

Zapopan, Jalisco a 03 de Enero de 2005

**C.E.A.S.  
AV. FRANCIA 1726, COL. MODERNA.  
C.P. 44190  
GUADALAJARA, JALISCO.**

**ATENCION: ING. ENRIQUE DAU FLORES  
DIRECTOR GENERAL**

**ASUNTO: INFORME FINAL CONTRATO CEAS-IHSC-AG-001/2004**

Muy señores nuestros:

Sírvanse encontrar a continuación nuestro informe final de actividades en relación con nuestro contrato No. CEAS-IHSC-AG-001/2004 que incluye el **DISEÑO, INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA, RENTA, COORDINACION DE LA OPERACIÓN Y EVALUACION DE RESULTADOS, DE UNA PLANTA PILOTO PARA DETERMINAR EL TREN DE TRATAMIENTO MAS ADECUADO EN LA POTABILIZACION EN EL SITIO "ARCEDIANO" EJERCICIO 2004.**

Para cualquier aclaración y/o información adicional, estamos a sus ordenes.

**ATENTAMENTE  
AQUA-LAMA REPRESENTACIONES, S.A. DE C.V.**

**Ing. Miguel Angel Lasso A.  
Gerente General**

## **INDICE**

**Introducción**

**Antecedentes**

**Identificación de la Problemática**

**Objetivos del Informe**

1. Caracterización y diseño de tren de tratamiento
2. Programa RTW
3. Establecer los parámetros e ingeniería básica y de proceso
4. Proporcionar información de las variaciones de la calidad del agua cruda y su impacto en el agua tratada.
5. Evaluación económica de la simulación

**I Descripción del Area de Influencia (Ubicación Planta Piloto)**

**II Calidad del Agua**

- II-1 Parámetros de calidad del agua
- II-2 Elaboración de las pruebas de tratabilidad
- II-3 Normas de Análisis
- II-4 Limites

**III Metales Pesados analizados (NOM 127-SSA1/94)**

**IV Resultados de los trenes de tratamiento**

- IV-1. Tren No. 1 con acido sulfúrico + sulfato de aluminio + permanganato de potasio + Polímero + cloro (como desinfectante).
- IV-2. Tren No. 2 con acido sulfúrico + cloruro ferrico + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).
- IV-3. Tren No. 3 con acido sulfúrico + cloruro ferrico + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).
- IV-4. Tren No. 4 con acido sulfúrico + sulfato de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).
- IV-5. Tren No. 5 con acido sulfúrico + policloruro de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante)
- IV-6. Tren No. 6 con acido sulfúrico + hidroxiclورو de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante)
- IV-7. Tren No. 7 con acido sulfúrico + hidroxiclورو de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).
- IV-8. Tren con acido sulfúrico + policloruro de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).

**V Evaluación Económica**

**VI Graficas de DBO<sub>5</sub>**

**VI Conclusiones y Recomendaciones**

**Anexo I (Resultados de Proceso)**

**Anexo II (Resultados de Metales Pesados)**

**Anexo III (Resultados de Pruebas de Jarra)**

## **Introducción**

Desde el año 2003, se han estado elaborando pruebas de tratabilidad del agua con el fin de evaluar las condiciones de la misma en la confluencia de los ríos Santiago y Verde en un lugar denominado "ARCEDIANO" buscando las ventajas y desventajas de los diferentes tratamientos a evaluarse en forma continua durante las 24 horas del día y los 300 días siguientes a la fecha de arranque de este proyecto. Como es de su conocimiento, con la instalación de esta planta piloto que nos permita operar y analizar las condiciones más drásticas que se pueden presentar en un cauce de un río que esta en continuo movimiento a diferencia de un lago y/o presa que se construirá próximamente, esta planta durante el tiempo que se este operando permitirá analizar y prever cualquier contingencia futura que se presente en los cambios drásticos de la calidad del agua, actuando como una válvula de escape o de reducción de la presión que actualmente por las condiciones y características del suministro de agua potable para la Zona Metropolitana de Guadalajara, esta se ve limitada prácticamente por el suministro del Lago de Chápala en un 60% y el otro 40% por la existencia de aproximadamente 155 de pozos profundos.

Esto a determinado que en épocas de estiaje y de bajas precipitaciones pluviales el suministro de agua se vea afectado por un índice de concentraciones de mayor contaminación, ya sea por la presencia de algas y/o vuelcos que se presenten en la laguna, lo que puede ocasionalmente afectar la operación de las plantas de tratamiento provocando una reducción en la calidad del agua así como limitado a tandeos por zonas, por lo que con la realización del Proyecto de la Presa denominada "ARCEDIANO" que capture las aguas del río Verde y Santiago, garantizara un suministro confiable y de alta calidad a largo plazo para dicha Zona Metropolitana.

## **Antecedentes**

De los meses de Octubre a Diciembre del año 2003, se instalo una planta piloto que nos permitio conocer en forma amplia el comportamiento de la calidad del agua en el sitio ARCEDIANO en cuanto a la presencia de algunos metales pesados los cuales cuando presentaron valores fuera de la norma para agua potable, al pasar por el sistema de esta planta piloto se observo que se reducen significativamente a valores dentro de la norma NOM127-SSA-1/94.

El presente trabajo comprende monitorear el cauce del río en diferentes puntos de toma para establecer un promedio de las variaciones de la calidad del agua, asi como cuando se presentan los cambios por la generación de engia electrica en la planta de colimillas la cual impacta dicha calidad por el aumento de volumen de agua que se descarga en periodos cortos. Ademas de conocer más a fondo la variables en cuanto a las descargas de aguas municipales que se vierten directamente en el cause. a pesar de que bajo las condiciones de este tratamiento emprender el proyecto de abastecimiento de agua Potable para la Zona Metropolitana de Guadalajara, de la futura presa de "ARCEDIANO", en los trabajos iniciales de caracterización de la calidad del agua, se han detectado la presencia de algunos contaminantes en concentraciones pequeñas pero superiores a los establecidos por la NOM127-SSA1/94, destinados al uso y consumo humano.

Para esto se diseño un nuevo programa general de pruebas de tratamiento que nos permita alcanzar la calidad de agua, considerando los periodos de estiaje y lluvias y hacer su comparativo en los resultados que se obtengan del agua tratada tanto en los parámetros de proceso como de metales pesados y otros, acorde a la normatividad vigente, para consumo humano.

### **Identificación de la Problemática**

Como segunda fase y en conjunto con la CEAS, se elaboraron los terminos de referencia para cubrir cabalmente con los estudios que analicen la evolución de la calidad del agua del cauce, así como los niveles de algunos contaminates, por lo tanto se definieron llevar a cabo pruebas piloto que nos permita la detección y la definición de un tren tratamiento optimo que remueva dichos contaminantes.

Para lo cual se definió continuar con los análisis siguientes:

#### **En el Proceso**

Ph  
Color  
Turbiedad  
Hierro  
Manganeso

#### **En el Laboratorio**

Arsénico  
Plomo  
Mercurio  
Cadmio  
Aluminio

#### **En Laboratorio externo**

20 análisis de la NOM127-SSA-1/94

## **1. Caracterización y diseño del tren de tratamiento**

Los nuevos procesos de potabilización para este proyecto en particular, incluyen un presedimentador, un aereador y la dosificación de ácido sulfúrico para ajuste de pH. El diseño que se optó es por asemejar a las plantas potabilizadoras más comunes para la remoción de los metales pesados en agua para uso y consumo humano, la cual se componen de los siguientes elementos:

1. Caracterización del influente vs capacidad del tratamiento
2. Dosificación de productos químicos
3. Mezclado rápido
4. Filtración
5. Intercambio iónico
6. Adsorción
7. Desinfección

### **Caracterización del influente vs capacidad del tratamiento**

El éxito del buen funcionamiento de un sistema de tratamiento que comprenda los procesos antes descritos, está en las características principales de las propiedades físico-químicas, organolépticas y biológicas del agua a tratar, lo que nos definirá la capacidad real del tratamiento a aplicar.

A través del empleo del programa RTW, este nos proporcionará estos elementos con el fin de proceder con el diseño e integración de la planta potabilizadora como sigue:

### **Puntos de dosificación de productos químicos**

La dosificación se realiza con bombas de diafragma succionando las soluciones preparadas en tanques de almacenamiento.

El tratamiento empleado en la planta potabilizadora es:

1. Ajuste de pH en el influente.
2. Oxidación con un oxidante (para este caso hipoclorito de calcio y permanganato de potasio)
3. Coagulación con una sal inorgánica. (cloruro férrico, sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y hidroxiclорuro de aluminio).
4. Floculación con un polímero (cationico de peso molecular medio).
5. Sedimentación.
6. Filtración directa a través de antracita y arena sílica.
7. Intercambio iónico.
5. Desinfección con cloro (cloro)

Los equipos se describen a continuación:

- 3 Bombas dosificadoras marca Premia modelo P 75 con Capacidad ( 1.0 GPH y 100 psi presión máxima) Materiales: cabeza y conexiones de GPC, balines de cerámica, diafragma de fluorofilm y aro-sellos de polyprel. 120 VAC.

Sistemas de dosificación con tanque de polietileno, conexiones de p.v.c. hidráulico cédula 40 y válvulas de bola para control.

Los tanques están situados por abajo de las bombas dosificadoras por lo que se requiere contar con un sistema de succión que tenga válvulas check y evitar que estas se descarguen.

La planta cuenta con post-dosificación de productos químicos, cuando es requerido como ejemplo, post-cloración, dosificación de secuestrantes y estabilizadores, esta dosificación se realiza después del tanque de adsorción.

### **Mezclado rápido**

El mezclado rápido consiste en homogenizar los productos químicos requeridos, para obtener una excelente coagulación y floculación en el proceso del tratamiento. El mezclado se realiza mediante una agitación turbulenta, proporcionada por la contracción del agua a través de los agitadores (orificios) de discos fijos. Este proceso es de tipo hidráulico en línea donde la agitación se realiza proporcionando un incremento del valor de "G", asegurando la formación de los flóculos.

### **Características.**

Material : Poly Vinyl Chloride, máxima presión 180 psi  
Diámetro : 2 pulgadas  
Sección Recta: 1.5 m  
Número de discos: 1

### **Floculador**

Este equipo es también de tipo hidráulico de flujo ascendente en un sistema cerrado, donde las dimensiones aseguran una velocidad adecuada para la formación adecuada del flóculo y evitar su rompimiento a la llegada del sedimentador.

El tanque a presión, tiene el tiempo de retención requerido para completar totalmente las reacciones involucradas en la remoción de los contaminantes.

Construido en fibra de vidrio de alta densidad de 1/2" de espesor en la sección recta y 5/8" en tapas semi-toroidales, equipada con conexiones y tuberías en PVC C-80 bridado con válvulas de esfera para el control de alimentación, retrolavado y drenado.

### **Sedimentación**

Este equipo se diseñó y se adaptó sobre la base de las velocidades y tiempo de retención que en las pruebas de jarra nos permitieron obtener los valores de turbiedad y color del agua dentro de valores de la norma para agua potable NOM 127-SSA1/94.



El tanque sedimentador es de tipo flujo constante vertical con manto de lodos de suspensión hidráulica sin recirculación y sin vertedero de lodos.

La carga superficial esta comprendida entre los 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia – 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia y la velocidad es de 2-8 cm/min.

Construido en fibra de vidrio de alta densidad de ½" de espesor en la sección recta sin tapa y fondo plano equipado con conexiones y tuberías en PVC C-40, con válvulas de esfera para el control del lavado y drenado. Cuenta con un distribuidor de 2" de diámetro instalado a 60.0 centímetros del fondo del tanque y con un colector del mismo diámetro en la parte superior a 10.0 cm del borde.

### **Filtración.**

Tasa de filtración: 3 - 6 gpm/pie<sup>2</sup>

Medios filtrantes: Arena silica y antracita.

Altura del medio filtrante: 10" arena y 18" de antracita

Flujo de agua filtrada: 0.5 – 1.0 lps

El tanque del filtro esta diseñado y construido en fibra de vidrio de alta densidad de ½" de espeso en la sección recta y 5/8" en tapas semi-toricsféricas, equipada con conexiones y tuberías en PVC C-80 bridado con válvulas de esfera para el control de alimentación, retrolavado y drenado.

El medio filtrante está soportado en un falso fondo de gravas y cuenta con un distribuidor de tubos perforados, así como un colector similar.

Los medios filtrantes varían en función de los niveles de contaminantes y en especial en este proceso que tratará agua con características y concentraciones altas.

### **Intercambio iónico**

Criterios de diseño:

Tasa de filtración: 2-6 gpm/pie<sup>2</sup>

Medios filtrantes: glauconita o clinoptilolita (green sand)

Altura del medio filtrante: 20 a 40 pulgadas

Flujo de agua filtrada: 0.5 – 1.0 lps

El proceso del intercambio iónico como fase inicial, donde el manganeso disuelto predomina se fija en la superficie de la zeolita; posteriormente se oxida el manganeso sobre la superficie del medio, la cual permite la formación de una película de óxidos (MnO<sub>x</sub>) sobre el grano del material y finalmente la remoción del manganeso disuelto, por adsorción sobre la película de óxidos formada sobre el grano del material.

Esta película es altamente selectiva de los iones de manganeso Mn<sup>2+</sup>, seguida de los iones de hierro Fe<sup>2+</sup>; oxidando el manganeso adsorbido en la superficie del grano, debido a la oxidación varía la composición de la superficie y sus propiedades originales de la zeolita Adicionalmente, ayuda con la eliminación de trazas de arsénico y radio.

El tanque del intercambiador, también fue diseñado y construido en fibra de vidrio de alta densidad de ½" de espesor en la sección recta y 5/8" en tapas semi-toroidales, equipada con conexiones y tuberías en PVC C-80 bridado con válvulas de esfera para el control de alimentación, retrolavado y drenado.

El medio filtrante o zeolita está soportado en un falso fondo de gravas con un sello de arena sílica y cuenta con un distribuidor de tubos perforados, así como un colector similar.

### **Desinfección**

Desinfectante: Cloro gas, hipoclorito de sodio o de calcio.  
Concentración máxima: 1.5 ppm de cloro residual libre.

En este proceso se puede utilizar una predosificación antes del filtro o post-dosificación, si se usa hipoclorito de sodio como desinfectante, debe asegurarse la norma oficial de cloro residual libre de 1.0 – 1.5 ppm, pudiendo llegar hasta 3.0 ppm en caso de que se requiera por las condiciones de almacenamiento y conducción del agua potable.

## **2. Programa RTW**

El programa Model RTW, está diseñado para conocer en forma más consistente las características que presenta el agua ante el tratamiento que se diseña para la potabilización. Este programa consiste básicamente en una hoja de cálculo donde se descargan todos los valores de análisis del agua y los diferentes reactivos que se utilizarán para el tren de tratamiento proporcionándonos información básica del comportamiento del agua por efecto de estos lo que nos permitirá tomar decisiones para su implementación y operación en las plantas de tratamiento.

Los resultados obtenidos se mostrarán en cada tren de tratamiento implementado.

## **3. Parámetros de Ingeniería Básica y de Proceso**

### **Planta piloto.**

Objetivo de la planta.- Remoción de algunos metales pesados en concentraciones pequeñas de arsénico, plomo, cadmio, mercurio y aluminio del agua provenientes de la confluencia de los ríos Santiago y Verde.

Descripción del Proceso.- El proceso que se está proponiendo en nuestro proyecto, consiste en Oxidar con Permanganato y Cloro, Coagular, Flocular y Sedimentar con la ayuda de Cloruro Férrico, Sulfato de aluminio, Policloruro de aluminio, e Hidroxicloruro de aluminio y como auxiliar en

la filtración un Polímero cationico. La filtración se efectuará por medio de un filtro rápido de arena y antracita y una columna de intercambio iónico para la eliminación de algunos metales pesados.

Simulación del proceso.- Para simular las condiciones del proceso, se integraron en una planta piloto, las operaciones enlistadas a continuación:

1. Aforo de Agua cruda.
2. Dosificación de Reactivos. (Opciones)
3. Mezclado rápido.
4. Floculación en Línea.
5. Oxidación in situ y Sedimentación.
6. Filtración rápida.
7. Intercambio iónico
8. Aforo de Agua tratada.
9. Medición de pérdidas de carga.
10. Aforo de Tasa de Filtración.
11. Aforo de Agua de retrolavado.
12. Bombeo para Agua cruda. (Opcional.)
13. Bombeo de Operación.
14. Bombeo de Retrolavado.
15. Muestreo para cada etapa.
16. Flujo y control de fluidos.

A las cuales se les pueden fijar los parámetros del Proyecto y será la base para la simulación en la planta piloto del proceso propuesto.

Parámetros de la Planta Piloto.-

1. Gasto : 34.22 a 102.68 Metros cúbicos por día.
2. Gasto del proyecto : 68.45 Metros cúbicos por día.
3. Dosificación de reactivos : Puntos Múltiples.

Cloro/Permanganato de potasio	: 5.5/0.8 ppm
Cloruro Férrico, Sulfato, Pac, Hidroxiclورو	: 60.0 ppm.
Polímero Cationico	: 0.30 ppm (base 40%).

4. Mezclado Rapido "G" : 2,491 seg<sup>-1</sup>
5. Tiempo : 1 seg.
6. Floculador de Gravas: Flujo Ascendente.

Flujo de Operación	: 0.000792 m <sup>3</sup> /seg. (Constante)
Diam. De Columna	: 0.60 m.
Altura de la Columna	: 1.80 m.
Distrs./Colectores	: tubos perforados.
Soporte del lecho	: Gravas Graduadas

Altura del Lecho : 0.61 m.  
Tamaño de Grava : 0.0047625 m.  
Valor de "G" : 33.5 (Ajustable)  
Tiempo H. de Ret. : 8.58 (Ajustable)  
Tub. Valvs. Conexs. : 50.80 mm  
Tasa de Operación : 242 m<sup>3</sup>/día.  
Tasa de Retrolavado : 969 m<sup>3</sup>/día (Agua limpia)

#### 7. Sedimentador:

Carga superficial : 30 – 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día  
Velocidad : 2 – 8 cm/min  
Diámetro : 1.40 m  
Altura : 1.80 m  
Altura aprovechable : 1.40 m  
Multisucciones : 3 (a 0.40- 0.50 -0.76 m sobre el fondo)

#### 8. Columna de Antracita.

Flujo de Operación : 0.000792 m<sup>3</sup> /seg. (Constante o Declinante)  
Diam. De Columna : 0.61 m.  
Altura de la Columna : 1.80 m.  
Distrs./Colectores : tubos perforados.  
Soporte del lecho : Gravas Graduadas  
Altura del Lecho : 0.45 m.  
ES. de Antracita : 1.0 mm.  
UC. : < 1.4  
Tiempo H. de Ret. : 8.58  
Tub. Valvs. Conexs. : 50.80 mm  
Tasa de Operación : 242 m<sup>3</sup>/día.  
Tasa de Retrolavado : 969 m<sup>3</sup>/día (Agua limpia)

#### 9. Columna de Glauconita Activada.

Flujo de Operación : 0.000792 m<sup>3</sup> /seg. (Constante o Declinante)  
Diam. De Columna : 0.61 m.  
Altura de la Columna : 1.80 m.  
Distrs./Colectores : tubos perforados.  
Soporte del lecho : Gravas Graduadas  
Altura del Lecho : 0.63 m.  
ES. de la Matrix : 0.4 mm.  
UC. : < 1.4  
Tiempo H. de Ret. : 8.58  
Tub. Valvs. Conexs. : 50.80 mm  
Tasa de Operación : 242 m<sup>3</sup>/día.

Tasa de Retrolavado : 969 m<sup>3</sup>/día (Agua limpia)

10. Bomba de Agua Cruda.

Bomba : Sumergible marca Goulds  
Succión : 25.4 mm  
Descarga : 25.4 mm  
Motor : Trifrasco de 0.5 HP.

11. Bombas de Agua Retrolavado.

Bomba : Motobomba  
Succión : 51.0 mm  
Descarga : 51.0 mm  
Motor : Gasolina.

12. Bombas Dosificadoras.

Numero : 3  
Marca : U.S. Filter.  
Modelo : Premio 75 Serie Econo.  
Q Máximo : 3.47 LPH.  
Presión Max. : 7.0 bar (100 PSI)  
Voltaje : 115  
Frecuencia : 50-60 Hz  
Potencia : 46 watt

13. Tanques para reactivos.

Numero : 3  
Material : Plástico.  
Capacidad : 110 L.

14. Energía : Monofasica 115 volts. 60Hz.  
Trifásica 220 volts 60Hz.

15. Aforo de agua cruda.

Medidor : desplazamiento positivo, con medición instantánea e integrador de flujo.  
Diam. : 19.05 mm.

#### **4. Información de las variaciones de la calidad de agua cruda y su impacto en el agua tratada**

Durante los meses de operación continua de la planta piloto, se observaron una serie de cambios en la calidad del agua cruda así como en su flujo o volumen de agua, con una variabilidad significativa en sus concentraciones, principalmente en color, turbiedad, pH y temperatura que no impactaron en forma significativa a la operación de la planta piloto ante los diferentes trenes de tratamiento.

Como en las pruebas anteriores, estos cambios fueron más significativos, puesto que durante el periodo de lluvias el cauce del río en el sitio "ARCEDIANO" aumento significativamente tanto por la aportación del río Verde como del río Santiago donde se pudo constatar que la calidad del agua se presta para ser tratada sin mayores problemas en la misma.

Así mismo, durante el estiaje, en ciertas ocasiones durante el día (aprox. de las 11:00 hrs. a las 15:00 hrs), la planta hidroeléctrica denominada Colimillas, genera energía eléctrica por lo que en forma casi inmediata el nivel del río sube hasta un metro o más en su tirante ocasionando arrastres de material tanto del fondo como los que flotan en su cauce. Esto se presenta directamente sobre el embalse del río Santiago, que al llegar a la confluencia con el río Verde se mezclan cambiando dichas condiciones. Así mismo durante la tarde-noche (aprox. de 19:00 a 23:00 hrs.) se incrementan los valores de color, olor y también turbiedad, debido (suponemos) a que se aumentan las descargas industriales que invariablemente traen consigo concentraciones pequeñas de metales pesados adicionales.

Tomando en cuenta estas variaciones se decidió estar monitorear en forma independiente el río Verde y observar que cambios significativos se presentan en el mismo, dando como resultado una corriente bastante estable en sus condiciones físico-químicas por lo que se deduce que definitivamente las descargas de la presa y de las aguas provenientes de la Zona Metropolitana de Guadalajara, afectan en cierta medida la calidad en este punto de muestreo, pero sin que lleguen al punto de no ser tratable por los métodos tradicionales de potabilización del agua.

La metodología que se implemento en esta segunda fase de pruebas, consistió como la vez anterior, en dejar en cada uno de los trenes de tratamiento propuesto, fijas las dosificaciones de los reactivos y verificando su impacto en el efluente de la planta piloto a través de los análisis de proceso, y así determinar los valores máximos de dosificación para absorber en forma directa estas variaciones de la mezcla de aguas del río Santiago con el río Verde.

## **5. Evaluación económica de la simulación**

En los resultados por cada tren de tratamiento se integran los precios promedio de los productos químicos utilizados en esta simulación, así como las dosificaciones promedio por cada uno donde se determina el costo por tren de tratamiento por periodo y su comparativo que se opero en esta etapa.

## **I Descripción del Area de influencia**

### **I-1 Ubicación de la planta piloto**

El lugar seleccionado es el mismo donde se hicieron las pruebas de la primera fase el cual se ubica en aproximadamente a 500 m. adelante de la confluencia de los ríos Verde y Santiago aproximadamente 100 m. antes del puente denominado Arcediano.

Se procedió con la limpieza del terreno y la adecuación de los locales para la ubicación del laboratorio, así como el resguardo de los materiales y personal de campo que laborara en la operación de la planta y análisis de campo.

Se hicieron las adaptaciones eléctricas y mecánicas necesarias para garantizar la operación continua de la planta por los siguientes 300 días acondicionándose los elementos disponibles en el área de trabajo y pruebas.

Se transporto la planta montada en un remolque acondicionado para este proyecto al sitio seleccionado, utilizando para ello una camioneta con capacidad para 3.0 toneladas así como personal capacitado para efectuar estas maniobras.

Se transportaron dos tanque o cisternas con capacidad para 5,000 litros para ser instalados en forma permanente hasta que se realicen todas las pruebas de tratabilidad, con el fin de almacenar agua suficiente para efectuar los retrolavados de la planta, utilizando el agua previamente tratada por esta.

Esto nos garantiza que cada vez que la planta requiera de mantenimiento se podrá lavar y limpiar la misma con esta agua previamente clorada, evitándose usar agua contaminada del río.

Se hicieron las adaptaciones eléctricas y mecánicas necesarias para garantizar la operación continua de la planta por los siguientes 300 días acondicionándose los elementos disponibles en el área de trabajo y pruebas.

Se selecciono la bomba adecuada para garantizar un flujo constante de 0.5 LPS para estas pruebas, así como la implementación de un sistema de mallas y tamices para la eliminación de los materiales que son susceptibles de atascar el equipo de bombeo, y reducir la cantidad de sólidos suspendidos de gran tamaño que pudieran interferir con el tratamiento.

Se hicieron las adaptaciones de los locales disponibles para la instalación del laboratorio de campo y almacenamiento de los materiales y productos requeridos para efectuar los análisis correspondientes.

Se efectuó el mantenimiento general de la planta el cual consistió en:

- a) Cambio total de los medios filtrantes de las columnas tanto del floculador como de filtración y se efectuó sanitización de todos los elementos de la planta piloto.



- b) Se lavaron todos los dosificadores y se probaron los mismos a carga completa con el fin de garantizar un adecuado control de los reactivos que se estarán alimentando a la planta piloto.
- c) Se reviso el equipo de bombeo y se ajusto a 0.5 LPS, se limpio los arrancadores eléctricos.
- d) Se instalo nuevo toldo de protección de la planta contra la intemperie.
- e) Se instalo bomba nueva de gasolina para retrolavados.
- f) Se tendio linea de alimentación de agua exclusivamente del río Verde.

## **II. Calidad del Agua**

- II-1 Parámetros de calidad del agua
- II-2 Elaboración de las pruebas de tratabilidad
- II-3 Normas de Análisis
- II-4 Límites

### **II-1 Parámetros de calidad del agua**

- a) Se analizará en laboratorio los siguientes parámetros a las muestras instantáneas.

#### **Características bacteriológicas.**

Organismos coliformes totales y fecales.

#### **Características físicas y organolépticas:**

Temperatura, color, olor y turbiedad.

#### **Características químicas:**

Alcalinidad, pH, cianuros, cloruros, conductividad, dureza total, fenoles, fluoruros, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sulfatos, sulfuros y trihalometanos totales.

Metales pesados ( aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo total, fierro, manganeso, mercurio, plomo, sodio y zinc).

Plaguicidas ( aldrín, dieldrín, clordano, DDT, lindanos, hexaclorobenceno, heptacloro y epóxido de heptacloro, metoxicloro, 2,4 D).

Para plaguicidas, trihalometanos, cianuros y metales pesados, se hará un muestreo y se analizarán una sola vez, excepto fierro y manganeso.

- b) Reporte de resultados.

Se analizará los resultados comparando con los límites permisibles establecidos en la norma oficial mexicana NOM 127-SSA1/94-SSA1, y se detectará los parámetros fuera de norma, así como la descripción de las consecuencias en el consumo humano del agua en estos parámetros fuera de norma.

### **II-2 Elaboración de pruebas de tratabilidad.**

- a) Se seleccionaron los procesos de potabilización sobre la base de la caracterización del agua, se seleccionará los procesos de potabilización para realizar las pruebas de tratabilidad.
- b) Determinar los parámetros de ingeniería para las pruebas de tratabilidad en base a la selección de los procesos de potabilización se determinará los parámetros de ingeniería más elementales para su simulación y homologación en laboratorio.

c) Establecer los protocolos de pruebas de jarra.

Se establecerán los tiempos y gradientes de velocidad para cada proceso, así como orden de reactivos, dosificación de productos, velocidad de filtración y tipo de medio filtrante.

d) Se realizarán tres pruebas de tratabilidad en base a la detección de los parámetros fuera de norma y los protocolos de pruebas de jarra.

e) Elaboración de reporte.

Se realizarán los reportes de las pruebas de tratabilidad en el orden siguiente:

Demanda, Selección y Optimización de los productos químicos. Así como la selección de materiales usados en la potabilización.

### II-3 Normas de Análisis

La siguiente tabla resume las normas utilizadas por la determinación de los parámetros expresados antes.

PARAMETRO	NORMA OFICIAL MEXICANA AA
pH	8-1980
Temperatura	7-1980
Color	17-1980
Turbidez	38-1981
Conductividad	93-1984
Dureza total	72-1981
Alcalinidad	36-1980
Oxígeno disuelto	12-1980
DBO	28-1981
DQO	30-1981
Cloruros	73-1981
Ptotal	29-1981
N de NH3	26-1980
N de Nitratos	79-1981
N de Nitritos	99-1987
N organico	26-1980
Sulfatos	74-1981
Sólidos suspendidos	34-981
Sólidos disueltos	34-981
SAAM	39-1980
G y A	5-1980
Coliformes	42-1987
Coliformes	42-1987

## II-4 Límites

### Norma Oficial de regulación para agua potable.

NOM 127-SSA1/94-SSA1/94 "Límites permisibles para uso y consumo de agua potable"

Límites permisibles de calidad del agua.

Límites permisibles de características bacteriológicas.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a salud a investigar.

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml
Organismos coliformes fecales	0 NMP/100 ml
NMP/100 ml : Número más probable por 100 ml.	

Límites permisibles de características físicas y organolépticas

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Color	20 unidades de color verdadero en la escala PtCo
Olor y sabor	Agradable (tolerable para los consumidores)
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas UTN.

Límites permisibles de características químicas. Expresadas en mg/l.

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Aluminio	0.20
Arsénico	0.02
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.5
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos	1.0
Nitrógeno Amoniacal (como N)	0.50

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldreín y dieldrin (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4-D	30.00
Plomo	0.01
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>==</sup> )	400.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

**Límites permisibles de características radioactivas**

Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro)

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Radioactividad alfa global	0.1
Radioactividad beta global	1.0

### **III Metales pesados analizados**

En el laboratorio se efectuaron todos los analisis de metales pesados, que dan como resultados los promedios en los reportes por tren de tratamiento.

Estos analisis, estuvieron prácticamente enfocados a los siguientes contaminantes:

Hierro  
Manganeso  
Arsénico  
Plomo  
Cadmio  
Mercurio  
Aluminio

**En cuanto al agua ya tratada se puede decir que dichos metales estan dentro de la norma NOM 127-SSA1/94 en todos los trenes de tratamiento implementados.**

#### **IV Resultados de los trenes de tratamiento.**

- IV-1. Tren No. 1 con **acido sulfúrico + sulfato de aluminio + permanganato de potasio + Polímero + cloro (como desinfectante).**
- IV-2. Tren No. 2 con **acido sulfúrico + cloruro ferrico + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).**
- IV-3 Tren No. 3 con **acido sulfúrico + cloruro ferrico + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).**
- IV-4 Tren No. 4 con **acido sulfúrico + sulfato de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).**
- IV-5 Tren No. 5 con **acido sulfúrico + policloruro de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante)**
- IV-6 Tren No. 6 con **acido sulfúrico + hidroxiclорuro de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante)**
- IV-7 Tren No. 7 con **acido sulfúrico + hidroxiclорuro de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).**
- IV-8 Tren No 8 con **acido sulfúrico + policloruro de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante)**

## **Conclusiones**

En conclusión, el tren de tratamiento más adecuado para la potabilización del agua en el sitio "ARCEDIANO" es el Tren No. 4 el cual es el tradicionalmente utilizado en la mayoría de las plantas de tratamiento principalmente por su costo de operación y por las facilidades de adquirir y controlar los productos químicos y/o reactivos necesarios para su implementación en un mercado común.

Así mismo se concluye en forma general que:

1. Todos los procesos evaluados y/o trenes de tratamiento tanto en el periodo de estiaje como de lluvias, trabajaron en forma estable y bajo control con dosificaciones constantes.
2. Los porcentajes de eficiencia de remoción no cambiaron significativamente con las variaciones del agua cruda.
3. Durante el periodo completo de esta evaluación, se detecto al color como el factor limitante de la problemática.
4. En esta fase como en la anterior, se detectaron valores bajos de los metales pesados con excepción del aluminio.
5. Se tiene alta carga orgánica y coloidal lo cual dificulta la filtración y la oxidación en sitio.
6. Se tienen variaciones muy drásticas en la calidad del agua cruda.
7. El agua cruda es ligeramente incrustante.
8. El agua tratada con Sulfato de aluminio y Cloruro ferrico es corrosiva.
9. El PAC y el PAHC en este periodo tuvieron una eficiencia mucho mayor que en la anterior con costo más accesibles.



## **Recomendaciones**

1. Continuar con las pruebas de tratabilidad, utilizando otros métodos más sofisticados para determinar la mayor eficiencia de los mismos en los diferentes periodos de construcción de la presa y su impacto en la calidad del agua que se espera tener en el vaso.

