÓN DE REEMPLAZO.....	37
3.3.DOSIFICACIÓN EN BOMBAS Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	37
3.4.DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DEL AGUA CRUDA DESDE LA CANALETA PARSHALL HASTA LA SALIDA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO PARA DIFERENTES CAUDALES POR MEDIO DE UNA PRUEBA DE TRAZADORES. ....	39
3.5.EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR. ....	41
3.6.EVALUACIÓN SOCIO-AMBIENTAL.....	43
4. CONCLUSIONES. ....	44
5. RECOMENDACIONES.....	46
6. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
BIBLIOGRAFÍA. ....	50
ANEXOS.....	53

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Diagrama de la metodología aplicada.....	27
Figura 2. Turbiedad del agua cruda en la planta de potabilización Morrórico del amb. ....	53
Figura 3. Color del agua cruda en la planta de potabilización Morrórico del amb. ....	53
Figura 4. Proceso prueba de trazadores.....	81
Figura 5. Fotografías: punto de inyección de muestreo de muestreo .....	81
Figura 6. Dosis mínima óptima vs turbiedad inicial .....	34
Figura 7. Turbiedad residual vs Dosis mínima óptima para una muestra cruda con turbiedad inicial de 1034 NTU. ....	35
Figura 8. Promedio de color verdadero en los ensayos realizados con rangos bajos y altos de turbiedad inicial. ....	36
Figura 9. Promedio de pH final en los ensayos realizados con rangos bajos y altos de turbiedad inicial. ....	36
Figura 10. Cantidad a dosificar de SALB. ....	39
Figura 11. Curva trazador para un caudal de 122 l/s. ....	40

Figura 12. Costo dosis mínima óptima vs turbiedad para los coagulantes SASB y SALB. ....	42
Figura 13. Concentración de aluminio residual vs turbiedad inicial.....	43
Figura 14. Vista superior de la planta de tratamiento de agua Morrórico.....	54
Figura 15. Parámetros internos de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.....	63
Figura 16. Comportamiento del costo m <sup>3</sup> de agua tratada por los coagulantes SASB y SALB durante el año 2013.....	82
Figura 17. Comportamiento del costo m <sup>3</sup> de agua tratada por los coagulantes SASB y SALB durante el año 2014.....	82
Figura 18. Curva de calibración conductivímetro (HACH 14DQ). ....	82
Figura 19. Curva trazador para un caudal de 122 l/s. ....	84
Figura 20. Curva trazador para un caudal de 123 l/s. ....	84
Figura 21. Curva trazador para un caudal de 125 l/s. ....	83
Figura 22. Curva trazador para un caudal de 150 l/s. ....	85
Figura 23. Curva trazador para un caudal de 450 l/s. ....	86
Figura 24. Curva trazador para un caudal de 453 l/s. ....	88

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Intervalos de turbiedad utilizada en la recolección de muestras de agua cruda.....	29
Tabla 2. Relación de reemplazo en unidades volumétricas.....	38
Tabla 3. Costo de sulfato de aluminio sólido y líquido tipo B por kilogramo para el año 2014.....	42
Tabla 4. Costos insumos químicos.....	89
Tabla 5. Costos de inversión en el sistema de dosificación y almacenamiento del SATBL.....	89
Tabla 6. Dimensiones del floculador hidráulico.....	90

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Valores promedios anuales de turbiedad y color del agua cruda para los años 2013 y 2014.....	53
ANEXO B. Esquema general de la planta. ....	54
ANEXO C. Métodos analíticos en las plantas de tratamiento del a.m.b. S.A. E.S.P. ....	55
ANEXO D. Prueba de jarras. ....	59
ANEXO E. Parámetros internos de calidad. ....	63
ANEXO F. Datos de las variables de entrada y salida en las pruebas de jarras.....	64
ANEXO G. Resumen datos experimentales prueba de jarras. ....	77
ANEXO H. Costo promedio por m <sup>3</sup> de agua cruda, consumo y dosis de sulfato de aluminio sólido, polímero y cloro para los años 2013 a 2014 .....	75
ANEXO I..Técnica: Prueba de trazadores .....	81
ANEXO J. Determinación de curvas de calibración del conductivímetro (HACH 14QD).....	82
ANEXO K.. Curvas trazadores para los 6 ensayos .....	83

ANEXO L. Costo de insumos e inversión de equipos .....	89
ANEXO M. Dimensiones flocular dor hidráulico horizontal.....	90
ANEXO N. Cotización bomba de dosificación.....	91
ANEXO O. Hoja de seguridad del sulfato de aluminio sólido y líquido tipo B.....	95

## RESUMEN

**TITULO:** ANÁLISIS TÉCNICO- ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO B EN LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN, CASO DE ESTUDIO: PLANTA MORRORICO.\*

**AUTOR:** Astrid Nayibe Pico Cristancho, Erika Lorena Sánchez Moreno\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Potabilización de agua, Coagulación, Floculación, relación de reemplazo, prueba de trazadores.

**DESCRIPCION:** La planta Morrórico de potabilización de agua, es considerada una de las más significativas dentro del sistema de tratamiento que tiene el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (A.M.B); su importancia radica en las tareas que se ejecutan como: el tratamiento de agua potable y la distribución del servicio a la comunidad. La captación del agua cruda proviene del Río Tona, y las quebradas Arnania y Golondrinas. La planta es del tipo convencional, cuenta con una unidad de aireación, un medidor de caudal, una unidad de mezcla rápida, un floculador hidráulico, dos sedimentadores, siete filtros y una unidad de cloración; su capacidad máxima es de 400 l/s.

Este proyecto tiene como finalidad, analizar la viabilidad en la implementación del sulfato de aluminio líquido tipo B (SALB) en reemplazo al coagulante actualmente empleado, sulfato de aluminio sólido tipo B (SASB); por tal motivo se realizará un estudio técnico, económico y ambiental, mediante el desarrollo de pruebas de jarras a partir de las condiciones de operación de la planta, se obtendrán las dosis mínimas óptimas, la relación de reemplazo y los caudales de dosificación para las bombas del nuevo coagulante a emplear (SALB). Finalmente se realizaran pruebas de trazadores y el cálculo de estado de ganancia estable (SSG), con el fin de analizar el comportamiento hidráulico de la unidad de mezcla lenta (Floculador Hidráulico), para confirmar el caudal, el tiempo de retención real y las fallas de la unidad.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería Química. Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: Johana Chaparro.

## ABSTRACT

**TITLE:** TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE DEPLOYMENT OF THE LIQUID ALUMINUM SULFATE TYPE B ON THE PROCESS OF COAGULATION AND FLOCCULATION, CASE STUDY: GROUND MORRORICO.\*

**AUTHORS:** Astrid Nayibe Pico Cristancho, Erika Lorena Sánchez Moreno \*\*

**KEYWORDS:** Water purification, coagulation, flocculation, replacement ratio, tracer test.

**DESCRIPTION:** The Morrорico water treatment plant whose maxima capacity up to 400 L/s, is deemed as one of the most meaningful within the Metropolitan aqueduct system of Bucaramanga; its importance is rooted in the performed tasks as: drinking water purification plant and its distribution to the community. The raw water catchment comes from the Tona River, Golondrinas and Arnanía Streams. It is a conventional treatment plant, which has units of flow measurement, rapid water mixer, hydraulic flocculation, seven filters, sedimentation and chlorination.

The main objective of this project is to analyze the feasibility of the deployment of the liquid aluminum sulfate type B (SALB) as a replacement of the solid aluminum sulfate B (SABS) coagulant, which is currently used. That is why a technical, economic and environmental study was carried out through the development of jar test under the operating conditions of the plant, the minimum optimal dose was obtained, the replacement rate and the flow dosage of the new coagulant (SALB) in the pumps. Moreover, tracer tests and calculating gain state stable were held in order to analyze the hydraulic behavior of the slow mixing unit (hydraulic flocculation) and to verify the flow rate, the actual holding time and faults having hydraulic flocculation.

---

\* Research Project

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering. Chemical engineering School. Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: Johana Chaparro.

## INTRODUCCION

El acelerado desarrollo tecnológico y los adelantos generados por la investigación realizada por parte del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) a parte de las nuevas exigencias normativas, son algunas de las razones por las cuales empresas como el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga hoy en día desea implementar mejoras en su sistema de potabilización. Esta empresa cuenta con 4 plantas de tratamiento entre las cuales están: Morrорico, la Flora, Bosconia, y Floridablanca, donde se llevan a cabo una serie de procesos fisicoquímicos como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

El presente estudio estará enfocado en la primera de estas plantas (Morrорico) ya que actualmente desea optimizar el tratamiento de agua potable, aplicando el mismo coagulante en estado líquidos SALB; presentando ventajas como dosificaciones más exactas, adaptación del coagulante a las necesidades actuales de la planta, ofrece seguridad y salud ocupacional a los operarios, manipulación más sencilla y mejora los estándares de calidad. Se realizara un estudio comparativo entre el SASB, (coagulante actual) y el SALB, con el fin de contar con las herramientas suficientes para definir cuál de los coagulantes presenta mejores resultados en el tratamiento del agua potable de la planta Morrорico. La dosis del nuevo coagulante a implementar será determinada por la relación de reemplazo, la cual será calculada a partir de las dosis mínimas óptimas obtenidas por las pruebas de jarras.

Por otra parte la formación del floc llega hasta la unidad de sedimentación lo cual hace poco eficiente el proceso de mezcla lenta es por esta razón que se quiere determinar el tiempo de retención real de operación en el proceso de mezcla lenta, además se quiere corroborar el caudal real de llegada a la planta. Para ello el presente proyecto tiene como segunda finalidad evaluar el comportamiento hidráulico del floculador en la planta Morrónico, aplicando pruebas de trazadores en la unidad. De esta forma se lograrán identificar las fallas en la unidad y así será posible plantear alternativas que generen una mejora al proceso de potabilización.

## 1. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

### 1.1. OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA.

**1.1.1. Procesos de oxidación – aireación:** Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua cruda, a través de una caída de cinco escalones se genera una turbulencia con el objetivo de oxigenarla; esta etapa permite: eliminar sustancias volátiles (COV), disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y por ultimo reducir la concentración de sulfuro de hidrogeno. [1]

**1.1.2. Coagulación:** La coagulación o mezcla rápida es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales, las cuales son las encargadas de darle al agua cruda el color y la turbiedad característica. Este proceso se aplica con el fin de: remover turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente, remover color verdadero y aparente, eliminar bacterias, virus y organismos patógenos, destruir algas y plancton en general, eliminar sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante y el tiempo de mezcla. Esta operación se efectúa en unidades como la canaleta Parshall\*,

---

\*Canaleta Parshall: Canal de paredes paralelas constituido por una sección de convergencia, una garganta y una sección de divergencia, el cual se usa para la medición del caudal mediante reglas colocadas en su interior y con ayuda de sensores adicionales al equipo.

esta estructura hidráulica sirve como medidor de caudales y en la turbulencia que se genera a la salida de la misma sirve de punto de aplicación de coagulantes.

Esta etapa es considerada la más importante de todo el sistema de potabilización del agua, puesto que la cantidad de coagulante define la eficiencia del proceso de coagulación es por esta razón que una incorrecta aplicación implica la degradación de la calidad del agua, desgasta la vida útil de los filtros y afecta la economía del proceso pues altas dosis generan gasto de operación innecesarios. [3]

La influencia de la dosis de coagulante se convierte en un parámetro crítico, dado que si este se adiciona por debajo de la cantidad requerida no se neutralizan totalmente las cargas de las partículas, si se adiciona en exceso se produce una inversión de cargas y en ambos casos la formación de floc es escasa y la turbiedad del agua tratada es elevada.

El agua requiere de cierta alcalinidad para producir la coagulación, esta va sujeta al pH óptimo del coagulante empleado en este caso el sulfato de aluminio es de 5,5 a 8 unidades esto es importante pues en este punto el gasto de coagulante es mínimo, si no la posee, se debe agregar algún tipo de reactivos como el CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH o NaCO<sub>3</sub>. [2]

El sulfato de aluminio es una sal que al prepararse en solución acuosa produce iones Al<sup>+3</sup> que son los encargados de neutralizar las cargas eléctricas proporcionando cargas positivas que desestabilizan el sistema coloidal (cargas negativas). [3]

**1.1.3. Floculación:** En esta etapa se agita la masa coagulada para favorecer el crecimiento y aglomeración de grumos de partículas en suspensión, denominados FLOC, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario, para posteriormente ser retirada en los procedimientos de sedimentación y filtración. [3]

Los principales parámetros que influyen en la eficiencia del proceso son: gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla), número de colisiones (choque entre microfloculos), tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación), densidad y tamaño de floc, volumen de lodos (los floculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

**1.1.4. Sedimentación:** El siguiente paso a la floculación del agua tratada es la sedimentación, donde se aprovecha la diferencia de densidad de los flocs formados para separarse del líquido en un tiempo económicamente aceptable. De esta forma se logra disminuir la concentración de sólidos en el agua. El reposo natural ayuda a mejorar la calidad del agua, generando una acción directa del aire y los rayos solares, lo que mejora el sabor y elimina algunas sustancias nocivas del agua. [4]

**1.1.5. Filtración:** Operación física donde se remueve la turbiedad y el color proveniente de los sedimentadores, en esta unidad se retiran todos los sólidos que presentan una densidad muy cercana a la del agua y no se lograron precipitar en la etapa anterior. [4]

**1.1.6. Cloración:** Se le conoce como proceso de desinfección y es obligatoria su realización sin importar el tipo de tratamiento previo que se haya realizado para la potabilización del agua. El cloro se adiciona al agua no solo para desinfectar, también como control de olores y sabores, además de prevenir el crecimiento de algas y microorganismos.

## **1.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA EL DESARROLLO DE LOS PROCESOS COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN.**

**1.2.1. Pruebas de jarras:** Es un ensayo ampliamente utilizado en la simulación del proceso de coagulación en una planta de tratamiento, donde simula los procesos de floculación y sedimentación a escala de laboratorio, lo que hace que sus resultados tengan gran aplicabilidad en el control y optimización de las unidades de tratamiento, así como para obtener los datos de diseño para el proyecto de nuevas unidades de potabilización de agua para consumo humano. La prueba de jarras se realiza con el propósito de seleccionar el tipo de coagulante más efectivo, determinar la dosis mínima óptima de coagulante, ajustar el pH, determinar la dosis de ayudas de coagulación, gradiente de velocidad y tiempos de mezcla. [4]

**1.2.2. Prueba de trazadores:** Las pruebas de trazadores son de gran utilidad para conocer el comportamiento hidráulico de los mezcladores, floculadores y sedimentadores. Se describen como la inyección de una sustancia en un lugar particular del recorrido del cuerpo de agua y la medición de la concentración de la sustancia en lugares abajo. Las sustancias trazadoras pueden ser: colorantes como fluoresceína o rodamina, iones como cloruros, fluoruros o nitratos, elementos radioactivos como isótopos.

Antes de elegir el tipo de trazador que se va a utilizar (ya sean fluoruros o cloruros), se debe verificar la concentración de esta sustancia en el agua cruda y seleccionar aquellas que se presenten en concentraciones constantes o muy bajas. Es conveniente escoger como trazador aquellas sustancias que no reaccionen en gran cantidad con los compuestos que existen en el agua, y por tanto la concentración total que se determine a la salida, sea sensiblemente igual a la que se aplique a la entrada.

El estudio de trazadores permite obtener : tiempo de retención, las características de dispersión de la corriente, el estado de ganancia estable, el caudal, la velocidad media, concentración máximas de sustancias nocivas que se encuentren en los ríos por vertimientos, derrames o evento de contaminación de aguas arriba. [14]

Existe dos métodos de realizar esta prueba, la primera aplicando la inyección continua y la segunda aplicando la inyección instantánea; el método aplicado en esta tesis es:

**La inyección instantánea:** Consiste en aplicar una concentración inicial ( $C_0$ ) a la entrada del floculador o sedimentador en un tiempo muy corto, inferior a  $1/30$  del tiempo teórico de detención ( $t_0$ ) y en un punto tal que se mezcle instantáneamente con la masa de agua que se piensa analizar. [5]

Para un flujo constante, y un trazador conservativo se tiene que:

$$M = Q \int_0^T C dt \ ;$$

Donde M= Masa del trazador inyectado, Q= caudal y C=concentración.