## V. Evaluación Económica

En la tabla siguiente se muestra la dosificación promedio de los productos químicos que se utilizan normalmente en la potabilización del agua, indicando su costo promedio por kilogramo.

Producto	Dosificación promedio (ppm)	Costo \$ / Kg
Sulfato de aluminio	10-120	2.20
Cloruro férrico	5.0 – 100.0	4.00
Policloruro de aluminio	3.0 – 20.0	7.00
Hidroxiclورو de aluminio	3.0 – 25.0	7.00
Cloro gas	1.00 – 5.00	6.00
Permanganato de potasio	0.5 – 5.0	35.00
PoliDADCMAC	1.0 – 5.0	16.00

### Costos del tratamiento de la simulación de la planta piloto.

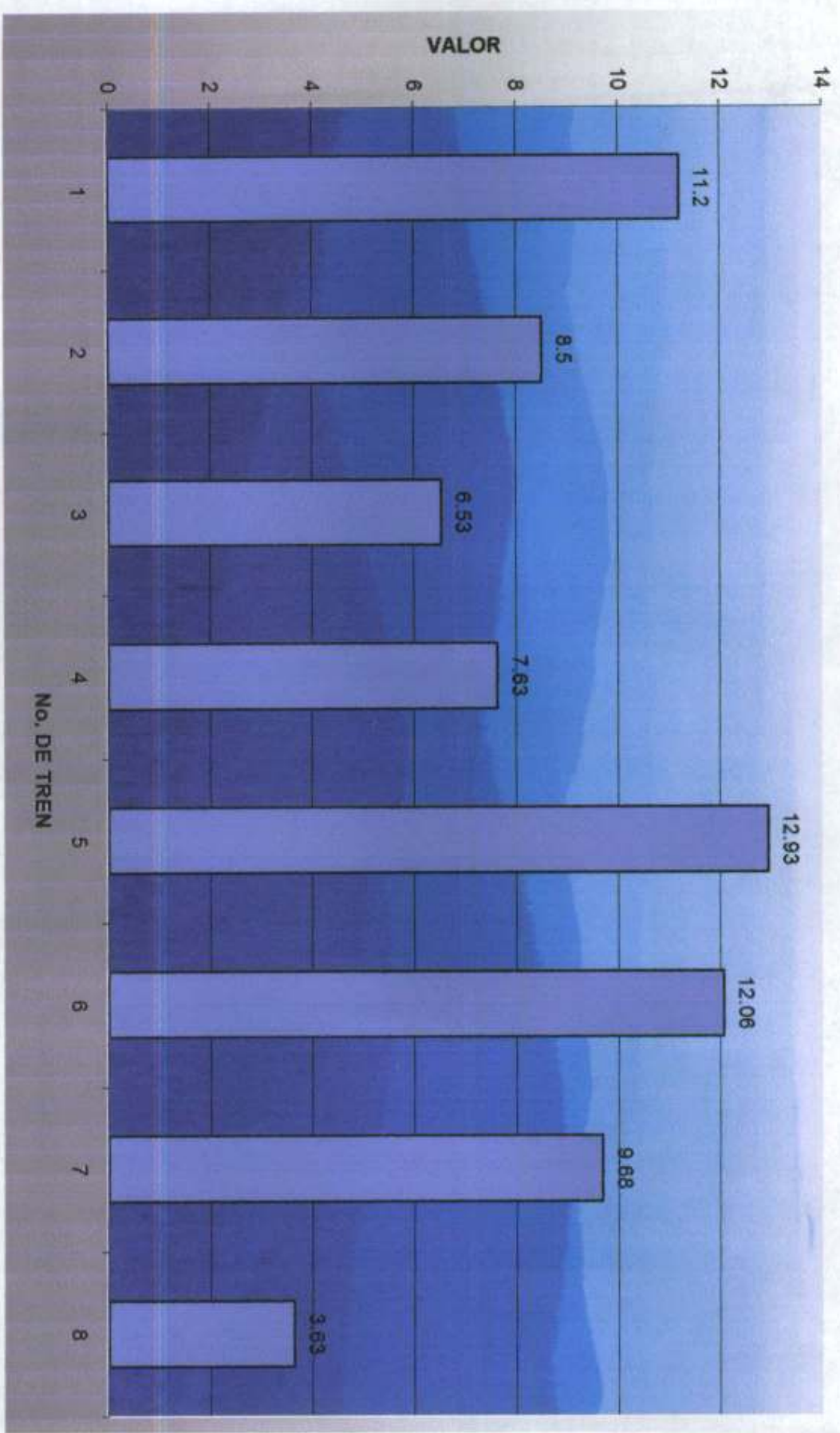
Todos los trenes de tratamiento se operaron a un flujo promedio de 0.5 lps, conforme a las dosificaciones que se utilizaron por cada uno (ver capítulo IV resultados).

Tren de Tratamiento	\$/m <sup>3</sup>
<b>Tren No. 1 con ácido sulfúrico + sulfato de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).</b>	LL 0.2395 ES 0.2695
<b>Tren No. 2 con ácido sulfúrico + cloruro ferrico + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).</b>	LL 0.3790 ES 0.4490
<b>Tren No. 3 con ácido sulfúrico + cloruro ferrico + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).</b>	LL 0.3595 ES 0.4295
<b>Tren No. 4 con ácido sulfúrico + sulfato de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).</b>	LL 0.2590 ES 0.2890
<b>Tren No. 5 con ácido sulfúrico + policloruro de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).</b>	LL 0.3655 ES 0.4375
<b>Tren No. 6 con ácido sulfúrico + hidroxiclورو de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante).</b>	LL 0.3850 ES 0.4390
<b>Tren No. 7 con ácido sulfúrico + hidroxiclورو de aluminio + permanganato de potasio + polímero + cloro (como desinfectante).</b>	LL 0.3655 ES 0.5095
<b>Tren No 8 con ácido sulfúrico + policloruro de aluminio + polímero + cloro (como oxidante y desinfectante)</b>	LL 0.3850 ES 0.4390

LL = Lluvias  
ES = Estiaje

En los procesos tradicionales de una fuente confiable para tratamiento de agua potable, los costos promedios en el consumo de los productos químicos varían de \$0.19 a \$0.35 por m<sup>3</sup> dependiendo del proceso.

SITIO "ARCEDIANO"  
DBOS EN AGUA TRATADA EN EPOCA DE LLUVIAS

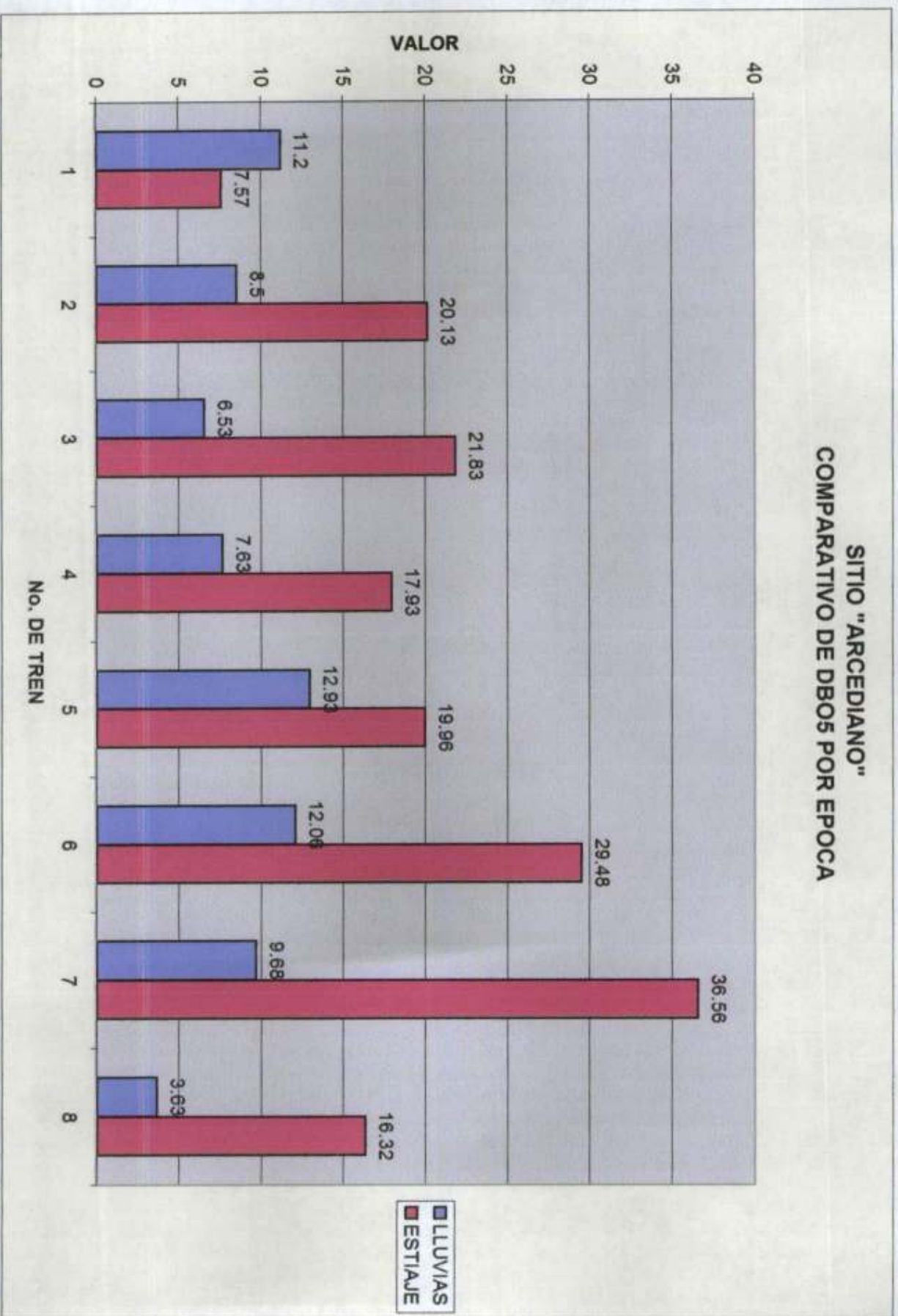


SITIO "ARCEDIANO"  
DBOS EN AGUA TRATADA EN EPOCA DE ESTIAJE

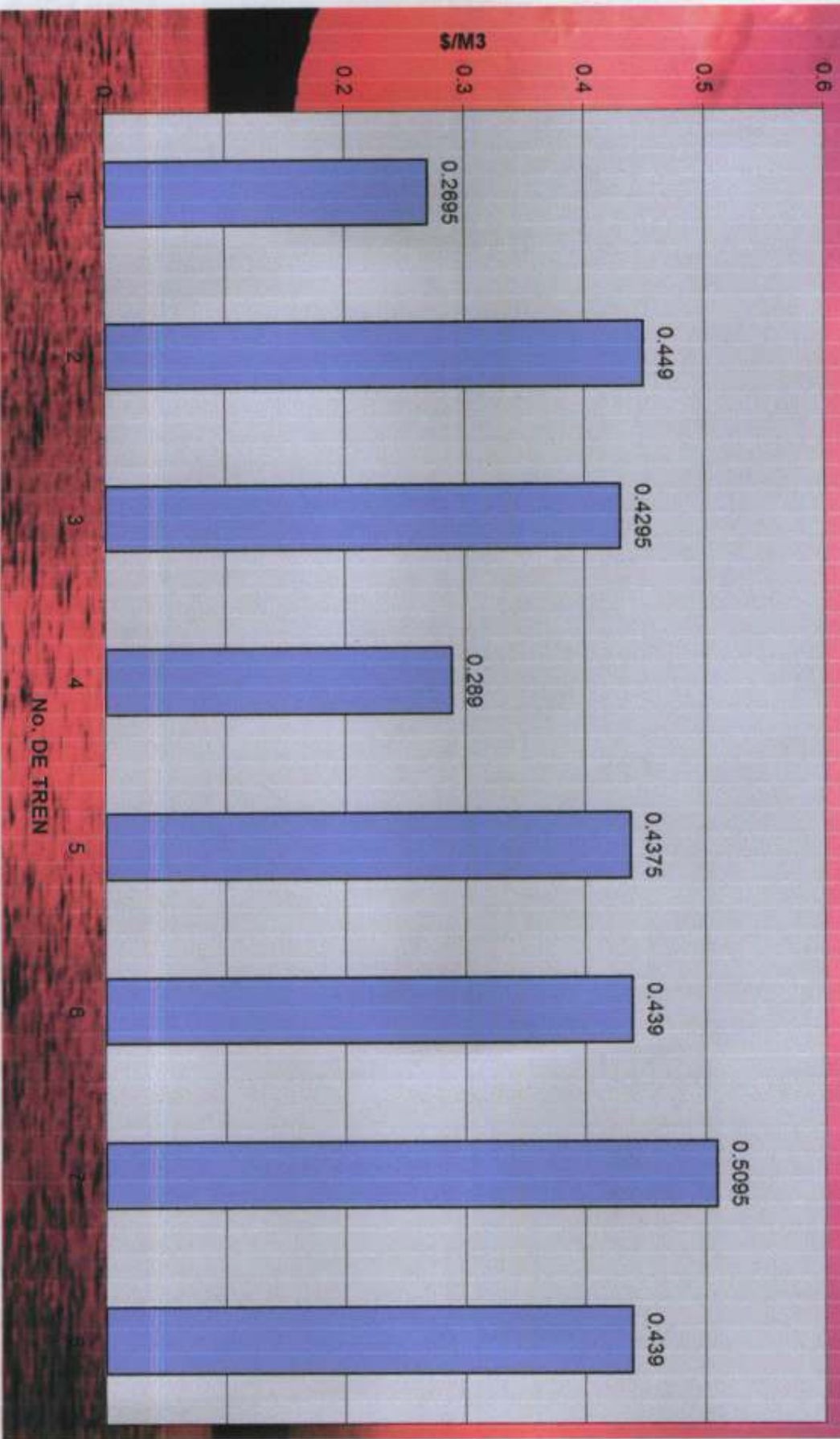




SITIO "ARCEDIANO"  
COMPARATIVO DE DBOS POR EPOCA

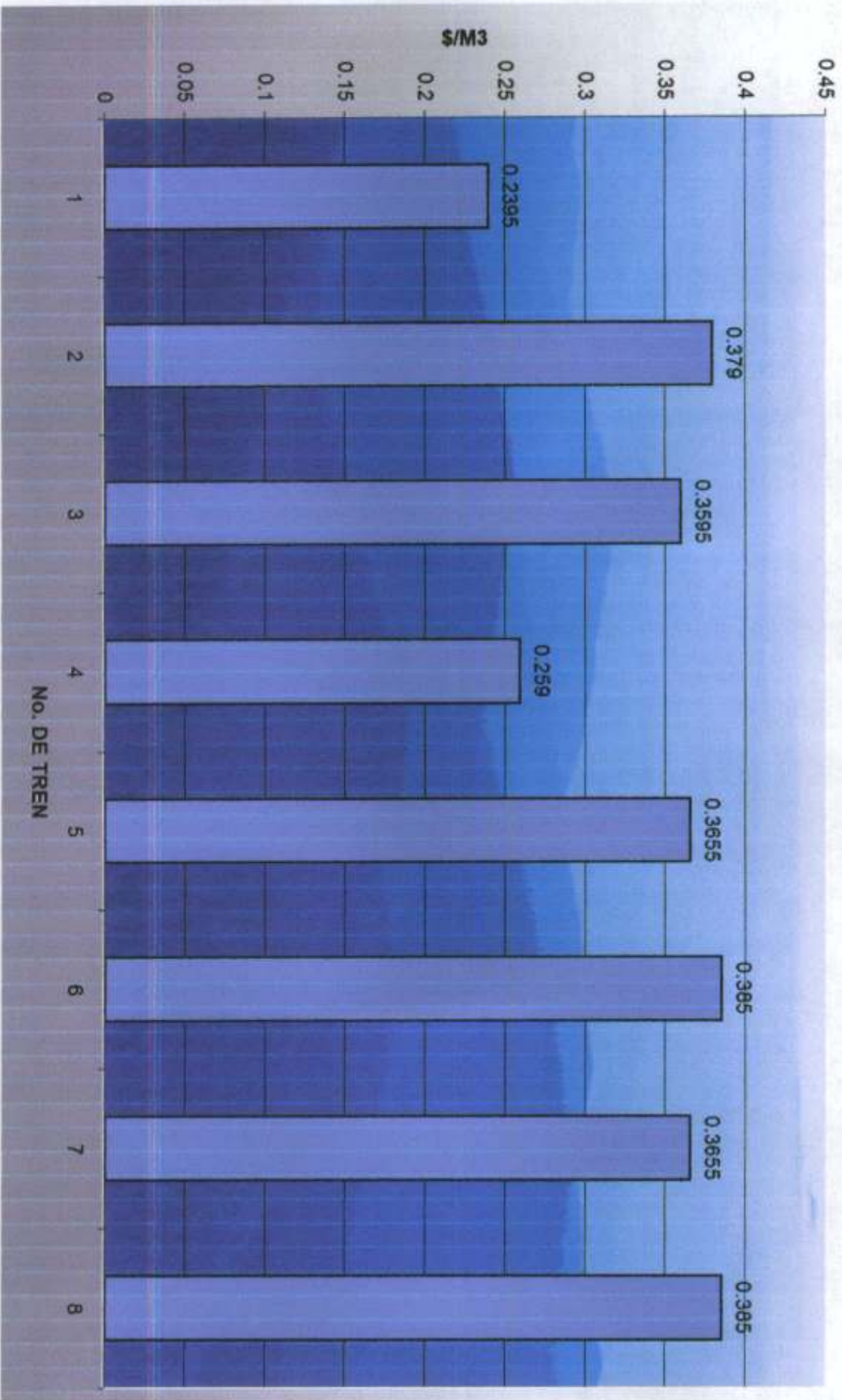


SITIO "ARCEDIANO"  
COSTO DE TRATAMIENTO EN EPOCA DE ESTIAJE

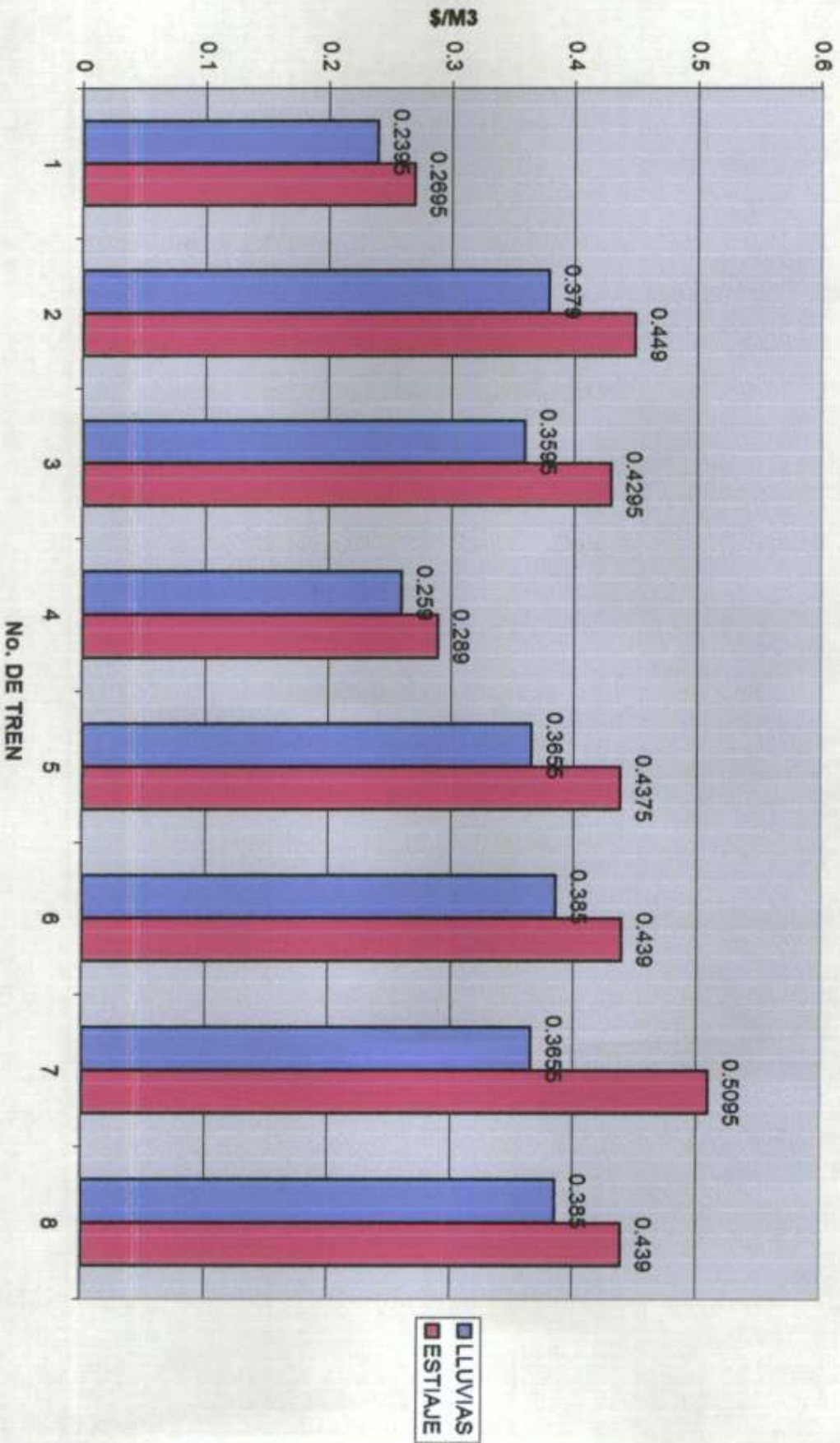




SITIO "ARCEDIANO"  
COSTO DEL TRATAMIENTO EN EPOCA DE LLUVIAS



SITIO "ARCEDIANO"  
COMPARATIVO DE COSTOS DE TRATAMIENTO POR EPOCA





## **TREN DE TRATAMIENTO :**

**CONTROL DE pH : ACIDO SULFURICO**  
**COAGULANTE : SULFATO DE ALUMINIO**  
**FLOCULANTE : POLIMERO CATIONICO**  
**OXIDANTE : PERMANGANATO DE POTACIO.**  
**DESINFECTANTE : CLORO**

**TEMPORADA DE ESTIAJE : FEBRERO 16 AL 29 DE 2004**

**TEMPORADA DE LLUVIA : OCTUBRE 01 AL 15 DE 2004**

## **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Sulfato de Aluminio + Permanganato + Polímero + Cloro (como desinfectante).**

Este tren de tratamiento se arranco el día 16 de Febrero y se termino el día 29 de Febrero, con un nuevo proceso de tratamiento que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios en donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Sulfato de Aluminio como coagulante primario y el Permanganato de Potasio como oxidante, y el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media, el cloro se utilizó como desinfectante.

### **1. Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de jarras.

#### **Calidad del agua cruda:**

Febrero 16 de 2004

pH	:	8.54
Turbiedad	:	22.00 NTU
Color aparente	:	242.00 Pt-Co
Color real	:	36.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	244.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	244.00 ppm
Carbonatos	:	4.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	179.00 ppm.
Calcio como Ca	:	102.00 ppm.
Magnesio	:	77.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	50.00 ppm.
Sulfatos	:	78.00 ppm
Nitratos	:	0.980 ppm
Nitritos	:	0.096 ppm
Fosfatos	:	4.260 ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	390.00 ppm
Sólidos Suspendidos	:	48.00 ppm
Sólidos totales	:	438.00 ppm
Conductividad	:	644.00 ppm
Temperatura	:	16.20 °C
Fierro	:	0.23 ppm
Manganeso	:	0.152 ppm
Cobre	:	0.00 ppm
Aluminio	:	0.059 ppm

## Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	128 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	80 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	1.0	>5.0 mg/l
pH	6.92	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-718 mg/l	4 -1 mg/l
Indice Langalier	-1.0	> 0
Indice Ryznar	8.92	< 6
Acides	191 mg/l	

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. son:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación :15 minutos a 30 RPM.

## 2. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Tomando como base el análisis de agua cruda anterior, se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99.9% para ajustar el nivel de pH a valores promedio de 7.0, las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lt. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.89
2	10.0	7.80
3	15.0	7.58
4	20.0	7.36
5	25.0	7.21
6	30.0	7.15

En base a los resultados anteriores, estamos considerando que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador, donde se homogenizará la mezcla debido a la alta difusión del ácido y con un tiempo de retención de aproximadamente de 1.0 Hrs. nos permitirá estar en los valores de 7.0 a 7.5.

### 3. Demanda de Cloro.

Esta se determino una vez que el tratamiento de clarificación se efectuó y se dosifica en la entrada a la columna de green sand.

Las dosificaciones utilizadas para obtener un residual de cloro del orden de 1.5 a 2.0 ppm fueron las siguientes:

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	2.0	0.74
2	3.0	1.18
3	4.0	2.24
4	5.0	3.2
5	6.0	4.0
6	7.0	4.3

De acuerdo con la calidad del agua cruda y bajo las condiciones actuales en cuanto a la cantidad de descargas residuales en la cuenca del río Santiago, se observa que la demanda en esta situación es relativamente óptima, lo que consideramos que el sistema de aereación ayuda en la calidad del agua que trata la planta piloto.

La mejor jarra para este proceso se determino en función del residual de cloro y por lo tanto se selecciono la jarra numero 2.

### 4. Demanda de oxidante.

Determinación de la demanda del oxidante con KMnO<sub>4</sub> sin ajuste de pH en el agua cruda

Los análisis y las pruebas de jarra se realizaron en el campo, tomando en consideración las demandas encontradas en cuanto al ajuste de pH y Cloro residual bajo los siguientes parámetros:

Se selecciono, que con una dosificación de sulfato de aluminio de 60.0 ppm conforme a los datos obtenidos en los meses de Octubre-Diciembre del 2003, el comportamiento de la planta piloto fue aceptable y por lo tanto partimos nuestras pruebas de tratabilidad del agua bajo este concepto.

Lo anterior estará sujeto a ser modificado y/o adaptado, durante los siguientes meses en función de los resultados que se obtengan y de la calidad del agua cruda presente en esos momentos de muestreo y operación de la planta piloto.

Demanda de Permanganato de Potasio							
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada			
	KMnO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH
1	1	60.0	2.57	51	0.11	0.094	7.92
2	1.5	60.0	1.88	46	0.07	0.057	7.84
3	2.0	60.0	1.79	46	0.08	0.058	7.58
4	2.5	60.0	1.61	43	0.11	0.333	7.62
5	3.0	60.0	1.19	38	0.12	0.420	7.49
6	3.5	60.0	1.11	20	0.06	0.750	7.49

En base a los resultados obtenidos en nuestras pruebas, consideramos que la mejor jarra es la número dos, con mejor remoción de hierro con 0.07 ppm. y manganeso con 0.057 ppm., por lo tanto, en principio estamos considerando que la demanda del KMnO<sub>4</sub> es 1.5 ppm.

Hay un incremento del manganeso a partir de la jarra número cuatro, el fenómeno se explica como una sobre dosificación de KMnO<sub>4</sub>, el cual contiene manganeso y le proporciona al agua un color rosado éste es medido en la prueba de Mn.

Se empieza a visualizar la formación del floculo hasta los cinco minutos en la etapa de coagulación-floculación con una agitación de 30.0 RPM.

El valor del Fe se mantiene constante, esto significa que el orden de selectividad del KMnO<sub>4</sub> para oxidar es primero el Fe y después el Mn.

### 5. Demanda de oxidante con ajuste de pH de 7.0

La calidad del agua cruda es igual por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.

Demanda de Permanganato de Potasio con Ajuste de pH								
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Turbiedad NTU	Color Co-Pt	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1	60.0	20	0.80	19	0.09	0.066	7.0
2	1.5	60.0	20	0.65	16	0.07	0.065	7.0
3	2.0	60.0	20	0.70	14	0.08	0.105	7.0
4	2.5	60.0	20	0.90	25	0.07	0.233	7.0
5	3.0	60.0	20	1.20	32	0.07	0.501	7.0
6	3.5	60.0	20	2.90	86	0.05	0.740	7.0

La demanda de  $\text{KMnO}_4$ , se mantiene en 1.5 ppm y tomando en cuenta que la demanda sin ácido sulfúrico es igual consideramos que la mejor jarra para este caso es la número dos por la alta remoción de el color.

Conforme a nuestro criterio y experiencia adquirida los meses anteriores a estas pruebas, se procedió a optimizar la dosificación evaluando en sólo tres jarras con dosificaciones de 1.0, 1.5 y 2.0 ppm. de  $\text{KMnO}_4$  y se analizó hierro y manganeso en agua filtrada.

<b>Optimización del Permanganato de Potasio con Acido Sulfúrico</b>				
<b>Jarra</b>	<b><math>\text{KMnO}_4</math></b>	<b><math>\text{H}_2\text{SO}_4</math></b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>
1	1.0	20.0	0.09	0.06
2	1.5	20.0	0.06	0.05
3	2.0	20.0	0.06	0.08

Se confirma que la demanda de  $\text{KMnO}_4$  con una dosificación de 1.5 ppm con un ajuste en el pH a 7.0, se obtienen valores de hierro y manganeso y remoción del color, bastante aceptables como lo muestra la jarra número dos, con mejores remociones.

Se observa que la jarra número tres en el valor correspondiente al manganeso adquiere un valor mayor que en la jarra número dos, esto se explica ha que con esta dosificación se detecta una fuga en el exceso del permanganato de potasio.

#### **6. Demanda de polímero con el $\text{KMnO}_4$**

El polímero empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Sulfato de Aluminio y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y el Permanganato de Potasio.

La calidad del agua cruda varía con el tiempo de transportación hacia el laboratorio fijo, por lo que se procedió a realizar los análisis y pruebas de jarras en campo, tomando los siguientes valores:

#### **Calidad del agua cruda:**

Temperatura : 23.10 °C  
 pH : 8.51  
 Turbiedad : 36.90 UTN.  
 Color aparente : 387.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como  $\text{CaCO}_3$  : 244.00 ppm.  
 Hierro : 0.40 ppm.  
 Manganeso : 0.135 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

Se observa que la calidad de agua, prácticamente en todas la pruebas anteriores, está dentro de normas, pero el floculo es muy pequeño y esponjoso, por lo que requiere un floculante como ayuda de filtración, para evitar que el floculo no sea filtrable, a la hora de implementar en la planta el tratamiento.

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos				Agua Filtrada					
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	60	20.0	2.0	3.8	22	0.07	0.07	6.96
2	1.5	60	20.0	2.5	3.2	19	0.06	0.05	6.86
3	1.5	60	20.0	3.0	3.3	21	0.065	0.06	6.85
4	1.5	60	20.0	3.5	3.0	19	0.06	0.05	6.85
5	1.5	60	20.0	4.0	2.8	22	0.01	0.01	6.85
6	1.5	60	20.0	4.5	2.8	22	0.00	0.01	6.85

Como se observa en la tabla anterior, la mejor jarra es la número cuatro, con mejor remoción de hierro de 0.06 ppm y manganeso de 0.050 ppm, así como un valor de color dentro de la norma NOM-127 SSA/97 y por lo tanto estamos determinando que para este caso en particular se confirma que la demanda del KMnO<sub>4</sub> es 1.5 ppm y el valor para el polímero esta en 3.5 ppm.

Con la información anterior se procedió a optimizar y evaluar la demanda de KMnO<sub>4</sub> con la adición de un polímero catiónico, tomando una demanda de polímero de 3.5 ppm.

Demanda de Permanganato de Potasio con Polímero Cationico					
Reactivos		Agua Filtrada			
Jarra	KMnO <sub>4</sub> ppm	WT-40 ppm	Fe ppm	Mn ppm	Color Pt-Co
1	1	3.50	0.07	0.09	18
2	1.5	3.50	0.04	0.06	18
3	2	3.50	0.05	0.08	20
4	2.5	3.50	0.04	0.12	24
5	3.0	3.50	0.02	0.12	26
6	3.5	3.50	0.02	0.19	30

Los valores de Fe y Mn en agua filtrada prácticamente no varían por ser valores muy bajos.

La intención de dosificar un polímero es de flocular y engrandecer el micro floculo que se forma con la reacción del  $\text{KMnO}_4$  con el hierro y manganeso, sin embargo en la tabla anterior se visualiza un porcentaje muy pequeño de ayuda en la filtración.

Para confirmar la alta eficiencia de ayuda del polímero WT-40 en la remoción del color que siempre ha sido nuestro factor limitante, se procedió a fijar la dosificación del polímero y variar la dosificación del  $\text{KMnO}_4$ , dando como resultado con la demanda teórica calculada anteriormente de 1.5 ppm. de  $\text{KMnO}_4$ .

Con la información anterior se determino que los valores óptimos de polímero y analizando únicamente tres jarras, llegamos a la siguiente tabla de valores.

Optimización del Polímero				
Reactivos			Agua Filtrada	
Jarra	$\text{KMnO}_4$	WT 40	Fe	Mn
1	1.5	2.0	0.07	0.06
2	1.5	2.5	0.06	0.05
3	1.5	3.5	0.04	0.03

Esta prueba confirma que este tipo de polímero nos ayuda a la remoción de hierro y manganeso, además se visualizó en las jarras una muy buena floculación, por lo tanto los tiempos de retención son los adecuados para la buena operación de los medios filtrantes.

#### 7.- Demanda de sulfato de aluminio.

En este caso en particular, se tomaron las demandas de permanganato, polímero y ácido sulfúrico en función de dosificar las demandas encontradas, para evaluar la demanda de Sulfato de Aluminio.

Calidad del agua cruda:

pH	:	8.54
Turbiedad	:	22.00 NTU
Color aparente	:	242.00 Pt-Co
Color real	:	36.00 Pt-Co
Alcalinidad total como $\text{CaCO}_3$	:	244.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	244.00 ppm
Carbonatos	:	4.00 ppm
Dureza total como $\text{CaCO}_3$	:	179.00 ppm.
Calcio como Ca	:	102.00 ppm.
Magnesio	:	77.00 ppm
Cloruros como $\text{Cl}^-$	:	50.00 ppm.



Sulfatos	: 78.00 ppm
Nitratos	: 0.980 ppm
Nitritos	: 0.096 ppm
Fosfatos	: 4.260 ppm
Sólidos Totales Disueltos	: 390.00 ppm
Sólidos Suspendidos	: 48.00 ppm
Sólidos totales	: 438.00 ppm
Conductividad	: 644.00 ppm
Temperatura	: 16.20 °C
Fierro	: 0.23 ppm
Manganeso	: 0.152 ppm
Cobre	: 0.00 ppm
Aluminio	: 0.059 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Sulfato de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	60	20.0	3.5	2.40	38.0	0.025	0.04	7.2
2	1.5	70	20.0	3.5	2.20	34.0	0.065	0.04	7.0
<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>80</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>1.80</b>	<b>20.0</b>	<b>0.069</b>	<b>0.03</b>	<b>7.0</b>
4	1.5	90	20.0	3.5	1.60	21.0	0.075	0.032	6.8
5	1.5	100	20.0	3.5	1.40	20.0	0.080	0.024	6.7
6	1.5	110	20.0	3.5	0.87	19.0	0.060	0.03	6.3

Los valores de manganeso en agua filtrada aumentaron en relación con los de los meses anteriores y como se podrá observar una diferencia entre el uso del papel filtro Whatman número cuatro y Whatman número 40, esto se puede explicar que el sulfato de aluminio efectivamente ayuda a la formación del floculo, y por consecuencia la demanda del KMnO<sub>4</sub> puede mantenerse estable.

### 8. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO (99.9%)	1.5
SULFATO DE ALUMINIO (7.5%)	80.0
PolidADMAC (40%)	3.5
CLORO (HTH 65%)	3.0

**NOTA:** Durante los días que opero este tren de tratamiento, en ciertas ocasiones se ajusto la dosificación del Sulfato de Aluminio tomando como base los valores que reflejaban las pruebas de jarra y el efluente que se genera antes de entrar al floculador a través de la válvula de muestreo instalada en línea en la misma planta piloto, con el objeto de evaluar el tratamiento esperado.

Con el fin de dar continuidad a los reportes y presentaciones que se han generado en los meses anteriores, el formato para este objetivo sigue siendo el mismo, por lo que los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla los cuales fueron determinados de la suma de los promedios por día, de los 14 días que se trabajo en este tren de tratamiento dando los siguientes:

#### **Análisis de proceso**

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.58	380	40.57	0.40	0.193	0.00
AGUATRATADA	<b>6.82</b>	<b>16.0</b>	<b>1.20</b>	<b>0.05</b>	<b>0.041</b>	2.00
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	95.78	97.04	87.50	78.75	100.0

\* valor fuera de norma.

Como podrá observarse el color y la turbiedad del agua cruda aumentaron significativamente en su concentración esto como consecuencia se reflejo directamente en la dosificación del sulfato de aluminio ya que en las pruebas de jarra fue muy representativa la necesidad de aumentar el coagulante para que el agua tratada se ajustara a los valores de la NOM 127.

En este tren los valores de color del agua cruda fluctuaron desde **764.0 a 191.0** unidades de PtCo. Y el pH se ajusto desde **8.89 a 8.11** a valores de **7.0 a 7.2** unidades.

En cuanto a valores de Coliformes Fecales no se detectaron valores fuera de la norma ya que siempre se mantuvo un valor alto de cloro residual.

#### **Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>
AGUA CRUDA	117.42	58.71
AGUA TRATADA	15.14	7.57

Por efecto del aereador y el presedimentador el agua no presenta valores críticos de DQO y DBO en el agua tratada ya que en el agua cruda por efecto de las descargas directas al Río Santiago y al Río Verde si presentan algunos valores fuera de la norma establecida para cuerpos receptores tipo C conforme a los criterios de la C.N.A. lo que es necesario tomarlos en consideración para la eficiencia futura de los tratamientos propuestos una vez construida la presa.

El valor máximo de DBO en el agua cruda que se presento en este tratamiento fue de 141.00 ppm y el mínimo en varias ocasiones fue de 0.00 ppm.

#### **Análisis de metales pesados**

<b>PARAMETRO</b>	<b>ARSENICO</b>	<b>PLOMO</b>	<b>CADMIO</b>	<b>MERCURIO</b>	<b>ALUMINIO</b>
AGUA CRUDA	0.0111	0.0130	<0.0025	0.0013	0.0499
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>0.0092</b>	<b>&lt;0.0025</b>	<b>&lt;0.0008</b>	<b>0.0174</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	9.90	29.23	N/A	N/A	96.51

\*valor fuera de norma

En cuanto a resultados en metales pesados se observa que el arsénico, el plomo, el aluminio y el mercurio fueron en los que se detectaron valores, en tanto que el cadmio se mantuvo fuera de detección en relación con el método utilizado, presentaron una mayor incidencia, observándose que las descargas residuales que consideramos pueden pertenecer a una zona industrial ya que el colector de descarga se vio con mayor volumen.

#### **9. Evaluación económica de la simulación.**

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Sulfato de Aluminio Liquido	1.50	15.0 - 120.0
Permanganato de Potasio	35.00	0.5 - 5.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

#### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Permanganato de Potasio	1.5	0.0525
Sulfato de Aluminio	80.0	0.120
Polímero	3.5	0.035
Cloro	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.2695</b>

#### ACCIONES.

1. Continuar con la evaluación de este tren en los próximos meses de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde con el objeto de encontrar una buena relación de la mezcla con el Río Santiago.
3. Hacer pruebas, Cambiando la bomba de alimentación de agua a la margen derecha de río para comparar cambios en la calidad del agua de la margen izquierda.
4. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

#### CONCLUSIONES.

En general este tren de tratamiento, presenta una gran flexibilidad para su implementación a excepción por el uso del permanganato de potasio que requiere un mayor control y operación.

## **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Sulfato de Aluminio + Permanganato + Polímero + Cloro (como desinfectante).**

Este tren de tratamiento se arranco el día 01 de Octubre y se termino el día 15 de Octubre, con un nuevo proceso de tratamiento que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersion por medio de orificios en donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Sulfato de Aluminio como coagulante primario y el Permanganato de Potasio como oxidante, y el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media, el cloro se utilizó como desinfectante.

### **1. Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de jarras.

#### **Calidad del agua cruda:**

Octubre 01 2004

pH	:	8.48
Turbiedad	:	65.00 NTU
Color aparente	:	492.00 Pt-Co
Color real	:	47.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	132.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	132.00 ppm
Carbonatos	:	8.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	156.00 ppm.
Calcio como Ca	:	75.00 ppm.
Magnesio	:	82.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	47.00 ppm.
Sulfatos	:	55.00 ppm
Nitratos	:	0.960 ppm
Nitritos	:	0.068 ppm
Fosfatos	:	2.340 ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	160.00 ppm
Sólidos Suspendidos	:	20.00 ppm
Sólidos totales	:	180.00 ppm
Conductividad	:	294.00 ppm
Temperatura	:	25.10 °C
Fierro	:	1.26 ppm
Manganeso	:	0.260 ppm
Cobre	:	0.00 ppm
Aluminio	:	0.815 ppm

### Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	73 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	75 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	0.5	>5.0 mg/l
pH	6.42	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-3628 mg/l	4 -1 mg/l
Indice Langalier	-1.69	> 0
Indice Ryznar	9.81	< 6
Acides	187 mg/l	

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación :15 minutos a 30 RPM.

### 2. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Tomando como base el análisis de agua cruda anterior, se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99.9% para ajustar el nivel de pH a valores promedio de 7.0, las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lt. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.89
2	10.0	7.80
3	15.0	7.58
<b>4</b>	<b>20.0</b>	<b>7.36</b>
5	25.0	7.21
6	30.0	7.15

En base a los resultados anteriores, estamos considerando que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador, donde se homogenizará la mezcla debido a la alta difusión del ácido y con un tiempo de retención de aproximadamente de 1.0 Hrs. nos permitirá estar en los valores de 7.0 a 7.5.

## 2. Demanda de Cloro.

Esta se determino una vez que el tratamiento de clarificación se efectuó y se dosifica en la entrada a la columna de green sand.

Las dosificaciones utilizadas para obtener un residual de cloro del orden de 1.5 a 2.0 ppm fueron las siguientes:

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	2.0	0.74
2	3.0	1.18
3	4.0	2.24
4	5.0	3.2
5	6.0	4.0
6	7.0	4.3

De acuerdo con la calidad del agua cruda y bajo las condiciones actuales en cuanto a la cantidad de descargas residuales en la cuenca del río Santiago, se observa que la demanda en esta situación es relativamente óptima, lo que consideramos que el sistema de aereación ayuda en la calidad del agua que trata la planta piloto.

La mejor jarra para este proceso se determino en función del residual de cloro y por lo tanto se selecciono la jarra numero 2.

## 3. Demanda de oxidante.

## 4. Demanda de oxidante con ajuste de pH

La calidad del agua cruda es igual por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.

Demanda de Permanganato de Potasio con Ajuste de pH								
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Turbiedad NTU	Color Co-Pt	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1	60.0	20	1.23	23	0.075	0.053	7.2
2	1.5	60.0	20	1.0	18	0.072	0.023	7.1
3	2.0	60.0	20	0.92	19	0.064	0.021	7.0
4	2.5	60.0	20	0.90	24	0.060	0.032	7.0
5	3.0	60.0	20	1.24	28	0.060	0.051	6.98
6	3.5	60.0	20	1.98	36	0.055	0.062	6.88

La demanda de  $\text{KMnO}_4$ , se mantiene en 1.5 ppm y tomando en cuenta que la demanda sin ácido sulfúrico es igual consideramos que la mejor jarra para este caso es la número dos por la alta remoción de el color.

### **5. Demanda de polímero.**

El polímero empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Sulfato de Aluminio y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y el Permanganato de Potasio.

La calidad del agua cruda varía con el tiempo de transportación hacia el laboratorio fijo, por lo que se procedió a realizar los análisis y pruebas de jarras en campo, tomando los siguientes valores:

#### **Calidad del agua cruda:**

Temperatura	: 25.10 °C
pH	: 8.57
Turbiedad	: 34.20 UTN.
Color aparente	: 325.00 Pt-Co
Alcalinidad total como $\text{CaCO}_3$	: 132.00 ppm.
Hierro	: 0.30 ppm.
Manganeso	: 0.199 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM  
Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.  
Sedimentación: 12 minutos

### **6.- Demanda de sulfato de aluminio.**

En este caso en particular, se tomaron las demandas de permanganato, polímero y ácido sulfúrico en función de dosificar las demandas encontradas, para evaluar la demanda de Sulfato de Aluminio.

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM  
Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM  
Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.



<b>Demanda de Sulfato de Aluminio</b>									
<b>Jarra</b>	<b>Reactivos</b>				<b>Agua Filtrada</b>				
	<b>KMnO<sub>4</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>WT 40</b>	<b>Turbiedad NTU</b>	<b>Color Pt-Co</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>pH</b>
1	1.5	50	20.0	3.5	0.45	9.0	0.040	0.002	7.12
2	1.5	55	20.0	3.5	0.24	6.0	0.020	0.002	7.07
<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.34</b>	<b>3.0</b>	<b>0.050</b>	<b>0.006</b>	<b>7.03</b>
4	1.5	65	20.0	3.5	0.21	3.0	0.010	0.002	7.00
5	1.5	70	20.0	3.5	0.19	1.0	0.040	0.003	6.97
6	1.5	75	20.0	3.5	0.12	1.0	0.030	0.007	6.93

Los valores de manganeso en agua filtrada aumentaron en relación con los de los meses anteriores y como se podrá observar una diferencia entre el uso del papel filtro Whatman número cuatro y Whatman número 40, esto se puede explicar que el sulfato de aluminio efectivamente ayuda a la formación del floculo, y por consecuencia la demanda del KMnO<sub>4</sub> puede mantenerse estable.

#### **7. Implementación de alternativas de tratamiento.**

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

<b>PRODUCTO QUIMICO</b>	<b>PPM</b>
<b>ACIDO SULFURICO (100%)</b>	<b>20.0</b>
<b>PERMANGANATO (99.9%)</b>	<b>1.5</b>
<b>SULFATO DE ALUMINIO (7.5%)</b>	<b>60.0</b>
<b>PoliDADMAC (40%)</b>	<b>3.5</b>
<b>COLOR (HTH 65%)</b>	<b>3.0</b>

**NOTA:** Durante los días que opero este tren de tratamiento, en ciertas ocasiones se ajusto la dosificación del Sulfato de Aluminio tomando como base los valores que reflejaban las pruebas de jarra y el efluente que se genera antes de entrar al floculador a través de la válvula de muestreo instalada en línea en la misma planta piloto, con el objeto de evaluar el tratamiento esperado.

Con el fin de dar continuidad a los reportes y presentaciones que se han generado en los meses anteriores, el formato para este objetivo sigue siendo el mismo, por lo que los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla los cuales fueron determinados de la suma de los promedios por día, de los 14 días que se trabajo en este tren de tratamiento dando los siguientes:

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.47	449	61.77	0.83	0.279	0.00
AGUATRATADA	<b>6.98</b>	<b>13</b>	<b>0.85</b>	<b>0.04</b>	<b>0.011</b>	0.60
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	97.10	98.62	95.18	96.05	100.0

\* valor fuera de norma.

Como podrá observarse el color y la turbiedad del agua cruda aumentaron significativamente en su concentración esto como consecuencia se reflejo directamente en la dosificación del sulfato de aluminio ya que en las pruebas de jarra fue muy representativa la necesidad de aumentar el coagulante para que el agua tratada se ajustara a los valores de la NOM 127.

En este tren los valores de color del agua cruda fluctuaron desde **764.0 a 191.0** unidades de PtCo. Y el pH se ajusto desde **8.89 a 8.11** a valores de **7.0 a 7.2** unidades.

En cuanto a valores de Coliformes Fecales no se detectaron valores fuera de la norma ya que siempre se mantuvo un valor alto de cloro residual.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	56.6	28.3
AGUA TRATADA	22.4	11.2

Por efecto del aereador y el presedimentador el agua no presenta valores críticos de DQO y DBO en el agua tratada ya que en el agua cruda por efecto de las descargas directas al Río Santiago y al Río Verde si presentan algunos valores fuera de la norma establecida para cuerpos receptores tipo C conforme a los criterios de la C.N.A. lo que es necesario tomarlos en consideración para la eficiencia futura de los tratamientos propuestos una vez construida la presa.

El valor máximo de DBO en el agua cruda que se presento en este tratamiento fue de 141.00 ppm y el mínimo en varias ocasiones fue de 0.00 ppm.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0250	0.0070	<0.0025	0.008	0.7625
AGUA TRATADA	<b>0.0132</b>	<b>0.0040</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.1019</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	47.20	42.93	N/A	N/A	86.63

\*valor fuera de norma

En cuanto a resultados en metales pesados se observa que el arsénico, el plomo, el aluminio y el mercurio fueron en los que se detectaron valores, en tanto que el cadmio se mantuvo fuera de detección en relación con el método utilizado, presentaron una mayor incidencia, observándose que las descargas residuales que consideramos pueden pertenecer a una zona industrial ya que el colector de descarga se vio con mayor volumen.

### 8. Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Sulfato de Aluminio Liquido	1.50	15.0 - 120.0
Permanganato de Potasio	35.00	0.5 - 5.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Permanganato de Potasio	1.5	0.0525
Sulfato de Aluminio	60.0	0.09
Polímero	3.5	0.035
Cloro	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.2395</b>

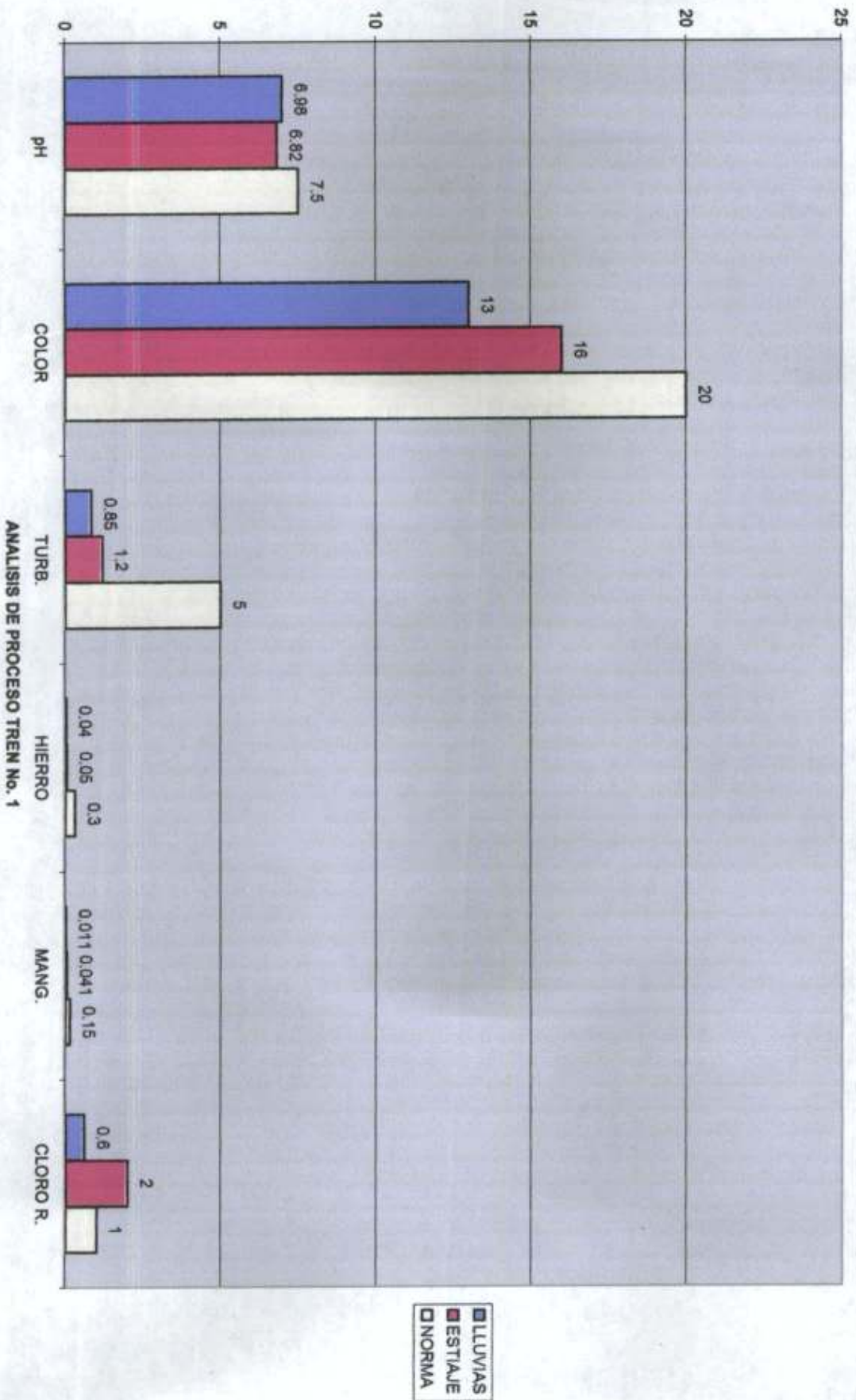
### ACCIONES.

1. Continuar con la evaluación de este tren en los próximos meses de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde con el objeto de encontrar una buena relación de la mezcla con el Río Santiago.
3. Hacer pruebas, Cambiando la bomba de alimentación de agua a la margen derecha de río para comparar cambios en la calidad del agua de la margen izquierda.
4. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

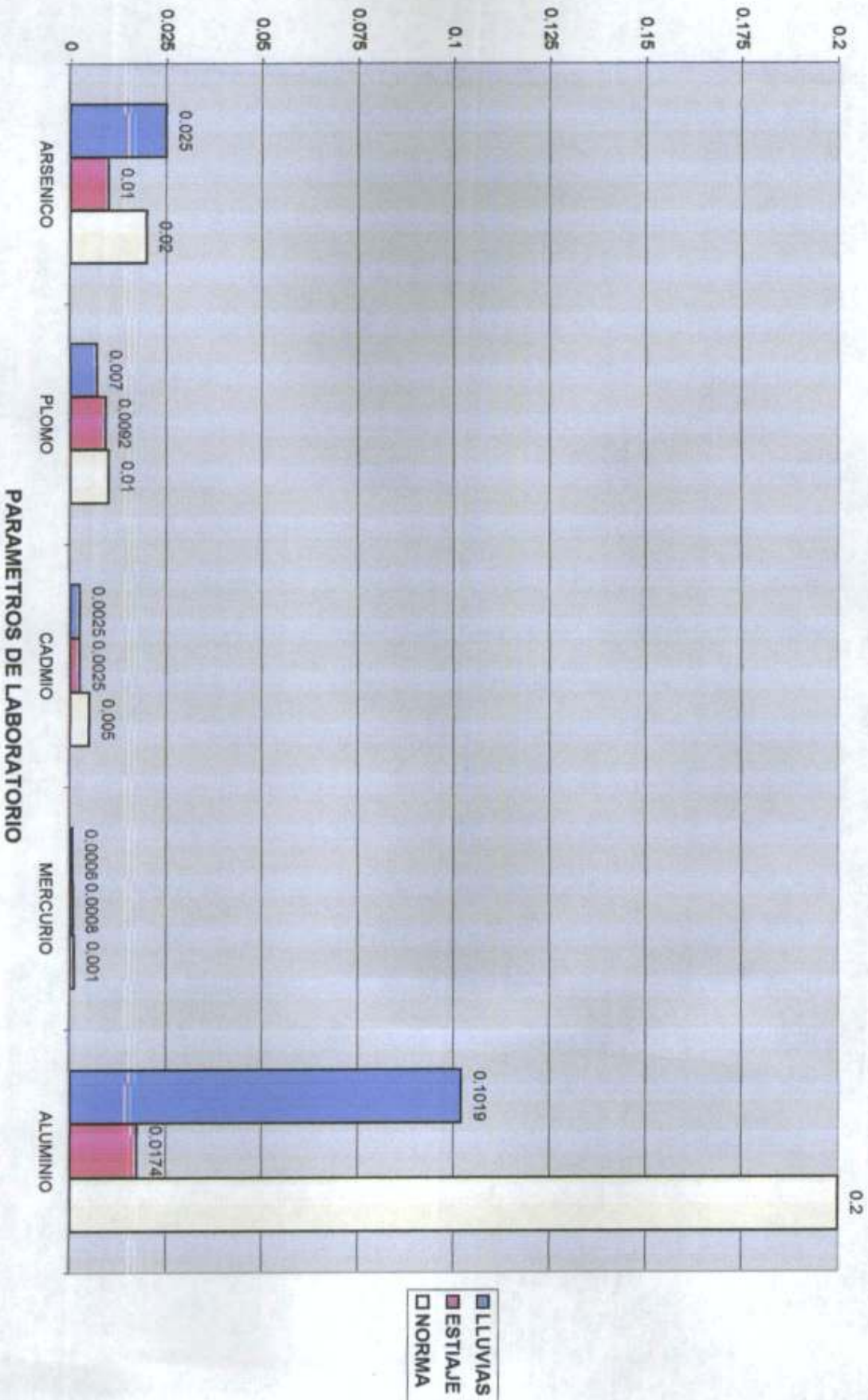
### CONCLUSIONES.

En general este tren de tratamiento, presenta una gran flexibilidad para su implementación a excepción por el uso del permanganato de potasio que requiere un mayor control y operación.

SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 1



## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Cloruro férrico + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se arranco el día 01 de Marzo y se termino el día 15 de Marzo, este tratamiento cuenta también con un nuevo proceso que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Cloruro Férrico como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante y el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de jarras.

Calidad del agua cruda:

Marzo 01 de 2004

pH	:	8.46	
Turbiedad	:	72.00	NTU
Color aparente	:	228.00	Pt-Co
Color real	:	34.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	280.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	280.00	ppm
Carbonatos	:	0.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	158.00	ppm.
Calcio como Ca	:	94.00	ppm.
Magnesio	:	64.00	ppm
Cloruros como Cl	:	97.00	ppm.
Sulfatos	:	84.00	ppm
Nitratos	:	3.18	ppm
Nitritos	:	1.25	ppm
Fosfatos	:	5.44	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	530.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	70.00	ppm
Sólidos totales	:	600.00	ppm
Conductividad	:	875.00	ppm
Temperatura	:	22.00	°C
Fierro	:	3.42	ppm
Manganeso	:	1.54	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.057	ppm

### Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	128 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	80 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	1.0	>5.0 mg/l
pH	6.92	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-718 mg/l	4 -1 mg/l
Indice Langalier	-1.0	> 0
Indice Ryznar	8.92	< 6
Acides	191 mg/l	

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación :15 minutos a 30 RPM.

#### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en el tren anterior, se toma como base el análisis de agua cruda anterior, y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH a valores promedio de 7.0, las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.42
2	10.0	7.21
3	15.0	7.02
<b>4</b>	<b>20.0</b>	<b>7.00</b>
5	25.0	6.92
6	30.0	6.86

En base a los resultados anteriores, estamos considerando que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador donde se homogenizara la mezcla debido a la alta difusión del ácido y con un tiempo de retención de aproximadamente de 1.0 Hrs. nos permitirá estar en los valores de 7.0 a 7.2



## 2. Demanda de Cloro.

Esta se determino junto con la demanda de oxidante con el objeto de dosificar únicamente en un solo punto.

## 3. Demanda de oxidante.

Determinación de la demanda del oxidante con. Cloro (HTH al 65%)

Los análisis y las pruebas de jarra se realizaron en el campo bajo los siguientes parámetros:

Se selecciono que con una dosificación de Cloruro Férrico de 60.0 ppm conforme a los datos y comportamiento del agua, obtenidos en los meses de Octubre-Diciembre del 2003, la operación de la planta piloto fue aceptable y por lo tanto partimos nuestras pruebas de tratabilidad del agua bajo el mismo concepto, en este tren también se modificaran y/o adaptaran las dosificaciones durante los siguientes meses en función de la calidad del agua cruda.

Demanda de Cloro								
Reactivos			Agua Filtrada					
Jarra	Cl <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	Turbieda d NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	5.0	60.0	3.28	28	0.09	0.075	7.34	0.0
2	7.5	60.0	3.16	23	0.09	0.062	7.18	0.0
3	10.0	60.0	2.96	21	0.08	0.058	7.11	0.5
4	12.5	60.0	3.00	19	0.21	0.048	7.00	1.0
5	15.0	60.0	2.94	19	0.04	0.002	6.98	1.7
6	17.5	60.0	2.96	20	0.06	0.030	6.98	2.5

En base a los resultados obtenidos en nuestras pruebas, consideramos que la mejor jarra es la número cinco, con mejor remoción de hierro con 0.004 ppm. y manganeso con 0.002 ppm., por lo tanto, en principio estamos considerando que la demanda del Cloro es 15.0 ppm.

Se observa que con el uso del Cloruro Férrico, la reacción es muy rápida y se forma un floculo con un tamaño y peso adecuados para una buena sedimentación.

Los valores de Fe y Mn se mantienen constantes y con valores muy bajos, lo que nos indica que La filtración es muy eficiente.

## 4. Demanda de oxidante con ajuste de pH de 7.0

La calidad del agua cruda es igual por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.



Demanda de Cloro con ajuste de pH									
Reactivos				Agua Filtrada					
Jarra	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	Turbiedad d NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	20	5.0	60.0	3.25	26	0.08	0.08	7.1	0.0
2	20	7.5	60.0	3.18	25	0.09	0.06	7.0	0.0
3	20	10.0	60.0	2.94	22	0.07	0.05	7.0	1.5
4	20	12.5	60.0	2.92	20	0.07	0.05	6.8	2.0
<b>5</b>	<b>20</b>	<b>15.0</b>	<b>60.0</b>	<b>2.84</b>	<b>20</b>	<b>0.06</b>	<b>0.04</b>	<b>7.0</b>	<b>2.5</b>
6	20	17.5	60.0	2.85	19	0.05	0.06	6.94	4.0

Los valores de Fe y Mn se mantuvieron en un nivel muy bajo, prácticamente igual que en la tabla anterior.

La demanda de Cloro se mantuvo prácticamente igual, principalmente por la carga orgánica presente en el agua cruda.

Los valores de pH se mantuvieron prácticamente hacia a la baja por el mismo efecto del Cloro.

Optimización del Cloro con Acido Sulfúrico						
Reactivos			Agua tratada			
Jarra	Cloro	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Fe	Mn	pH	Cloro Res.
1	10	20.0	0.09	0.06	7.0	2.0
<b>2</b>	<b>15</b>	<b>20.0</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>7.0</b>	<b>2.5</b>
3	20	20.0	0.08	0.07	6.8	3.0

Se determina que la demanda de Cloro con una dosificación de 15 ppm con un ajuste en el pH, se obtienen valores de hierro y manganeso bastante aceptables como lo muestra la jarra número dos, con mejores remociones.

Se puede observar el valor de pH tiende hacia la baja por el efecto del cloro.

Los residuales de cloro quedan por la parte alta lo que indica que el efecto oxidante se cubre en su totalidad así como la degradación de la materia orgánica presente en el agua cruda.

## 5. Demanda de polímero con el Cloro

El polímero empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Cloruro Ferrico y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y cloro

Calidad del agua cruda :

Temperatura : 22.00 °C  
pH : 8.46  
Turbiedad : 72.00 UTN.  
Color aparente : 228.00 Pt-Co  
Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 280.00 ppm.  
Hierro : 3.42 ppm.  
Manganeso : 1.54 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

Se observa que la calidad de agua, prácticamente en todas la pruebas anteriores, está dentro de normas, pero el floculo que se presenta es grande y esponjoso, por lo que también requiere un floculante como ayuda de filtración, para lograr valores dentro de la norma.

Se selecciona el polímero cationico WT-40 que es el más adecuado en el tratamiento de agua potable y esta autorizado por la NSF.

Demanda de Polímero									
Reactivos				Agua Filtrada					
Jarra	Cloro	FeCl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	60	20.0	2.0	1.8	21	0.07	0.07	6.96
2	15	60	20.0	2.5	1.2	19	0.06	0.05	6.86
3	15	60	20.0	3.0	1.3	20	0.065	0.06	6.85
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>1.0</b>	<b>18</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>6.85</b>
5	15	60	20.0	4.0	1.8	18	0.06	0.05	6.85
6	15	60	20.0	4.5	1.8	19	0.04	0.04	6.85

Como se observa en la tabla anterior, la jarra número cuatro, cumple con el objetivo de reducción de hierro de 0.06 ppm y manganeso de 0.050 ppm, así como con los valores de color dentro de la norma NOM-127 SSA/97 y por lo tanto estamos determinando que para este caso en particular se confirma que la demanda de polímero esta en un promedio de 3.5 ppm.

Con la información anterior se procedió a optimizar y evaluar la demanda de Cloro con la adición de un polímero catiónico, tomando una dosificación de polímero de 3.5 ppm.

<b>Demanda de Cloro con Polímero Cationico</b>							
<b>Reactivos</b>			<b>Agua Filtrada</b>				
<b>Jarra</b>	<b>Cloro</b>	<b>WT-40 ppm</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Color Pt-Co</b>	<b>pH</b>	<b>Cloro Residual</b>
1	5.0	3.50	0.07	0.09	21	6.96	0.0
2	7.5	3.50	0.04	0.06	18	6.86	0.0
3	10.0	3.50	0.05	0.08	19	6.85	1.5
4	12.5	3.50	0.04	0.12	17	6.85	2.0
<b>5</b>	<b>15.0</b>	<b>3.50</b>	<b>0.02</b>	<b>0.12</b>	<b>15</b>	<b>6.85</b>	<b>2.5</b>
6	17.5	3.50	0.02	0.19	15	6.85	3.0

Los valores de Fe y Mn en agua filtrada prácticamente no varían por ser valores muy bajos.

Los valores de color de pH como se puede observar están por debajo de la norma con las dosificaciones seleccionadas en estas pruebas de laboratorio.

Lo anterior nuevamente lo confirma la alta eficiencia de ayuda del polímero WT-40 en la remoción de la turbiedad y el color que sigue siendo nuestro factor limitante, por lo que también en este caso se procedió a fijar la dosificación del polímero y variar la dosificación del Cloro, dando como resultado con la demanda teórica calculada anteriormente de 15 ppm.