Si se utilizan dos puntos de muestreo se puede calcular el estado de ganancia estable (SSG) que debe ser cercano a uno para un trazador conservativo, así:

$$SSG = \frac{\int_0^{t_2} C_2 dt}{\int_0^{t_1} C_1 dt} ; [14]$$

Donde  $C_2$ = Concentración del trazador en la salida de la unidad de floculación,  
 $C_1$ = Concentración del trazador en la entrada de la unidad de floculación.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

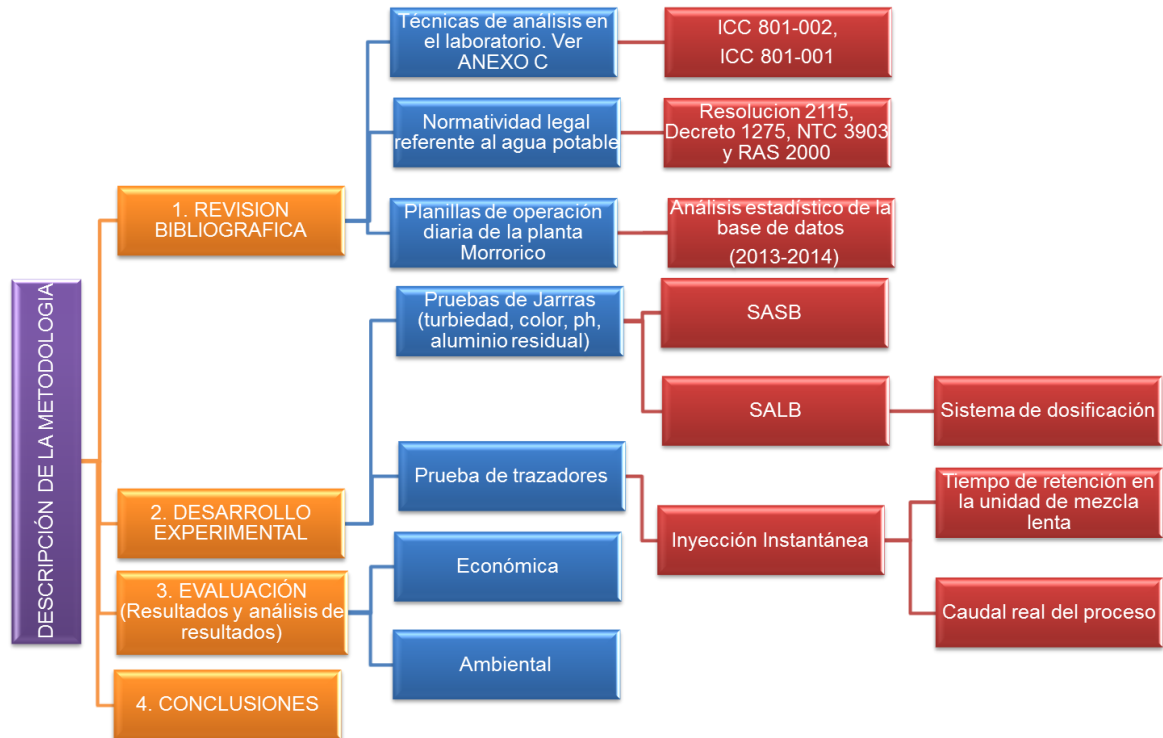
En el presente trabajo se realizó un análisis técnico – económico en la implementación del Sulfato de Aluminio líquido tipo B en los procesos de coagulación y floculación en la planta Morrónico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P. Para la ejecución se realizaron los pasos detallados en la Figura 1.

### **2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

En esta parte del trabajo se realizó una revisión de la documentación como las técnicas de análisis en el laboratorio que maneja el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. [6, 7,8]

Además, se investigó las normas legales vigentes Colombianas en el manejo del tratamiento de agua potable, el uso de nuevos coagulantes y la calidad que debe tener para ser comercializada [8, 9, 10].

**Figura 1. Diagrama de la metodología aplicada.**



## 2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA BASE DE DATOS (2013-2014).

Se estudiaron los datos registrados en las planillas diarias de operación para la planta Morrórico; durante los años 2013 y 2014, con la finalidad de conocer el comportamiento físico-químico del agua cruda captada para el tratamiento. Las gráficas 2 y 3 muestran los valores promedios (mes a mes) de Turbiedad y Color del agua cruda captada. Ver ANEXO A.

### 2.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

La primera parte del procedimiento experimental se realizó a nivel de laboratorio, donde inicialmente se caracterizaron las muestras de agua cruda proveniente del Río Tona y captada en la entrada de la de la canaleta Parshall de la planta Morrórico, teniéndose en cuenta algunos parámetros físico-químicos como la turbiedad, color, pH y conductividad [6], la medición de estos parámetros físico-químicos se describen detalladamente en el ANEXO C.

Conocidos los parámetros de cada muestra a analizar, nos enfocamos en el ensayo de jarras [4,7] para simular las etapas de coagulación, floculación y sedimentación, dichos proceso son descritos en el ANEXO D. Utilizando el equipo para la prueba de jarras y aplicando los parámetros operacionales [7], se realizaron 25 pruebas comparativas con el coagulante a reemplazar: sulfato de aluminio sólido tipo B (SASB) y el coagulante nuevo a emplear: sulfato de aluminio líquido tipo B (SALB), para determinar la dosis mínima óptima y cumplir con la Norma Técnica Colombiana. [11]

Por último; a las muestras tratadas de cada ensayo, se les determinó la turbiedad residual, color real, pH y aluminio residual. De esta manera se analiza y se concluye cual es la dosis mínima óptima o jarra óptima con el coagulante empleada. Con los datos obtenidos en las muestras tratadas y conocida la dosis mínima óptima se logra definir la relación de reemplazo entre los dos coagulantes empleados. Por otro lado, para la segunda parte del procedimiento experimental; se corrobora el dato del caudal, el comportamiento hidráulico y el tiempo de retención real de operación en el proceso de Floculación o mezcla lenta en la planta Morrórico. Para ellos se realizaron 6 pruebas de Trazadores, utilizando NaCl o sal del proveedor Refisal\* como trazador.

---

\*Refisal: productora y comercializadora de sal, perteneciente al grupo Brinsa.

Las curvas obtenidas para estos ensayos se adjuntan en el ANEXO I. [12]

#### **2.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE AGUA CRUDA.**

Inicialmente se recolectaron las muestras de agua para analizar y dosificarles dos tipos de coagulantes (SASB y SALB) en la entrada de la canaleta parshall ubicada en la Planta Morrórico; este caudal de agua es captado del Río Tona y las quebradas vecinas. La recolección de la muestras se realizaron entre los meses de Octubre de 2014 y Enero de 2015, para lograr un aspecto de turbiedades que incluyen el periodo de invierno y verano en la región de Santander. Se recolectaron 25 muestras de agua cruda con un rango de turbiedad entre:

**Tabla 1. Intervalos de turbiedad utilizada en la recolección de muestras de agua cruda.**

<b>Número de muestras de agua cruda.</b>	<b>Intervalos de turbiedades.</b>
7	[ 0 NTU – 20 NTU ]
6	[ 21 NTU – 80 NTU ]
6	[ 81 NTU – 700 NTU ]
6	[ >700 NTU ]

A las muestras de agua cruda se le realizaron las mediciones de Turbiedad, color verdadero, pH y conductividad, para conocer las condiciones iniciales que permitirán realizar los ensayos de dosis mínima óptima de los coagulantes a comparar [6]. Ver ANEXO F.

## **2.5. PRACTICA EN EL ENSAYO DE JARRAS Y PRUEBAS DE LABORATORIO.**

En el estudio del proceso de coagulación química de aguas, es de suma importancia la aplicación del ensayo de jarras. Para ello se tiene en los siguientes propósitos: selección del coagulante más efectivo, evaluación de la dosis mínima óptima del coagulante, determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla, evaluación de los tiempos de floculación y sedimentación previos a los procesos de filtración y cloración.

Este ensayo se realizó con un equipo que se encuentra en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua de Morrónico, de marca Phipps & Bird™. Se emplearon vasos precipitados de 1 l y se simuló la prueba con una velocidad de 100 rpm durante 1 minuto, seguido de la mezcla lenta con una velocidad de 60 rpm durante 6 minutos y sedimentación de 15 minutos teniendo en cuenta las condiciones de la planta y el instructivo que la planta maneja. [4] [7]. Ver ANEXO D.

## **2.6. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE.**

1. Se determinó la turbiedad, el pH, el color aparente y la conductividad del agua cruda. Ver ANEXO C.
2. Se trabajó con volúmenes de 1 l de agua cruda en 6 jarras o vasos precipitados, posteriormente se ubicaron en la base del equipo para prueba de jarras y se bajaron los agitadores o paletas mecánicas.

3. Se ajustó el equipo para operar como mezcla rápida a 100 rpm por 1 minuto, adicionando inmediatamente dosis de los coagulantes (SASB y SALB) en diferentes concentraciones, por medio de una pipeta y una micro pipeta. Ver ANEXO D.
4. Terminado el minuto de mezcla rápida, se disminuye la velocidad de los agitadores mecánicos a 60 rpm durante 6 minutos para simular el proceso de floculación.
5. Concurrido el tiempo de floculación se detiene la velocidad de los agitadores mecánicos y se retiran de las jarras para proceder a dejar sedimentar el floc formado durante 15 minutos.
6. Después de concurrido el tiempo de sedimentación se tomaron muestras de 20 ml con una pipeta graduada, introduciéndola aproximadamente 5 cm de profundidad en cada vaso precipitado y se procede a determinar la turbidez, color verdadero, pH y aluminio residual. Ver ANEXO D.
7. Finalmente se procede a graficar la turbiedad residual en (NTU) versus cantidad de sulfato de aluminio sólido y líquido tipo B en [ppm] [13]

## **2.7. BÚSQUEDA DE LA RELACIÓN DE REEMPLAZO.**

El procedimiento que se desarrolló para determinar la capacidad de reemplazo entre el SASB Y el SALB, se describe en los siguientes pasos: primero se realizó la caracterización a las 25 muestras de agua cruda captadas en la entrada de la canaleta Parshall, posteriormente se midieron los parámetros de calidad como

(Turbiedad, Color, pH, conductividad).Luego ya caracterizadas las muestras se realizaron pruebas de jarras con el coagulante actual (SASB); luego de terminar este procedimiento se midió la turbiedad residual, aluminio residual, color y pH final de cada muestra, para determinar la dosis mínima óptima. Teniendo esta información se realizaron pruebas de jarras con el coagulante a sustituir SALB, para determinar cuál es la dosis con la que se obtiene un resultado semejante al del SASB. De acuerdo a los resultados adquiridos con los diferentes ensayos se calcularon las dosis mínimas óptimas para este nuevo coagulante y finalmente evaluando ambas dosis mínimas óptimas se encontró la relación de reemplazo que finalmente es el factor por el cual se debe sustituir el coagulante actual.

## **2.8. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DEL AGUA CRUDA DESDE LA CANALETA PARSHALL HASTA LA SALIDA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO PARA VARIOS CAUDALES POR MEDIO DE UNA PRUEBA DE TRAZADORES.**

Se utilizó la prueba de trazadores con el fin de evaluar la eficiencia del floculador hidráulico y comprobar la lectura del sensor de nivel que presenta la canaleta Parshall, el cual reporta un dato aproximado del caudal que opera la planta. Para el desarrollo de esta técnica se tomaron las medidas de las dimensiones del floculador hidráulico, estas se encuentran reportadas en el ANEXO J. El procedimiento para desarrollar estas pruebas se encuentra descrito en el ANEXO I.

## **2.9. EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR.**

El estudio económico se basó en: resultados experimentales de las pruebas de jarras realizadas para los coagulantes SASB y SALB, informes mensuales de operación de la Planta Morrónico de los años 2013 y 2014 del consumo de los insumos químicos empleados (sulfato de aluminio sólido tipo B, cloro, cal y polímero\*) y finalmente el costo de estas materias primas. Todo esto se hizo con el fin de hallar el valor comparativo por m<sup>3</sup> de agua tratada y estimar el gasto que generaría la sustitución del coagulante en el proceso.

## **2.10. EVALUACIÓN SOCIO-AMBIENTAL.**

Esta etapa del proyecto permite analizar las ventajas ambientales y sociales que trae consigo la implementación de coagulantes líquidos como el SALB en la planta Morrónico, además se pretende comprobar que la aplicación de este tipo de coagulante reduce la concentración de aluminio residual y mitiga los riesgos a la salud de trabajadores en planta.

---

\*Polímero: (Poliamina catiónica líquida de alto peso molecular) ayudante en el proceso de coagulación aplicado para calidades de agua cruda mayores a 1000 NTU.

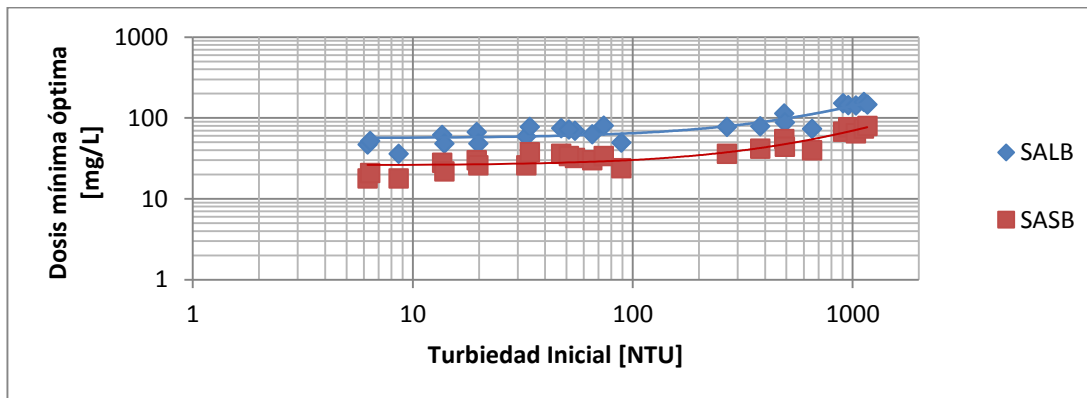
### 3. RESULTADO Y ANALISIS.

#### 3.1. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS MÍNIMA ÓPTIMA DE CADA COAGULANTE.

Se realizó el ensayo de jarras a 25 calidades de agua cruda, a cada una de estas muestras se les determino la jarra óptima (formación primera de floc) la cual debe cumplir con los parámetros internos de calidad, ya que los filtros de la planta solo pueden remover turbiedades por debajo de 10 NTU. Ver ANEXO E. Los resultados obtenidos para cada calidad de agua se pueden detallar en el ANEXO F.

El comportamiento de la dosis mínima óptima del SASB y el SALB con respecto a la turbiedad inicial presente en cada una de las calidades de agua analizadas se puede detallar en la figura 5.

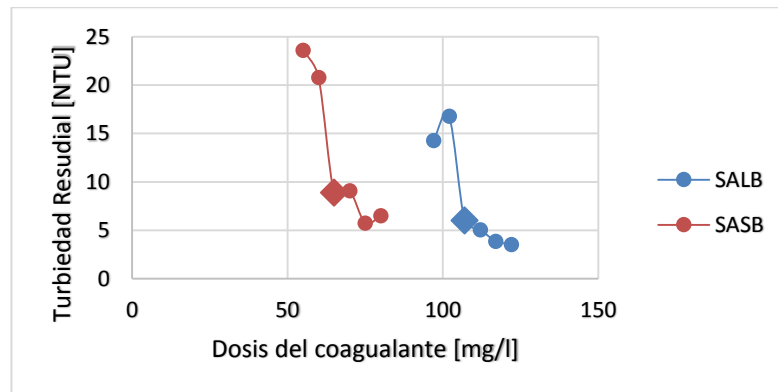
**Figura 6. Dosis mínima óptima vs turbiedad inicial**



La anterior figura sirve como herramienta para determinar la cantidad de sulfato de aluminio líquido tipo B que se debe aplicar, según el parámetro de turbiedad característico del agua cruda. Las dosis de SALB son más altas que las del coagulante actual (SASB), debido al factor de reemplazo y su baja concentración

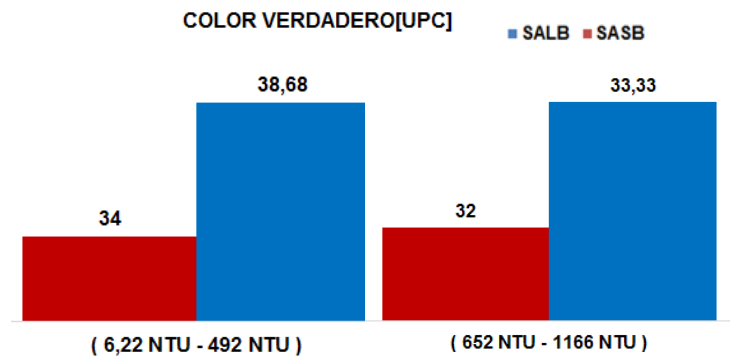
(7.3% p/v). Por otra parte, durante la realización del ensayo de jarras, notamos que el coagulante SALB desestabiliza las partículas coloidales más rápido en comparación del SASB; generando la formación del floc en menor tiempo, haciendo más eficiente el proceso, pues se ajusta con mayor facilidad a las condiciones de la planta porque los tiempos de retención que actualmente presenta la unidad de mezcla lenta son cortos. Las turbiedades trabajadas se dividieron en dos rangos: turbiedades bajas (6,22-492 NTU) y turbiedades altas (692-1166 NTU) para detallar el comportamiento de los coagulantes aplicados.

**Figura 7. Turbiedad residual vs Dosis mínima óptima para una muestra cruda con turbiedad inicial de 1034 NTU.**

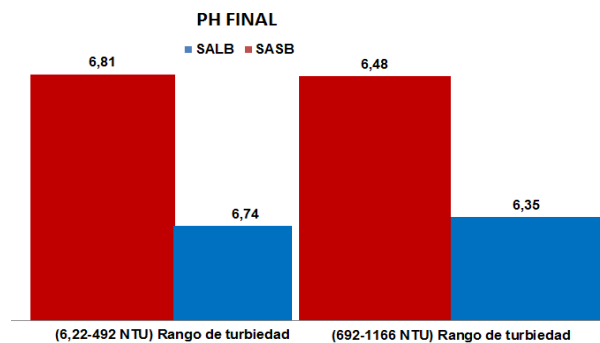


Como se puede observar en la figura anterior, el comportamiento del coagulante líquido es más eficiente comparado con el sólido, logrando rangos de turbiedad residual por debajo de 10 NTU, rango perfecto de turbiedad para el siguiente proceso (filtración: límite permisible de turbiedad hasta 10 NTU) y encaja con los parámetros internos de calidad. Ver ANEXO E.

**Figura 8. Promedio de color verdadero en los ensayos realizados con rangos bajos y altos de turbiedad inicial.**



**Figura 9. Promedio de pH final en los ensayos realizados con rangos bajos y altos de turbiedad inicial.**



En las figuras 7 y 8, se observa que la dosificación del SALB incrementa un poco el color verdadero del agua cruda tratada, aproximadamente cuatro unidades platino cobalto (UPC) para turbiedades iniciales bajas ( 6,22 NTU – 492 NTU) y dos unidades UPC para turbiedades altas (692 NTU – 1166 NTU ), por otro lado, se presenta una disminución en el pH final para las pruebas con turbiedad alta; lo cual implicaría la adición de cal para estabilizar el agua tratada, esta adición no

debe ser en grandes cantidades debido a que el pH final no presenta una disminución tan considerable.

### 3.2. RELACIÓN DE REEMPLAZO.

Este factor fue calculado a partir de las dosis mínimas óptimas obtenidas de las pruebas de jarras para los coagulantes de estudio: SASB (actual) y SALB. Con estos valores se realizó la tabla 2 la cual se muestra en la siguiente página y se determinó la relación de reemplazo (1,58) entre el SASB (15,2% p/v) y el SALB (7,3% p/v).

### 3.3. DOSIFICACIÓN EN BOMBAS Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Para conocer la cantidad de coagulante del SALB que se gastaría por hora se realizó un estudio en base a las dosis mínimas óptimas obtenidas de las pruebas de jarras. El cálculo que se desarrolló para determinar este valor consistió en:

$$\text{Caudal SALB} \left( \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right) = \left[ (\text{dosis min óptima} \left( \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) * \text{caudal} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left( \frac{3600\text{s}}{1 \text{ hora}} \right) * \left( \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) / \rho_{\text{SALB}} \right] * \left( \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} \right) * \left( \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right)$$

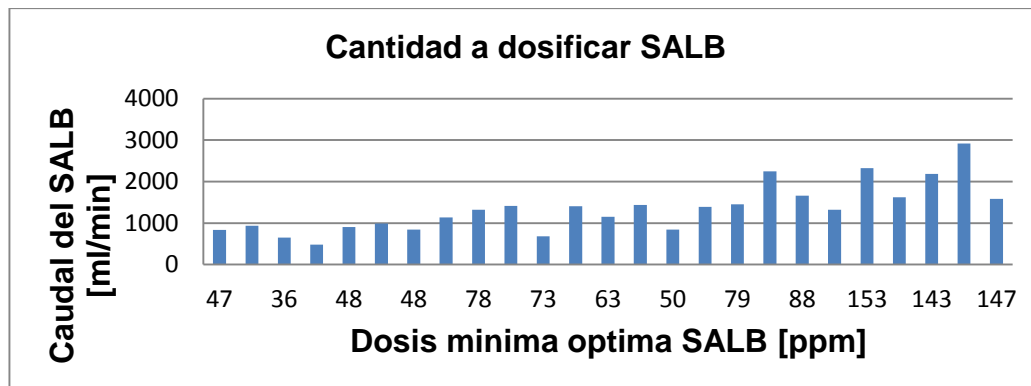
Donde  $\rho_{\text{SALB}} = 1,34\text{kg/L}$ , es la densidad del SALB. [2]

**Tabla 2. Relación de reemplazo en unidades volumétricas.**

CALIDADES DE AGUA	TURBIEDAD [UNT]	DOSIS OPT SASB [mg/l]	DOSIS OPT SALB [ $\mu$ l/l]	DOSIS OPT SALB [mg/l]	DOSIS DE REEMPLAZO [ $\mu$ L SALB/mg SASB]
1	6,22	18	35	46,9	1,944
2	6,39	21	39	52,26	1,857
3	8,6	18	27	36,18	1,500
4	13,6	28	46	61,64	1,643
5	13,9	22	36	48,24	1,636
6	19,5	30	50	67	1,667
7	19,8	26	36	48,24	1,385
8	32,8	26	44	58,96	1,692
9	34	38	58	77,72	1,526
10	47,3	36	56	75,04	1,556
11	54,5	32	52	69,68	1,625
12	65,3	30	47	62,98	1,567
13	73,8	34	60	80,4	1,765
14	88,8	24	37	49,58	1,542
15	268	36	58	77,72	1,611
16	380	42	59	79,06	1,405
17	488	55	85	113,9	1,545
18	492	44	66	88,44	1,500
19	652	40	55	73,7	1,375
20	903	68	114	152,76	1,676
21	954	77	108	144,72	1,403
22	1034	65	107	143,38	1,646
23	1124	74	118	158,12	1,595
24	1166	80	110	147,4	1,375
25	51,2	34	54	72,36	1,588
				Promedio	1,585

A continuación se presenta una figura en donde se especifica la cantidad de caudal que se debe dosificar según la dosis mínima óptima calculada.

**Figura 10. Cantidad a dosificar de SALB.**



### 3.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DEL AGUA CRUDA DESDE LA CANALETA PARSHALL HASTA LA SALIDA DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO PARA DIFERENTES CAUDALES POR MEDIO DE UNA PRUEBA DE TRAZADORES.

Esta técnica se realizó tomando como base la teoría anteriormente descrita, el estudio consistió en determinar el tiempo de retención y el caudal. Para conocer la cantidad de trazador (cloruro de sodio) a inyectar, se aplicó la siguiente formula:

$$Q_1 * C_1 = C_2 * Q_2$$

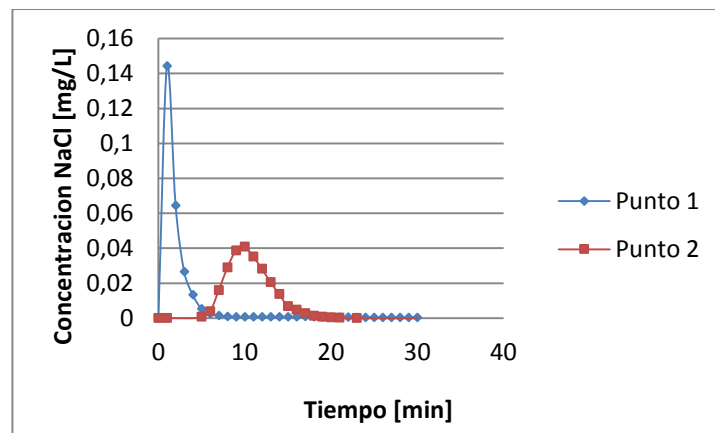
Donde:  $C_1$  (Cantidad de NaCl detectable en el agua (mg/L)),  $C_2$  (Cantidad de NaCl a aplicar (g)),  $Q_1$  (Volumen de entrada a la canaleta (L/s)),  $Q_2$  (Aforo volumen conocido) sobre el tiempo cronometrado (L/s)). Para un  $Q = 150L/s$  y para dos

puntos de muestreo en la unidad de mezcla lenta, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$C_1 = \frac{\frac{250mg}{L} * 150L/s}{15L} = 2500kg \text{ de NaCl (99,9\%)}$$

Se registró la conductividad en cada punto de muestreo, posteriormente esos datos fueron modificados a unidades de concentración de sal por medio de la curva de calibración del equipo (conductivímetro HACH H14QD), esta curva se puede detallar en el ANEXO J. A continuación se presenta la gráfica de la concentración del trazador Vs el tiempo

**Figura 11. Curva trazador para un caudal de 150 l/s.**



De la gráfica podemos notar que el tiempo de retención\* para un caudal de 150 L/s se registra en el minuto 10, este es el tiempo que tarda el agua tratada en el proceso de floculación, es vital ya que le permite a la planta establecer sus parámetros de operación para desarrollar sus respectivas pruebas.

---

\*Tiempo de retención: Tiempo real que el agua permanece sometida a un proceso de tratamiento.

El caudal cuando el flujo es permanente, es decir, cuando el caudal se conserva en el tramo se define como: [15]

$$Q = \frac{\text{Masa Trazador inyectado}}{\int C dt}$$

$\int C dt = \text{Area bajo la curva Concentracion Vs tiempo} .$

Para corroborar el caudal de ingreso a la planta, se calcularon las áreas de las curvas de ambos muestreos, estas áreas se determinaron por el método de trapecios.

$$\text{Area Curva 1} = 16,15 \quad ; \quad \text{Area Curva 2} = 14,51 \quad ; \quad \text{SSG} = \frac{14,51}{16,15} = 0,9$$

El estado de ganancia estable (SSG) es un parámetro de confiabilidad del experimento (Prueba de trazadores), este factor relaciona las áreas de cada punto de medición; entre más se aproximen las áreas de las curvas, este valor será cercano a uno; lo cual indicaría que se alcanzó a recuperar la misma cantidad de trazador en ambos puntos de medición. Para la prueba realizada el SSG obtenido fue de 0,9, esto se debe a las fallas que presenta el floculador hidráulico, en especial las zonas muertas, donde quedó depositado parte del trazador.

Para analizar los demás caudales y pruebas de trazadores. Observar ANEXO K.

### **3.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR.**

Se determinó la viabilidad del cambio de coagulante en la planta Morrórico desde el punto de vista económico. El análisis se realizó con base a los costos de los coagulantes y en los resultados obtenidos a nivel del laboratorio de las dosis

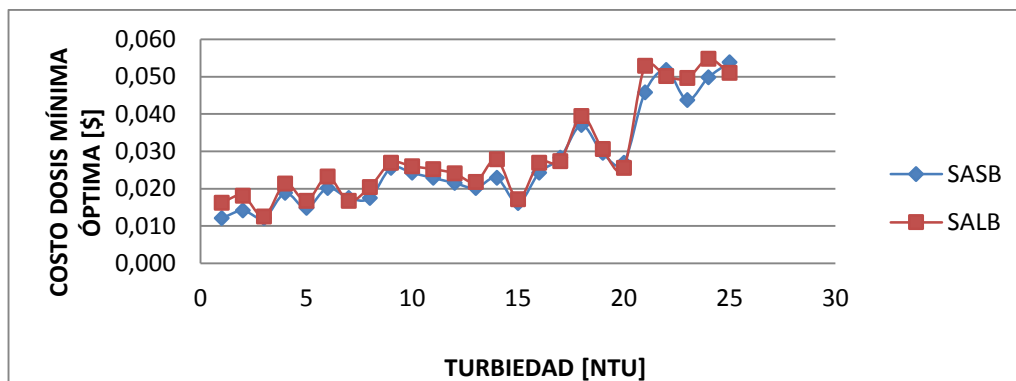
óptimas para cada coagulante. En la planta Morrórico los coagulantes son suministrados por la empresa sulfoquímica S.A\*, los costos de estos reactivos se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3. Costo de sulfato de aluminio sólido y líquido tipo B por kilogramo para el año 2014.**

	SULFATO DE ALUMINIO SOLIDO TIPO B (2014)	SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO TIPO B (2014)
COSTO (\$/Kg)	580	400
IVA 16%	92,8	64
Valor Total	672,8	464

Para saber que tan favorable es reemplazar el SASB, se realizó una gráfica en donde se muestra los costos dosis mínima óptima en pesos [\$] de todas las muestras analizadas vs turbiedad.

**Figura 12. Costo dosis mínima óptima vs turbiedad para los coagulantes SASB y SALB.**



\*Sulfoquímica S.A. empresa productora de químicos proveedora de SALB y SASB

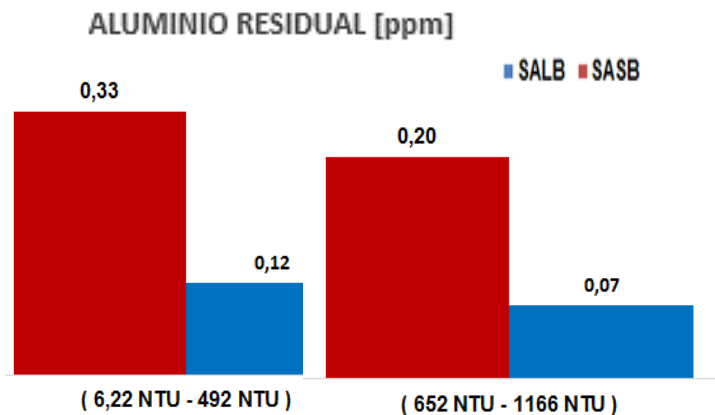
El comportamiento de estas curvas costo-beneficio es muy similar, pero es notorio que la curva del SALB está por encima del SASB, esto se debe a la relación de reemplazo; puesto que las cantidades a dosificar en líquido son mayores al coagulante actual debido a su baja concentración (7,3 % de alúmina).

Con el fin de conocer el costo promedio anual por m<sup>3</sup> de agua tratada con el nuevo coagulante (SALB), se tomaron los datos registrados del consumo diario durante los años 2013 y 2014 de todos los insumos químicos (sulfato de aluminio sólido tipo B, cloro y polímero) utilizados para el tratamiento. A partir de esta información se calculó el costo de estas materias primas y utilizando la dosis de reemplazo se logró estimar cuantitativamente cuanto le representa a la empresa invertir en este nuevo coagulante. El resumen del costo promedio anual por m<sup>3</sup> de agua tratada se muestra en el ANEXO G.

### 3.6. EVALUACIÓN SOCIO-AMBIENTAL.

Mediante las pruebas de laboratorio pudimos observar que el SALB se comporta muy bien ambientalmente, pues logra bajar considerablemente la concentración de aluminio residual frente al coagulante actual a continuación mostramos estos resultados para las turbiedades analizadas.

**Figura 13. Concentración de aluminio residual vs turbiedad inicial.**



#### 4. Conclusiones.

- A partir de las pruebas realizadas en el laboratorio y los datos obtenidos, la eficiencia del coagulante SALB es dependiente de la turbiedad inicial y color aparente medido.
- Es decir que para turbiedades iniciales bajas (<700 NTU) y con colores aparentes bajos, el coagulante SALB presenta menor remoción en cuanto a la turbidez y color aparente.
- En el caso de trabajar con turbiedades iniciales altas (>700 NTU) y colores aparentes bajos, el SALB actúa de mejor manera que el coagulante actual SASB.
- Al realizar el análisis económico notamos que la aplicación del SALB no es rentable, puesto que se requiere de una inversión inicial para la compra de nuevos equipos; además de los incrementos en costos por m<sup>3</sup> de agua tratada comparado con el coagulante actual (SASB), lo anterior se debe a la relación de reemplazo, donde se debe dosificar 1,58 veces el SALB (7,3 % p/v) con respecto al SASB (15,6 % p/v). Sin embargo, a largo plazo la viabilidad del coagulante será efectiva ya que favorecería la salud de los operadores y reduciría las concentraciones de aluminio residual.
- Los resultados experimentales demostraron que el SALB reduce el contenido de aluminio residual presente en el agua tratada, tanto así que a turbiedades bajas alcanza a disminuir un 22% de alúmina mientras que para turbiedades altas reduce un 13% lo cual es conveniente para la empresa ya que se acoge a los valores máximos permisibles por la resolución Colombiana 2115 de 2007.

- De la técnica de trazadores se deduce que la unidad de mezcla lenta presenta un tiempo de retención menor que el estipulado por las normas colombianas y es dependiente del caudal de entrada al proceso; por otra parte al aplicar inyección instantánea encontramos que el sensor de nivel presenta fallas ya que no registra con exactitud el caudal de llegada. Este suceso se explica por las fallas de estructuración que presenta la canaleta Parshall.