Con la información anterior se determino que los valores óptimos de polímero y analizando únicamente tres jarras, llegamos a la siguiente tabla de valores.

<b>Optimización del Polímero</b>				
<b>Reactivos</b>		<b>Agua Filtrada</b>		
<b>Jarra</b>	<b>Cloro</b>	<b>WT 40</b>	<b>Color</b>	<b>pH</b>
1	15	2.0	21	6.98
2	15	2.5	19	6.96
3	15	3.5	18	7.00

Esta prueba confirma que este tipo de polímero nos ayuda a la remoción del color y nos permite tener un pH prácticamente sin variaciones por el efecto del polímero WT 40 así mismo las jarra presentan una muy buena floculación proporcionando una sedimentación rápida y una muy buena filtración.

#### **4. Demanda de Cloruro Férrico.**

En este caso se tomaron las demandas de Cloro, Polímero y Acido sulfúrico para evaluar la demanda del Cloruro Férrico que se dosificará en la planta piloto de acuerdo con la calidad del agua cruda

Calidad del agua cruda:

pH	:	8.46
Turbiedad	:	72.00 NTU
Color aparente	:	228.00 Pt-Co
Color real	:	34.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	280.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	280.00 ppm
Carbonatos	:	0.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	158.00 ppm.
Calcio como Ca	:	94.00 ppm.
Magnesio	:	64.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	97.00 ppm.
Sulfatos	:	84.00 ppm
Nitratos	:	3.18 ppm
Nitritos	:	1.25 ppm
Fosfatos	:	5.44 ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	530.00 ppm
Sólidos Suspendidos	:	70.00 ppm
Sólidos totales	:	600.00 ppm
Conductividad	:	875.00 ppm
Temperatura	:	22.00 °C
Fierro	:	3.42 ppm
Manganeso	:	1.54 ppm
Cobre	:	0.00 ppm
Aluminio	:	0.057 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Cloruro Férrico										
Reactivos					Agua Filtrada					
Jarra	Cloro	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbieda d NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH	Cloro Res.
1	15	50	20.0	3.5	2.0	31	0.03	0.019	7.13	0.2
2	15	60	20.0	3.5	1.92	27	0.03	0.014	7.05	0.8
3	15	70	20.0	3.5	1.85	20	0.02	0.007	6.9	0.9
4	15	80	20.0	3.5	1.00	18	0.00	0.001	6.8	1.5
5	15	90	20.0	3.5	0.97	17	0.08	0.004	6.4	1.5
6	15	100	20.0	3.5	0.94	18	0.04	0.003	5.97	1.4

Los valores de fierro y manganeso en agua cruda aumentaron significativamente en relación con el tren de tratamiento anterior. Observándose que el uso del Cloruro Férrico en combinación con el cloro como oxidante son muy eficientes.

### 5. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
COLOR (HTH 65 %)	15
CLORURO FERRICO (43%)	80.0
PolidADMAC (40%)	3.5

**NOTA:** Este tren de tratamiento fue muy estable durante 12 días, después del día 13 los valores en agua cruda aumentaron significativamente por lo que se nos obligo a reforzar el tratamiento en ciertos periodos del día.

Con el fin de dar continuidad a los reportes y presentaciones que se han generado en los meses anteriores, el formato para este objetivo sigue siendo el mismo, por lo que los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla los cuales fueron determinados de la suma de los promedios por día, de los 15 días que se trabajo en este tren de tratamiento dando los siguientes:

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLOR RES.
AGUA CRUDA	8.32	417	55.73	0.42	0.228	0.00
AGUATRATADA	<b>7.13</b>	<b>18</b>	<b>1.19</b>	<b>0.07</b>	<b>0.041</b>	0.9
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	95.68	97.86	83.33	82.01	100.0

\* valor fuera de norma.

Como podrá observarse el color y la turbiedad del agua cruda aumentaron con respecto al tren de tratamiento anterior y el hierro y el manganeso se mantuvieron prácticamente igual.

En este tren los valores de color del agua cruda fluctuaron desde **163 a 1135** unidades de PtCo, el cual reflejo los valores altos en el último día de tratamiento. El color del agua tratada prácticamente se mantuvo en los límites de la norma a pesar de las variaciones drásticas.

En cuanto al pH en el agua cruda la tendencia fue hacia a la baja al final de este tren de tratamiento Y en agua filtrada los valores se mantuvieron en el promedio de **7.13** unidades.

La turbiedad en agua cruda tuvo la misma tendencia que el color y su variación estuvo de **2.80 a 422** unidades.

En cuanto a valores de Coliformes Fecales no se detectaron valores fuera de la norma ya que siempre se mantuvo un valor alto de cloro residual.

#### **Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>
AGUA CRUDA	165	82.96
AGUA TRATADA	40.26	20.13

En este tren de tratamiento el valor máximo de la DBO en una toma puntual fue de 153 ppm y el valor mínimo fue de 45.5 los cuales después del tratamiento se redujeron a 23.5 y 11.38 respectivamente.

Como podrá observarse los valores en agua cruda aumentaron con respecto al tren de tratamiento anterior.

Por lo que aquí se empieza a reflejar el efecto de las descargas residuales en el río Santiago y la falta de dilución por el periodo de estiaje.

#### **Análisis de metales pesados**

<b>PARAMETRO</b>	<b>ARSENICO</b>	<b>PLOMO</b>	<b>CADMIO</b>	<b>MERCURIO</b>	<b>ALUMINIO</b>
AGUA CRUDA	0.0150	0.0070	<0.0025	<0.0008	0.0984
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>0.0051</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0223</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	33.33	27.14	N/A	N/A	77.33

\*valor fuera de norma

En este período los valores de agua cruda de todos los metales estuvieron dentro o por bajo de la norma 127 exceptuando únicamente tres valores con respecto al plomo.

En agua tratada todos los valores estuvieron dentro de la norma 127 excepto un valor correspondiente al mercurio. Del día 7 marzo.

#### **Evaluación económica de la simulación.**

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

<b>Producto</b>	<b>Costo \$/Kg</b>	<b>Dosificación promedio ppm</b>
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Cloruro férrico	3.50	5.0 - 60.0
Cloro gas	6.00	1.0 - 15.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0

#### **Costo del tratamiento.**

<b>Producto</b>	<b>Gr/M<sup>3</sup></b>	<b>Costo/M<sup>3</sup></b>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Cloruro Férrico	80.0	0.28
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.449</b>

#### **ACCIONES.**

1. Continuar con la evaluación de este tren en los próximos meses de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde con el objeto de encontrar una buena relación de la mezcla con el Río Santiago.
3. Hacer pruebas, Cambiando la bomba de alimentación de agua a la margen derecha de río para comparar cambios en la calidad del agua de la margen izquierda.
4. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

#### **CONCLUSIONES.**

En general este tren de tratamiento, presenta una gran flexibilidad para su implementación a excepción por el uso del permanganato de potasio que requiere un mayor control y operación.

## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Cloruro férrico + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se arranco el día 16 de Agosto y se termino el día 31 del mismo mes, este tratamiento cuenta también con un nuevo proceso que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Cloruro Férrico como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante y el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de jarras.

Calidad del agua cruda:

Agosto 16 de 2004

pH	:	8.31	
Turbiedad	:	170.00	NTU
Color aparente	:	1305.00	Pt-Co
Color real	:	95.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	120.00	ppm
Hidroxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	120.00	ppm
Carbonatos	:	0.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	170.00	ppm.
Calcio como Ca	:	76.00	ppm.
Magnesio	:	94.00	ppm
Cloruros como Cl	:	20.00	ppm.
Sulfatos	:	28.00	ppm
Nitratos	:	1.95	ppm
Nitritos	:	0.06	ppm
Fosfatos	:	1.75	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	190.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	219.00	ppm
Sólidos totales	:	409.00	ppm
Conductividad	:	314.00	ppm
Temperatura	:	25.50	°C
Fierro	:	1.69	ppm
Manganeso	:	0.53	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.950	ppm



### Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	16 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	76 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	0.1	>5.0 mg/l
pH	5.49	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-149250	mg/l 4 -1 mg/l
Indice Langalier	-3.29	> 0
Indice Ryznar	12.08	< 6
Acides	223 mg/l	

#### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en el tren anterior, se toma como base el análisis de agua cruda anterior, y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH a valores promedio de 7.0, las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:  
Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lt. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.42
2	10.0	7.21
3	15.0	7.02
<b>4</b>	<b>20.0</b>	<b>7.00</b>
5	25.0	6.92
6	30.0	6.86

En base a los resultados anteriores, estamos considerando que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador donde se homogenizara la mezcla debido a la alta difusión del ácido y con un tiempo de retención de aproximadamente de 1.0 Hrs. nos permitirá estar en los valores de 7.0 a 7.2

## 2. Demanda de Cloro.

Esta se determino junto con la demanda de oxidante con el objeto de dosificar únicamente en un solo punto.

## 3. Demanda de oxidante.

Determinación de la demanda del oxidante con. Cloro (HTH al 65%)

Los análisis y las pruebas de jarra se realizaron en el campo bajo los siguientes parámetros:

Se selecciono que con una dosificación de Cloruro Férrico de 60.0 ppm conforme a los datos y comportamiento del agua, obtenidos en los meses de Octubre-Diciembre del 2003, la operación de la planta piloto fue aceptable y por lo tanto partimos nuestras pruebas de tratabilidad del agua bajo el mismo concepto, en este tren también se modificaran y/o adaptaran las dosificaciones durante los siguientes meses en función de la calidad del agua cruda.

Demanda de Cloro								
Reactivos			Agua Filtrada					
Jarra	Cl <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	Turbieda d NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	5.0	60.0	3.28	28	0.09	0.075	7.34	0.0
2	7.5	60.0	3.16	23	0.09	0.062	7.18	0.0
3	10.0	60.0	2.96	21	0.08	0.058	7.11	0.5
4	12.5	60.0	3.00	19	0.21	0.048	7.00	1.0
5	<b>15.0</b>	<b>60.0</b>	<b>2.94</b>	<b>19</b>	<b>0.04</b>	<b>0.002</b>	<b>6.98</b>	1.7
6	17.5	60.0	2.96	20	0.06	0.030	6.98	2.5

En base a los resultados obtenidos en nuestras pruebas, consideramos que la mejor jarra es la número cinco, con mejor remoción de hierro con 0.004 ppm. y manganeso con 0.002 ppm., por lo tanto, en principio estamos considerando que la demanda del Cloro es 15.0 ppm.

Se observa que con el uso del Cloruro Férrico, la reacción es muy rápida y se forma un floculo con un tamaño y peso adecuados para una buena sedimentación.

Los valores de Fe y Mn se mantienen constante y con valores muy bajos, lo que nos indica que La filtración es muy eficiente.

## 4. Demanda de Cloruro Férrico.

En este caso se tomaron las demandas de Cloro, Polímero y Acido sulfúrico para evaluar la demanda del Cloruro Férrico que se dosificará en la planta piloto de acuerdo con la calidad del agua cruda.

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Cloruro Férrico										
Jarra	Reactivos				Agua Filtrada					
	Cloro	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH	Cloro Res.
1	15	50	20.0	3.5	1.12	26	0.10	0.080	6.25	0.2
2	15	55	20.0	3.5	1.10	25	0.08	0.060	6.20	0.8
3	15	60	20.0	3.5	0.88	20	0.10	0.090	6.12	0.9
4	15	65	20.0	3.5	0.92	17	0.05	0.090	6.05	1.5
5	15	70	20.0	3.5	0.85	11	0.06	0.030	5.98	1.5
6	15	75	20.0	3.5	0.82	15	0.02	0.030	5.92	1.4

Los valores de fierro y manganeso en agua cruda aumentaron significativamente en relación con el tren de tratamiento anterior. Observándose que el uso del Cloruro Férrico en combinación con el cloro como oxidante son muy eficientes.

### 5. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
CLORO (HTH 65 %)	15
CLORURO FERRICO (43%)	60.0
PolidADMAC (40%)	3.5

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLOR RES.
AGUA CRUDA	8.45	1334	218.70	1.95	0.561	0.00
AGUATRATADA	7.08	17	1.16	0.10	0.040	0.6
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	98.72	99.46	94.87	92.86	100.0

\* valor fuera de norma.

En cuanto a valores de Coliformes Fecales no se detectaron valores fuera de la norma ya que siempre se mantuvo un valor alto de cloro residual.

#### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	69.5	34.75
AGUA TRATADA	17.0	8.50

#### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0479	0.0069	<0.0025	<0.0008	2.1478
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>.0040</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.1795</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	79.12	42.02	N/A	N/A	91.64

\*valor fuera de norma

En este periodo los valores de agua cruda de todos los metales estuvieron dentro o por bajo de la norma 127 exceptuando únicamente tres valores con respecto al plomo.

En agua tratada todos los valores estuvieron dentro de la norma 127 excepto un valor correspondiente al mercurio. Del día 7 marzo.

#### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Cloruro férrico	3.50	5.0 - 60.0
Cloro gas	6.00	1.0 - 15.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0

#### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Cloruro Férrico	60.0	0.21
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.379</b>

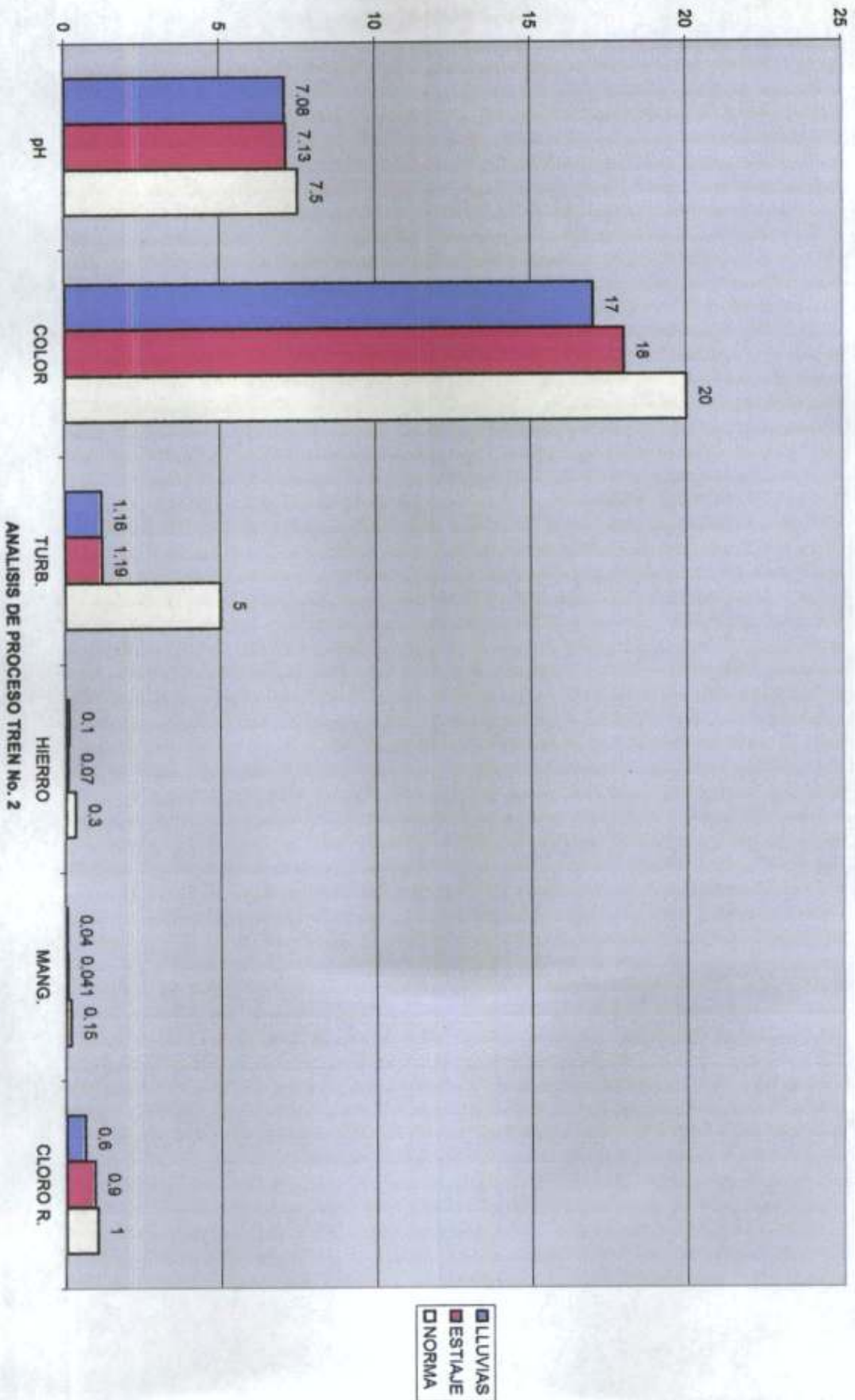
## **ACCIONES.**

1. Continuar con la evaluación de este tren en los próximos meses de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde con el objeto de encontrar una buena relación de la mezcla con el Río Santiago.
3. Hacer pruebas, Cambiando la bomba de alimentación de agua a la margen derecha de río para comparar cambios en la calidad del agua de la margen izquierda.
4. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

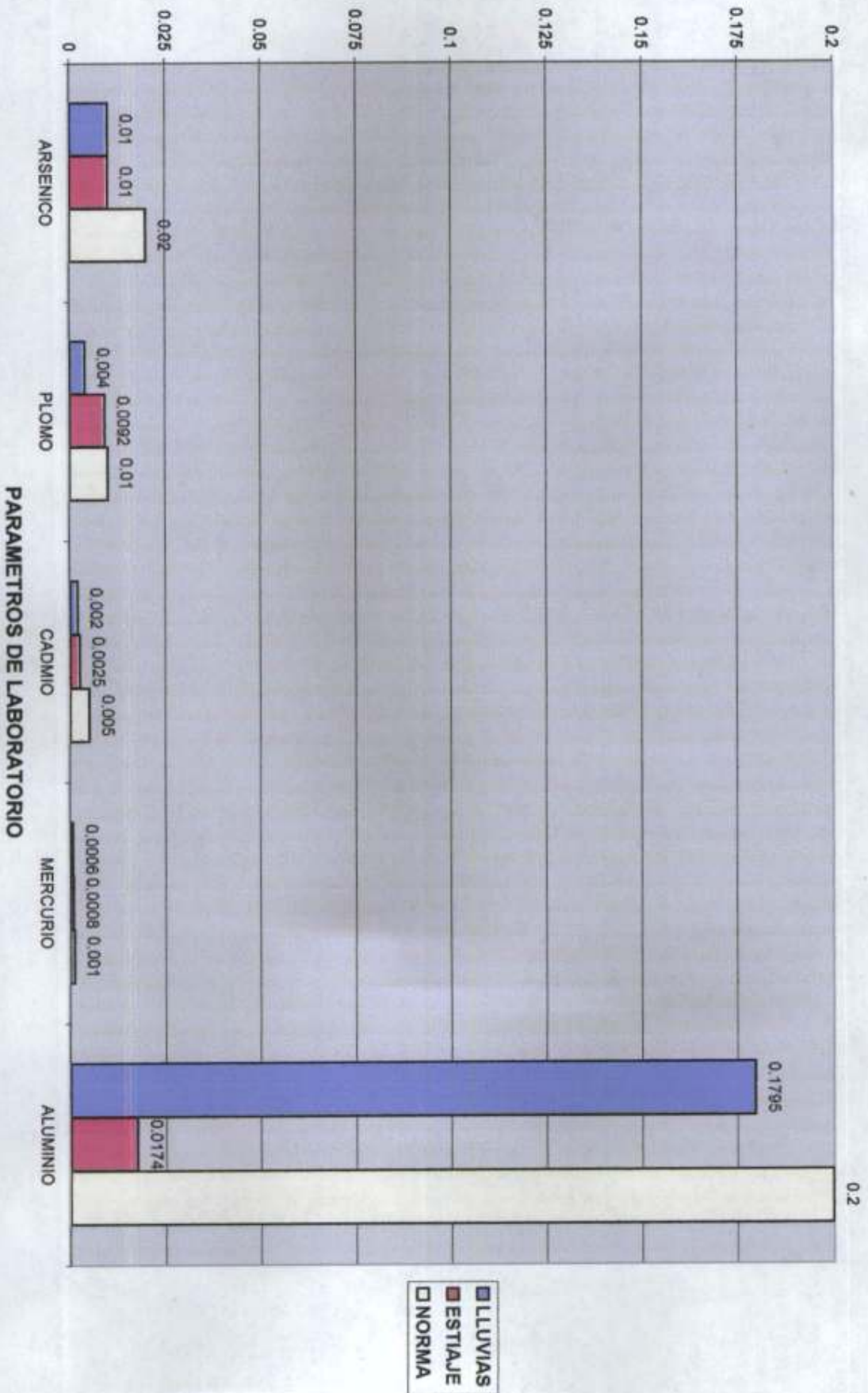
## **CONCLUSIONES.**

En general este tren de tratamiento, presenta una gran flexibilidad para su implementación a excepción por el uso del permanganato de potasio que requiere un mayor control y operación.

SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 2



## **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Cloruro férrico + Permanganato + Polímero + Cloro (como desinfectante).**

Este tren de tratamiento se arranco el día 16 de Marzo y se termino el día 31 de Marzo, el mismo también cuenta con un nuevo proceso que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Cloruro Férrico como coagulante primario, permanganato como oxidante, cloro como desinfectante y el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### **Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de Phipps & Bird.

Calidad del agua cruda:  
Marzo 17 de 2004

pH	:	7.86	
Turbiedad	:	167.00	NTU
Color aparente	:	1100.00	Pt-Co
Color real	:	65.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	264.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	264.00	ppm
Carbonatos	:	0.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	187.00	ppm.
Calcio como Ca	:	112.00	ppm.
Magnesio	:	75.00	ppm
Cloruros como Cl	:	61.00	ppm.
Sulfatos	:	58.00	ppm
Nitratos	:	1.18	ppm
Nitritos	:	0.76	ppm
Fosfatos	:	2.18	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	450.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	66.00	ppm
Sólidos totales	:	516.00	ppm
Conductividad	:	743.00	ppm
Temperatura	:	23.00	°C
Fierro	:	2.3	ppm
Manganeso	:	0.588	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.089	ppm



Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Tomando como base el programa RTW Modelo y al modelar el agua cruda especificada anteriormente nos permite utilizar las dosificaciones de 80 ppm de Cloruro Férrico y 20 ppm de Acido Sulfúrico para manejar un pH teórico de 6.44

En base a esto se procede a efectuar la demanda del acido sulfúrico de acuerdo con los siguientes tiempos de retención y gradientes.

Los tiempos y rev/min. son:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.20
2	10.0	7.11
3	15.0	6.92
4	20.0	6.90
5	25.0	6.00
6	30.0	5.92

Como se puede observar el ajuste de pH entre las dosificaciones de 15 y 20 ppm prácticamente se comportan casi igual por lo que con el objeto de continuar con el mismo control la dosificación de 20 ppm se continuara en este tren.

## 2. Demanda de Cloro.

Esta se determino una vez que el tratamiento de clarificación se efectuó y se dosifica en la entrada a la columna de green sand.

Las dosificaciones utilizadas para obtener un residual de cloro del orden de 2.0 a 7.0 ppm fueron las siguientes:

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	2.0	0.00
2	3.0	1.00
3	4.0	1.50
4	5.0	2.00
5	6.0	2.50
6	7.0	3.00

Como se puede observar en las prueba anterior se ve que hay una mayor demanda de cloro lo cual estamos considerando al aumento del color y la turbiedad del agua cruda.

Para continuar con el mismo criterio de desinfección con cloro y viendo que la jarra No 2 nos permite estar en el rango del residual requerido fue seleccionada para este tren.

Esta se determino junto con la demanda de oxidante con el objeto de dosificar únicamente en un solo punto.

## 3. Demanda de oxidante.

Determinación de la demanda del oxidante con KMnO<sub>4</sub>.

Los análisis y las pruebas de jarra se realizaron en el campo bajo los siguientes parámetros:

Se selecciono que con una dosificación de Cloruro Férrico 80 ppm conforme a los datos obtenidos del tren anterior, y por lo tanto el comportamiento de la planta piloto fue aceptable por lo que a partir de los resultados anteriores establecimos las siguientes condiciones para dicha demanda de oxidante.

Demanda de Permanganato de Potasio							
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada			
	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH
1	1	80.0	1.5	38	0.11	0.094	7.95
2	1.5	80.0	1.0	32	0.07	0.057	7.93
3	2.0	80.0	0.95	29	0.08	0.158	7.92
4	2.5	80.0	0.94	30	0.06	0.333	7.94
5	3.0	80.0	0.92	32	0.07	0.420	7.92
6	3.5	80.0	0.90	36	0.06	0.550	7.93

En base a los resultados obtenidos en estas pruebas, observamos que las jarras dos tres y cuatro prácticamente se comportan en forma similar por lo que a continuación manejaremos esta demanda con el ajuste de pH agregando 20 ppm de Acido Sulfúrico a cada una de las jarras.

#### 4. Demanda de oxidante con ajuste de pH de 7.0

Observando los resultados anteriores a continuación procedimos a determinar dicha demanda con la misma calidad de agua cruda.

Demanda de Permanganato de Potasio con Ajuste de pH								
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Turbiedad NTU	Color Co-Pt	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	1	80.0	20	1.1	20	0.05	0.066	7.02
2	1.5	80.0	20	1.0	18	0.00	0.065	6.98
3	2.0	80.0	20	0.94	19	0.02	0.105	7.0
4	2.5	80.0	20	0.92	22	0.07	0.333	7.10
5	3.0	80.0	20	1.00	23	0.05	0.551	6.90
6	3.5	80.0	20	0.99	22	0.04	0.600	7.05

En estas pruebas se puede ver que el efecto del acido sulfúrico en la calidad del agua cruda es directamente proporcional a las remociones del color el cual es y continuara siendo nuestro factor limitante.

Por lo que se decidió que la jarra número dos con las dosificaciones seleccionadas es la que se adecua más a este tren de tratamiento.

Los valores de Fe y Mn se mantuvieron en un nivel muy bajo, prácticamente igual que en la tabla anterior.

Optimización del Permanganato de Potasio con Acido Sulfúrico				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Fe	Mn
1	1.0	20.0	0.05	0.069
<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>20.0</b>	<b>0.04</b>	<b>0.068</b>
3	2.0	20.0	0.04	0.100

Se determina que la demanda de KMnO<sub>4</sub> con una dosificación de 1.5 ppm con un ajuste en el pH, se obtienen valores de hierro y manganeso bastante aceptables como lo muestra la jarra número dos, con mejores remociones.

Se observa que la jarra número tres en el valor correspondiente al manganeso adquiere un valor mayor que en la jarra número dos, esto se explica ha que con esta dosificación se detecta una fuga en el exceso del permanganato de potasio.

#### 5. Demanda de polímero con el KMnO<sub>4</sub>

El polímero empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 80.0 ppm de Cloruro Ferrico.

Calidad del agua cruda :

Temperatura : 23.00 °C  
 pH : 7.86  
 Turbiedad : 167.00 UTN.  
 Color aparente :1100.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 264.00 ppm.  
 Hierro : 2.30 ppm.  
 Manganeso : 0.588 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Jarra	Reactivos				Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH
1	1.5	80	20.0	2.0	1.1	23	0.05	0.05	6.96
2	1.5	80	20.0	2.5	1.02	21	0.03	0.03	6.84
3	1.5	80	20.0	3.0	0.95	18	0.02	0.02	6.82
<b>4</b>	<b>1.5</b>	<b>80</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.92</b>	<b>18</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>6.79</b>
5	1.5	80	20.0	4.0	0.90	17	0.03	0.02	6.85
6	1.5	80	20.0	4.5	0.93	16	0.01	0.00	6.99

De acuerdo con la tabla anterior, se selecciono la jarra número cuatro, conforme a los valores de remoción en general.

Con la información anterior y la optimización del polímero en los trenes anteriores se determino que la demanda de este fluctúa entre 3.0 y 3.5 ppm para estos tratamientos.

#### 6. Demanda de Cloruro Férrico.

En este caso se tomaron las demandas de Cloro, Polímero y Acido sulfúrico para evaluar la demanda del Cloruro Férrico que se dosificará en la planta piloto de acuerdo con la calidad del agua cruda

Calidad del agua cruda:

Marzo 17 de 2004

pH : 7.86  
 Turbiedad : 167.00 NTU  
 Color aparente : 1100.00 Pt-Co  
 Color real : 65.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 264.00 ppm  
 Hidroxidos : 0.00 ppm  
 Bicarbonatos : 264.00 ppm  
 Carbonatos : 0.00 ppm  
 Dureza total como CaCO<sub>3</sub> : 187.00 ppm.  
 Calcio como Ca : 112.00 ppm.  
 Magnesio : 75.00 ppm

Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	61.00	ppm.
Sulfatos	:	58.00	ppm
Nitratos	:	1.18	ppm
Nitritos	:	0.76	ppm
Fosfatos	:	2.18	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	450.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	66.00	ppm
Sólidos totales	:	516.00	ppm
Conductividad	:	743.00	ppm
Temperatura	:	23.00	°C
Fierro	:	2.3	ppm
Manganeso	:	0.588	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.089	ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Cloruro Férrico									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	60	20.0	3.5	1.15	23.0	0.021	0.03	7.15
2	1.5	70	20.0	3.5	1.10	19.0	0.056	0.04	7.1
<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>80</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.98</b>	<b>17.0</b>	<b>0.025</b>	<b>0.01</b>	<b>7.0</b>
4	1.5	90	20.0	3.5	0.96	15.0	0.030	0.02	6.2
5	1.5	100	20.0	3.5	9.98	10.0	0.021	0.027	5.8
6	1.5	110	20.0	3.5	0.88	11.0	0.016	0.011	5.79

## 7. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO (99.9%)	1.5
CLORURO FERRICO (43%)	80.0
PolidADMAC (40%)	3.5
CLORO (HTH 65 %)	3.0

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.33	1124	171.30	0.51	0.201	0.00
AGUATRATADA	7.13	17	1.12	0.09	0.055	0.9
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	98.48	99.34	82.35	72.63	100.0

\* valor fuera de norma.

Como podrá observarse el color y la turbiedad del agua cruda aumentaron con respecto al tren de tratamiento anterior y el hierro y el manganeso se mantuvieron prácticamente igual.

En este tren los valores de color del agua cruda fluctuaron desde **163 a 1135** unidades de PtCo, el cual refleja los valores altos en el último día de tratamiento. El color del agua tratada prácticamente se mantuvo en los límites de la norma a pesar de las variaciones drásticas.

En cuanto al pH en el agua cruda la tendencia fue hacia a la baja al final de este tren de tratamiento Y en agua filtrada los valores se mantuvieron en el promedio de **7.13** unidades.

La turbiedad en agua cruda tuvo la misma tendencia que el color y su variación estuvo de **2.80 a 422** unidades.

En cuanto a valores de Coliformes Fecales no se detectaron valores fuera de la norma ya que siempre se mantuvo un valor alto de cloro residual.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	207.68	103.84
AGUA TRATADA	43.75	21.87

En este tren de tratamiento el valor máximo de la DBO en una toma puntual fue de **369.00** ppm y el valor mínimo fue de **41.00** los cuales después del tratamiento se redujeron a **47.5** y **12.50** respectivamente.

Como en el tren anterior se observa que estos valores van en aumento, conforme avanza el periodo de estiaje.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0150	0.0095	<0.0025	<0.0008	0.1594
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>0.0028</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0175</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	33.33	70.52	N/A	N/A	89.02

\*valor fuera de norma

En este período los valores de agua cruda de todos los metales estuvieron dentro o por bajo de la norma NOM127 exceptuando únicamente tres valores con respecto al plomo.

En agua tratada todos los valores estuvieron dentro de la norma 127 excepto un valor correspondiente al mercurio. Del día 7 marzo.

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos a granel, así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en este tren.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Cloruro ferrico	3.50	5.0 - 60.0
Cloro gas	6.00	1.0 - 15.0
Permanganato de potasio	35.00	0.5 - 5.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Cloruro Férrico	80.0	0.28
Polímero	3.5	0.035
Permanganato de potasio	1.5	0.0525
Cloro	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.4295</b>



## **ACCIONES.**

1. Continuar con la segunda evaluación de este tren en los próximos meses en el periodo de lluvias de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde, con el objeto de comparar la eficiencia con relación a la mezcla con el Río Santiago.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

## **CONCLUSIONES.**

En general este tren de tratamiento, también presenta una gran flexibilidad para su implementación con la dificultad en la operación por el uso del permanganato de potasio, que requiere un mayor control en su aplicación y dosificación en la planta.

### **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Cloruro férrico + Permanganato + Polímero + Cloro (como desinfectante).**

Este tren de tratamiento se arranco el día 01 de Septiembre y se termino el día 31, como en los demás casos este también cuenta con un nuevo proceso que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Cloruro Férrico como coagulante primario, permanganato como oxidante, cloro como desinfectante y el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### **Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de Phipps & Bird.