## 5. Recomendaciones.

Se sugiere realizar varias pruebas en la planta con el coagulante SALB aplicando los tiempos de retención determinados en las pruebas de laboratorio y de trazadores, así se logra obtener resultados más acertados.

Por otro lado, la medición del caudal de entrada a la planta se da por un medidor de nivel ubicado en la canaleta Parshall; el cual fluctúa demasiado, generando datos de caudal erróneos. Esta medición de caudal es un criterio que utilizan los operadores para determinar la cantidad de coagulante a dosificar; es por esta razón sugerimos instalar un caudalímetro en la entrada de la tubería previa a el proceso de aireación, con la finalidad de evitar gastos excesivos del coagulante.

Se recomienda a la empresa comprar un caudalímetro ultrasónico no intrusivo para líquidos con o sin sólidos en suspensión, que mida, calcule e indique la velocidad, caudal y volumen total. Resistente a elevadas presiones hasta 200 bar, con una exactitud de lectura de  $\pm 0,5 \%$  y apto para la intemperie.

## 6. CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P – Sistema de gestión integral. Plan de Calidad.
- [2]. CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de Agua Coagulación Floculación, Lima: SEDAPAL, 2000.
- [3]. PÉREZ, Daisy. Evaluación técnica, económica y ambiental de coagulantes líquidos para la implementación de una nueva dosificación en la planta Floridablanca del amb S.A E.S.P. Bucaramanga, 2012, 18-19 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
- [4]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de Coagulación-Floculación en un recipiente con agua ó Método de Jarras. Bogotá D.C: Norma Técnica Colombiana 3903. INCONTEC, 2001.15 p.
- [5]. JORGE ARBOLEDA VALENCIA, Teoría y práctica de la purificación del agua. Ed. Tomo 1. Cap. 7, Mc Graw Hill. Bogotá 2000. 354-359 p.
- [6]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Instructivo de métodos analíticos para el control de calidad de agua. ICC 801-001.
- [7]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Instructivo para la determinación de la dosis óptima de coagulante. ICC 801-002.

- [8]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Planillas de Operación de la planta Morrórico. 2013-2014.
- [9]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Guía métodos analíticos plantas de tratamiento. G PT 706-001.
- [10]. ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Procedimiento de potabilización de agua. P TR 701-001.
- [11]. REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Sistema 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.
- [12]. COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 (4 de Julio de 2007). Por medio de la cual se señalan Características, Instrumentos Básicos y Frecuencias de Sistema de Control y Vigilancia para la Calidad del Agua para Consumo Humano. Diario Oficial. Bogotá D.C., No. 46.769, 2007.
- [13]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Productos Químicos. Sulfato de aluminio líquido tipo B. Norma NTC 531 5ª revisión.
- [14]. BOTERO, Julián. Estudio de inyección instantánea de trazadores en ríos de montaña. Bogotá, 2005. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental).

Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.  
Ingeniería Ambiental.

- [15].** PANTOJA, Carlos. Verificación experimental de un modelo de transporte de sólidos en sistemas de distribución de agua potable. Bogotá, 2005. Trabajo de grado (Maestría Ingeniería Civil). Universidad de los Andes. Departamento de ingeniería Civil y Ambiental. Ingeniería Civil

## **Bibliografía.**

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Guía métodos analíticos plantas de tratamiento. G PT 706-001.

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Instructivo para la determinación de la dosis óptima de coagulante. ICC 801-002

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Planillas de Operación de la planta Morrórico. 2013-2014.

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. Procedimiento de potabilización de agua. P TR 701-001

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P – Sistema de gestión integral. Plan de Calidad.

ACUÑA, Decsy. Modelo de correlación entre las variables medibles en línea que afectan el proceso de determinación de la dosis óptima de coagulación en la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia, del acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P, 2008.

ARBOLEDA VALENCIA Jorge, Teoría y práctica de la purificación del agua. Ed. Tomo 1. Cap. 7, Mc Graw Hill. Bogotá 2000. 354-359 p.

BOTERO, Julián. Estudio de inyección instantánea de trazadores en ríos de montaña. Bogotá, 2005. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental). Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Ingeniería Ambiental.

CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de Agua Coagulación Floculación, Lima: SEDAPAL, 2000.

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 (4 de Julio de 2007). Por medio de la cual se señalan Características, Instrumentos Básicos y Frecuencias de Sistema de Control y Vigilancia para la Calidad del Agua para Consumo Humano. Diario Oficial. Bogotá D.C., No. 46.769, 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de Coagulación-Floculación en un recipiente con agua ó Método de Jarras. Bogotá D.C: Norma Técnica Colombiana 3903. INCONTEC, 2001.15 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y DE CERTIFICACIÓN. Productos Químicos. Sulfato de aluminio líquido tipo B. Norma NTC 531 5ª revisión.

MALDONADO Y, Víctor; BARRENECHEA MARTEL, Ada; AUROZO DE SUMAETA, Margarita. CEPIS; OPS. Tratamiento de agua para consumo humano. Planta de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima, CEPIS, 2004, p. 213-219,282.

REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Sistema 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.

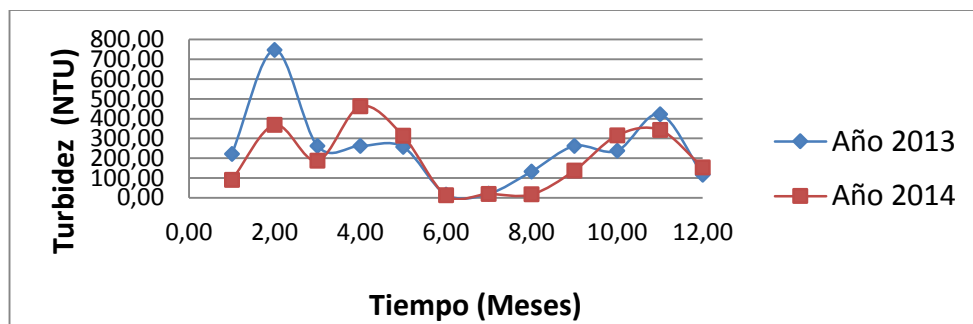
PÉREZ, Daisy. Evaluación técnica, económica y ambiental de coagulantes líquidos para la implementación de una nueva dosificación en la planta Floridablanca del amb S.A E.S.P. Bucaramanga, 2012, 18-19 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

PANTOJA, Carlos. Verificación experimental de un modelo de transporte de sólidos en sistemas de distribución de agua potable. Bogotá, 2005. Trabajo de grado (Maestría Ingeniería Civil). Universidad de los Andes. Departamento de ingeniería Civil y Ambiental. Ingeniería Civil

## Anexos.

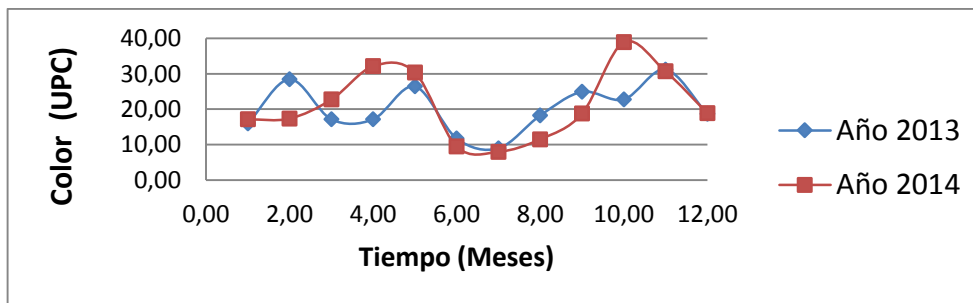
### ANEXO A. Valores promedios anuales de turbiedad y color del agua cruda para los años 2013 y 2014.

Figura 2. Turbiedad del agua cruda en la planta de potabilización Morrórico del amb.



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Planillas de operación diarias. [12]

Figura 3. Color del agua cruda en la planta de potabilización Morrórico del amb.



Fuente: Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Planillas de operación diarias. [12]

## ANEXO B. Esquema general de la planta.

Figura 14. Vista superior de la planta de tratamiento de agua Morrорico.



**Fuente:** URIBE PEDROZA, José Leonardo. Implementación del policloruro de aluminio como coagulante en la planta de potabilización Morrорico del acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Bucaramanga: Tesis (Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander.

## **ANEXO C. Métodos analíticos en las plantas de tratamiento del a.m.b. S.A. E.S.P.**

La Planta de Tratamiento de Agua Potable del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P con la finalidad de obtener la mejor calidad de agua, estandarizo los métodos analíticos en el laboratorio y así determinar los parámetros físico-químicos como la turbiedad, pH, conductividad, aluminio residual, color aparente y verdadero del agua a tratar. Los procedimientos para determinar para parámetro son descritos a continuación:

### **Determinación de turbiedad [6,16]**

1. Encender el equipo (Turbidímetro HACH 2100 P).
2. Tomar una muestra (cruda o tratada) en un vaso precitado y agitar.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo (aproximadamente 30 ml).
4. Tomar la celda por la tapa y agitar por inmersión para eliminar las burbujas de aire, luego se limpia la superficie de la celda con un paño para eliminar toda irregularidad como huellas o restos de polvo.
5. Colocar la celda dentro el compartimiento del equipo con la flecha hacia fuera y se cierra la tapa.
6. Presionar ENTER y se registra el valor de la turbiedad del agua en la pantalla, los resultados están expresados en unidades NTU (Unidades de turbiedad nefelométricas)

Los resultados se leen directamente en el equipo, sin embargo; para valores de turbiedad mayores a 800 NTU se deben hacer diluciones y multiplicar el resultado por el factor de dilución.

### **Determinación de pH [6,16]**

1. Encender el equipo (pH metro ORION 3 Star, pH Benchtop) y lavar el electrodo con agua destilada.
2. Se toma una muestra representativa (cruda o tratada) en un vaso precipitado (aproximadamente 100 ml).
3. Introducir el electrodo en la muestra a analizar, seguido se presiona el botón READ y se espera que se establezca la lectura.

La lectura es directa en el pH metro y se expresa en unidades de pH. Se recomienda lavar el electrodo con agua destilada y dejar sumergido en KCl 3M después de cada lectura y apagar el equipo.

#### **Determinación conductividad [6,16]**

1. Encender el equipo (Thermo Electron Corporation ORION 3 Star, conductivity Benchtop) y lavar el electrodo con agua destilada.
2. Se toma una muestra representativa (cruda o tratada) en un vaso precipitado (aproximadamente 100 ml).
3. Introducir el electrodo en la muestra a analizar, seguido se presiona el botón READ y se espera que se establezca la lectura.

La lectura es directa en el conductivímetro y se expresa en unidades de micro Siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y mili Siemens por centímetro ( $\text{mS}/\text{cm}$ ). Se recomienda lavar el electrodo con agua destilada después de cada lectura y apagar el equipo.

#### **Determinación de color aparente y verdadero. [6,16]**

1. Encender el equipo (Espectrofotómetro HACH DR-2800).
2. Ajustar el equipo en el programa para lectura de color.
3. Tomar una muestra respectiva con una jeringa de 60 mL, para determinar el color aparente es necesario ajustar la membrana Millipore de  $0,45\ \mu\text{m}$  como filtro, para el color verdadero no requiere filtración.
4. Transvasar la muestra en la celda del equipo hasta el aforo.

5. Preparar un blanco con agua destilada en la celda y colocarla dentro del compartimiento del equipo, cerrar la tapa y seleccionar en la pantalla cero para leer.
6. Después pasar la muestra, seleccionando en la pantalla calcular.

La lectura es directa y los resultados se expresan en UPC (unidades platino cobalto), con una longitud de onda de 455 nm. Se recomienda hacer diluciones cuando la muestra supera los 500 UPC utilizando la membrana varias veces, pero se debe purgar cada vez que se use y limpiar cada celda con un paño antes de leer para eliminar cualquier interferencia.

### **Determinación aluminio residual [6,16]**

Se aplica el método espectrofotométrico (Eriocromo Cianina R)

1. Toma dos probetas de 25 ml, una para el blanco y la otra para la muestra de agua tratada.
2. En una probeta adicionar 12.5 ml de agua destilada (blanco) y en la otra 12,5 ml de muestra.
3. A cada probeta se adiciona 1 ml de Ácido Sulfúrico 0.02 N, adicionar al blanco 1 ml de EDTA 0.02 N.
4. A las dos probetas adicionar 1 ml de solución de Ácido Ascórbico 0,1% y 5 ml de solución Buffer (acetato de sodio – ácido acético).
5. Por ultimo adicionar 2.5 ml de indicador Eriocromo – Cianina al 10% (diluido del concentrado) a las dos probetas.
6. Se aforan las probetas con agua destilada hasta 25 ml, se mezcla y se deja entre 8 a 10 minutos de espera para la formación del color.
7. Finalmente se lee el blanco y la muestra en el espectrofotómetro HACH DR-2800, donde se debe elegir el programa de “aluminio residual longitud de onda: 535 nm”, se transvasa primero el blanco a la celda del equipo hasta aforar para ajustar el cero, después se vacía la celda y se prosigue a

transvasar la muestra de agua tratada y se registra el dato que arroja el equipo.

La lectura es directa y los resultados se expresan en unidades de mg/l  $Al_2$  residual.

## **ANEXO D. Prueba de jarras.**

El ensayo de jarras es un método de simulación a escala laboratorio de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación de la planta Morrórico. Este ensayo es de vital importancia en el proceso de potabilización; por medio de él, se logra determinar la dosis mínima óptima de coagulantes a implementar, ajustar el pH, determinar la dosis de ayudas de coagulación, gradiente de velocidad y tiempos de mezcla, así obtener la mejor calidad de agua para el consumo humano.

El equipo empleado se encuentra en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua de Morrórico de marca Phipps & Bird™ modelo 7790-400, consta de un agitador múltiple de velocidad variable, 6 paletas mecánicas y 6 vasos precipitados de vidrio con volumen de 1000 ml o 2000 ml.

Para la realización del ensayo se realizaron los siguientes pasos:

1. Sulfato de aluminio sólido tipo B como coagulante:
  - 1.1 Primero se debe analizar fisicoquímicamente la muestra de agua cruda (turbiedad, color, pH y conductividad)
  - 1.2 Preparar una solución madre de alumbre (solución de sulfato de aluminio al 10% p/v) con el SASB aplicado en la planta, para ello se debe pesar 10 gr de SASB en un vaso precipitado de 200 ml, disolver en agua destilada y agitar durante 5 min, por último aforar hasta llevar a un volumen de 100 ml en una probeta. El tiempo máximo de preservación de la solución madre de alumbre es de un (1) mes.
  - 1.3 A partir de la solución madre se prepara la solución de trabajo (solución de sulfato de aluminio al 1% p/v), la cual es la utilizada en el ensayo de jarras. Para preparar esta solución de trabajo se toman 10 ml de la solución madre con una pipeta, previamente agitada y se afora

hasta un volumen de 100 ml con agua destilada en una probeta. El tiempo máximo de preservación de esta solución es de ocho (8) horas.

1.4 Conocidos los parámetros físico-químicos del agua cruda, se establece la concentración a dosificar del SASB de la solución de trabajo.

1.5 En las 6 jarras o vasos precipitados se agregan volúmenes de 1 litro de agua cruda y se ubican en la base del equipo, posteriormente se bajan las paletas mecánicas.

1.6 Para simular el proceso de mezcla rápida se ajusta el equipo para operar a 100 rpm por 1 minuto y de la solución de trabajo se toma cierta cantidad de coagulante (SASB) por medio de jeringas de 10 ml para ser adicionadas inmediatamente en las jarras.

1.7 Terminado el minuto de mezcla rápida, se disminuye la velocidad de los agitadores mecánicos a 60 rpm durante 6 minutos para simular el proceso de floculación.

1.8 Concurrido el tiempo de floculación se detiene la velocidad de los agitadores mecánicos y se retiran de las jarras para proceder a dejar sedimentar el floc formado durante 15 minutos.

1.9 Después de concurrido el tiempo de sedimentación se tomaron muestras de 20 ml con una pipeta graduada, introduciéndola aproximadamente 5 cm de profundidad en cada vaso precipitado y se procede a determinar la turbidez, color verdadero, pH y aluminio residual.

2. Sulfato de aluminio líquido tipo B (SALB) como coagulante:

2.1 Se determina los parámetros físico-químicos de la muestra cruda como turbiedad, color, pH y conductividad.

2.2. Conocidos los parámetros físico-químicos del agua cruda, se establece la dosificación del SALB (solución de alúmina concentrada al 7,3 % p/v).

- 2.3 En las 6 jarras o vasos precipitados se agregan volúmenes de 1 litro de agua cruda y se ubican en la base del equipo, posteriormente se bajan las paletas mecánicas.
- 2.4 En un vaso precipitado de 50 ml se agregan 10 ml de SALB y con ayuda de la micro pipeta Transferpette<sup>#</sup> se toma la dosis deseada del coagulante para cada jarra, estas dosis son depositadas en unos discos plásticos que no interviene en la reacción y facilitan la dosificación en la prueba de jarras.
- 2.5 Para simular el proceso de mezcla rápida se ajusta el equipo para operar a 100 rpm por 1 minuto y se adicionan inmediatamente los discos con la dosis del coagulante.
- 2.6 Terminado el minuto de mezcla rápida, se disminuye la velocidad de los agitadores mecánicos a 60 rpm durante 6 minutos para simular el proceso de floculación.
- 2.7 Concurrido el tiempo de floculación se detiene la velocidad de los agitadores mecánicos y se retiran de las jarras para proceder a dejar sedimentar el floc formado durante 15 minutos.
- 2.8 Después de concurrido el tiempo de sedimentación se tomaron muestras de 20 ml con una pipeta graduada, introduciéndola aproximadamente 5 cm de profundidad en cada vaso precipitado y se procede a determinar la turbidez, color verdadero, pH y aluminio residual.

No se debe dejar las jarras sobre la base del equipo con el deflector prendido, porque la temperatura del agua trata se ve afectada y altera los parámetros de medición.

Los tiempos usados en la prueba de jarras se determinan a partir de los tiempos de operación de la planta Morrónico para los procesos de agitación (Mezcla rápida). Floculación (Mezcla lenta) y sedimentación.

Fuente: ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.  
Instructivo para la determinación de la dosis óptima de coagulante. ICC 801-002.  
[4,7]

## ANEXO E. Parámetros internos de calidad.

**Figura 15. Parámetros internos de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.**



**PARÁMETROS INTERNOS DE CALIDAD**

Turbiedad  $\leq 2$  NTU

Color  $\leq 10$  UPC

7 Unid  $\leq$  pH  $\leq 8$  Unid

0,9 mg/l  $\leq$  Cloro Residual  $\leq 1,2$  mg/l

Aluminio Residual  $\leq 0,2$  mg/l

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

ANEXO F. Datos de las variables de entrada y salida en las pruebas de jarras.

Condiciones Iniciales						
Fecha	18/11/2014	Caudal [L/s]	400			
Turbiedad [UNT]	Color [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µscm]			
6,22	8	7,54	142,9			
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SASB)						
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]	
1	12	48	7,27	7,15	0,9868	
2	14	47	7,28	7,13	0,7911	
3	16	22	4,8	7,07	0,6906	
4	18	22	3,85	6,98	0,6188	
5	20	15	3,41	6,9	0,5616	
6	22	11	2,99	6,61	0,5135	
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)						
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]	
1	27	41	5,83	7,08	0,5132	
2	29	40	5,96	7	0,4716	
3	31	37	5,55	7,06	0,43	
4	33	39	5,8	6,98	0,3884	
5	35	19	4,07	6,88	0,3468	
6	37	11	2,8	6,49	0,3052	

Condiciones Iniciales						
Fecha	19/11/2014	Caudal [L/s]	400			
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µscm]			
6,39	33	7,71	141,6			
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SASB)						
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]	
1	13	80	8,11	7,15	0,5736	
2	15	67	7,89	7,13	0,5421	
3	17	73	8,13	7,09	0,512	
4	19	43	4,33	7	0,4832	
5	21	32	4,35	6,97	0,455	
6	23	23	3	6,91	0,4394	
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)						
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]	
1	29	47	5,69	7,13	0,0735	
2	31	44	5,77	7,19	0,0605	
3	33	43	5,69	7,06	0,0475	
4	35	46	6,06	6,69	0,0345	
5	37	35	4,86	6,95	0,0215	
6	39	30	3,79	6,91	0,019	

Condiciones Iniciales					
Fecha	30/10/2014	Caudal [L/s]	175		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
13,6	24	7,72	139,1		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SAB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidad g]	Aluminio residual [ppm]
1	20	110	15,1	6,95	0,6763
2	22	109	14,8	6,95	0,5345
3	24	71	9,38	6,95	0,4207
4	26	72	10,1	6,97	0,3349
5	28	52	6,4	6,95	0,2771
6	30	57	8	6,95	0,2473
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidad g]	Aluminio residual [ppm]
1	36	96	14,1	6,89	0,079
2	38	99	13,8	6,81	0,0721
3	40	89	12,2	6,73	0,0725
4	42	88	11,3	6,68	0,0726
5	44	77	9,19	6,58	0,07257
6	46	35	3,47	6,55	0,0724

Condiciones Iniciales					
Fecha	21/11/2014	Caudal [L/s]	423		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
8,6	8	7,82	125,7		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SAB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	12	46	6,26	7,24	1,5307
2	14	52	6,42	7,25	1,2781
3	16	47	6,79	7,18	1,0535
4	18	20	3,11	7,11	0,8569
5	20	31	3,98	7,03	0,6883
6	22	19	3,24	6,92	0,5477
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	21	42	5,39	7,16	0,134
2	23	44	5,55	7,23	0,1176
3	25	44	5,58	7,18	0,1012
4	27	43	5,52	7,19	0,0848
5	29	48	5,72	7,09	0,0684
6	31	33	5,68	7,02	0,052

Condiciones Iniciales					
Fecha	14/11/2014	Caudal [L/s]	330		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [ $\mu$ S]		
19,5	27	7,71	131,7		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA5B)					
Jarra	Doce [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	24	99	6,08	6,94	0,4207
2	26	50	8,39	6,86	0,3349
3	28	38	6,49	6,79	0,2771
4	30	35	5,48	6,74	0,2473
5	32	24	3,97	6,68	0,2455
6	34	26	4,44	6,63	0,2717
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SA1B)					
Jarra	Doce [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	42	98	14,3	6,74	0,1874
2	44	114	16,8	6,8	0,1822
3	46	62	6,01	6,77	0,177
4	48	38	5,05	6,62	0,1718
5	50	30	3,86	6,63	0,1666
6	52	29	3,52	6,53	0,1614

Condiciones Iniciales					
Fecha	11/11/2014	Caudal [L/s]	420		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [ $\mu$ S/cm]		
13,9	10	7,85	171,4		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA5B)					
Jarra	Doce [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	16	107	15,9	7,16	1,0439
2	18	103	15,7	7,1	0,8461
3	20	56	7,95	6,99	0,6763
4	22	40	6,51	6,95	0,5345
5	24	29	5,31	6,83	0,4207
6	26	34	6,11	6,9	0,3349
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO					
Jarra	Doce [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	32	75	9,13	7,03	0,0825
2	34	74	8,94	6,91	0,075
3	36	78	9,88	6,84	0,0675
4	38	89	9,86	6,79	0,06
5	40	47	5,18	6,76	0,0525
6	42	37	4,09	6,74	0,045

Condiciones Iniciales					
Fecha	21/11/2014	Caudal [L/s]	430		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
32,8	17	7,73	123,1		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SAB)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	18	181	26,9	7,14	0,473
2	20	158	22,5	7,06	0,456
3	22	52	7,26	6,96	0,4342
4	24	62	7,89	6,9	0,4148
5	26	17	3,09	6,82	0,3953
6	28	15	2,74	6,79	0,3759
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	36	49	6,6	7,13	0,306
2	38	16	2,58	6,92	0,2604
3	40	21	3,38	7,06	0,2148
4	42	24	3,72	6,83	0,1692
5	44	17	2,84	6,87	0,1336
6	46	23	3,84	6,9	0,078

Condiciones Iniciales					
Fecha	14/11/2014	Caudal [L/s]	380		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs]		
19,8	24	7,76	133,5		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SAB)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	20	145	20,5	6,97	0,6763
2	22	134	19,3	6,95	0,5345
3	24	70	10,2	6,89	0,4207
4	26	49	7,21	6,83	0,3349
5	28	41	6,02	6,7	0,2771
6	30	45	8,64	6,71	0,2473
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	36	119	6,39	7,03	0,203
2	38	130	18,7	6,93	0,1978
3	40	117	18,3	6,88	0,1925
4	42	99	14,1	6,86	0,1874
5	44	132	18,3	6,83	0,1822
6	46	144	19,8	6,77	0,177

Condiciones Iniciales					
Fecha	12/11/2014	Caudal [L/s]	420		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µS]		
47,3	32	8,07	155,4		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA SB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	30	173	7,18	7,02	0,1652
2	32	46	7,53	6,47	0,166
3	34	92	13,1	6,93	0,1516
4	36	18	3,36	6,85	0,142
5	38	22	4,04	6,76	0,1372
6	40	10	2,3	6,72	0,1372
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	48	107	14	6,91	0,1666
2	50	77	9,87	6,92	0,1602
3	52	445	33	6,95	0,1518
4	54	169	23,2	6,88	0,1434
5	56	54	7,45	6,8	0,135
6	58	140	19,8	6,76	0,1266

Condiciones Iniciales					
Fecha	12/11/2014	Caudal [L/s]	380		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µS]		
34	23	7,92	179,3		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA SB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	32	24	4,01	6,9	0,166
2	34	34	5,62	6,89	0,1516
3	36	41	5,51	6,89	0,142
4	38	25	4,18	6,73	0,1372
5	40	19	3,41	6,68	0,1372
6	42	27	4,82	6,64	0,145
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	54	69	9,47	6,93	0,0652
2	56	46	6,78	6,9	0,0544
3	58	25	4,05	6,53	0,0435
4	60	45	6,71	6,79	0,0328
5	62	37	5,35	6,78	0,022
6	64	35	5,28	6,75	0,0112

Condiciones Iniciales					
Fecha	15/12/2014	Caudal [L/s]	410		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µS]		
55,3	23	7,67	110,3		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SABE)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	24	134	18,9	6,86	0,464
2	26	81	10,9	6,83	0,35
3	28	54	7,68	6,87	0,319
4	30	48	7,01	6,87	0,314
5	32	38	5,63	6,85	0,287
6	34	40	5,4	6,82	0,328
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	39	32	4,69	6,8	0,134
2	41	34	4,79	6,73	0,093
3	43	32	4,8	6,78	0,084
4	45	45	7,01	6,85	0,093
5	47	33	5,25	6,82	0,071
6	49	34	5,38	6,81	0,075

Condiciones Iniciales					
Fecha	29/10/2014	Caudal [L/s]	440		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µS/cm]		
54,5	21	7,44	149,8		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SABE)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	24	114	17,7	6,54	0,464
2	26	66	9,31	6,48	0,35
3	28	53	7,52	6,5	0,319
4	30	39	6,15	6,54	0,314
5	32	34	5,49	6,52	0,287
6	34	40	6,13	6,52	0,328
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doala [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	42	245	48,9	6,47	0,068
2	44	230	36	6,42	0,067
3	46	60	9,13	6,46	0,066
4	48	58	9,01	6,37	0,065
5	50	55	8,8	6,26	0,063
6	52	43	6,47	6,46	0,062

Condiciones Iniciales					
Fecha	19/11/2014	Caudal [L/s]	360		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
88,8	17	7,77	132,4		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA.SB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	20	127	20,7	7	0,8883
2	22	42	7,89	6,98	0,5477
3	24	26	5,31	6,93	0,4351
4	26	17	3,97	6,87	0,3505
5	28	18	4,86	6,83	0,2939
6	30	16	4,03	6,74	0,2653
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	33	493	71,6	7,12	0,344
2	35	137	22,3	6,9	0,268
3	37	41	7,35	6,85	0,192
4	39	47	8,57	6,87	0,116
5	41	30	7,63	6,84	0,04
6	43	14	6,17	6,68	0,036

Condiciones Iniciales					
Fecha	01/11/2014	Caudal [L/s]	430		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs]		
73,8	30	7,62	140,6		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA.SB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	28	158	21,6	6,73	0,2939
2	30	57	8,21	6,77	0,2653
3	32	53	7,44	6,78	0,2647
4	34	44	5,73	6,79	0,2321
5	36	48	7,82	6,83	0,3475
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	60	21	3,44	6,53	0,14
2	62	26	4,18	6,59	0,145
3	64	26	3,83	6,6	0,15
4	66	61	8,85	6,16	0,155
5	68	69	10,1	6,26	0,16

Condiciones Iniciales					
Fecha	16/12/2014		Caudal [L/S]	410	
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
380	28	7,42	119		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA.SB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	27	26	3,31	6,74	0,192
2	32	15	2,04	6,66	0,135
3	37	11	1,48	6,55	0,115
4	42	11	1,69	6,55	0,073
5	47	12	1,7	6,59	0,084
6	52	14	2,55	6,54	0,161
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	49	21	2,58	6,56	0,076
2	54	16	1,88	6,55	0,072
3	59	13	1,91	6,56	0,061
4	64	12	1,52	6,57	0,068
5	69	15	1,82	6,57	0,103
6	74	16	2,39	6,55	0,076

Condiciones Iniciales					
Fecha	10/12/2014		Caudal [L/S]	400	
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
268	32	7,7	115,2		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA.SB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	26	410/13	59,5	6,93	0,435
2	31	71	11,5	6,86	0,227
3	36	41	6,93	6,83	0,218
4	41	30	5,25	6,77	0,25
5	46	27	4,71	6,74	0,207
6	51	23	4,31	6,66	0,211
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	43	618/27	87,5	6,98	0,534
2	48	373	53,2	6,95	0,42
3	53	171	26,1	6,91	0,232
4	58	48	9,28	6,82	0,185
5	63	14	3,94	6,78	0,177
6	68	15	3,93	6,69	0,156

Condiciones Iniciales					
Fecha	10/11/2014	Caudal [L/s]	420		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs]		
492	40	7,33	139,1		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SOLIDO (SA:SB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	40	27	5,38	6,61	0,2647
2	42	25	5,21	6,52	0,267
3	44	23	4,79	6,43	0,2703
4	45	15	3,52	6,48	0,2815
5	48	20	4,22	6,46	0,2983
6	50	25	5,04	6,44	0,32
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LIQUIDO (SALB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	62	35	5,52	6,62	0,048
2	64	25	4,19	6,35	0,0464
3	65	21	3,39	6,53	0,0448
4	68	28	4,29	6,55	0,0432
5	70	18	3,74	6,51	0,0415
6	72	23	4,56	6,48	0,04

Condiciones Iniciales					
Fecha	06/11/2014	Caudal [L/s]	440		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
488	52	7,55	133,6		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SOLIDO (SA:SB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	35	39	208	6,37	0,1742
2	40	377	58,1	6,39	0,1692
3	45	80	14,7	6,36	0,1942
4	50	63	11,4	6,37	0,2492
5	55	55	10,7	6,34	0,3342
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LIQUIDO (SALB)					
Jarra	Doale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
2	65	12	81,6	6,35	0,0598
3	70	261	40,1	6,33	0,0538
4	75	100	15,4	6,37	0,057
5	80	49	7,71	6,38	0,055
6	85	37	6,41	6,41	0,055

Condiciones Iniciales					
Fecha	13/11/2014	Caudal [L/s]	340		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
903	64	7,74	130,8		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA SB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	58	143	23,4	6,82	0,206
2	63	48	8,27	6,71	0,152
3	68	26	4,67	6,6	0,118
4	73	29	5,31	6,53	0,104
5	78	36	7,16	6,49	0,11
6	83	18	3,43	6,25	0,136
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	109	48	9,22	6,73	0,117
2	114	33	6,89	6,51	0,12
3	119	66	13,4	6,45	0,1229
4	124	26	5,21	6,36	0,1259
5	129	23	4,82	6,34	0,128
6	134	29	5,71	6,3	0,122

Condiciones Iniciales					
Fecha	10/11/2014	Caudal [L/s]	420		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
652	34	7,66	147,7		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA SB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	30	75	13,1	6,85	0,1372
2	35	55	9,32	6,78	0,142
3	40	32	6,18	6,65	0,1516
4	45	27	5,37	6,64	0,166
5	50	24	5,41	6,45	0,1652
6	55	26	5,05	6,32	0,2092
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dozls [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	45	123	19,3	6,67	0,0516
2	50	95	15,9	6,52	0,0576
3	55	38	6,77	6,43	0,0536
4	60	34	6,91	6,47	0,0496
5	65	33	7,5	6,47	0,0456
6	70	48	8,28	6,49	0,0416

Condiciones Iniciales					
Fecha	13/11/2014	Caudal [L/s]	340		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [ $\mu$ S]		
1034	57	7,95	130,2		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA5B)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	55	142	23,6	6,77	0,248
2	60	133	20,8	6,74	0,182
3	65	53	8,87	6,59	0,135
4	70	42	9,1	6,64	0,11
5	75	25	5,76	6,53	0,104
6	80	31	6,51	6,48	0,118
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	97	55	9,16	6,46	0,0273
2	102	49	8,16	6,37	0,0223
3	107	33	5,45	6,3	0,023
4	112	31	5,26	6,22	0,017
5	117	34	5,45	6,2	0,012
6	122	35	5,67	6,18	0,01