Calidad del agua cruda:  
Septiembre 01 de 2004

pH	:	9.14	
Turbiedad	:	187.00	NTU
Color aparente	:	1525.00	Pt-Co
Color real	:	114.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	116.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	116.00	ppm
Carbonatos	:	20.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	156.00	ppm.
Calcio como Ca	:	84.00	ppm.
Magnesio	:	72.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	20.00	ppm.
Sulfatos	:	22.00	ppm
Nitratos	:	1.80	ppm
Nitritos	:	0.18	ppm
Fosfatos	:	1.40	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	180.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	478.00	ppm
Sólidos totales	:	658.00	ppm
Conductividad	:	297.00	ppm
Temperatura	:	25.70	°C
Fierro	:	2.22	ppm
Manganeso	:	0.430	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.439	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

### Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	29 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	84 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	0.3	>5.0 mg/l
pH	5.87	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-33379	mg/l 4 -1 mg/l
Indice Langalier	-2.60	> 0
Indice Ryznar	11.07	< 6
Acides	185 mg/l	

### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Tomando como base el programa RTW Modelo y al modelar el agua cruda especificada anteriormente nos permite utilizar las dosificaciones de 60 ppm de Cloruro Férrico y 20 ppm de Acido Sulfúrico para manejar un pH promedio de 7.12

En base a esto se procede a efectuar la demanda del acido sulfúrico de acuerdo con los siguientes tiempos de retención y gradientes.

Los tiempos y rev/min. son:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.70
2	10.0	7.31
3	15.0	7.21
4	20.0	7.0
5	25.0	6.90
6	30.0	6.0

Nuevamente se puede observar que el ajuste de pH entre las dosificaciones de 10 y 20 ppm prácticamente se comportan casi igual por lo que con el objeto de continuar con el mismo control la dosificación de 20 ppm se continuara en este tren.

## 2. Demanda de Cloro.

Esta se determinó una vez que el tratamiento de clarificación se efectuó y se cambio la dosificación en la entrada a la columna de antracita con el objeto de mantener un mayor tiempo de retención.

Las dosificaciones utilizadas para obtener un residual de cloro del orden de 2.0 a 7.0 ppm fueron las siguientes:

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	2.0	0.00
2	3.0	0.60
3	4.0	1.00
4	5.0	1.60
5	6.0	2.00
6	7.0	2.70

Como se puede observar en la prueba anterior se ve que hay una mayor demanda de cloro la cual se genera por la materia orgánica presente en el agua cruda.

Para continuar con el mismo criterio de desinfección con cloro y viendo que la jarra No 2 nos permite estar en el rango del residual requerido fue seleccionada para este tren.

## 3. Demanda de oxidante con ajuste de pH.

Observando los resultados anteriores a continuación procedimos a determinar dicha demanda con la misma calidad de agua cruda.

Demanda de Permanganato de Potasio con Ajuste de pH								
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Turbiedad NTU	Color Co-Pt	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	1	60.0	20	1.8	26	0.21	0.087	7.7
2	1.5	60.0	20	1.4	19	0.16	0.046	7.2
3	2.0	60.0	20	1.5	21	0.11	0.058	7.2
4	2.5	60.0	20	1.0	23	0.11	0.098	7.0
5	3.0	60.0	20	0.9	26	0.09	0.330	7.04
6	3.5	60.0	20	0.9	25	0.08	0.410	7.1

En estas pruebas se puede ver que el efecto del permanganato en la calidad del agua tratada al aumentar la dosificación impacta a los resultados del color. Por lo que se decidió que la jarra número dos con las dosificaciones seleccionadas es la que se adecua más a este tren de tratamiento.

#### 4. Demanda de polímero.

El polímero empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Cloruro Ferrico.

Calidad del agua cruda :

Temperatura : 25.70 °C  
 pH : 9.14  
 Turbiedad : 187.00 UTN.  
 Color aparente : 1525.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 116.00 ppm.  
 Hierro : 2.22 ppm.  
 Manganeso : 0.430 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Jarra	Reactivos				Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH
1	1.5	60	20.0	2.0	1.1	23	0.05	0.05	6.96
2	1.5	60	20.0	2.5	1.02	21	0.03	0.03	6.84
3	1.5	60	20.0	3.0	0.95	18	0.02	0.02	6.82
<b>4</b>	<b>1.5</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.92</b>	<b>18</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>6.79</b>
5	1.5	60	20.0	4.0	0.90	17	0.03	0.02	6.85
6	1.5	60	20.0	4.5	0.93	16	0.01	0.00	6.99

De acuerdo con la tabla anterior, se selecciono la jarra número cuatro, conforme a los valores de remoción en general.

Con la información anterior y la optimización del polímero en los trenes anteriores se determino que la demanda de este fluctúa entre 3.0 y 3.5 ppm para estos tratamientos.

## 5. Demanda de Cloruro Férrico.

En este caso se tomaron las demandas de Cloro, Polímero y Acido sulfúrico para evaluar la demanda del Cloruro Férrico que se dosificará en la planta piloto de acuerdo con la calidad del agua cruda

Calidad del agua cruda:

pH	:	9.14
Turbiedad	:	187.00 NTU
Color aparente	:	1525.00 Pt-Co
Color real	:	114.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	116.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	116.00 ppm
Carbonatos	:	20.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	156.00 ppm.
Calcio como Ca	:	84.00 ppm.
Magnesio	:	72.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	20.00 ppm.
Sulfatos	:	22.00 ppm
Nitratos	:	1.80 ppm
Nitritos	:	0.18 ppm
Fosfatos	:	1.40 ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	180.00 ppm
Sólidos Suspendidos	:	478.00 ppm
Sólidos totales	:	658.00 ppm
Conductividad	:	297.00 ppm
Temperatura	:	25.70 °C
Fierro	:	2.22 ppm
Manganeso	:	0.430 ppm
Cobre	:	0.00 ppm
Aluminio	:	0.439 ppm

Demanda de Cloruro Férrico									
Jarra	Reactivos				Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Fe Cl <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	40	20.0	3.5	1.11	22.0	0.031	0.031	7.65
2	1.5	50	20.0	3.5	1.09	21.0	0.072	0.053	7.30
<b>3</b>	<b>1.5</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>1.00</b>	<b>19.0</b>	<b>0.021</b>	<b>0.014</b>	<b>7.20</b>
4	1.5	70	20.0	3.5	0.98	16.0	0.036	0.032	6.90
5	1.5	80	20.0	3.5	9.98	14.0	0.022	0.024	6.70
6	1.5	90	20.0	3.5	0.89	12.0	0.020	0.012	6.21

## 6. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO (99.9%)	1.5
CLORURO FERRICO (43%)	60.0
PolidADMAC (40%)	3.5
CLORO (HTH 65 %)	3.0

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.37	1559	262.28	1.63	0.591	0.00
AGUATRATADA	<b>7.10</b>	<b>18</b>	<b>1.29</b>	<b>0.06</b>	<b>0.040</b>	0.6
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	98.84	99.50	96.31	93.23	100.0

\* valor fuera de norma.

Los valores obtenidos son bastante buenos como lo demuestran las remociones tan altas.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	112.46	61.23
AGUA TRATADA	12.73	6.36

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0433	0.0124	<0.0025	<0.0008	0.6333
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>.0040</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0892</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	76.90	67.74	N/A	N/A	85.91

\*valor fuera de norma

En este período los valores de agua cruda de todos los metales estuvieron dentro o por bajo de la norma NOM127 exceptuando únicamente tres valores con respecto al plomo.

En agua tratada todos los valores estuvieron dentro de la norma 127 excepto un valor correspondiente al mercurio. Del día 7 marzo.

#### **Evaluación económica de la simulación.**

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos a granel, así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en este tren.

<b>Producto</b>	<b>Costo \$/Kg</b>	<b>Dosificación promedio ppm</b>
Acido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Cloruro ferrico	3.50	5.0 - 60.0
Cloro gas	6.00	1.0 - 15.0
Permanganato de potasio	35.00	0.5 - 5.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0

#### **Costo del tratamiento.**

<b>Producto</b>	<b>Gr/M<sup>3</sup></b>	<b>Costo/M<sup>3</sup></b>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Cloruro Férrico	60.0	0.21
Polímero	3.5	0.035
Permanganato de potasio	1.5	0.0525
Cloro	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.3595</b>

#### **ACCIONES.**

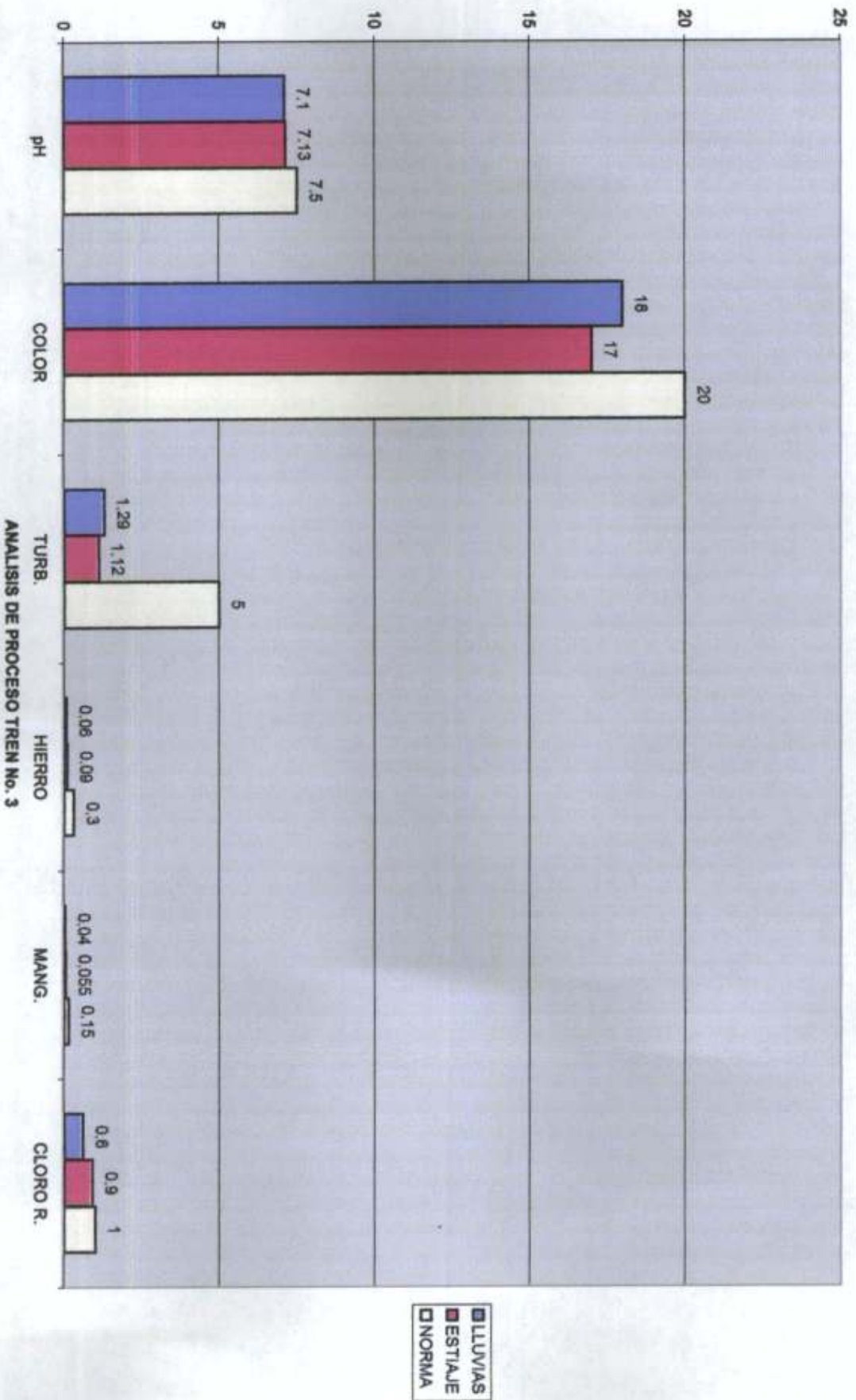
1. Continuar con la segunda evaluación de este tren en los próximos meses en el periodo de lluvias de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde, con el objeto de comparar la eficiencia con relación a la mezcla con el Río Santiago.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

#### **CONCLUSIONES.**

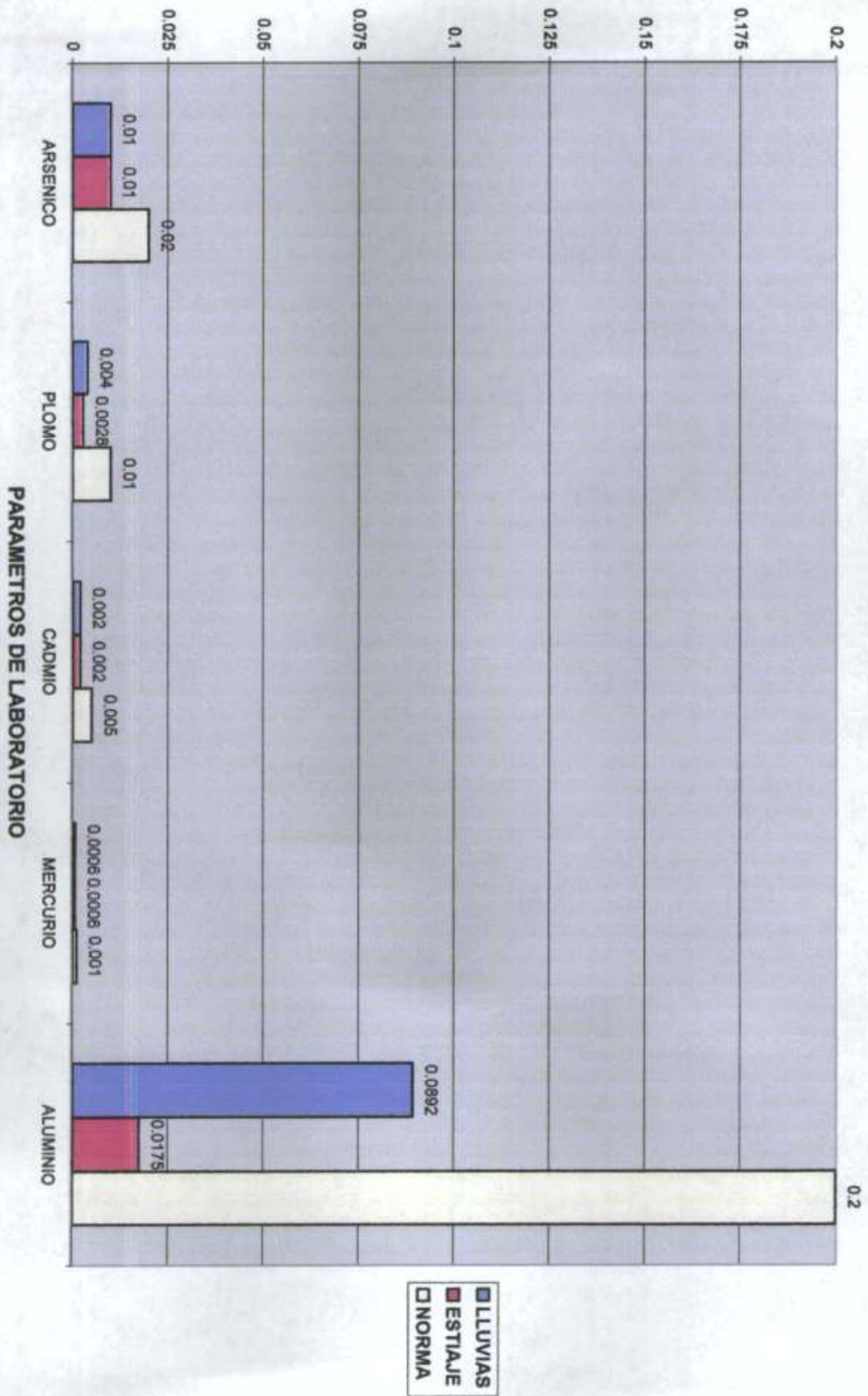
En general este tren de tratamiento, también presenta una gran flexibilidad para su implementación con la dificultad en la operación por el uso del permanganato de potasio, que requiere un mayor control en su aplicación y dosificación en la planta.



SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN NO. 3



## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Sulfato de Aluminio + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 01 de Abril y se termino el día 15 del mismo mes, con la variante de un nuevo proceso de tratamiento, que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Sulfato de Aluminio como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante, el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad.

Calidad del agua cruda:  
Abril 06 de 2004

pH	:	8.88	
Turbiedad	:	92.00	NTU
Color aparente	:	678.00	Pt-Co
Color real	:	102.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	324.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	324.00	ppm
Carbonatos	:	16.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	205.00	ppm.
Calcio como Ca	:	120.00	ppm.
Magnesio	:	85.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	80.00	ppm.
Sulfatos	:	88.00	ppm
Nitratos	:	0.480	ppm
Nitritos	:	0.086	ppm
Fosfatos	:	0.075	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	280.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	37.00	ppm
Sólidos totales	:	317.00	ppm
Conductividad	:	462.00	ppm
Temperatura	:	27.00	°C
Fierro	:	0.79	ppm
Manganeso	:	0.189	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.089	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en los trenes anteriores se Tomo como base el análisis de agua cruda anterior y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH a valores promedio de 7.0, las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.92
2	10.0	7.84
3	15.0	7.62
4	20.0	7.48
5	25.0	7.23
6	30.0	7.12

Los resultados anteriores, muestran que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador tiene un valor de 7.48. Con el objetivo de continuar con la evaluación de una dosificación constante para evitar cambios en los trenes de tratamiento se opta por la misma dosificación.

Así mismo, con el uso del sulfato de aluminio se esta estimando una reducción en el pH que nos permita estar en valores dentro de 6.8 a 7.2.

### 2. Demanda de Cloro (para desinfección).

Como en los demás trenes donde se utiliza el cloro como oxidante, la demanda de cloro para desinfección aplicada antes de la columna de green sand para obtener residuales entre 1.5 y 2.0 ppm prácticamente depende de la carga orgánica presente en el agua cruda.

Para tal efecto se utiliza el agua previamente tratada por el proceso de clarificación que opera la planta piloto.

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	0.5	0.00
2	1.0	0.18
3	1.5	0.29
4	2.0	0.52
5	2.5	1.00
6	3.0	1.60

Nuevamente se obtiene que con una dosificación de 3.0 ppm de cloro en las jarras se cumpla con la condición de cloro residual.

La mejor jarra para este proceso se determino en función del residual de cloro y por lo tanto se selecciono la jarra numero 6.

### 3. Demanda de oxidante.

Determinación de la demanda del oxidante.

Los análisis y las pruebas de jarra se realizaron en el campo bajo los siguientes parámetros:

Tomando en consideración que en el tren de tratamiento numero uno, se utilizaron 80.0 ppm de sulfato de aluminio se continua con esta dosificación con el fin de evaluar las demandas de los productos químicos para los diferentes periodos del año.

Demanda de Cloro								
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada				
	Cl <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	5.0	80.0	2.28	48	0.39	0.115	7.96	0.0
2	7.5	80.0	2.10	45	0.29	0.110	7.84	0.05
3	10.0	80.0	1.95	41	0.23	0.100	7.42	0.25
4	12.5	80.0	1.92	39	0.12	0.098	7.40	0.60
5	15.0	80.0	1.82	37	0.08	0.060	7.20	1.00
6	17.5	80.0	1.83	36	0.07	0.061	7.2	1.5

En base a los resultados obtenidos en nuestras pruebas, consideramos que la mejor jarra es la número cinco, con mejor remoción de hierro con 0.08 ppm. y manganeso con 0.060 ppm., por lo tanto, y a fin de continuar con la misma estrategia de dosificaciones similares para todos los trenes de tratamiento, estamos considerando que la demanda sea de 15 ppm. Prácticamente para todos, los casos, exceptuando las etapas críticas de los diferentes periodos.

#### 4. Demanda de oxidante con ajuste de pH de 7.0

La calidad del agua cruda es igual por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.

Demanda de Cloro con ajuste de pH									
Reactivos				Agua Filtrada					
Jarra	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	20	5.0	80.0	1.23	21	0.24	0.09	7.34	0.7
2	20	7.5	80.0	1.12	18	0.12	0.07	7.20	1.2
3	20	10.0	80.0	1.10	19	0.10	0.05	7.0	1.5
4	20	12.5	80.0	1.05	18	0.07	0.05	6.92	2.0
5	20	15.0	80.0	0.96	17	0.05	0.02	7.10	2.5
6	20	17.5	80.0	0.95	17	0.05	0.03	6.94	3.5

La demanda de Cloro prácticamente se mantiene en los mismos niveles aun cuando las condiciones del agua cruda tienden a incrementar sus concentraciones en los diferentes elementos.

Por los datos obtenidos en las pruebas anteriores, consideramos que la demanda optima para el cloro es la de 15.0 ppm como lo demuestra la jarra numero 5 por su mejor remoción del color.

#### 5. Demanda de polímetro con el Cloro.

El polímetro empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 80.0 ppm de Sulfato de Aluminio y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y el Cloro.

Calidad del agua cruda :

Temperatura : 27.00 °C  
pH : 8.88  
Turbiedad : 92.00 UTN.  
Color aparente : 678.00 Pt-Co  
Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 324.00 ppm.  
Hierro : 0.79 ppm.  
Manganeso : 0.135 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

Se observa que la calidad de agua, prácticamente en todas la pruebas anteriores, está dentro de normas, pero el floculo es muy pequeño y esponjoso, por lo que requiere un floculante como ayuda de filtración, para evitar que el floculo no sea filtrable, a la hora de implementar en la planta el tratamiento.

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S O <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	80	20.0	2.0	1.8	20	0.10	0.065	7.19
2	15	80	20.0	2.5	1.2	19	0.08	0.054	7.20
3	15	80	20.0	3.0	1.3	20	0.062	0.045	7.00
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>1.0</b>	<b>18</b>	<b>0.044</b>	<b>0.042</b>	<b>6.92</b>
5	15	80	20.0	4.0	0.8	19	0.038	0.023	6.87
6	15	80	20.0	4.5	0.8	18	0.00	0.01	6.90

Se determino que la jarra numero cuatro esta dentro de nuestra expectativa de tratamiento para ser implementada en la planta piloto, con e fin de evitar cambios bruscos en las dosificaciones de los reactivos y principalmente encontrar adecuar la mejor calidad de agua.

#### 6.- Demanda de sulfato de aluminio.

Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.

pH : 8.88  
 Turbiedad : 92.00 NTU  
 Color aparente : 678.00 Pt-Co  
 Color real : 102.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 324.00 ppm  
 Hidróxidos : 0.00 ppm  
 Bicarbonatos : 324.00 ppm  
 Carbonatos : 16.00 ppm

Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	: 205.00 ppm.
Calcio como Ca	: 120.00 ppm.
Magnesio	: 85.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	: 80.00 ppm.
Sulfatos	: 88.00 ppm
Nitratos	: 0.480 ppm
Nitritos	: 0.086 ppm
Fosfatos	: 0.075 ppm
Sólidos Totales Disueltos	: 280.00 ppm
Sólidos Suspendidos	: 37.00 ppm
Sólidos totales	: 317.00 ppm
Conductividad	: 462.00 ppm
Temperatura	: 27.00 °C
Hierro	: 0.79 ppm
Manganeso	: 0.189 ppm
Cobre	: 0.00 ppm
Aluminio	: 0.089 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Sulfato de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	60	20.0	3.5	0.98	19.0	0.033	0.03	7.1
2	15	70	20.0	3.5	0.78	18.0	0.024	0.023	7.1
3	15	<b>80</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.80</b>	<b>15.0</b>	<b>0.012</b>	<b>0.00</b>	<b>7.1</b>
4	15	90	20.0	3.5	0.76	15.0	0.023	0.02	7.0
5	15	100	20.0	3.5	0.67	11.0	0.031	0.021	6.9
6	15	110	20.0	3.5	0.64	13.0	0.011	0.011	6.5

En esta tabla se observa, que los valores de color aun con el ajuste de pH y aumentando la dosificación del sulfato de aluminio no varían significativamente, lo que puede indicar un agotamiento de la alcalinidad. Esto nos indica que con una dosificación entre 60 y 80 ppm la planta piloto tiene la capacidad de tratar esta calidad de agua.



## 7. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
COLOR(HTH 65%)	15.0
SULFATO DE ALUMINIO (7.5%)	80.0
PolidADMAC (40%)	3.5

**NOTA:** Durante los días que opero este tren de tratamiento, en ciertas ocasiones se ajusto la dosificación del Sulfato de Aluminio tomando como base los valores que reflejaban las pruebas de jarra y el efluente que se genera antes de entrar al floculador a través de la válvula de muestreo instalada en línea en la misma planta piloto, con el objeto de evaluar el tratamiento esperado.

Con el fin de dar continuidad a los reportes y presentaciones que se han generado en los meses anteriores, el formato para este objetivo sigue siendo el mismo, por lo que los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla los cuales fueron determinados de la suma de los promedios por día, de los 14 días que se trabajo en este tren de tratamiento dando los siguientes:

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLORO RES.
AGUA CRUDA	7.99	454	52.86	0.40	0.182	0.00
AGUATRATADA	<b>6.52</b>	<b>15.0</b>	<b>0.84</b>	<b>0.05</b>	<b>0.031</b>	0.72
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	96.69	98.41	87.50	82.96	100.0

\* valor fuera de norma.

Este tren de tratamiento se caracterizó por ser muy estable con una operación muy práctica y un fácil manejo de la preparación y aplicación de los reactivos

Se observa que los pH del agua cruda se mantuvieron principalmente por el lado alcalino ya que sus valores fluctuaron de 9.64 a 7.94 por lo que se tuvo una mayor atención en el ajuste con el ácido sulfúrico.

En cuanto a los valores de color, estos estuvieron por encima de su punto óptimo de tratamiento tradicional, por lo que fue necesario el controlar constantemente los ajuste requeridos en la planta piloto para obtener resultados adecuados.

La carga orgánica que se presentó en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

#### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	275.53	137.76
AGUA TRATADA	35.86	17.93

Los valores que presentó el agua cruda, fueron muy por arriba de los determinados en los trenes anteriores por lo que se refleja en el valor del agua tratada, aun cuando se aumentó el número de orificios en el aereador para pulverizar una mayor cantidad de agua.

Se observa que esta alta carga orgánica proviene principalmente del Río Santiago y seguramente esta son ocasionadas por las descargas residuales, ya que el Río Verde no presenta ningún valor extremadamente alto.

Lo anterior nuevamente refleja que en el estiaje la concentración de los elementos aumenta considerablemente en el Río Santiago afectando directamente en la calidad del agua de la mezcla en el sitio Arcediano.

#### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0175	0.0046	<0.0025	<0.0008	0.1608
AGUA TRATADA	<b>0.0118</b>	<b>0.0020</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0522</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	32.57	56.52	N/A	N/A	67.53

\*valor fuera de norma

Aun cuando incidió el estiaje en la calidad de agua cruda, los resultados de los análisis sobre los metales pesados, no reflejan un alto impacto en el aumento de las concentraciones.

Lo anterior puede explicarse a que en las descargas residuales no contienen una alta concentración en cuanto a estos elementos ó requieren de muy poca dilución.

#### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se operó en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Sulfato de Aluminio Líquido	1.50	15.0 - 120.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Sulfato de Aluminio	80.0	0.120
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.289</b>

### ACCIONES.

1. Continuar con la evaluación de este tren en el periodo de lluvias y comparar con el actual para evaluar sus diferencias, en cuanto a calidad y costo.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar estos tratamientos con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

### CONCLUSIONES.

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y sulfato de aluminio ajustando el pH es el que se adecua más a los valores de calidad del agua dentro de la norma NOM127.

## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Sulfato de Aluminio + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 16 de Septiembre y se termino el día 30 del mismo mes, con la variante de un nuevo proceso de tratamiento, que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersion por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Sulfato de Aluminio como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante, el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad.

Calidad del agua cruda:  
Septiembre 16 de 2004

pH	:	8.51
Turbiedad	:	54.00 NTU
Color aparente	:	424.00 Pt-Co
Color real	:	68.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	164.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	164.00 ppm
Carbonatos	:	4.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	168.00 ppm.
Calcio como Ca	:	100.00 ppm.
Magnesio	:	68.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	36.00 ppm.
Sulfatos	:	42.00 ppm
Nitratos	:	1.950 ppm
Nitritos	:	0.051 ppm
Fosfatos	:	0.091 ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	220.00 ppm
Sólidos Suspendidos	:	36.00 ppm
Sólidos totales	:	256.00 ppm
Conductividad	:	363.00 ppm
Temperatura	:	27.30 °C
Fierro	:	0.90 ppm
Manganeso	:	0.266 ppm
Cobre	:	0.00 ppm
Aluminio	:	0.850 ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación : 15 minutos a 30 RPM.

### Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	88 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	100 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	0.6	>5.0 mg/l
pH	6.437	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-3192 mg/l	4 -1 mg/l
Índice Langalier	-1.52	> 0
Índice Ryznar	9.40	< 6
Acides	234 mg/l	

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación : 15 minutos a 30 RPM.

### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en los trenes anteriores se Tomo como base el análisis de agua cruda anterior y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH a valores promedio de 7.0, las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lt. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.92
2	10.0	7.84
3	15.0	7.62
4	20.0	7.48
5	25.0	7.23
6	30.0	7.12

Los resultados anteriores, muestran que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador tiene un valor de 7.48. Con el objetivo de continuar con la evaluación de una dosificación constante para evitar cambios en los trenes de tratamiento se opta por la misma dosificación.

Así mismo, con el uso del sulfato de aluminio se esta estimando una reducción en el pH que nos permita estar en valores dentro de 6.8 a 7.2.

## 2. Demanda de Cloro (para desinfección).

Como en los demás trenes donde se utiliza el cloro como oxidante, la demanda de cloro para desinfección aplicada antes de la columna de green sand para obtener residuales entre 1.5 y 2.0 ppm prácticamente depende de la carga orgánica presente en el agua cruda.

Para tal efecto se utiliza el agua previamente tratada por el proceso de clarificación que opera la planta piloto.

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	0.5	0.00
2	1.0	0.18
3	1.5	0.29
4	2.0	0.52
5	2.5	1.00
6	3.0	1.60

Nuevamente se obtiene que con una dosificación de 3.0 ppm de cloro en las jarras se cumple con la condición de cloro residual.

La mejor jarra para este proceso se determino en función del residual de cloro y por lo tanto se selecciono la jarra numero 6.

## 3. Demanda de oxidante.

## 4. Demanda de oxidante con ajuste de pH de 7.0

La calidad del agua cruda es igual por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.

Demanda de Cloro con ajuste de pH									
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada					
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	20	5.0	60.0	1.23	21	0.24	0.09	7.34	0.7
2	20	7.5	60.0	1.12	18	0.12	0.07	7.20	1.2
3	20	10.0	60.0	1.10	19	0.10	0.05	7.0	1.5
4	20	12.5	60.0	1.05	18	0.07	0.05	6.92	2.0
5	20	15.0	60.0	0.96	17	0.05	0.02	7.10	2.5
6	20	17.5	60.0	0.95	17	0.05	0.03	6.94	3.5

La demanda de Cloro prácticamente se mantiene en los mismos niveles aun cuando las condiciones del agua cruda tienden a incrementar sus concentraciones en los diferentes elementos.

Por los datos obtenidos en las pruebas anteriores, consideramos que la demanda optima para el cloro es la de 15.0 ppm como lo demuestra la jarra numero 5 por su mejor remoción del color.

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S O <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	80	20.0	2.0	1.8	20	0.10	0.065	7.19
2	15	80	20.0	2.5	1.2	19	0.08	0.054	7.20
3	15	80	20.0	3.0	1.3	20	0.062	0.045	7.00
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>1.0</b>	<b>18</b>	<b>0.044</b>	<b>0.042</b>	<b>6.92</b>
5	15	80	20.0	4.0	0.8	19	0.038	0.023	6.87
6	15	80	20.0	4.5	0.8	18	0.00	0.01	6.90

Se determino que la jarra numero cuatro esta dentro de nuestra expectativa de tratamiento para ser implementada en la planta piloto, con e fin de evitar cambios bruscos en las dosificaciones de los reactivos y principalmente encontrar adecuar la mejor calidad de agua.

#### 5.- Demanda de sulfato de aluminio.

Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.

pH	:	8.23
Turbiedad	:	342.00 NTU
Color aparente	:	1905.00 Pt-Co
Color real	:	430.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	324.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	324.00 ppm
Carbonatos	:	16.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	205.00 ppm.
Calcio como Ca	:	120.00 ppm.
Magnesio	:	85.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	80.00 ppm.
Sulfatos	:	88.00 ppm
Nitratos	:	0.480 ppm
Nitritos	:	0.086 ppm

Fosfatos	:	0.075 ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	280.00 ppm
Sólidos Suspendidos	:	37.00 ppm
Sólidos totales	:	317.00 ppm
Conductividad	:	462.00 ppm
Temperatura	:	27.00 °C
Hierro	:	1.79 ppm
Manganeso	:	0.874 ppm
Cobre	:	0.00 ppm
Aluminio	:	0.850 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Sulfato de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	50	20.0	3.5	2.20	60.0	0.12	0.089	6.32
2	15	55	20.0	3.5	2.01	56.0	0.10	0.077	6.28
3	15	60	20.0	3.5	1.67	45.0	0.09	0.089	6.25
4	15	65	20.0	3.5	1.98	33.0	0.09	0.099	6.21
5	15	70	20.0	3.5	1.03	28.0	0.06	0.060	6.19
6	15	75	20.0	3.5	1.23	26.0	0.07	0.055	6.14

*Observar color y comentarios*

## 6. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
CLORO(HTH 65%)	15.0
SULFATO DE ALUMINIO (7.5%)	60.0
PolíDADMAC (40%)	3.5



## Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLOR RES.
AGUA CRUDA	8.14	1893	335.2	1.88	0.720	0.00
AGUATRATADA	<b>6.85</b>	<b>13</b>	<b>0.99</b>	<b>0.08</b>	<b>0.059</b>	0.50
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	99.31	99.70	95.74	91.80	100.0

\* valor fuera de norma.