Condiciones Iniciales					
Fecha	30/11/2014	Caudal [L/s]	250		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [ $\mu$ S]		
954	30	7,79	139,1		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA5B)					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	81	72	13,1	6,28	0,0745
2	79	65	10,4	6,26	0,0662
3	77	43	8,53	6,25	0,061
4	75	56	10,3	6,22	0,059
5	73	37	7,49	6,2	0,0502
6	71	38	6,93	6,24	0,0546
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO					
Jarra	Dosis [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	108	45	8,03	6,24	0,07379
2	110	46	8,02	6,28	0,0765
3	112	45	8,32	6,27	0,079
4	114	67	12	6,31	0,082
5	116	58	11,1	6,32	0,08481
6	118	71	12,4	6,27	0,08757

Condiciones Iniciales					
Fecha	06/11/2014	Caudal [L/s]	430		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs/cm]		
1166	36	7,79	171,4		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA SB)					
Jarra	Dosale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	60	17	3,17	6,54	0,146
2	65	15	2,39	6,5	0,097
3	70	16	2,54	6,31	0,068
4	75	12	2,9	6,44	0,059
5	80	9	2,08	6,47	0,07
6	85	6	2,06	6,46	0,101
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	95	30	2,9	6,34	0,0548
2	100	21	2,95	6,24	0,0538
3	105	14	2,37	6,36	0,0528
4	110	10	2,56	6,39	0,0518
5	115	10	3,12	6,42	0,0508
6	120	11	2,91	6,49	0,04

Condiciones Iniciales					
Fecha	11/12/2014	Caudal [L/s]	412		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µs]		
1124	46	7,42	98,5		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA SB)					
Jarra	Dosale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	59	105	19,7	6,38	0,169
2	64	51	9,61	6,34	0,082
3	69	38	7,56	6,31	0,085
4	74	26	5,9	6,3	0,066
5	79	22	5,61	6,3	0,064
6	84	26	5,64	6,21	0,093
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Dosale [ppm]	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual [ppm]
1	96	31	6,58	6,29	0,046
2	103	32	6,72	6,22	0,061
3	108	37	6,08	6,16	0,06
4	113	39	6,28	6,19	0,072
5	118	41	5,8578	6,205	0,0695
6	123	43	5,49	6,22	0,067

Condiciones Iniciales					
Fecha	22/01/2015	Caudal [L/S]	210		
Turbiedad [UNT]	Color Real [UPC]	pH [Unidades]	Conductividad [µscm]		
51,2	23	7,87	145		
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SÓLIDO (SA5B)					
Jarra	Doala (ppm)	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual (ppm)
1	24	251	32,9	6,95	0,17
2	26	253	32,3	6,88	0,139
3	28	216	27,6	7	0,135
4	30	114	14,6	7,02	0,124
5	32	99	12,5	7,12	0,139
<b>6</b>	<b>34</b>	<b>55</b>	<b>6,77</b>	<b>7,11</b>	<b>0,145</b>
SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LÍQUIDO (SALB)					
Jarra	Doala (ppm)	Color [UPC]	Turbiedad [UNT]	PH [Unidades]	Aluminio residual (ppm)
1	48	38	4,54	6,66	0,2
2	50	66	7,13	6,67	0,188
3	52	38	4,6	6,68	0,127
<b>4</b>	<b>54</b>	<b>28</b>	<b>3,45</b>	<b>6,75</b>	<b>0,099</b>
5	56	35	4,04	6,83	0,103
6	58	21	2,72	6,9	0,079

**ANEXO G. Resumen datos experimentales pruebas de jarras y relación de  
reemplazo en unidades volumétricas.**

Agua cruda				Agua tratada							
Turbiedad [NTU]	Color Aparente [UPC]	pH	Conductividad (µs/cm)	Turbiedad residual [NTU]		Color Verdadero [UPC]		pH		Aluminio Residual	
				SASB	SALB	SASB	SALB	SASB	SALB	SASB	SALB
6,22	8,00	7,54	142,90	3,85	4,07	22	19	6,98	6,88	0,62	0,35
6,39	33,00	7,71	141,60	4,35	3,79	32	30	6,97	6,91	0,46	0,02
8,60	8,00	7,82	125,70	3,11	5,52	20	43	7,11	7,19	0,86	0,08
13,60	24,00	7,72	139,10	6,40	3,47	52	35	6,96	6,56	0,28	0,07
13,90	10,00	7,85	189,70	6,51	9,88	40	78	6,95	6,84	0,53	0,07
19,50	27,00	7,71	131,70	5,48	3,86	35	30	6,74	6,63	0,25	0,17
19,80	24,00	7,76	133,50	7,21	6,39	49	119	6,63	7,03	0,33	0,20
32,80	17,00	7,73	123,10	3,09	2,84	17	17	6,82	6,87	0,40	0,12
34,00	23,00	7,92	179,30	4,18	4,05	25	25	6,73	6,63	0,14	0,04
47,30	32,00	8,07	195,40	3,36	7,45	18	54	6,85	6,80	0,14	0,14
51,20	23,00	7,83	150,30	6,77	6,47	55	28	7,11	6,75	0,15	0,10
54,50	21,00	7,44	149,80	5,49	5,25	34	43	6,62	6,46	0,29	0,06
65,30	23,00	7,67	110,30	7,01	3,44	48	33	6,87	6,82	0,31	0,07
73,80	30,00	7,62	140,60	5,73	7,36	44	21	6,79	6,53	0,29	0,19
88,80	17,00	7,77	132,40	5,31	9,28	26	41	6,93	6,85	0,44	0,19
268,0	32,00	7,70	115,20	6,93	1,91	41	48	6,83	6,82	0,22	0,19
380,0	28,00	7,42	119,00	1,69	6,41	11	13	6,65	6,56	0,07	0,06
488,0	52,00	7,56	133,60	10,7	3,33	56	37	6,34	6,41	0,33	0,06
492,0	40,00	7,33	139,10	4,79	6,77	23	21	6,43	6,53	0,27	0,04
652,0	34,00	7,66	147,70	6,18	6,89	32	38	6,65	6,43	0,15	0,05
903,0	64,00	7,74	130,80	4,67	8,03	26	33	6,60	6,51	0,12	0,12
954,0	30,00	7,79	139,10	8,53	5,45	43	45	6,25	6,24	0,06	0,07
1034,	57,00	7,95	130,20	8,87	5,85	53	33	6,59	6,30	0,15	0,02
1124,	46,00	7,42	107,45	5,90	2,56	26	41	6,30	6,21	0,07	0,07
1166.	36,00	7,79	171,40	2,08	3,45	9	10,0	6,47	6,4	0,07	0,05

**ANEXO H. Costo promedio por m<sup>3</sup> de agua cruda, consumo y dosis de sulfato de aluminio sólido, polímero y cloro para los años 2013 a 2014.**

		DOSIS SASB		DOSIS SALB	
Año		2013	2014	2013	2014
Enero	MAX [kg/min]	1,34	1,06	2,01	1,78
	MIN [Kg/min]	0,22	0,28	0,61	0,48
	PROM	0,40	0,50	0,92	0,76
	Consumo Total [kg]	1,56	1,34	2,62	2,27
	Costo [\$/m3]	17,02	13,95	23,61	14,49
Febrero	MAX [kg/min]	1,38	1,23	5,91	2,10
	MIN [Kg/min]	0,21	0,32	0,61	0,49
	PROM	0,57	0,50	0,97	0,75
	Consumo Total [kg]	1,59	1,55	6,52	2,59
	Costo [\$/m3]	17,31	17,58	17,99	18,33
Marzo	MAX [kg/min]	1,42	2,01	3,22	3,11
	MIN [Kg/min]	0,28	0,15	0,55	0,39
	PROM	0,50	0,47	0,81	0,86
	Consumo Total [kg]	1,70	2,16	3,77	3,50
	Costo [\$/m3]	14,92	15,22	14,75	10,49
Abril	MAX [kg/min]	1,49	1,45	2,65	2,43
	MIN [Kg/min]	0,23	0,06	0,58	0,36
	PROM	0,63	0,49	1,03	0,73
	Consumo Total [kg]	1,72	1,51	3,23	2,79
	Costo [\$/m3]	19,28	17,73	18,98	18,43
Mayo	MAX [kg/min]	1,41	1,20	2,73	2,37
	MIN [Kg/min]	0,38	0,38	0,58	0,56
	PROM	0,54	0,59	0,78	0,74
	Consumo Total [kg]	1,79	1,58	3,31	2,93
	Costo [\$/m3]	16,13	16,23	14,00	13,99
Junio	MAX [kg/min]	0,72	0,47	1,16	1,05
	MIN [Kg/min]	0,38	0,34	0,65	0,52
	PROM	0,50	0,31	0,77	0,60
	Consumo Total [kg]	1,10	0,81	1,81	1,57
	Costo [\$/m3]	14,75	9,25	13,67	12,48

		DOSIS SASB		DOSIS SALB	
Año		2013	2014	2013	2014
Julio	MAX [kg/min]	0,98	0,52	1,28	2,33
	MIN [Kg/min]	0,32	0,03	0,46	0,33
	PROM	0,43	0,31	0,62	0,70
	Consumo Total [kg]	1,30	0,55	1,74	2,66
	Costo [\$/m3]	15,00	12,91	13,13	20,33
Agosto	MAX [kg/min]	1,21	0,48	1,52	0,62
	MIN [Kg/min]	0,21	0,17	0,39	0,23
	PROM	0,45	0,30	0,94	0,37
	Consumo Total [kg]	1,42	0,65	1,91	0,84
	Costo [\$/m3]	19,32	17,81	24,70	14,91
Septiembre	MAX [kg/min]	1,55	0,84	4,34	1,15
	MIN [Kg/min]	0,33	0,17	0,61	0,30
	PROM	0,54	0,37	0,89	0,50
	Consumo Total [kg]	1,88	1,01	4,94	1,45
	Costo [\$/m3]	17,13	17,05	17,01	15,86
Octubre	MAX [kg/min]	1,37	1,30	2,63	3,35
	MIN [Kg/min]	0,32	0,20	0,61	0,64
	PROM	0,57	0,68	0,97	1,07
	Consumo Total [kg]	1,69	1,50	3,24	4,00
	Costo [\$/m3]	17,58	19,75	18,23	21,59
Noviembre	MAX [kg/min]	1,37	1,27	4,41	3,45
	MIN [Kg/min]	0,24	0,39	0,50	0,56
	PROM	0,64	0,64	1,03	1,04
	Consumo Total [kg]	1,61	1,65	4,91	4,01
	Costo [\$/m3]	19,30	17,65	18,92	19,60
Diciembre	MAX [kg/min]	1,01	1,66	3,74	2,23
	MIN [Kg/min]	0,42	0,39	0,62	0,54
	PROM	0,55	0,59	0,94	0,91
	Consumo Total [kg]	1,43	2,05	4,35	2,77
	Costo [\$/m3]	15,67	17,41	16,22	18,50
Consumo anual [kg]		19	16	42	31
Costo promedio anual [\$/m3]		16,95	16,05	17,60	16,58

Figura 14. Comportamiento del costo m<sup>3</sup> de agua tratada para los coagulantes SASB Y SALB durante el año 2013

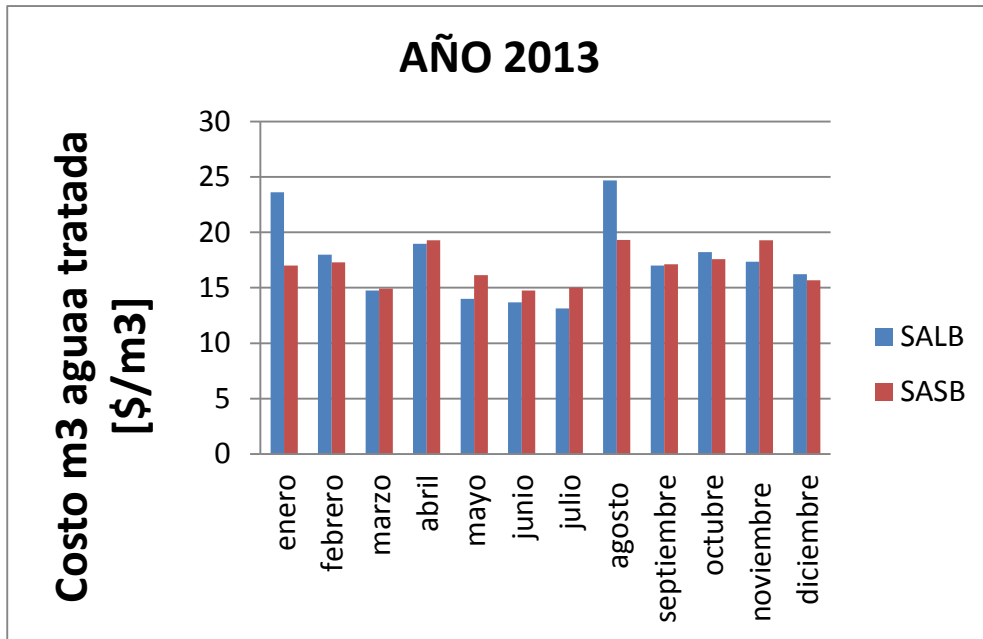
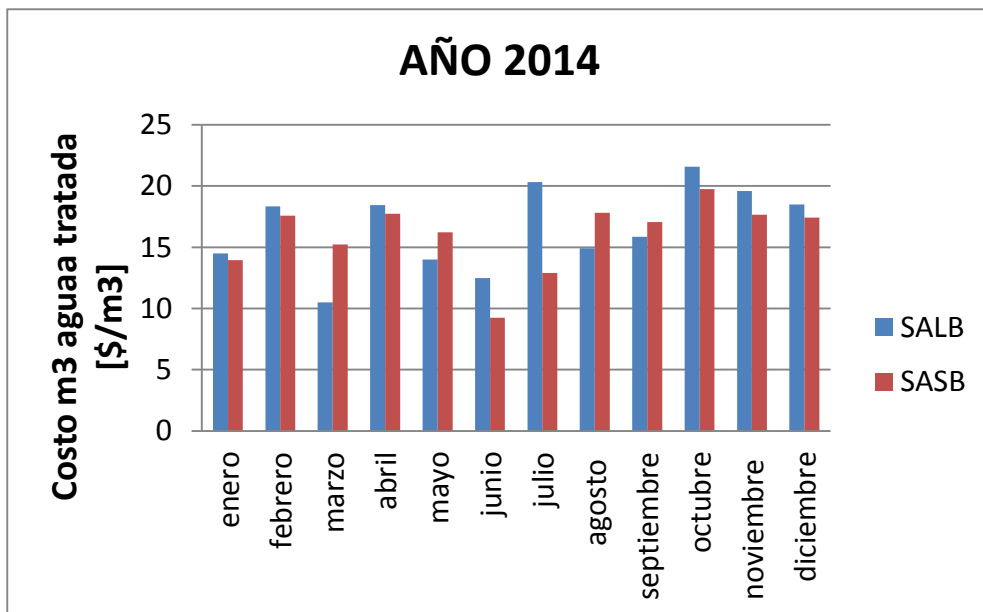


Figura 15. Comportamiento del costo m<sup>3</sup> de agua tratada para los coagulantes SASB Y SALB durante el año 2014



## ANEXO I. Técnica: prueba de trazadores.

Figura 4. Proceso prueba de trazadores.

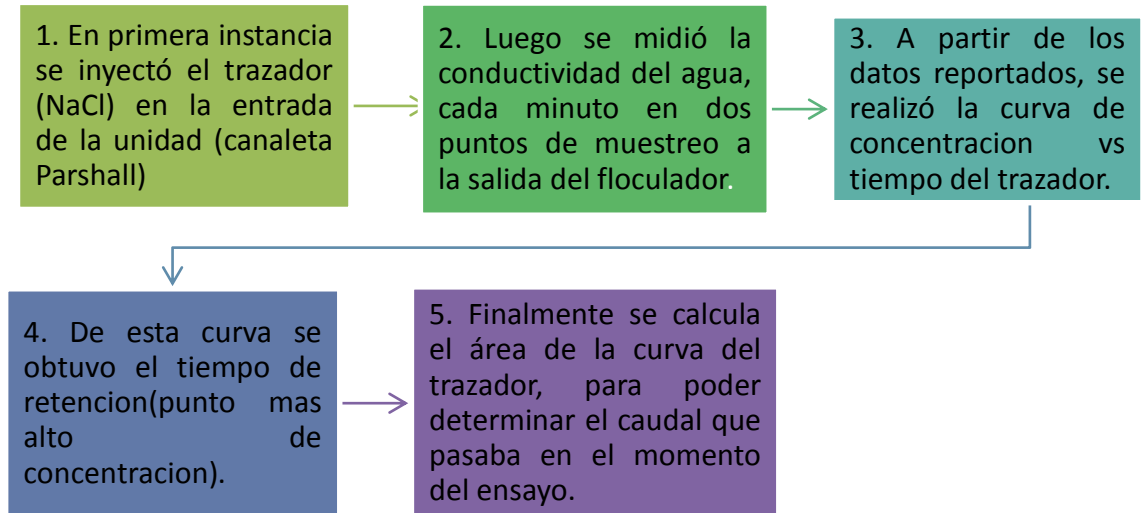


Figura 5. Fotografías: Punto de inyección y puntos de muestreo del trazador.