Este tren de tratamiento se caracterizó por ser muy estable con una operación muy práctica y un fácil manejo de la preparación y aplicación de los reactivos

Se observa que los pH del agua cruda se mantuvieron principalmente por el lado alcalino ya que sus valores fluctuaron de 9.64 a 7.94 por lo que se tuvo una mayor atención en el ajuste con el ácido sulfúrico.

En cuanto a los valores de color, estos estuvieron por encima de su punto óptimo de tratamiento tradicional, por lo que fue necesario el controlar constantemente los ajuste requeridos en la planta piloto para obtener resultados adecuados.

La carga orgánica que se presentó en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	90.0	45.0
AGUA TRATADA	16.66	8.33

Los valores que presentó el agua cruda, fueron muy por arriba de los determinados en los trenes anteriores por lo que se refleja en el valor del agua tratada, aun cuando se aumento el número de orificios en el aerador para pulverizar una mayor cantidad de agua.

Se observa que esta alta carga orgánica proviene principalmente del Río Santiago y seguramente esta son ocasionadas por las descargas residuales, ya que el Río Verde no presenta ningún valor extremadamente alto.

Lo anterior nuevamente refleja que en el estiaje la concentración de los elementos aumenta considerablemente en el Río Santiago afectando directamente en la calidad del agua de la mezcla en el sitio Arcediano.

## Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0338	0.0129	<0.0025	<0.0008	0.2912
AGUA TRATADA	<b>0.0112</b>	<b>0.0040</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0531</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	66.86	68.99	N/A	N/A	81.76

\*valor fuera de norma

Aun cuando incidió el estiaje en la calidad de agua cruda, los resultados de los análisis sobre los metales pesados, no reflejan un alto impacto en el aumento de las concentraciones. Lo anterior puede explicarse a que en las descargas residuales no contienen una alta concentración en cuanto a estos elementos ó requieren de muy poca dilución.

## Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Sulfato de Aluminio Liquido	1.50	15.0 - 120.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

## Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Sulfato de Aluminio	60.0	0.090
Polimero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.259</b>

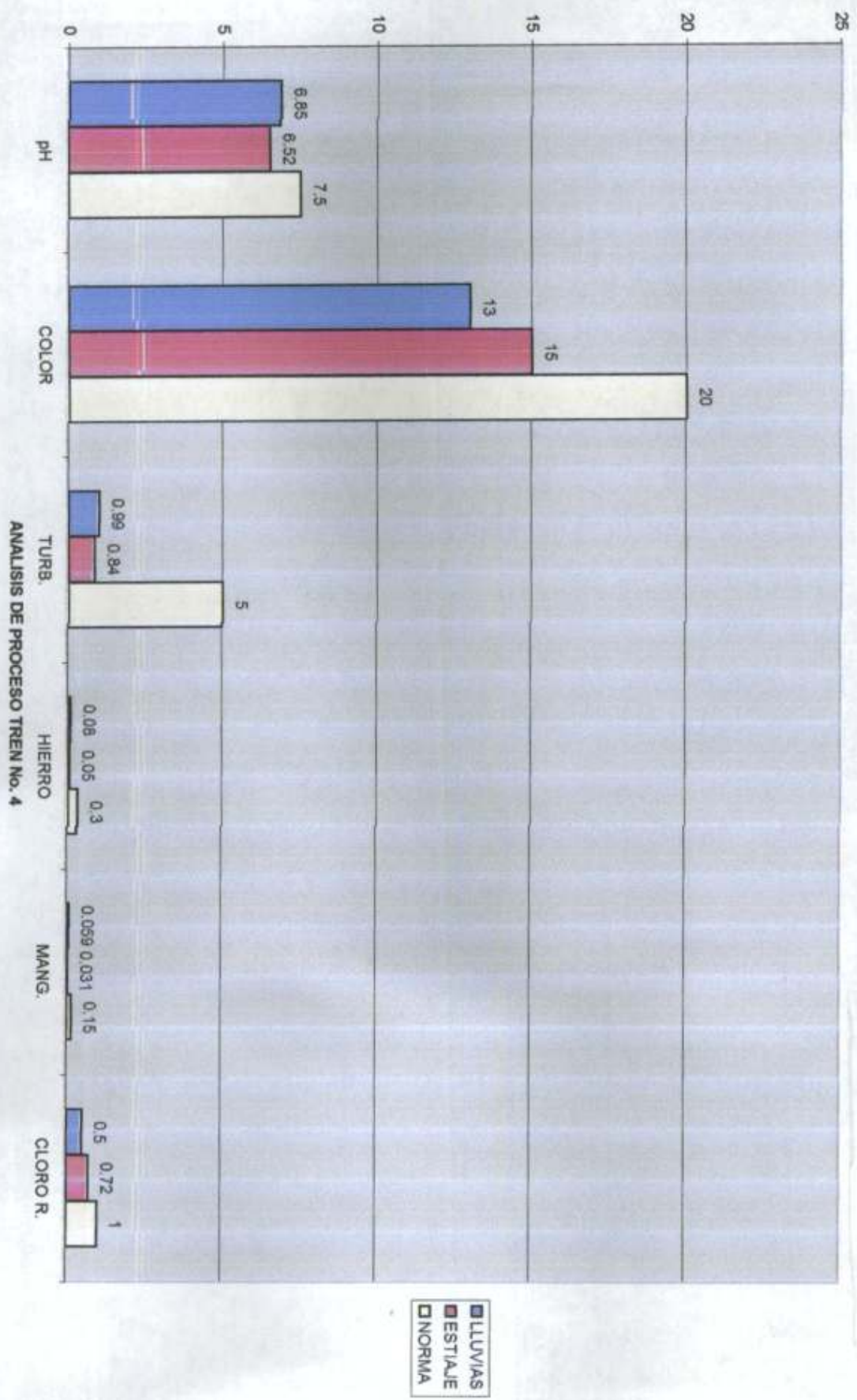
## ACCIONES.

1. Continuar con la evaluación de este tren en el periodo de lluvias y comparar con el actual para evaluar sus diferencias, en cuanto a calidad y costo.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar estos tratamientos con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

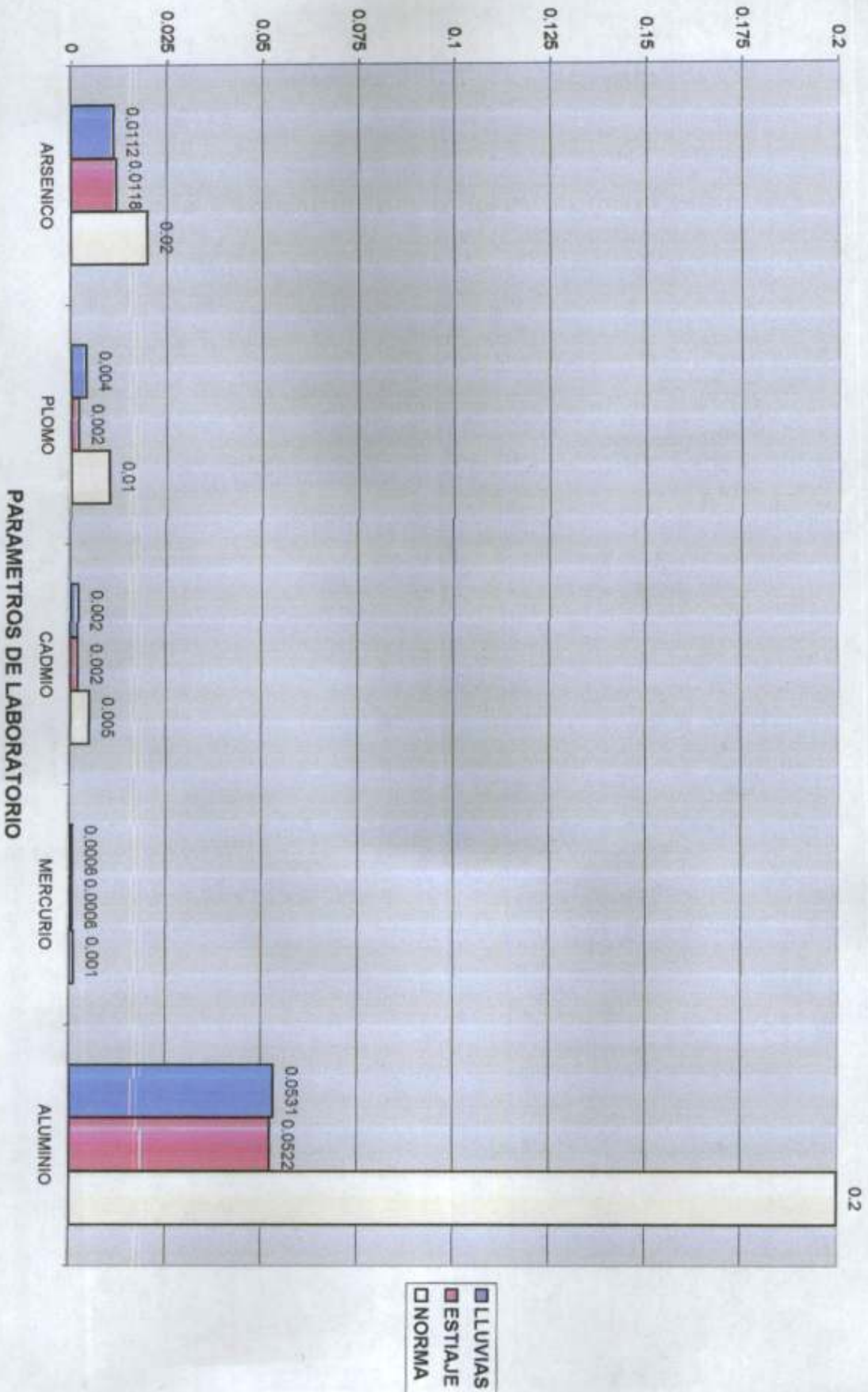
## CONCLUSIONES.

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y sulfato de aluminio ajustando el pH es el que se adecua más a los valores de calidad del agua dentro de la norma NOM127.

SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA

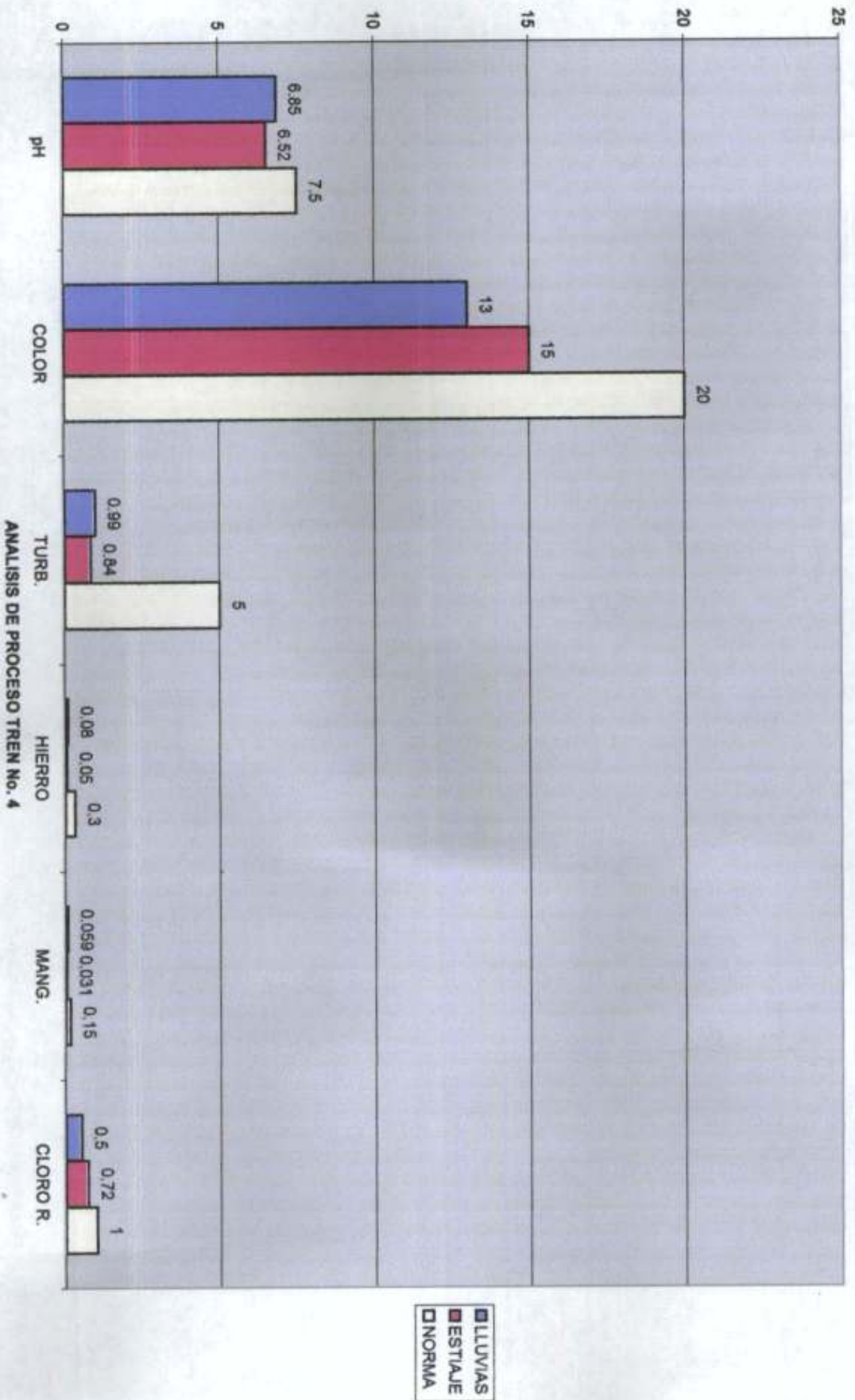


COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 4

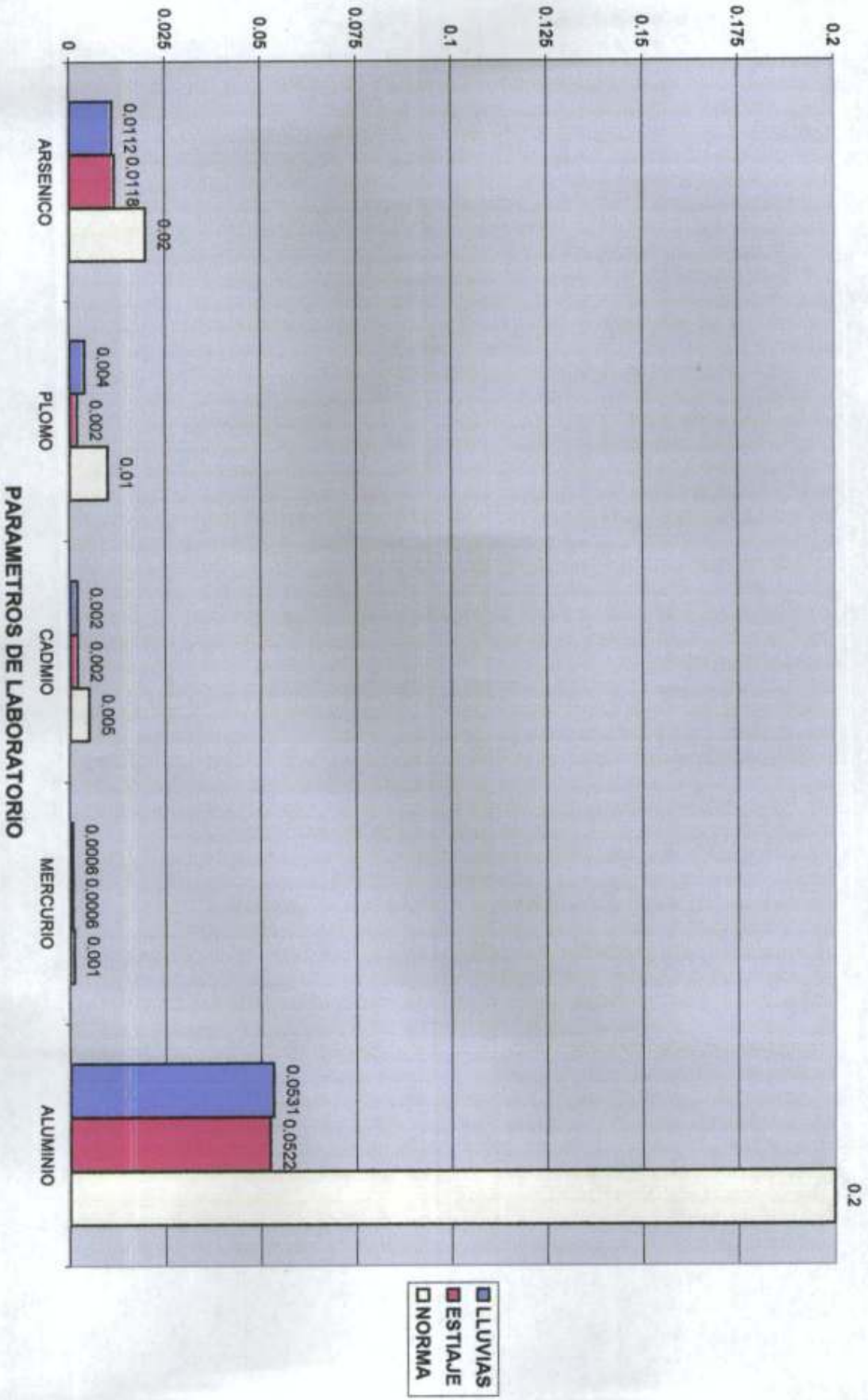




SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 4



## **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Policloruro de Aluminio + Permanganato + Polímero + Cloro (como desinfectante)**

Este tren de tratamiento se arranco el día 16 de Abril y finalizo el día 30 de Abril, al igual que los trenes anteriores, el mismo también cuenta con un nuevo proceso que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersion por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, en este tren se utilizará el Policloruro de Aluminio como coagulante primario, el Permanganato de Potasio como oxidante, y el Cloro únicamente como desinfectante, así mismo, el Polímero actuara como ayuda de floculación y mejorar la filtración el tiempo de residencia puede ser ajustado desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### **Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad con el equipo de Phipps & Bird.

Calidad del agua cruda:  
Abril 20 de 2004

pH	:	8.48	
Turbiedad	:	56.00	NTU
Color aparente	:	585.00	Pt-Co
Color real	:	88.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	333.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	333.00	ppm
Carbonatos	:	4.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	222.00	ppm.
Calcio como Ca	:	128.00	ppm.
Magnesio	:	94.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	65.00	ppm.
Sulfatos	:	85.00	ppm
Nitratos	:	0.49	ppm
Nitritos	:	0.087	ppm
Fosfatos	:	6.96	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	550.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	116.00	ppm
Sólidos totales	:	666.00	ppm
Conductividad	:	908.00	ppm
Temperatura	:	30.00	°C
Fierro	:	0.57	ppm
Manganeso	:	0.174	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.026	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación : 15 minutos a 30 RPM.

### 1- Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Si se analiza el programa RTW Model se observa que únicamente se esta simulando el uso del ácido sulfúrico y el cloro como desinfectante, esto permite que el calculo teórico del pH sea determinado por el lado ligeramente alcalino.

Así mismo, el programa RTW Model, nos proporciona unos valores muy adecuados en cuanto al Índice Ryzner y el Índice de Langalier los cuales están dentro de los parámetros deseados para la potabilización del agua.

En base a esto se procede a efectuar la demanda del acido sulfúrico de acuerdo con los siguientes tiempos de retención y gradientes.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.98
2	10.0	7.45
3	15.0	7.33
<b>4</b>	<b>20.0</b>	<b>7.10</b>
5	25.0	6.94
6	30.0	6.82

Como se puede observar, nuevamente el ajuste de pH esta entre las dosificaciones de 15 y 20 ppm prácticamente se comportan casi igual, por lo que para continuar con el mismo control de la dosificación se continuara dosificando 20.0 ppm en este tren.

### 2. Demanda de Cloro.

Esta se determino una vez que el tratamiento de clarificación se efectuó y se dosifica en la entrada a la columna de green sand.

Y siguiendo con el mismo concepto de la demanda que se presento en los anteriores trenes se determino que cuando se requiera una mayor demanda



Las dosificaciones utilizadas para obtener un residual de cloro del orden de 1.0 a 6.0 ppm fueron las siguientes:

<b>Demanda de Cloro</b>		
<b>Jarra</b>	<b>mg/lt. De Cl<sub>2</sub></b>	<b>Residual mg/lt.</b>
1	1.0	0.00
2	2.0	0.80
<b>3</b>	<b>3.0</b>	<b>1.30</b>
4	4.0	1.60
5	5.0	2.00
6	6.0	2.40

Como se puede observar en las prueba anterior se ve que hay una mayor demanda de cloro lo cual estamos considerando al aumento del color y la turbiedad del agua cruda.

Para continuar con el mismo criterio de desinfección con cloro y viendo que la jarra No 3 nos permite estar en el rango del residual requerido fue seleccionada para este tren.

### **3. Demanda de oxidante.**

Determinación de la demanda del oxidante con KMnO<sub>4</sub>.

Los análisis y las pruebas de jarra se realizaron en el campo bajo los siguientes parámetros:

Se selecciono que con una dosificación de Policloruro de Aluminio 60 ppm conforme a los datos obtenidos del tren anterior, y por lo tanto el comportamiento de la planta piloto fue aceptable por lo que a partir de los resultados anteriores establecimos las siguientes condiciones para dicha demanda de oxidante.

En función que la calidad de agua cruda siempre mantiene un pH prácticamente por arriba de 8.5, se esta considerando que a partir de este tren de tratamiento que el concepto de ajuste de pH por medio del ácido sulfúrico será una practica continua a menos de que el valor de pH sea menor.

### **4. Demanda de oxidante con ajuste de pH (20 mg/l ácido Sulfúrico)**

Observando los resultados anteriores a continuación procedimos a determinar dicha demanda con la misma calidad de agua cruda.

Demanda de Permanganato de Potasio con Ajuste de pH								
Reactivos				Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	PAC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Turbiedad NTU	Color Co-Pt	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	1	60.0	20	1.21	19	0.11	0.028	7.10
2	1.5	60.0	20	1.03	16	0.08	0.016	7.00
3	2.0	60.0	20	0.97	17	0.06	0.018	7.00
4	2.5	60.0	20	0.78	16	0.05	0.021	7.10
5	3.0	60.0	20	0.67	20	0.00	0.024	7.05
6	3.5	60.0	20	0.94	21	0.00	0.026	7.02

Se puede observar que el comportamiento del Policloruro de aluminio a esta dosificación su comportamiento es bastante bueno en estas pruebas de laboratorio, el cual se podrá evaluar en la tabla, de demanda de este producto.

#### 5. Demanda de polímero con el KMnO<sub>4</sub>

El polímero empleado es un cationico liquido de la familia de los cuaternarios de amonio a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Policloruro de aluminio.

Calidad del agua cruda :

Temperatura : 30.00 °C  
 pH : 8.48  
 Turbiedad : 56.00 UTN.  
 Color aparente : 585.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 88.00 ppm.  
 Hierro : 0.57 ppm.  
 Manganeso : 0.174 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	PAC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH
1	1.5	60	20.0	2.0	0.65	18	0.06	0.029	7.12
2	1.5	60	20.0	2.5	0.58	15	0.04	0.027	7.15
3	1.5	60	20.0	3.0	0.60	15	0.01	0.029	7.02
<b>4</b>	<b>1.5</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.62</b>	<b>14</b>	<b>0.00</b>	<b>0.021</b>	<b>7.10</b>
5	1.5	60	20.0	4.0	0.59	12	0.00	0.020	7.00
6	1.5	60	20.0	4.5	0.63	14	0.01	0.17	7.00

De acuerdo con la tabla anterior, se selecciono la jarra número cuatro, conforme a los valores de remoción en general.

Como se puede observar en los trenes anteriores, con la información que se cuenta y la optimización del polímero en los trenes anteriores se determino que la demanda de este fluctúa entre 3.0 y 3.5 ppm para estos tratamientos.

## 6. Demanda de Policloruro de Aluminio

En este caso se tomaron las demandas de Cloro, Polímero y Acido sulfúrico para evaluar la demanda del Policloruro de Aluminio que se dosificará en la planta piloto de acuerdo con la calidad del agua cruda

Calidad del agua cruda:

Abril 20 de 2004 (7:00 a.m.)

pH	:	8.39
Turbiedad	:	33.50 NTU
Color aparente	:	360.00 Pt-Co
Color real	:	80.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	320.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	333.00 ppm
Carbonatos	:	4.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	222.00 ppm.
Calcio como Ca	:	128.00 ppm.
Magnesio	:	94.00 ppm
Cloruros como Cl	:	65.00 ppm.
Sulfatos	:	85.00 ppm
Nitratos	:	0.49 ppm
Nitritos	:	0.087 ppm

Fosfatos : 6.96 ppm  
 Sólidos Totales Disueltos : 550.00 ppm  
 Sólidos Suspendidos : 116.00 ppm  
 Sólidos totales : 666.00 ppm  
 Conductividad : 908.00 ppm  
 Temperatura : 30.00 °C  
 Hierro : 0.45 ppm  
 Manganeseo : 0.206 ppm  
 Cobre : 0.00 ppm  
 Aluminio : 0.026 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.  
 Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM  
 Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM  
 Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Policloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Pac	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	45	20.0	3.5	0.87	19	0.06	0.024	7.38
2	1.5	50	20.0	3.5	0.78	16	0.06	0.027	7.40
3	1.5	55	20.0	3.5	0.71	14	0.01	0.029	7.36
<b>4</b>	<b>1.5</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.65</b>	<b>14</b>	<b>0.00</b>	<b>0.021</b>	<b>7.38</b>
5	1.5	65	20.0	3.5	0.56	15	0.00	0.017	7.37
6	1.5	70	20.0	3.5	0.52	9	0.01	0.012	7.36

Siguiendo con el concepto de el tratamiento que se implemento en el periodo anterior (60.00 ppm de Policloruro de Aluminio) y a que las concentraciones actuales del agua cruda van en aumento por el periodo de estiaje se toma la jarra número 4 como la que nos permitirá evaluar este tratamiento en la planta piloto, al tener puntos de comparación.

### 7. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO (99.9%)	1.5
POLICLORURO DE ALUMINIO	60.0
PoliDADMAC (40%)	3.5
CLORO (HTH 65 %)	3.0

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.45	502	49.89	0.54	0.211	0.00
AGUATRATADA	<b>7.09</b>	<b>19</b>	<b>1.04</b>	<b>0.10</b>	<b>0.038</b>	0.6
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	96.21	97.91	81.48	81.99	100.0

\* valor fuera de norma.

Como podrá observarse el color y la turbiedad del agua cruda aumentaron con respecto al tren de tratamiento anterior y el hierro y el manganeso se mantuvieron prácticamente igual.

En este tren los valores de color del agua cruda fluctuaron desde **149 a 1250** unidades de PtCo, El color del agua tratada prácticamente se mantuvo en los límites de la norma a pesar de las variaciones drásticas.

En cuanto al pH en el agua cruda la tendencia fue hacia a la baja al final de este tren de tratamiento Y en agua filtrada los valores se mantuvieron en el promedio de **7.09** unidades.

En cuanto a valores de Coliformes Fecales no se detectaron valores fuera de la norma ya que siempre se mantuvo un valor alto de cloro residual.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	162.73	81.36
AGUA TRATADA	39.46	19.73

En este tren de tratamiento el valor máximo de la DBO en una toma puntual fue de **153.00** ppm y el valor mínimo fue de **21.00** los cuales después del tratamiento se redujeron a **23.5** y **3.50** respectivamente.

Cabe mencionar que durante este tren de tratamiento por las condiciones de bajo caudal en río en el punto de Arcediano nos vimos en la necesidad de cambiar la obra de toma de alimentación de la planta piloto de la margen derecha del río, siendo nuestra apreciación que en este punto prácticamente las condiciones del agua pertenecen al río verde.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0179	0.0043	<0.0025	<0.0008	0.0689
AGUA TRATADA	<b>0.0114</b>	<b>0.0020</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0361</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	36.31	53.48	N/A	N/A	47.60

\*valor fuera de norma

nuevamente se puede observar que el comportamiento del agua tratada en la planta piloto son relativamente bajos debido a la situación del cambio obra de toma del agua cruda.

En este período los valores de agua cruda de todos los metales estuvieron dentro o por bajo de la norma NOM127 exceptuando únicamente tres valores con respecto al plomo.

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos a granel, así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en este tren.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Policloruro de Aluminio	4.80	05 - 30.0
Cloro gas	6.00	1.0 - 15.0
Permanganato de potasio	35.00	0.5 - 5.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Policloruro de Aluminio	60.0	0.288
Polímero	3.5	0.035
Permanganato de potasio	1.5	0.0525
Cloro	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.4375</b>

## **ACCIONES.**

1. Continuar con la segunda evaluación de este tren en los próximos meses en el periodo de lluvias de acuerdo con el programa de pruebas de tratabilidad y probar nuevos escenarios que se presenten en relación con el agua cruda.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde, con el objeto de comparar la eficiencia con relación a la mezcla con el Río Santiago.
3. Continuar evaluando en el laboratorio en comportamiento de este reactivo puesto que presenta opciones muy adecuadas para su implementación en un proceso tradicional, salvo por su alto costo.
4. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

## **CONCLUSIONES.**

En general este tren de tratamiento, presento ser muy estable en su implementación siendo una buena opción por la calidad del agua que se produjo.

**Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Policloruro de Aluminio + Permanganato + Polímero + Cloro (como desinfectante)**

Este tren de tratamiento se arranco el día 16 de Junio y finalizo el día 30 de Junio.

Tomando como base el tren de tratamiento número cinco el cual es exactamente igual al presente y contando con los mismos elementos de proceso en la planta piloto y los mismos criterios de las demandas tanto en ajuste de pH como cloro y polímero, se procedió únicamente a evaluar el comportamiento de este tren bajo las mismas circunstancias del anterior y con la calidad del agua actual.

**Calidad del agua cruda:**

Junio 16 de 2004

pH	:	9.01	
Turbiedad	:	75.00	NTU
Color aparente	:	566.00	Pt-Co
Color real	:	42.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	214.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	214.00	ppm
Carbonatos	:	32.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	168.00	ppm.
Calcio como Ca	:	106.00	ppm.
Magnesio	:	62.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	58.00	ppm.
Sulfatos	:	40.00	ppm
Nitratos	:	0.230	ppm
Nitritos	:	0.266	ppm
Fosfatos	:	5.38	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	330.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	537.00	ppm
Sólidos totales	:	867.00	ppm
Conductividad	:	545.00	ppm
Temperatura	:	30.40	°C
Fierro	:	0.89	ppm
Manganeso	:	0.273	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.063	ppm



## Programa RTW model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	182 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	106 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad (Cl+So4)	1.5	>5.0 mg/l
pH	7.29	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-76 mg/l	4 -1 mg/l
Índice Langalier	-0.23	> 0
Índice Ryznar	7.76	< 6
Acides	215 mg/l	

## Demanda de policloruro de aluminio

Demanda de Policloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Pac	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	25	20.0	3.5	2.01	26	0.06	0.014	7.49
2	1.5	30	20.0	3.5	1.84	24	0.06	0.011	7.45
3	1.5	35	20.0	3.5	1.30	21	0.04	0.010	7.38
4	1.5	40	20.0	3.5	1.22	20	0.01	0.010	7.34
<b>5</b>	<b>1.5</b>	<b>45</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.84</b>	<b>18</b>	<b>0.00</b>	<b>0.010</b>	<b>7.33</b>
6	1.5	50	20.0	3.5	0.82	17	0.00	0.012	7.36

La prueba anterior se determino en función al cambio que presenta actualmente el cause en el río con un aumento considerable en la turbiedad y el color de fácil remoción.

Dándonos un excelente resultado en la jarra número cinco al presentar remociones prácticamente dentro de la norma-127

### 1. Implementación de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO (99.9%)	1.5
POLICLORURO DE ALUMINIO	45.0
PolIDADMAC (40%)	3.5
CLORO (HTH 65 %)	3.0

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.48	1857	399.82	0.59	0.259	0.00
AGUATRATADA	<b>7.15</b>	<b>13</b>	<b>0.84</b>	<b>0.05</b>	<b>0.032</b>	1.00
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	99.29	99.78	91.52	87.64	100.0

\* Valor fuera de norma.

Los resultados obtenidos fueron por arriba de las remociones promedio requerida para una planta tradicional. Siendo un proceso muy estable bajo estas condiciones de agua (alta turbiedad y color ocasionados por material arcilloso).