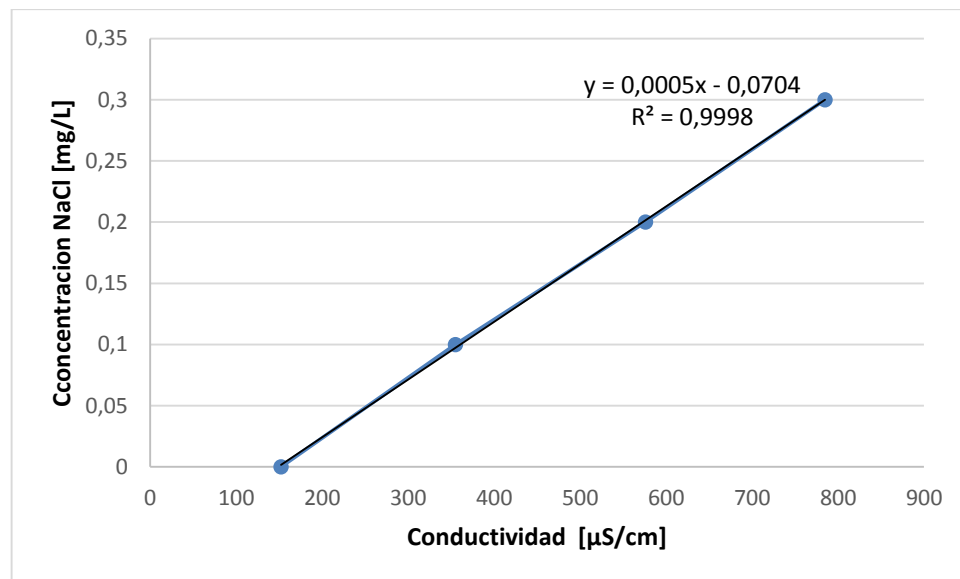


## ANEXO J. Determinación de curvas de calibración del conductivimetro (HACH 14QD)

### Procedimiento:

1. Tomar un litro de agua cruda
2. Medir la conductividad inicial de la muestra
3. Pesar 0,1 g de NaCl y adicionar a la muestra
4. Registrar nuevamente el valor de conductividad.
5. Adicionar la misma cantidad y registrar la nueva conductividad
6. Repetir el paso 5 y finalmente graficar los datos experimentales.

Figura 18. Curva de calibración conductivimetro (HACH 14DQ).



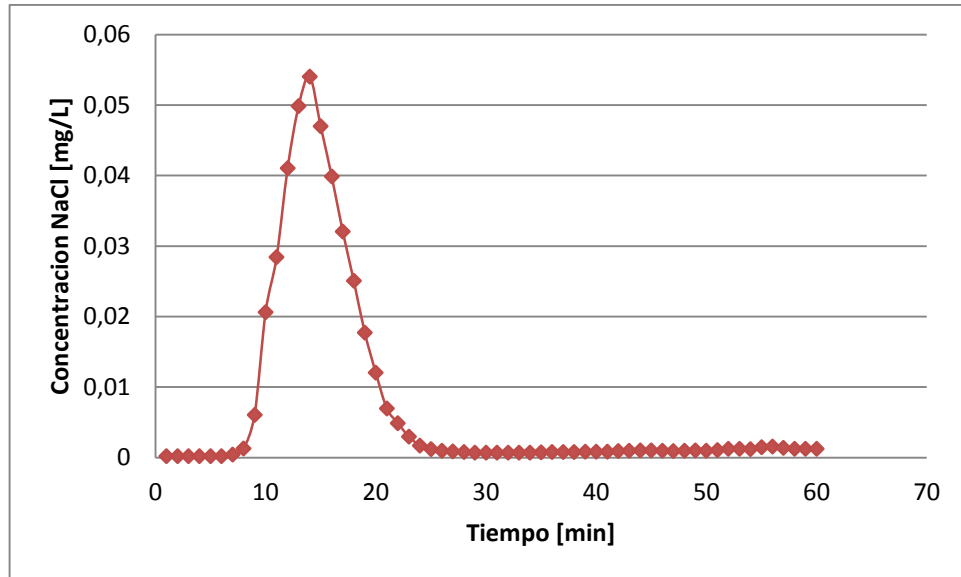
## ANEXO K. Curvas trazadores para los 6 ensayos.

### DATOS EXPERIMENTALES DE INYECCION INSTANTANEA PARA CAUDALES MINIMOS Y MAXIMOS

#### PRUEBA. 1

<b>Fecha</b>	09/01/2015
<b>Volumen aforo</b>	11L
<b>Masa trazador (NaCl)</b>	3050g
<b>Caudal (L/s) (Entrada Canaleta Parshall)</b>	122

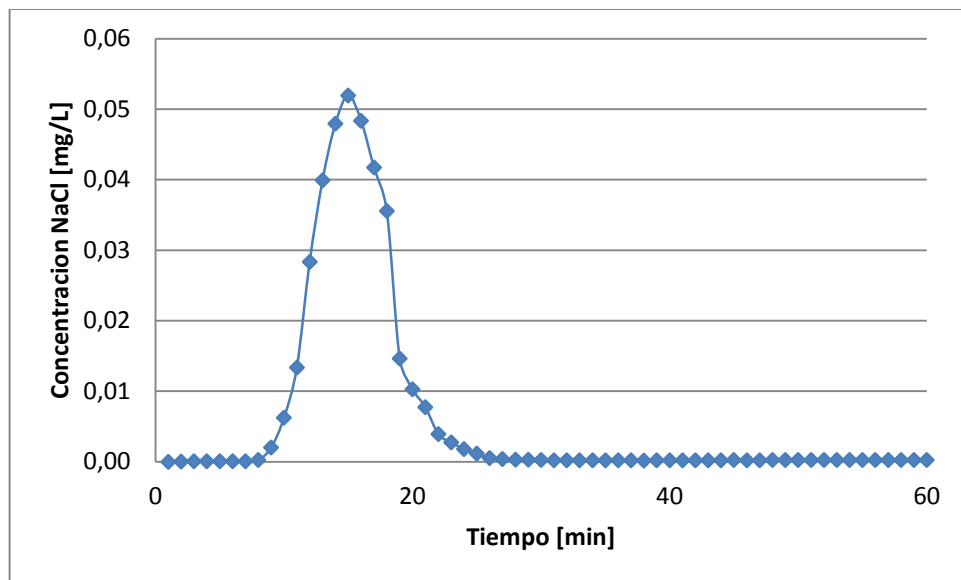
Figura 19. Curva trazador para un caudal de 122 l/s.



PRUEBA. 2

Fecha	08/01/2015
Volumen aforo	12L
Masa trazador (NaCl)	3000g
Caudal (L/s) (Entrada Canaleta Parshall)	123

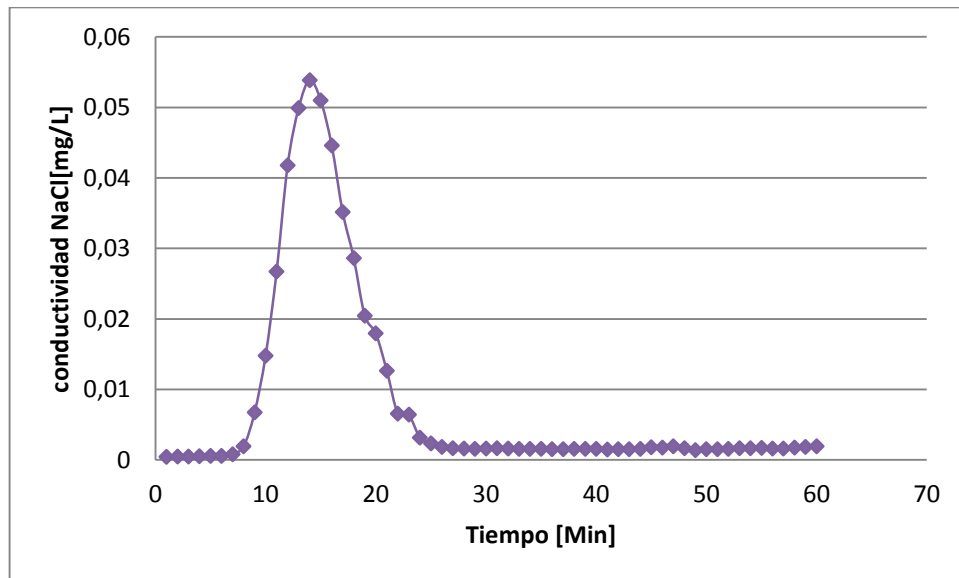
Figura 20. Curva trazador para un caudal de 123 l/s.



PRUEBA. 3

<b>Fecha</b>	13/01/2015
<b>Volumen aforo</b>	10L
<b>Masa trazador (NaCl)</b>	3125g
<b>Caudal (L/s) (Entrada Canaleta Parshall)</b>	125

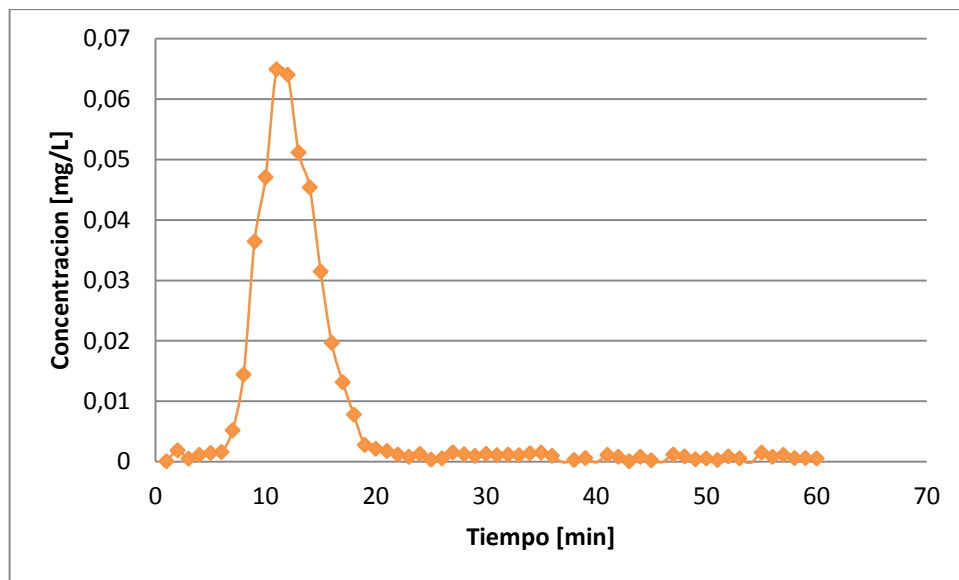
Figura 21. Curva trazador para un caudal de 125 l/s.



**PRUEBA. 4**

<b>Fecha</b>	23/01/2015
<b>Volumen aforo</b>	14L
<b>Masa trazador (NaCl)</b>	3700
<b>Caudal (L/s) (Entrada Canaleta Parshall)</b>	150

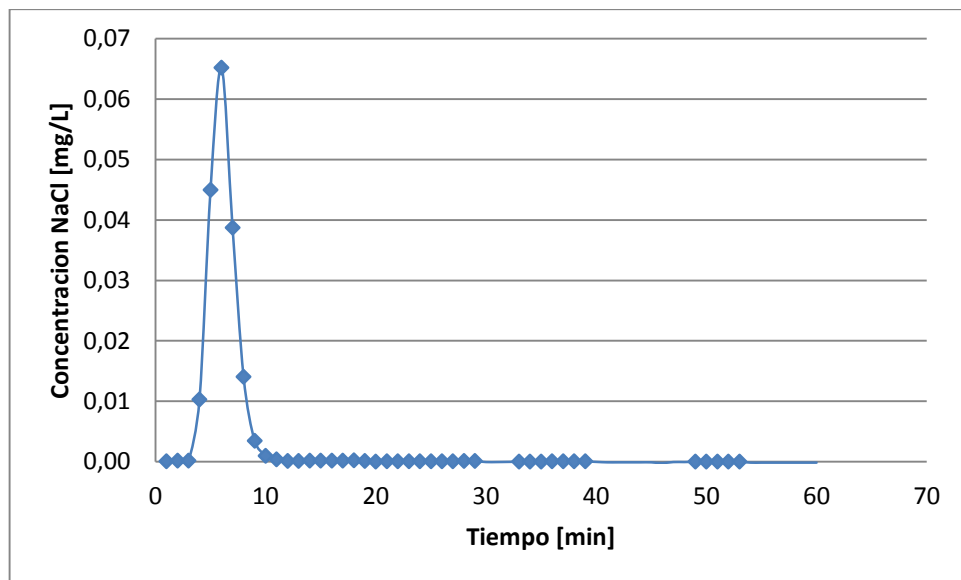
**Figura 22. Curva trazador para un caudal de 150 l/s.**



PRUEBA. 5

<b>Fecha</b>	20/01/2015
<b>Volumen aforo</b>	20L
<b>Masa trazador (NaCl)</b>	5000g
<b>Caudal (L/s) (Entrada Canaleta Parshall)</b>	450

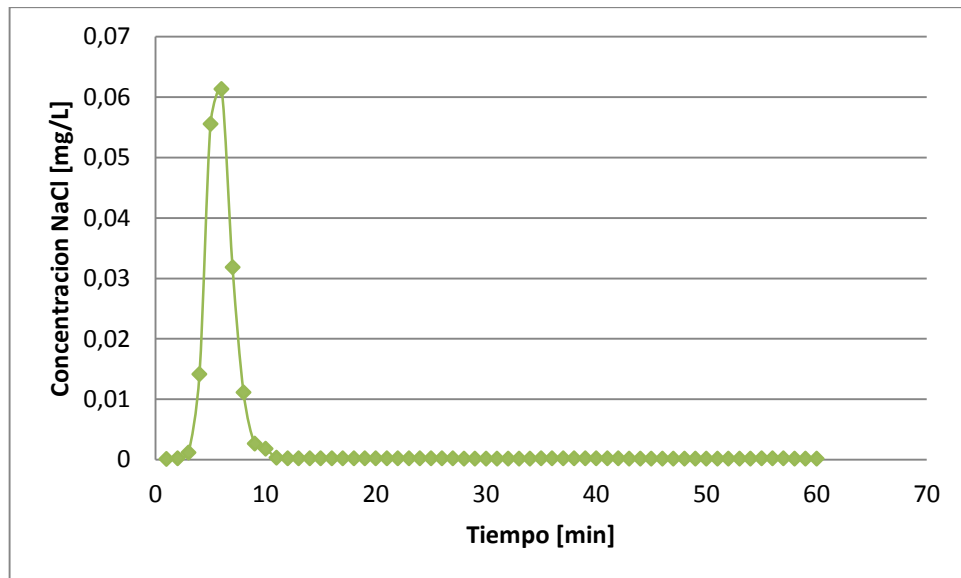
Figura 23. Curva trazador para un caudal de 450 l/s.



PRUEBA. 6

<b>Fecha</b>	21/01/2015
<b>Volumen aforo</b>	20L
<b>Masa trazador (NaCl)</b>	5000g
<b>Caudal (L/s) (Entrada Canaleta Parshall)</b>	453

Figura 24. Curva trazador para un caudal de 453 l/s.



## ANEXO L. Costos de insumos e inversión de equipos.

Tabla 4. Costos insumos químicos.

INSUMO QUIMICO	COSTO AÑO 2013 [\$/kg]	COSTO AÑO 2014 [\$/kg]
SALB	455	464
SASB	750	672,80
Cloro	3.445	3.550
Polímero	5.423	4.956

Tabla 5. Costos de inversión en el sistema de dosificación y almacenamiento del SATBL.

EQUIPO	COSTO(\$)
Tanque en fibra de vidrio	18.985.161*
Instalación y fabricación de plataforma horizontal	15.000.000
Bombas trasvase y dosificadoras	8.980.00**
TOTAL	33.985.541

La empresa cuenta en su bodega con los tanques de almacenamiento y bombas dosificadoras requeridas para la cantidad del nuevo coagulante a dosificar (SALB); los valores reportados son producto de las cotizaciones previas realizadas. Los tanque de almacenamiento y las bombas dosificadoras fueron comprados a la empresa AQUA-COLOMBIA-LTDA y DUEÑAS OROZCO REPRESENTACIONES S.A.S

---

\*Este valor fue suministrado por la empresa AQUA-COLOMBIA-LTDA

\*\* Este valor fue suministrado por la empresa DUEÑAS OROZCO REPRESENTACIONES S.A.S



**ANEXO M. Dimensiones floculador hidráulico horizontal Tabla 6.**

**Tabla 6. Dimensiones del floculador hidráulico.**

Profundidad Floculador [m]	Longitud Floculador (m)	Ancho Floculador (m)	No. Pantallas	Espesor pantalla (cm)	No.Canales	longitud pantalla
1,1	25,29	8,02	7	0,165	8	5,75

#Canales	Ancho (m)	Vol Total Canal
1	3,8	17,44
2	3,16	26,83
3	3,14	26,66
4	3,14	26,69
5	3,14	26,69
6	3,14	26,69
7	3,14	26,69
8	1,47	11,96
	Volumen Total Floculador [m3]	189,64

## ANEXO N. Cotización bomba de dosificación.

Pág. 1 de 1	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>		
F SL 704-021			
Rev.: 1			
<b>DIVISION GESTIÓN COMPRAS</b>			
<b>FECHA</b>	26/09/2014	<b>PEDIDO No.</b>	47141
<b>DEPENDENCIA QUE ORIGINA EL PEDIDO</b>			
DIVISIÓN ELECTROMECAÁNICA			
<b>ESPECIFICACIONES</b>			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	BOMBA PARA DOSIFICACIÓN DE SULFATO LÍQUIDO CAUDAL: 500 - 5000 ml/min; BASE, CARCASA, ROTOR Y ESTATOR EN ACERO INOXIDABLE; SENTIDO DE ROTACIÓN: IZQUIERDA; INSTALACIÓN: HORIZONTAL; CONEXIÓN DE SUCCIÓN: ROSCA INTERNA 1 1/4" NPT VERTICAL; CONEXIÓN DE DESCARGA: ROSCA INTERNA 1 1/4" NPT HORIZONTAL; PRESION DE SUCCIÓN: POSITIVA; PRESIÓN DE DESCARGA: 60 PSI; MOTORREDUCTOR: Na=163 RPM, i=10, 10:1, 0,55kW, 4 POLOS, 220/440 V, 60 Hz, 3F, IP 55, TEFC; AISLAMIENTO CLASE F; MANUAL EN ESPAÑOL	UND	1
2	BOMBA TRASVASE DE SULFATO LÍQUIDO QC-114 MD 80 B5 1,5"x1,5"; CONEXIONES CLAMP; SELLO SENCILLO; EMPAQUES EPDM; ELEMENTOS DE SELLO: CARBON vs PLACA EN ACERO INOXIDABLE 316L; PARTES DE CONTACTO CON PRODUCTO: CARACOL, PLATO E IMPULSOR EN ACERO INOXIDABLE 316L; SUJECIÓN DE IMPULSOR POR TUERCA SANITARIA; SUJECIÓN DE PORTA EJE POR MEDIO DE COLLARÍN; MOTOR: 2 hp, 3500 RPM, 220/440 V, 60 Hz; KIT DE PATAS EN SS 304	UND	1
3	SELLO MECÁNICO - KIT #3 114 EPDM	UND	2
<b>SOLICITANTE</b>			
<b>NOMBRE</b>	JAIRO FABIÁN JAIMES ROJAS		
<b>CARGO</b>	JEFE DE DIVISIÓN ELECTROMECAÁNICA		
<b>FIRMA</b>			

Controla SGC  
25/09/2008

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

Bogotá, 08 de octubre de 2014  
 Ntra. Ref.: HDA/COT/14631

Señores  
**ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA**  
 Atn: Maryi Paola Díaz Bedoya  
 pdiaz@amb.com.co  
 Bucaramanga

Página | 1

REF: 47141

Apreciados señores:  
 Atendiendo su amable solicitud de cotización, detallamos la siguiente oferta para el suministro de:

**Renglón 01:**  
**BOMBA "NETZSCH/NEMO" MODELO – NM015BY01L06B**



**EJECUCIÓN DE LA BOMBA**

Carcasa	Acero inoxidable AISI 316
Sellado de la carcasa	Anillos "O" viton
Ejes	Acero inoxidable AISI 316
Rotor	Acero inoxidable AISI 316 – UM20
Estator	Goma EP (Etileno Propileno)
Articulaciones	Tipo B – pasador con vedación SM – Vitón®
Sellado Del eje	Sello mecánico NETZSCH
Sentido de rotación	Izquierda
Instalación	Horizontal
Conexión de succión	Rosca interna 1 ¼" – NPT – vertical
Conexión de descarga	Rosca interna 1 ¼" – NPT – horizontal
Pintura	Color gris RAL 7031/ estator verde B60G plano de pintura n° 3
Performance	Ensayo padrón NDB – 114

**CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Fluido	Sulfato Liquido
Temperatura de bombeo	Asumido Ambiente – <b>Confirmar temperatura.</b>
Viscosidad	No Informado cP
Caudal de proyecto	500 - 5000 ml/min (0,03 - 0,3 m³/h)
Presión de succión	Positiva
Presión de descarga	4 BAR (60 PSI)
Revoluciones	(65 RPM @ 11Hz) - (357 RPM @ 60Hz)
Potencia absorbida	0,02 – 0,11 Kw
Tensión de alimentación	220/440V

Calle 56A N° 73A – 41 ☎ Teléfonos: 2951093 ☎ Telefax: 4299704 ☎ Fax: 8120175  
 ☎ e-mail: dor.col@outlook.com ☎ Bogotá, D.C.

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga



**DUEÑAS OROZCO**  
**REPRESENTACIONES S.A.S.**  
 NIT: 830.041.403-1



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

**PRECIOS RENGLÓN 01**

Cant.	Descripción	Vr. Unit (\$)
01	Bomba NETZSCH Mod. NM015BY01L06B, descrita	
01	Base en Acero Inoxidable	
01	Ventilación Forzada con bornera independiente	
01	Moto-reductor NETZSCH/SEW modelo NS17 # 376 rpm # i = 4,51:1 0,75kW, 4 pólos, 220/440V, 60 Hz, 3F, IP-55; TEFC; aisl. clase "F"	
01	Manual de instrucciones en español	
<b>VALOR UNITARIO DEL CONJUNTO</b>		<b>6.400.000</b>

Página | 2

**OPCIONAL RENGLÓN 01:**

Cant.	Descripción	Vr. Unit (\$)
01	Variador de velocidad DANFOSS VLT2800 0,75KW 220V	810.000
01	Variador de velocidad DANFOSS VLT2800 0,75KW 440V	950.000

**OPCIONAL RENGLÓN 01**

Cant.	Descripción	Vr. Unit (\$)
01	Dispositivo contra marcha en seco STP-03, compuesto de termómetro digital programable, sensor de temperatura PT-100 y tubo de protección. (* Conjunto para ser instalado en el tablero eléctrico del cliente)	
<b>PRECIO UNITARIO DEL CONJUNTO \$</b>		<b>1.250.000</b>

**Renglón 02: BOMBA Q-PUMPS**

Item	Cant	Descripción	Vr. Unit	Vr. Total
01	01	<b>BOMBA QC-114 MD 80B5 1.5 X 1.5"</b> Conexiones clamp. Sello sencillo. Empaques EPDM. Plus * Elementos sello: Carbón Vs Placa en Acero Inoxidable 316L * Partes en contacto con el producto: Caracol, Plato e Impulsor en acero Inoxidable. 316L. * Sujeción de impulsor por medio de tuerca sanitaria * Sujeción de porta eje por medio de collarín * Diseño y construcción Sanitaria, cumple con los estándares de la (3A). * Incluye: Motor Siemens 2Hp @3500 rpm, 3ph, 220-440V, 60Hz * Incluye: Kit de patas en SS 304	4.490.000	4.490.000

**Renglón 03: REPUESTOS BOMBA Q-PUMPS**

Item	Cant	Descripción	Vr. Unit	Vr. Total
02	02	Sello Mecánico - KIT # 3 114 EPDM	110.000	220.000

Calle 56A N° 73A – 41 ☎ Teléfonos: 2951093 ☎ Telefax: 4299704 ☎ Fax: 8120175  
 ☎ e-mail: dor.col@outlook.com ☎ Bogotá, D.C.

Secretaría Municipal de Bucaramanga



**DUEÑAS OROZCO**  
**REPRESENTACIONES S.A.S.**  
NIT: 830.041.403-1



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

**CONDICIONES COMERCIALES**

TIEMPO DE ENTREGA : 1-2 Semanas para alistamiento, después de recibir su orden, s.p.v.  
LUGAR DE ENTREGA : En sus instalaciones – territorio nacional -  
FORMA DE PAGO : 30 Días fecha de factura  
DESCUENTO : 5% Aplicable a los precios descritos  
IVA : 16% Adicionar  
VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días

Página | 3

**GARANTÍA**

Netzsch do Brasil garantiza el funcionamiento de los equipos, contra cualquier defecto de material o de fabricación, por el periodo de 12 meses después de la puesta en marcha o 18 meses después de la entrega, prevaleciendo lo que primero ocurra, desde que, todas las piezas sustituidas en este periodo, sean originales Netzsch. La garantía no cubre piezas de desgaste natural. Los servicios de cambio y reparos como también el transporte y costos de viaje de técnicos, serán por cuenta del cliente.

Atentamente,

**ANDREA GÓMEZ OROZCO.**  
Soporte Comercial

Calle 56A N° 73A – 41 ☎ Teléfonos: 2951093 ☎ Telefax: 4299704 ☎ Fax: 8120175  
✉ e-mail: dor.col@outlook.com ☎ Bogotá, D.C.

Acuerdo de Bancos Filiales de Finanzas

# ANEXO O. Hoja de seguridad del sulfato de aluminio sólido y líquido tipo B.



## Sulfato de Aluminio Tipo B Sólido Hoja de Seguridad del Material (MSDS)

Preparado por Sulfoquímica S.A. según Norma Técnica Colombiana NTC4435 de 1998 – Abril de 2003  
PS DES 7.5.5 – 04 / Versión 5/ 24/06/2013

### Qué es y qué hay que saber en caso de emergencia.

#### 1. Identificación del Producto y de la Compañía

Sulfato de Aluminio Tipo B Sólido.

CAS. 10043 – 01 – 3

No ONU: 3077

No NTC-1692: 3077 SUSTANCIA SOLIDA  
POTENCIALMENTE PELIGROSA PARA EL  
MEDIOAMBIENTE

Producido por Sulfoquímica s.a.

*Oficina Principal.*

Calle 55 #46-85 Itagüí, Antioquia (Colombia)

Teléfono: 57 (4) 370 1170

Fax: 57 (4) 277 5676

*Producción*

Barbosa: Vía Girardota - El Hatillo km. 4 (Vereda  
Platanito), Barbosa, Antioquia.

Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234.

*Barranquilla:*

Vía Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque  
Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico.

Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353.

*Caloto:*

Vía Caloto - Santander de Quilichao, km. 7, Caloto,  
Cauca.

Tel (572)550 4344; Fax: (572)550 4343.

#### 2. Identificación del Riesgo

En los ojos causa irritación.

El material fino puede ser inhalado y producir  
irritaciones en mucosas.

No es un producto combustible, pero emite vapores  
al ser incinerado.

#### 3. Composición

El producto es una sal inorgánica, compuesta por  
una mezcla de Sulfato de Aluminio y Sulfato Férrico  
en presencia de diferentes minerales inertes e  
insolubles en agua.

Contenido de Aluminio: 8.2%

Contenido de Hierro: 1.3%

Contenido de Sulfatos: 47.1%

### Qué hay que saber si se presenta una situación peligrosa.

#### 4. Primeros Auxilios

En caso de contacto con los ojos, enjuagar con  
abundante agua durante más de 15 minutos,  
levantando los párpados ocasionalmente.

En caso de ingestión, consultar al médico.

#### 5. Extinción de Incendios

El producto no es combustible.

En caso de incendio utilice equipo autónomo y evite  
inhalare los vapores desprendidos.

#### 6. Cómo Minimizar los Efectos Adversos en el Caso de una Fuga

El material en estado sólido es inofensivo.

Se debe rociar cal sobre los residuos que quedan  
después de recoger el material derramado, para  
evitar acidificación del suelo cuando haya corrientes  
de agua.

#### Cómo evitar que se presenten situaciones adversas.

#### 7. Manejo y Almacenamiento

Almacenar sobre estibas, en un lugar protegido de  
la humedad.

Evitar vertimientos a los cursos de agua.

#### 8. Control de Exposición y Protección Personal

Emplear gafas protectoras y mascarillas para evitar  
inhalare el material fino.

#### 9. Propiedades Físicas y Químicas

Fórmula:  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3 H_2O$

Aspecto: gránular o polvo.

Color: café.

Olor: ninguno.

Punto de fusión: ND

Temperatura de ignición: ND

El material no es corrosivo cuando está seco; es  
moderadamente corrosivo cuando se disuelve en  
agua.



KOSHER PAREVE  
3627  
No Reg. 290



## Sulfato de Aluminio Tipo B Líquido Hoja de Seguridad del Material (MSDS)

Preparado por Sulfoquímica S.A. según Norma Técnica Colombiana NTC4435 de 1998 - Abril de 2003  
FS DES 7.5.5 - 03 / Versión 5 / 24/06/2013

### Qué es y qué hay que saber en caso de emergencia.

#### 1. Identificación del Producto y de la Compañía

Sulfato de Aluminio Tipo B Líquido.

CAS 10043 - 01 - 3

No ONU: 3264 -CORROSIVO

No NTC-1692: NA

Producido por Sulfoquímica s.a.

*Oficina Principal.*

Calle 55 #46-85 Itagüí, Antioquia (Colombia)

Teléfono: 57 (4) 370 1170

Fax: 57 (4) 277 5676

*Producción*

Barbosa: Vía Girardota - El Hatillo km. 4 (Vereda Platanito), Barbosa, Antioquia.

Tel. (574)289 2480, Fax. (574)289 1234.

*Barranquilla:*

Vía Malambo - Sabanagrande, km. 3; Parque Industrial PIMSA; Malambo, Atlántico.

Tel (575)347 8350; Fax: (575)3478353.

*Caloto:*

Vía Caloto - Santander de Quilichao, km. 7, Caloto, Cauca.

Tel (572)550 4344; Fax: (572)550 4343.

#### 2. Identificación del Riesgo

En los ojos y mucosas causa irritación.

#### 3. Composición

El producto es una mezcla de Sulfato de Aluminio y Sulfato Férrico disueltos en agua.

Contenido de Aluminio: 3.9%

Contenido de Hierro: 0.8%

Contenido de Sulfatos: 22.8%

### Qué hay que saber si se presenta una situación peligrosa.

#### 4. Primeros Auxilios

En caso de contacto con los ojos, enjuagar con abundante agua aproximadamente más de 15 minutos, levantando los párpados ocasionalmente.

En caso de ingestión, consultar al médico.

#### 5. Extinción de Incendios

El producto no es combustible.

En caso de incendio utilice equipo autónomo y evite inhalar los vapores desprendidos.

#### 6. Cómo Minimizar los Efectos Adversos en el Caso de una Fuga

Se debe rociar cal sobre los residuos que quedan después de recoger el material derramado, para evitar acidificación del suelo cuando haya corrientes de agua.

### Cómo evitar que se presenten situaciones adversas.

#### 7. Manejo y Almacenamiento

Almacenar en recipientes de acero inoxidable, fibra de vidrio, PVC, Polietileno o cualquier otro material termoplástico. También es compatible con EPDM, Caucho Natural y Vitón.

El producto no debe ponerse en contacto con fundición de hierro, acero al carbón, bronce o poliuretano.

#### 8. Control de Exposición y Protección Personal

Emplear guantes y gafas protectoras.

#### 9. Propiedades Físicas y Químicas

Fórmula:  $Al_2(SO_4)_3$  (ac)

Aspecto: líquido.

Viscosidad (a 25°C): 12cP

Densidad: 1.310 - 1.340g/cm<sup>3</sup>

PH: 0.90 - 1.60

Color: café oscuro.

Olor: ninguno.

Punto de fusión (1bar): -16°C

Punto de ebullición (1bar): 101°C

Temperatura de ignición: ND

El material es moderadamente corrosivo.

#### 10. Estabilidad y Reactividad

El producto es estable en condiciones normales de almacenamiento.

Reacciona con agentes quelantes.

Libera gases tóxicos en caso de incendio.