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	101.86	50.93
AGUA TRATADA	25.86	12.93

Como se podrá observar la calidad tanto del agua cruda como el agua filtrada se mejoraron significativamente por la dilución que se presenta por el periodo de lluvias. La cual mejora paulatinamente se regulariza.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0203	0.0075	<0.0031	<0.0008	0.0825
AGUA TRATADA	<b>0.0116</b>	<b>0.0053</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0268</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	42.85	29.33	N/A	N/A	67.51

\*valor fuera de norma

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos a granel, así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en este tren.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Policloruro de Aluminio	4.80	05 - 30.0
Cloro gas	6.00	1.0 - 15.0
Permanganato de potasio	35.00	0.5 - 5.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Policloruro de Aluminio	45.0	0.216
Polímero	3.5	0.035
Permanganato de potasio	1.5	0.0525
Cloro	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.3655</b>

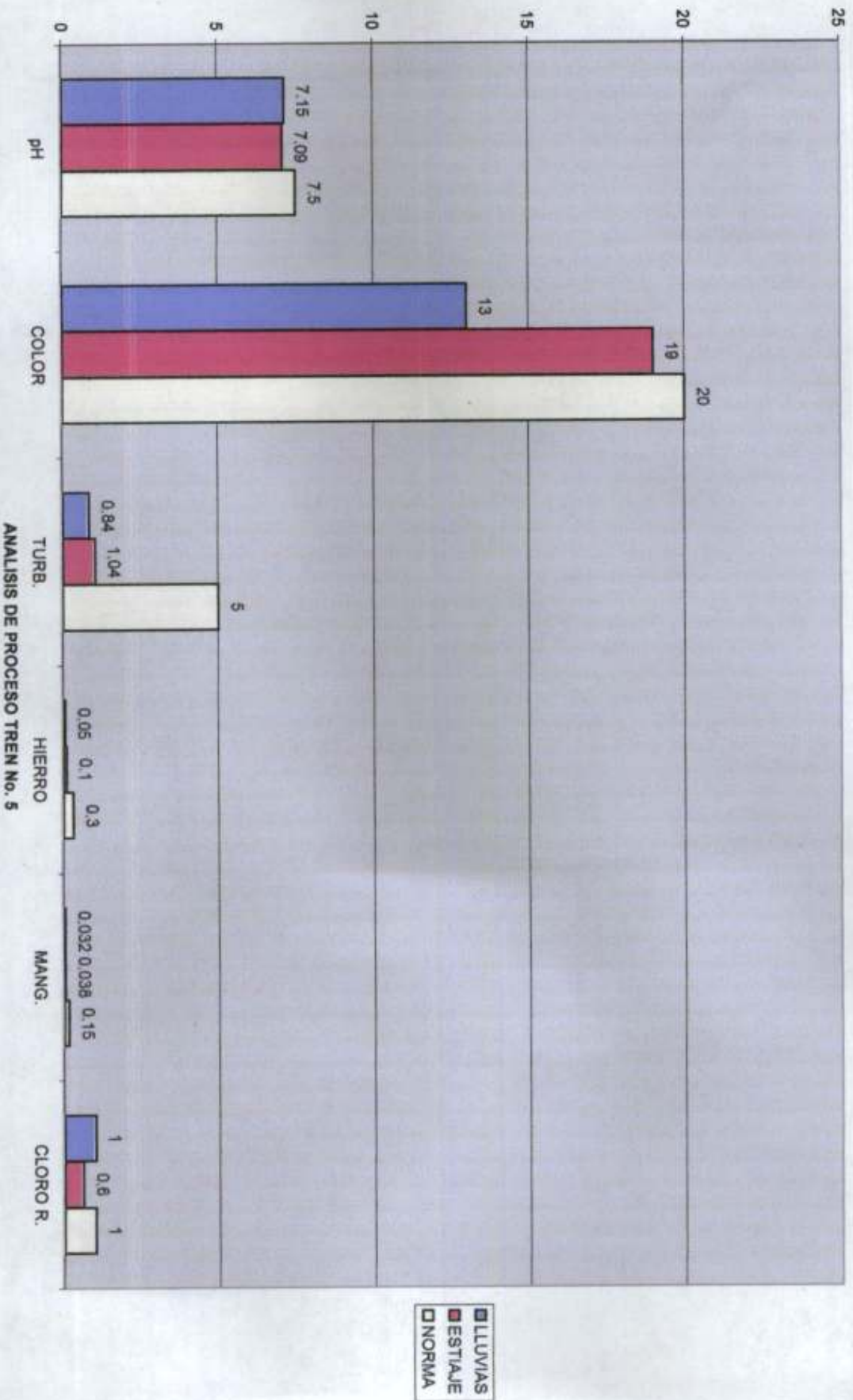
### ACCIONES.

1. efectuar pruebas de tratabilidad que nos permitan reducir el consumo del coagulante a niveles adecuados de precios beneficio para este proceso.
2. Probar este tren de tratamiento únicamente con el agua del Río Verde, con el objeto de comparar la eficiencia con relación a la mezcla con el Río Santiago.
3. Continuar evaluando en el laboratorio en comportamiento de este reactivo puesto que presenta opciones muy adecuadas para su implementación en un proceso tradicional, salvo por su alto costo.
4. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.

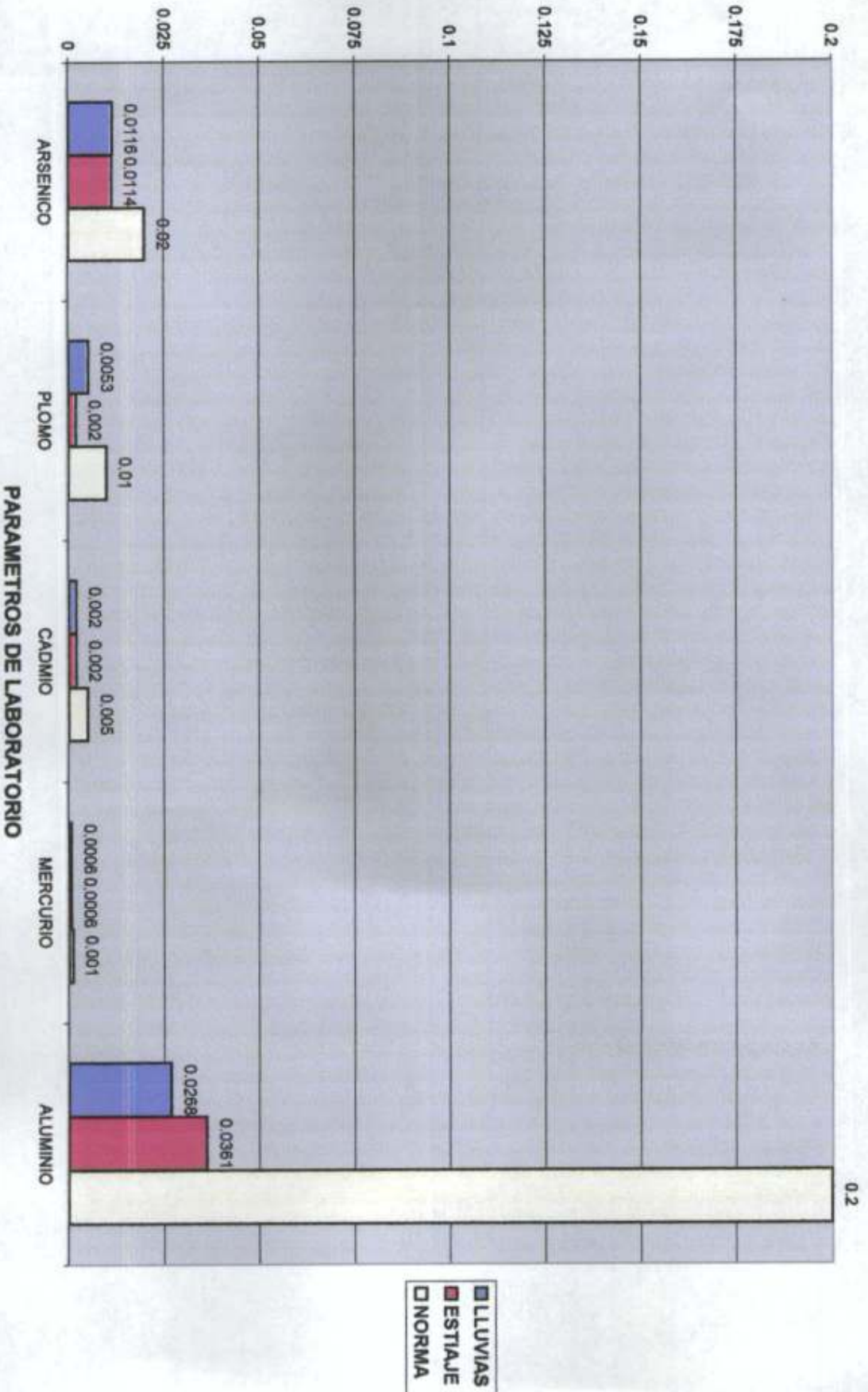
### CONCLUSIONES.

Este tren de tratamiento demostró ser muy efectivo pero con un alto costo en su implementación en su operación.

SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 5



## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Hidroxicloruro + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 01 de Mayo y se termino el día 15 del mismo mes, con la variante de un nuevo proceso de tratamiento, que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Hidroxicloruro como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante, el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad:

Calidad del agua cruda:

Mayo 05

pH	:	8.61	
Turbiedad	:	38.00	NTU
Color aparente	:	469.00	Pt-Co
Color real	:	70.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	348.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	348.00	ppm
Carbonatos	:	8.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	218.00	ppm.
Calcio como Ca	:	128.00	ppm.
Magnesio	:	90.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	68.00	ppm.
Sulfatos	:	113.00	ppm
Nitratos	:	0.680	ppm
Nitritos	:	0.110	ppm
Fosfatos	:	3.66	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	590.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	146.00	ppm
Sólidos totales	:	736.00	ppm
Conductividad	:	974.00	ppm
Temperatura	:	29.10	°C
Fierro	:	0.42	ppm
Manganeso	:	0.23	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.0760	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en los trenes anteriores se Tomo como base el análisis de agua cruda anterior y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH con 20 ppm las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.75
2	10.0	7.67
3	15.0	7.63
4	20.0	7.55
5	25.0	7.47
6	30.0	7.42

Los resultados anteriores, muestran que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador tiene un valor de 7.55. Con el objetivo de continuar con la evaluación de una dosificación constante para evitar cambios en los trenes de tratamiento se opta por la misma dosificación que se ha venido manejando.

### 2. Demanda de Cloro (para desinfección).

Como en los otros trenes, donde se utiliza el cloro como oxidante, la demanda de cloro para desinfección aplicada antes de la columna de green sand, para obtener residuales entre 1.5 y 2.0 ppm prácticamente se mantiene igual que las anteriores calidades en el agua cruda.

Para tal efecto se utiliza el agua previamente tratada por el proceso de clarificación que opera la planta piloto.

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	0.5	0.00
2	1.0	0.17
3	1.5	0.25
4	2.0	0.58
5	2.5	0.99
6	3.0	1.50

Estamos seleccionando la jarra No. 6 por ser la que nos permite obtener el residual de 1.5 y para continuar con la misma dosificación.

### 3. Demanda de oxidante con ajuste de pH.

Determinación de la demanda del oxidante.

Continuando con lo tradicional, estamos considerando para este efecto utilizar 60.0 ppm de Hidroxicloruro y poder comparar los resultados para los diferentes periodos del año.

La calidad del agua cruda es igual por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.

Demanda de Cloro con ajuste de pH									
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada					
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub>	Psch	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	20	5.0	60.0	1.23	21	0.09	0.042	7.00	0.0
2	20	7.5	60.0	1.00	15	0.06	0.024	6.98	0.7
3	20	10.0	60.0	0.96	16	0.02	0.020	7.00	0.9
4	20	12.5	60.0	0.84	18	0.00	0.021	7.04	1.0
5	20	15.0	60.0	0.76	16	0.00	0.027	7.02	1.5
6	20	17.5	60.0	0.84	16	0.0	0.029	7.00	2.8

La demanda de Cloro prácticamente se mantiene en los mismos niveles aun cuando las condiciones de el agua cruda se mantienen altos en cuanto el color y turbiedades bajas.

Estas pruebas de laboratorio por lo que se observa están dentro de los parámetros de una excelente calidad de agua por lo que se continuara con el mismo protocolo de tratamiento tradicional.

Por los datos obtenidos en las pruebas anteriores, la jarra numero 5 por su mejor remoción del color es la que se selecciona para este tren.



#### 4. Demanda de polímero.

Se establece que el polímero empleado es un catiónico líquido a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Sulfato de Aluminio y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Ácido Sulfúrico y el Cloro.

Calidad del agua cruda :

Temperatura	:	29.10 °C
pH	:	8.61
Turbiedad	:	38.00 UTN.
Color aparente	:	469.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	348.00 ppm.
Hierro	:	0.42 ppm.
Manganeso	:	0.230 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

En este proceso se observa como en los trenes anteriores y floculo muy pequeño con un buen peso para sedimentación con la ayuda del polímero se garantiza que la remoción sea más eficiente y mejore la calidad del agua al reducir el color.

Se selecciona el polímero catiónico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Psch	H <sub>2</sub> S O <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	60	20.0	2.0	1.2	19	0.08	0.058	7.08
2	15	60	20.0	2.5	1.0	19	0.074	0.051	7.09
3	15	60	20.0	3.0	0.98	17	0.064	0.047	7.00
4	15	60	20.0	3.5	0.86	14	0.028	0.032	7.00
5	15	60	20.0	4.0	0.88	17	0.031	0.022	7.05
6	15	60	20.0	4.5	0.84	16	0.024	0.019	7.04

Se determino que la jarra numero cuatro esta dentro de nuestra expectativa de tratamiento para ser implementada en la planta piloto, con el fin de evitar cambios bruscos en las dosificaciones de los reactivos y principalmente encontrar adecuar la mejor calidad de agua.

#### 5.- Demanda Hidroxicloruro de aluminio.

Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.

##### Mayo 05

pH	:	8.40	
Turbiedad	:	44.00	NTU
Color aparente	:	511.00	Pt-Co
Color real	:	89.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	348.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	348.00	ppm
Carbonatos	:	8.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	218.00	ppm.
Calcio como Ca	:	128.00	ppm.
Magnesio	:	90.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	68.00	ppm.
Sulfatos	:	113.00	ppm
Nitratos	:	0.680	ppm
Nitritos	:	0.110	ppm
Fosfatos	:	3.66	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	590.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	146.00	ppm
Sólidos totales	:	736.00	ppm
Conductividad	:	974.00	ppm
Temperatura	:	29.10	°C
Fierro	:	0.45	ppm
Manganeso	:	0.174	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.076	ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Hidroxicloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Pasch	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	45	20.0	3.5	1.32	18.0	0.092	0.011	7.05
2	15	50	20.0	3.5	1.12	16.0	0.084	0.014	7.05
3	15	55	20.0	3.5	1.0	14.0	0.063	0.012	7.06
4	15	60	20.0	3.5	0.90	11.0	0.071	0.093	7.07
5	15	65	20.0	3.5	0.84	12.0	0.074	0.086	7.05
6	15	70	20.0	3.5	0.36	10.00	0.073	0.074	7.04

Se obtiene una calidad del agua tratada por demás excelentes en estas pruebas de jarra, esperamos que la planta piloto pueda manejar estos resultados con una dosificación de 60 ppm.

#### 6. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
CLORO(HTH 65%)	15.0
HIDROXICLORURO DE ALUMINIO	60.0
PolidADMAC (40%)	3.5

#### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.32	568	52.31	0.42	0.216	0.00
AGUA TRATADA	<b>6.93</b>	<b>17.0</b>	<b>0.88</b>	<b>0.09</b>	<b>0.039</b>	0.5
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	97.00	98.31	78.57	81.94	100.0

\* valor fuera de norma.

De acuerdo con la pruebas de tratabilidad en el laboratorio, se puede ver que los valores que se obtuvieron en la planta piloto se reflejaron en forma significativa. Esto nos da un indicativo que el uso de estos reactivos se comportan con una alta eficiencia y efectividad.

Este tren de tratamiento se caracterizó por ser muy estable con una operación muy práctica y un fácil manejo de la preparación y aplicación de los reactivos.

El pH del agua tratada tuvo una tendencia prácticamente en el nivel neutro con alzas hacia el nivel alto.

En cuanto a los valores color estos también se redujeron a porcentajes de remoción muy por arriba de los promedios de una planta convencional para tratar agua potable.

La carga orgánica que se presentó en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

#### **Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>
AGUA CRUDA	193.53	96.76
AGUA TRATADA	58.97	29.48

Este proceso presenta valores más altos que el anterior (Policloruro de Aluminio) lo que indica que la remoción de carga orgánica no es muy efectiva con los elementos con que cuenta la planta piloto, los cuales en un futuro próximo sería conveniente revisar y acondicionar para las futuras pruebas de flotación.

Definitivamente la alta carga orgánica consideramos que proviene principalmente del Río Santiago, por lo que cuando se implementen pruebas específicas con el agua proveniente exclusivamente del río Verde podremos tener una evaluación más completa y confiables y así determinar donde se presentan los índices mayores de contaminación.

Lo anterior nuevamente refleja que en el estiaje por el bajo volumen que aporta el Río Santiago afecta directamente la calidad del agua de la mezcla en el sitio Arcediano.

#### **Análisis de metales pesados**

<b>PARAMETRO</b>	<b>ARSENICO</b>	<b>PLOMO</b>	<b>CADMIO</b>	<b>MERCURIO</b>	<b>ALUMINIO</b>
AGUA CRUDA	0.0150	.0070	<0.0025	<0.0008	0.0384
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>0.0057</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0087</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	33.33	18.57	N/A	N/A	77.34

\*valor fuera de norma

#### **Evaluación económica de la simulación.**

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Hidroxiclورو de Aluminio	4.80	5.0 - 30.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

#### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Hidroxiclورو de Aluminio	60.0	0.270
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.439</b>

#### ACCIONES.

1. Continuar con la evaluación de este tren en el periodo de lluvias y comparar con el actual para evaluar sus diferencias, en cuanto a calidad y costo.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar este tratamiento con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

#### CONCLUSIONES.

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y Hidroxiclورو de Aluminio ajustando el pH es bastante adecuado para estos valores de agua cruda.

## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Hidroxicloruro + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 01 de Agosto y se termino el día 15 del mismo mes, donde se contempla la variante de un nuevo proceso de tratamiento, donde se incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Hidroxicloruro como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante, el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### 1. Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad.

Calidad del agua cruda:

Agosto 01

pH	:	7.85	
Turbiedad	:	71.00	NTU
Color aparente	:	552.00	Pt-Co
Color real	:	62.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	190.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	190.00	ppm
Carbonatos	:	0.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	144.00	ppm.
Calcio como Ca	:	100.00	ppm.
Magnesio	:	44.00	ppm
Cloruros como Cl	:	45.00	ppm.
Sulfatos	:	82.00	ppm
Nitratos	:	8.750	ppm
Nitritos	:	0.058	ppm
Fosfatos	:	1.10	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	340.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	130.00	ppm
Sólidos totales	:	470.00	ppm
Conductividad	:	561.00	ppm
Temperatura	:	26.40	°C
Fierro	:	1.30	ppm
Manganeso	:	0.33	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.2900	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

## 2. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en los trenes anteriores se Tomo como base el análisis de agua cruda anterior y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH con 20.0 ppm las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lt. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.77
2	10.0	7.84
3	15.0	7.65
<b>4</b>	<b>20.0</b>	<b>7.56</b>
5	25.0	7.39
6	30.0	7.32

Los resultados anteriores, muestran que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador se obtiene un valor de 7.56, por lo que se opta por la misma dosificación que se ha venido manejando.

## 3. Demanda de Cloro (para desinfección).

Como en los otros trenes, donde se utiliza el cloro como oxidante, la demanda de cloro para desinfección aplicada antes de la columna de green sand, para obtener residuales entre 1.5 y 2.0 ppm prácticamente se mantiene igual que las anteriores calidades en el agua cruda.

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lt. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lt.
1	0.5	0.00
2	1.0	0.00
3	1.5	0.187
4	2.0	0.344
5	2.5	1.0
6	3.0	1.50

Nuevamente estamos seleccionando la jarra No. 6 por ser la que nos permite obtener el residual de 1.5 y para continuar con la misma dosificación.

La demanda de Cloro prácticamente se mantiene en los mismos niveles aun cuando las condiciones de el agua cruda se mantienen altos en cuanto el color y turbiedades bajas.

Estas pruebas de laboratorio por lo que se observa están dentro de los parámetros de una excelente calidad de agua por lo que se continuara con el mismo protocolo de tratamiento tradicional.

#### **4. Demanda de polímero.**

De la misma forma que en el tren similar que anteriormente se evaluó, se establece que el polímero empleado es un cationico liquido a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Hidroxicloruro y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y el Cloro.

Calidad del agua cruda :

Temperatura	:	26.40 °C
pH	:	7.85
Turbiedad	:	71.00 UTN.
Color aparente	:	552.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	190.00 ppm.
Hierro	:	1.30 ppm.
Manganeso	:	0.331 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

En este procesos se observa como en los trenes anteriores y floculo muy pequeño con un buen peso para sedimentación con la ayuda del polímero se garantiza que la remoción sea más eficiente y mejore la calidad del agua al reducir el color en el valor de 3.5 ppm el cual ha sido constante durante todo el ciclo de operación.

Se continúa con el polímero cationico WT-40

#### **5.- Demanda Hidroxicloruro de aluminio.**

**Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.**



**Agosto 01**

pH	:	8.49	
Turbiedad	:	95.80	NTU
Color aparente	:	621.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	190.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	190.00	ppm
Carbonatos	:	0.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	144.00	ppm.
Calcio como Ca	:	100.00	ppm.
Magnesio	:	44.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	45.00	ppm.
Sulfatos	:	82.00	ppm
Nitratos	:	8.750	ppm
Nitritos	:	0.058	ppm
Fosfatos	:	1.10	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	340.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	130.00	ppm
Sólidos totales	:	470.00	ppm
Conductividad	:	561.00	ppm
Temperatura	:	26.40	°C
Fierro	:	1.30	ppm
Manganeso	:	0.331	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.290	ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Hidroxicloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Pasch	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	30	20.0	3.5	1.20	35.0	0.040	0.007	7.22
2	15	35	20.0	3.5	1.08	26.0	0.030	0.012	7.24
3	15	40	20.0	3.5	1.0	24.0	0.040	0.023	7.20
4	15	45	20.0	3.5	0.87	18.0	0.003	0.023	7.25
5	15	50	20.0	3.5	0.74	16.0	0.050	0.009	7.22
6	15	55	20.0	3.5	0.65	14.0	0.070	0.008	7.23

Se obtiene una calidad del agua tratada por demás excelentes en estas pruebas de jarra, esperamos que la planta piloto pueda manejar estos resultados con una dosificación de 60 ppm.

## 6. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
COLOR(HTH 65%)	15.0
HIDROXICLORURO DE ALUMINIO	45.0
PolidADMAC (40%)	3.5

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLOR RES.
AGUA CRUDA	8.55	1268	210.03	1.59	0.598	0.00
AGUA TRATADA	7.7	17.0	1.14	0.05	0.016	0.7
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	98.00	99.45	96.85	97.32	100.0

\* valor fuera de norma.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	68.53	34.26
AGUA TRATADA	24.13	12.06

Este proceso presenta valores más altos que el anterior (Policloruro de Aluminio) lo que indica que la remoción de carga orgánica no es muy efectiva con los elementos con que cuenta la planta piloto, los cuales en un futuro próximo sería conveniente revisar y acondicionar para las futuras pruebas de flotación.

Definitivamente la alta carga orgánica que consideramos que proviene principalmente del Río Santiago, por lo que cuando se implementen pruebas específicas con el agua proveniente exclusivamente del río Verde podremos tener una evaluación más completa y confiable y así determinar donde se presentan los índices mayores de contaminación.

Lo anterior nuevamente refleja que en el estiaje por el bajo volumen que aporta el Río Santiago afecta directamente la calidad del agua de la mezcla en el sitio Arcediano.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0347	.0061	<0.0025	<0.0008	0.7549
AGUA TRATADA	<b>0.0108</b>	<b>0.0040</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0973</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	68.87	34.42	N/A	N/A	87.11

\*valor fuera de norma

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Hidroxiclورو de Aluminio	4.80	5.0 - 30.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Hidroxiclورو de Aluminio	45.0	0.216
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.385</b>

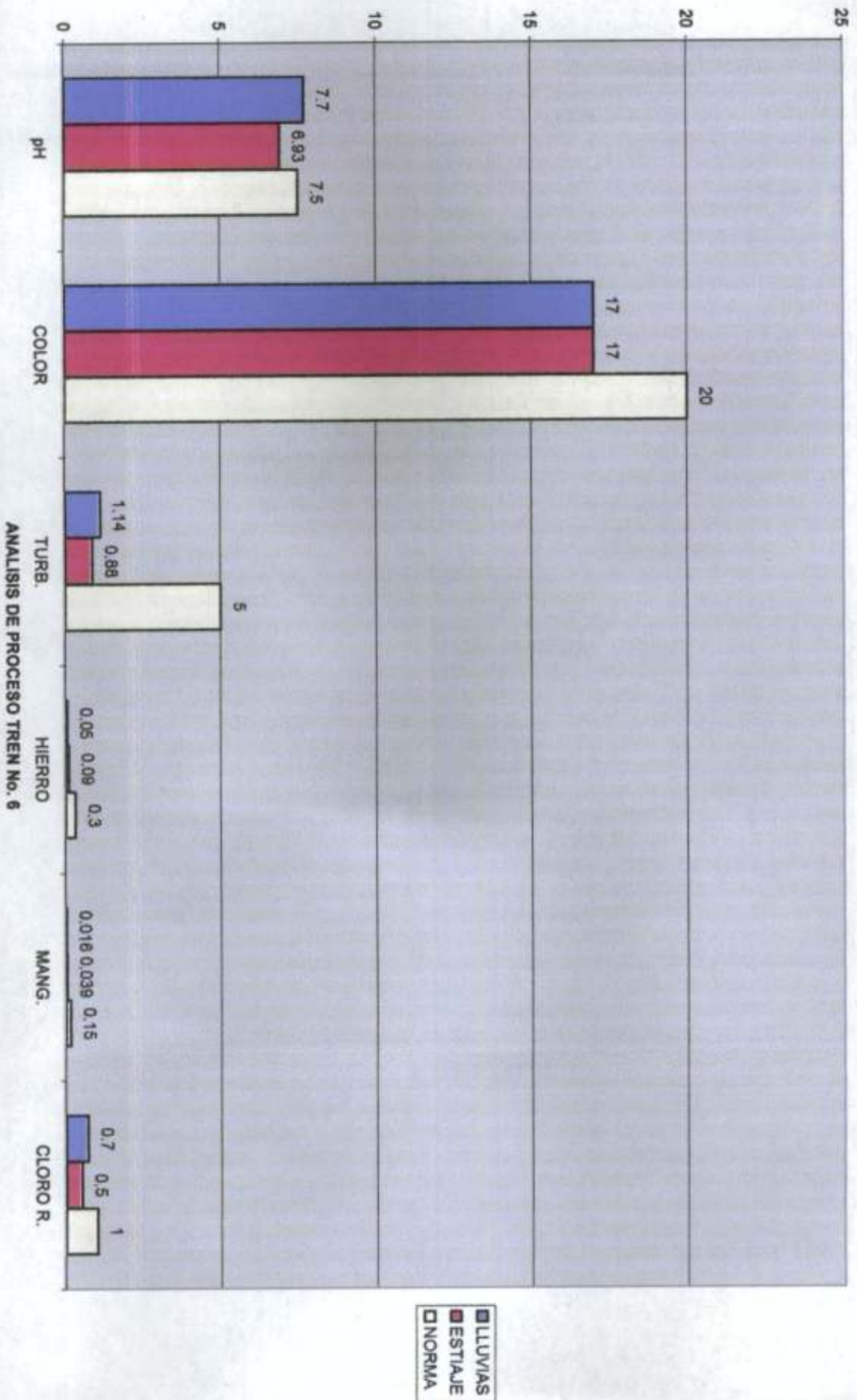
### ACCIONES.

1. Continuar con la evaluación de este tren en el periodo de lluvias y comparar con el actual para evaluar sus diferencias, en cuanto a calidad y costo.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar este tratamiento con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

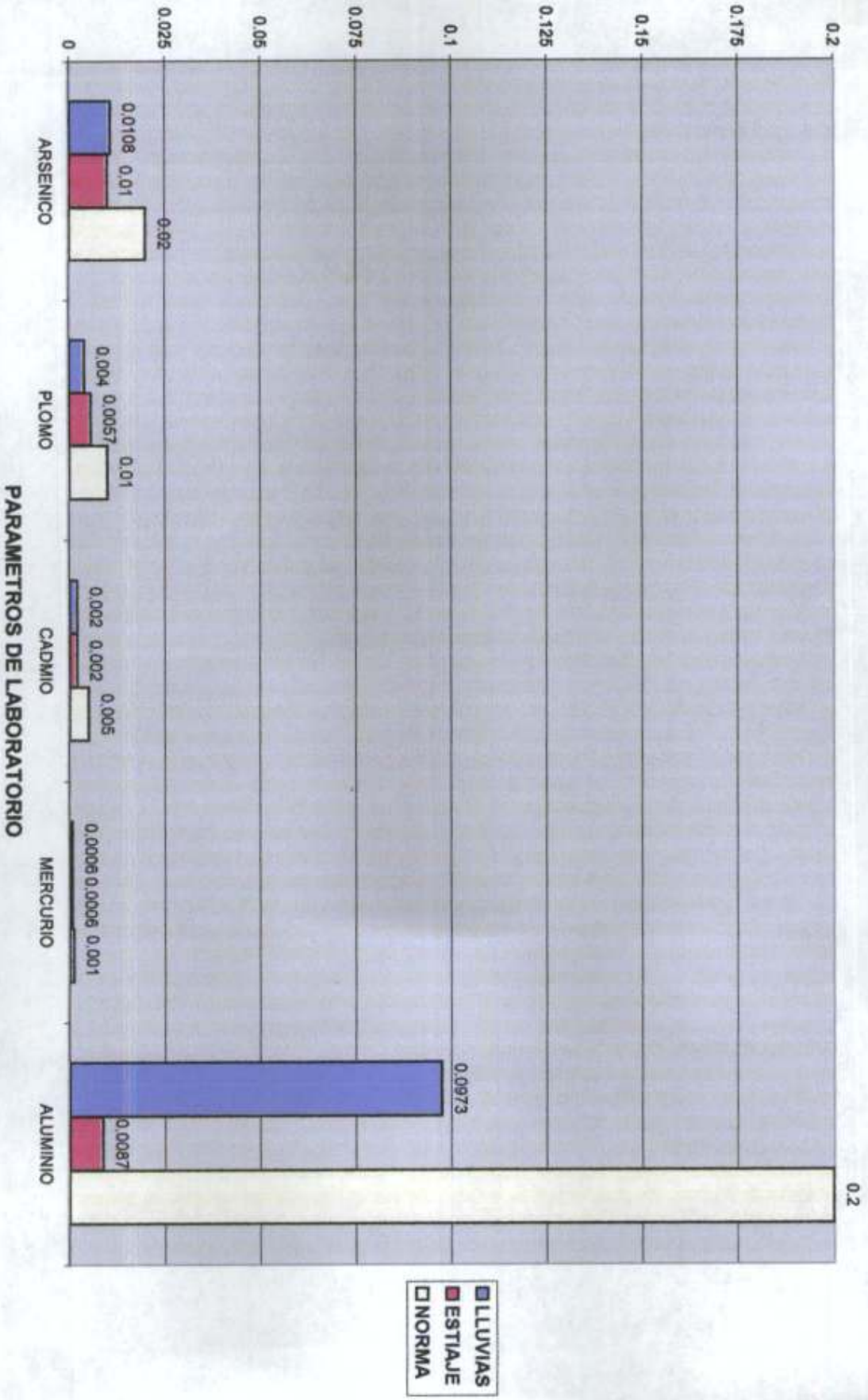
### CONCLUSIONES.

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y Hidroxiclورو de Aluminio ajustando el pH es bastante adecuado para estos valores de agua cruda.

SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 6



### **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Hidroxicloruro + Permanganato de Potasio + Polímero + Cloro (como desinfectante).**

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 16 de Mayo y se termino el día 31 del mismo mes, como en los casos anteriores se adapto un nuevo proceso de tratamiento, el cual incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para este caso el Hidroxicloruro como coagulante primario y el Cloro únicamente como desinfectante, el Polímero como ayuda de floculación con un sedimentador que nos permite manejar tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

#### **Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad.

Calidad del agua cruda:

Mayo 19

pH	:	8.47	
Turbiedad	:	95.00	NTU
Color aparente	:	708.00	Pt-Co
Color real	:	106.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	360.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	360.00	ppm
Carbonatos	:	4.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	215.00	ppm.
Calcio como Ca	:	112.00	ppm.
Magnesio	:	103.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	102.00	ppm.
Sulfatos	:	95.00	ppm
Nitratos	:	0.480	ppm
Nitritos	:	0.099	ppm
Fosfatos	:	7.62	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	610.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	150.00	ppm
Sólidos totales	:	760.00	ppm
Conductividad	:	1007.00	ppm
Temperatura	:	26.70	°C
Fierro	:	0.76	ppm
Manganeso	:	0.431	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.018	ppm

Como en los casos anteriores, para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. son:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

### 1-. Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en los trenes anteriores y tomando en cuenta el programa de simulación RTW Model, como base el análisis de agua cruda anterior se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar el nivel de pH a valores de 7.0 para lo cual se dosifico como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lit. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	pH
1	5.0	7.44
2	10.0	7.32
3	15.0	7.15
4	20.0	7.02
5	25.0	6.95
6	30.0	6.85

Como se puede observar ya es tradicional que la dosificación de 20 mg/lit., de ácido nos acerca a los valores de 7.0 unidades de pH, por lo que con el objetivo de continuar con la evaluación de una dosificación constante para evitar cambios en los trenes de tratamiento se opta por la misma dosificación que se ha venido manejando y su dosificación en la línea de alimentación al presedimentador.

### 2. Demanda de Cloro (para desinfección).

En este proceso de tratamiento y analizando el programa RTW Model como en los otros trenes, donde se utiliza el cloro como desinfectante, la demanda de cloro aplicada antes de la columna de green sand, para obtener residuales entre 1.5 y 2.0 ppm prácticamente se mantiene igual que las anteriores calidades en el agua cruda.

Para tal efecto se utiliza el agua previamente tratada por el proceso de clarificación que opera la planta piloto.

Demanda de Cloro		
Jarra	mg/lit. De Cl <sub>2</sub>	Residual mg/lit.
1	1.0	0.00
2	1.5	0.00
3	2.0	0.25
4	2.5	0.84
<b>5</b>	<b>3.0</b>	<b>1.06</b>
6	3.5	1.50

Estamos seleccionando la jarra No. 5 para continuar con el mismo valor de dosificación ya que nos permite obtener valores de cloro residual de 1.06 el cual es adecuado para nuestro proceso actual.

### 3. Demanda de oxidante con ajuste de pH.

Determinación de la demanda del oxidante.

Continuando con lo tradicional y lo más convencional, estamos utilizando para este caso de demanda las mismas 60.0 ppm de Hidroxicloruro y poder comparar los resultados para los diferentes periodos del año.

El análisis de la calidad del agua cruda es el mismo para los anteriores por lo que la demanda de oxidante se determina de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.

Demanda de Permanganato con ajuste de pH									
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada					
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KMnO <sub>4</sub>	Pach	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	20	0.5	60.0	1.15	23	0.37	0.032	7.00	0.9
2	20	1.0	60.0	0.94	18	0.25	0.023	6.98	0.7
<b>3</b>	<b>20</b>	<b>1.5</b>	<b>60.0</b>	<b>0.91</b>	<b>15</b>	<b>0.09</b>	<b>0.014</b>	<b>7.00</b>	<b>0.9</b>
4	20	2.0	60.0	0.87	18	0.08	0.021	7.04	1.0
5	20	2.5	60.0	0.78	19	0.07	0.072	7.02	0.92
6	20	3.0	60.0	0.81	19	0.00	0.110	7.00	1.06

Con el ajuste de pH y la dosificación de 60.0 ppm de pasch, los resultados en estas pruebas se conservan dentro de los valores deseados para la optimización de un tratamiento convencional. La calidad del agua cruda tiende a mejorar y/o a ser más tratable por el adelanto de las precipitaciones pluviales, esperamos que al implementar estos en la planta piloto se conserven.



#### 4. Demanda de polímero.

Se establece que el polímero empleado es un cationico liquido a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Sulfato de Aluminio y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y el Cloro.

Calidad del agua cruda :

Temperatura	: 26.70 °C
pH	: 8.47
Turbiedad	: 95.00 UTN.
Color aparente	: 708.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	: 360.00 ppm.
Hierro	: 0.76 ppm.
Manganeso	: 0.431 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.

Sedimentación: 12 minutos

En este procesos se observa como en los trenes anteriores y floculo muy pequeño con un buen peso para sedimentación con la ayuda del polímero se garantiza que la remoción sea más eficiente y mejore la calidad del agua al reducir el color.

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Psch	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	60	20.0	2.0	1.45	27	0.24	0.058	7.08
2	1.5	60	20.0	2.5	1.28	22	0.14	0.051	7.09
3	1.5	60	20.0	3.0	1.14	19	0.12	0.047	7.00
4	1.5	60	20.0	3.5	1.00	19	0.042	0.032	7.00
5	1.5	60	20.0	4.0	0.98	19	0.031	0.022	7.05
6	1.5	60	20.0	4.5	0.92	20	0.024	0.019	7.04

Se determino que la jarra numero cuatro esta dentro de nuestra expectativa de tratamiento para ser implementada en la planta piloto, con el fin de evitar cambios bruscos en las dosificaciones de los reactivos y principalmente encontrar adecuar la mejor calidad de agua.

#### 5.- Demanda Hidroxicloruro de aluminio.

**Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.**

Calidad del agua cruda:  
Mayo 20 (07:00 Hrs.)

pH	:	8.69	
Turbiedad	:	27.90	NTU
Color aparente	:	269.00	Pt-Co
Color real	:	58.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	360.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	360.00	ppm
Carbonatos	:	4.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	215.00	ppm.
Calcio como Ca	:	112.00	ppm.
Magnesio	:	103.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	102.00	ppm.
Sulfatos	:	95.00	ppm
Nitratos	:	0.480	ppm
Nitritos	:	0.099	ppm
Fosfatos	:	7.62	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	610.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	150.00	ppm
Sólidos totales	:	760.00	ppm
Conductividad	:	1007.00	ppm
Temperatura	:	26.70	°C
Fierro	:	0.42	ppm
Manganeso	:	0.10	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.018	ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.  
Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM  
Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM  
Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Hidroxicloruro de Aluminio									
Jarra	Reactivos				Agua Filtrada				
	KMnO <sub>4</sub>	Psch	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	45	20.0	3.5	0.43	15.0	0.040	0.018	7.46
2	1.5	50	20.0	3.5	0.35	12.0	0.060	0.045	7.49
3	1.5	55	20.0	3.5	0.41	11.0	0.020	0.041	7.51
4	1.5	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.23</b>	<b>7.0</b>	<b>0.060</b>	<b>0.039</b>	<b>7.48</b>
5	1.5	65	20.0	3.5	0.12	8.0	0.100	0.012	7.50
6	1.5	70	20.0	3.5	0.27	5.0	0.090	0.022	7.50

Continuando con el mismo criterio, se obtiene nuevamente una calidad del agua tratada por demás excelentes en estas pruebas de jarra, esperamos que la planta piloto pueda manejar estos resultados con una dosificación de 60 ppm.

El ajuste de pH no fue muy significativo, ya que no reflejo en este caso un ajuste menor a 7.4, pero queda dentro de los índices deseados por lo que continuaremos en la planta piloto dosificando 20.0 ppm de ácido sulfúrico.

## 6. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación para la simulación realizada en la planta piloto instalada en Arcediano.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO DE POTASIO	1.5
HIDROXICLORURO DE ALUMINIO	60.0
PolidADMAC (40%)	3.5
COLORO	3.0

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.38	581	72.23	0.41	0.204	0.00
AGUATRATADA	<b>7.13</b>	<b>15</b>	<b>1.10</b>	<b>0.06</b>	<b>0.054</b>	101
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	97.41	98.47	85.36	73.52	100.0

\* valor fuera de norma.

Este proceso resulto ser muy estable con las dosificaciones establecidas, dando unos magníficos resultados de proceso. Se observa que tanto las dosificaciones de pasch y ácido sulfúrico están por encima de las tradicionales, pero para efectos de evaluación se mantienen estables las mismas

El pH del agua tratada tuvo una tendencia prácticamente hacia el neutro.

En cuanto a los valores color en agua cruda, estos se mantuvieron en un nivel alto que dificulta su remoción (esto es a valores superiores a 300.0 unidades) con dosificaciones promedio de una planta convencional, por lo tanto el uso de mayor cantidad de reactivos.

La carga orgánica que se presento en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	234.00	117.00
AGUA TRATADA	73.12	36.56

Este proceso también presenta valores más altos que el inmediato anterior lo que indica que la remoción de carga orgánica no es muy efectiva con los elementos con que cuenta la planta piloto, los cuales en un futuro próximo sería conveniente revisar y acondicionar para las futuras pruebas de flotación.

Definitivamente la alta carga orgánica consideramos que proviene principalmente del Río Santiago, por lo que cuando se implementen pruebas específicas con el agua proveniente exclusivamente del río Verde podremos tener una evaluación más completa y confiables y así determinar donde se presentan los índices mayores de contaminación.

Lo anterior nuevamente refleja que en el estiaje por el bajo volumen que aporta el Río Santiago afecta directamente la calidad del agua de la mezcla en el sitio Arcediano.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0150	0.0065	<0.0025	<0.0008	0.0889
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>0.0044</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0435</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	33.33	32.30	N/A	N/A	51.06

\*valor fuera de norma

Aun cuando prácticamente se ha cubierto el periodo de estiaje, los valores de los metales pesados no reflejaron una alteración mayor en comparación con el ciclo anterior (Octubre-Diciembre) se continuara analizando su comportamiento para los siguientes meses con una probabilidad de que bajen sus concentraciones por el efecto de dilución en el Río Santiago.

Cabe mencionar que por las tardes y las noches, se incrementan los valores en ciertos días por lo que consideramos que hay descargas clandestinas aprovechando los horarios.

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Permanganato de Potasio	35.00	1.0 - 5.0
Hidroxiclорuro de Aluminio	4.80	5.0 - 30.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Permanganato de Potasio	1.5	0.0525
Hidroxiclорuro de Aluminio	60.0	0.288
Poli(DACMAC)	3.5	0.035
Cloro Gas	15.0	0.090
	<b>TOTAL</b>	<b>0.5095</b>

## **ACCIONES.**

1. Continuar con la evaluación de este tren en el periodo de lluvias y comparar con el actual para evaluar sus diferencias, en cuanto a calidad y costo.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar estos tratamiento con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

## **CONCLUSIONES.**

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y Hidroxicloruro de Aluminio ajustando el pH es bastante adecuado para estos valores de agua cruda.

Alto costo de Implementación.

## **Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Hidroxicloruro + Permanganato de Potasio + Polímero + Cloro (como desinfectante).**

Este tren de tratamiento se implemento a partir del día 16 de Julio al día 31 del mismo mes.

Dado que el comportamiento del Hidroxicloruro de Aluminio es muy similar al Pac, se determino para este tren de tratamiento llevar a cabo la misma estrategia en cuanto a las demandas de Ajuste de pH, Permanganato de potasio como oxidante y Cloro como desinfección como en los casos anteriores.

La planta piloto mantiene las mismas características de proceso como en los tratamientos anteriores, el cual incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica el Ácido Sulfúrico.

### **Pruebas de tratabilidad.**

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad.

Calidad del agua cruda:

16 de Julio

pH	:	8.26	
Turbiedad	:	89.00	NTU
Color aparente	:	960.00	Pt-Co
Color real	:	54.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	160.00	ppm
Hidroxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	160.00	ppm
Carbonatos	:	0.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	132.00	ppm.
Calcio como Ca	:	80.00	ppm.
Magnesio	:	52.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	40.00	ppm.
Sulfatos	:	68.00	ppm
Nitratos	:	0.170	ppm
Nitritos	:	0.096	ppm
Fosfatos	:	1.80	ppm
Solidos Totales Disueltos	:	250.00	ppm
Solidos Suspendidos	:	38.00	ppm
Solidos totales	:	288.00	ppm
Conductividad	:	413.00	ppm
Temperatura	:	23.10	°C
Fierro	:	1.06	ppm
Manganeso	:	0.341	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.026	ppm

### Programa RTW Model.

Parámetros	Resultados	Deseados
Alcalinidad	128 mg/l	> 40 mg/l
Calcio	80 mg/l	> 40 mg/l
Alcalinidad /(Cl+So4)	1.0	>5.0 mg/l
pH	6.92	6.8 – 9.3
Potencial de precipitación	-718 mg/l	4 -1 mg/l
Indice Langalier	-1.0	> 0
Indice Ryznar	8.92	< 6
Acides	191 mg/l	

### Demanda Hidroxicloruro de aluminio.

**Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.**

Calidad del agua cruda:

julio 16 (15:00 Hrs.)

pH	:	8.04	
Turbiedad	:	269.00	NTU
Color aparente	:	1630.00	Pt-Co
Color real	:	168.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	360.00	ppm
Hidroxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	360.00	ppm
Carbonatos	:	4.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	215.00	ppm.
Calcio como Ca	:	112.00	ppm.
Magnesio	:	103.00	ppm
Cloruros como Cl	:	102.00	ppm.
Sulfatos	:	95.00	ppm
Nitratos	:	0.480	ppm
Nitritos	:	0.099	ppm
Fosfatos	:	7.62	ppm
Solidos Totales Disueltos	:	610.00	ppm
Solidos Suspendidos	:	150.00	ppm
Solidos totales	:	760.00	ppm
Conductividad	:	1007.00	ppm



Temperatura : 26.70 °C  
 Fierro : 1.73 ppm  
 Manganeso : 0.831 ppm  
 Cobre : 0.00 ppm  
 Aluminio : 0.018 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Hidroxicloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	KMnO <sub>4</sub>	Psch	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	1.5	30	20.0	3.5	0.65	21.0	0.010	0.021	7.12
2	1.5	35	20.0	3.5	0.76	23.0	0.010	0.019	7.11
3	1.5	40	20.0	3.5	0.91	21.0	0.000	0.019	7.08
4	1.5	<b>45</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.34</b>	<b>18.0</b>	<b>0.070</b>	<b>0.009</b>	<b>7.12</b>
5	1.5	50	20.0	3.5	0.45	150	0.020	0.017	7.09
6	1.5	55	20.0	3.5	0.39	10.0	0.030	0.001	7.10

Continuando con el mismo criterio, se obtiene nuevamente una calidad del agua tratada por demás excelentes en estas pruebas de jarra, esperamos que la planta piloto pueda manejar estos resultados con una dosificación de 60 ppm.

El ajuste de pH no fue muy significativo, ya que no reflejo en este caso un ajuste menor a 7.4, pero queda dentro de los índices deseados por lo que continuaremos en la planta piloto dosificando 20.0 ppm de ácido sulfúrico.

#### Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación para la simulación realizada en la planta piloto instalada en Arcediano.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
PERMANGANATO DE POTASIO	1.5
HIDROXICLORURO DE ALUMINIO	45.0
PolidADMAC (40%)	3.5
CLORO	3.0

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	CLORO RES.
AGUA CRUDA	8.23	949	165.40	1.38	0.449	0.00
AGUATRATADA	<b>6.81</b>	<b>12</b>	<b>1.80</b>	<b>0.04</b>	<b>0.040</b>	0.9
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	98.73	98.91	97.10	91.09	100.0

\* valor fuera de norma.

Este proceso resulto ser muy estable con las dosificaciones establecidas, dando unos magnificos resultados de proceso. Se observa que tanto las dosificaciones de pasch y ácido sulfúrico siguen estando por encima de las tradicionales, pero para efectos de evaluación se mantienen estables las mismas

El pH del agua tratada tuvo una tendencia prácticamente hacia el neutro.

En cuanto a los valores color en agua cruda, estos se mantuvieron en un nivel alto que dificulta su remoción (esto es a valores superiores a 300.0 unidades) con dosificaciones promedio de una planta convencional, por lo tanto el uso de mayor cantidad de reactivos.

La carga orgánica que se presento en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	95.93	47.96
AGUA TRATADA	19.37	9.68

Este proceso también presenta valores más altos que el inmediato anterior lo que indica que la remoción de carga orgánica no es muy efectiva con los elementos con que cuenta la planta piloto, los cuales en un futuro próximo sería conveniente revisar y acondicionar para las futuras pruebas de flotación.

Definitivamente la alta carga orgánica consideramos que proviene principalmente del Río Santiago, por lo que cuando se implementen pruebas específicas con el agua proveniente exclusivamente del río Verde podremos tener una evaluación más completa y confiables y así determinar donde se presentan los índices mayores de contaminación.

Lo anterior nuevamente refleja que en el estiaje por el bajo volumen que aporta el Río Santiago afecta directamente la calidad del agua de la mezcla en el sitio Arcediano.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0150	0.0050	<0.0025	<0.0008	0.1032
AGUA TRATADA	<b>0.0100</b>	<b>0.0040</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0333</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	33.33	20.0	N/A	N/A	67.73

\*valor fuera de norma

Aun cuando prácticamente se ha cubierto el periodo de lluvias, los valores de los metales pesados no reflejaron una alteración mayor en comparación con el ciclo anterior se continuara analizando su comportamiento para los siguientes meses con una probabilidad de que bajen sus concentraciones por el efecto de dilución en el Río Santiago.

Cabe mencionar que por las tardes y las noches, se incrementan los valores en ciertos días por lo que consideramos que hay descargas clandestinas aprovechando los horarios.

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Permanganato de Potasio	35.00	1.0 - 5.0
Hidroxiclورو de Aluminio	4.80	5.0 - 30.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Permanganato de Potasio	1.5	0.0525
Hidroxiclورو de Aluminio	45.0	0.216
Poli(DACMAC)	3.5	0.035
Cloro Gas	3.0	0.018
	<b>TOTAL</b>	<b>0.3655</b>

### ACCIONES.

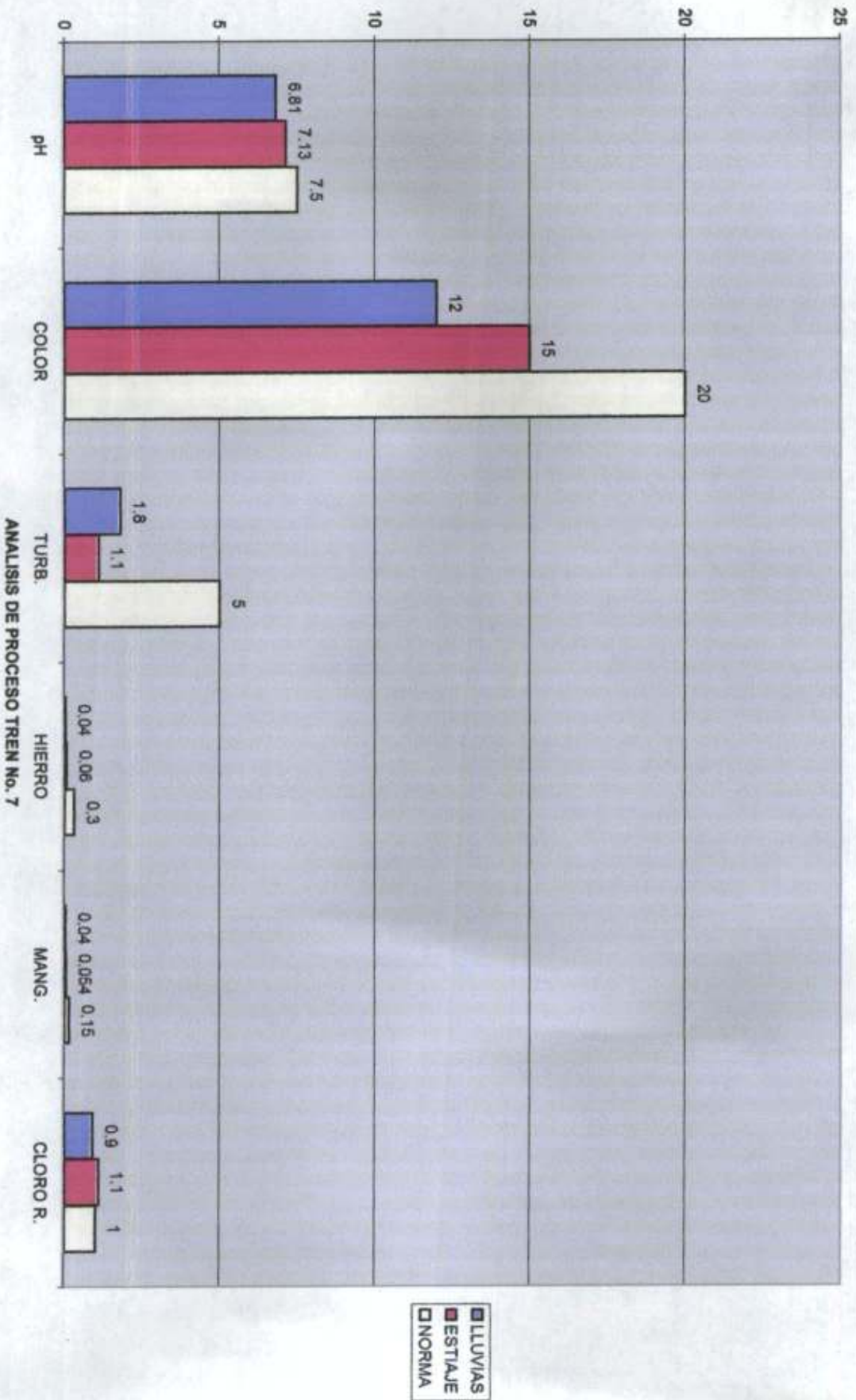
1. Continuar con la evaluación de este tren el próximo mes buscando la reducción del hidroxiclورو y comparar con el actual para evaluar sus diferencias, en cuanto a calidad y costo.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar este tratamiento con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

### CONCLUSIONES.

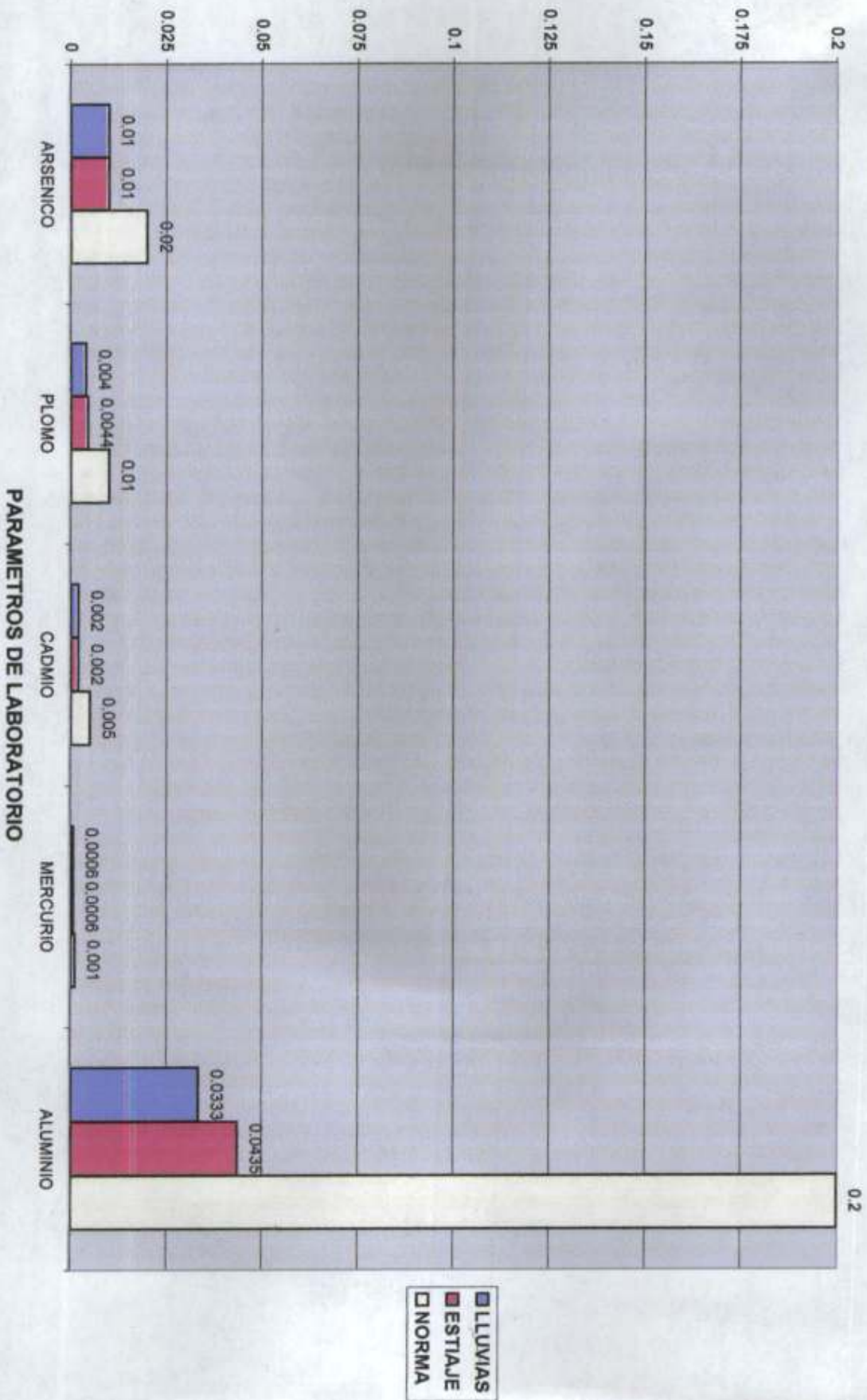
Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de Permanganato y Hidroxiclورو de Aluminio ajustando el pH es bastante adecuado para estos valores de agua cruda.

El costo de Implementación mejoro con respecto al obtenido en el mes de Mayo bajo este mismo tren de tratamiento.

SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA



COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 7



## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Policloruro de Aluminio + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 01 de Junio y se concluyo el día 15 del mismo mes, con la variante de un nuevo proceso de tratamiento, que incluye un presedimentador con tiempo de retención de hasta 2.5 horas, el cual cuenta con un sistema de aereación hidráulico por aspersión por medio de orificios donde se dosifica Ácido Sulfúrico como ajustador de pH para mejorar el proceso de coagulación del agua, adicionalmente se esta utilizando para éste caso el Policloruro de Aluminio como coagulante primario y el Cloro como oxidante y desinfectante, el Polímero como ayuda de floculación con tiempos de residencia desde 15 minutos hasta dos horas y media.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad:

Calidad del agua cruda:  
Junio 02

pH	:	8.84	
Turbiedad	:	33.00	NTU
Color aparente	:	360.00	Pt-Co
Color real	:	55.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	316.00	ppm
Hidróxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	316.00	ppm
Carbonatos	:	16.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	172.00	ppm.
Calcio como Ca	:	96.00	ppm.
Magnesio	:	76.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	52.00	ppm.
Sulfatos	:	56.00	ppm
Nitratos	:	0.230	ppm
Nitritos	:	0.059	ppm
Fosfatos	:	5.44	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	480.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	141.00	ppm
Sólidos totales	:	621.00	ppm
Conductividad	:	792.00	ppm
Temperatura	:	20.10	°C
Fierro	:	0.52	ppm
Manganeso	:	0.239	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.109	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación : 15 minutos a 30 RPM.

### 1- Demanda de Acido Sulfúrico (Ajuste de pH)

Como en los trenes anteriores se Tomo como base la aplicación del programa RTW Model en el análisis de agua cruda anterior y se procedió a hacer una simple prueba de jarra de la demanda de Acido Sulfúrico al 99% para ajustar con 20.0 mg/lt., el nivel de pH. Las cuales se determinaron como sigue:

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado: 10 minutos a 20 RPM

Ajuste de pH		
Jarra	Mg/lt. De H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ph
1	5.0	7.88
2	10.0	7.80
3	15.0	7.59
4	20.0	7.42
5	25.0	7.28
6	30.0	7.17

Los resultados anteriores, muestran que con una dosificación de 20.0 ppm de ácido sulfúrico al 99.9% en la línea de alimentación al presedimentador tiene un valor de 7.42. Con el objetivo de continuar con la evaluación de una dosificación constante para evitar cambios en los trenes de tratamiento se opta por la misma dosificación que se ha venido manejando.

### 2. Demanda de oxidante con ajuste de pH.

Determinación de la demanda del Cloro.

Continuando con lo tradicional, estamos considerando para este efecto utilizar 60.0 ppm de Policloruro de Aluminio y poder comparar los resultados para los diferentes periodos del año.

La calidad del agua cruda es igual, por lo que la demanda de oxidante, se determino de la siguiente forma a través de realizar los análisis y pruebas de jarras en el mismo lugar.



Demanda de Cloro con ajuste de pH									
Jarra	Reactivos			Agua Filtrada					
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub>	Pac	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn Ppm	pH	Cloro Residual
1	20	5.0	60.0	1.12	12.6	0.21	0.031	7.30	0.0
2	20	7.5	60.0	1.00	14.1	0.20	0.021	7.30	0.0
3	20	10.0	60.0	0.94	12.0	0.15	0.014	7.10	0.4
4	20	12.5	60.0	0.80	10.7	0.09	0.009	7.18	0.8
5	<b>20</b>	<b>15.0</b>	60.0	<b>0.74</b>	<b>10.4</b>	<b>0.07</b>	<b>0.004</b>	<b>7.10</b>	<b>1.0</b>
6	20	17.5	60.0	0.76	10.2	0.05	0.005	7.19	1.4

Como ya es tradicional en este proceso e tratamiento, la demanda de Cloro prácticamente se mantiene en los mismos niveles aun cuando las condiciones de el agua cruda se mantienen altos en cuanto el color y turbiedades bajas.

Estas pruebas de laboratorio por lo que se observa están dentro de los parámetros de una excelente calidad de agua, por lo que se continuara con el mismo protocolo de tratamiento tradicional.

Por los datos obtenidos en las pruebas anteriores, la jarra numero 5 por su mejor remoción del color es la que se selecciona para este tren.

### 3. Demanda de polímero.

Se establece que el polímero empleado es un cationico liquido a base poly(DIMDAAC). Se continúa tomando como base las 60.0 ppm de Policloruro de Aluminio y los valores seleccionados conforme a las demandas obtenidas en las pruebas anteriores para el Acido Sulfúrico y el Cloro.

Calidad del agua cruda :

Temperatura : 20.10 °C  
 pH : 8.84  
 Turbiedad : 33.00 UTN.  
 Color aparente : 360.00 Pt-Co  
 Alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> : 316.00 ppm.  
 Hierro : 0.52 ppm.  
 Manganeso : 0.239 ppm.

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min fueron:

Mezclado rápido: 180 seg. a 100 RPM  
 Coagulación-floculación: 15 minutos a 30 RPM.  
 Sedimentación: 12 minutos

En este procesos se observa como en los trenes anteriores y floculo muy pequeño con un buen peso para sedimentación con la ayuda del polímero se garantiza que la remoción sea más eficiente y mejore la calidad del agua al reducir el color.

Se selecciona el polímero cationico WT-40

Demanda de Polímero									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Pac	H <sub>2</sub> S O <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	60	20.0	2.0	1.0	20.0	0.062	0.042	7.11
2	15	60	20.0	2.5	0.95	18.0	0.041	0.024	7.10
3	15	60	20.0	3.0	0.90	17.2	0.019	0.021	7.00
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.84</b>	<b>15.4</b>	<b>0.000</b>	<b>0.011</b>	<b>7.00</b>
5	15	60	20.0	4.0	0.91	17.3	0.000	0.000	7.08
6	15	60	20.0	4.5	0.84	16.4	0.000	0.010	7.09

Se determino que la jarra numero cuatro esta dentro de nuestra expectativa de tratamiento para ser implementada en la planta piloto, con el fin de evitar cambios bruscos en las dosificaciones de los reactivos y principalmente encontrar adecuar la mejor calidad de agua.

#### 4.- Demanda Policloruro de aluminio.

**Siguiendo bajo el mismo concepto y tomando en cuenta las demandas encontradas en los reactivos principales se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda.**

Junio 02 (7:00 hrs)

pH	:	9.18
Turbiedad	:	24.60 NTU
Color aparente	:	255.00 Pt-Co
Color real	:	55.00 Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	316.00 ppm
Hidróxidos	:	0.00 ppm
Bicarbonatos	:	316.00 ppm
Carbonatos	:	16.00 ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	172.00 ppm.
Calcio como Ca	:	96.00 ppm.
Magnesio	:	76.00 ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	52.00 ppm.
Sulfatos	:	56.00 ppm
Nitratos	:	0.230 ppm

Nitritos	:	0.059	ppm
Fosfatos	:	5.44	ppm
Sólidos Totales Disueltos	:	480.00	ppm
Sólidos Suspendidos	:	141.00	ppm
Sólidos totales	:	621.00	ppm
Conductividad	:	792.00	ppm
Temperatura	:	20.10	°C
Fierro	:	0.09	ppm
Manganeso	:	0.177	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.109	ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.  
 Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM  
 Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM  
 Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Policloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Pac	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	45	20.0	3.5	1.12	21	0.01	0.002	7.45
2	15	50	20.0	3.5	0.99	16	0.04	0.005	7.45
3	15	55	20.0	3.5	0.87	13	0.02	0.003	7.45
<b>4</b>	<b>15</b>	<b>60</b>	<b>20.0</b>	<b>3.5</b>	<b>0.78</b>	<b>9</b>	<b>0.02</b>	<b>0.002</b>	<b>7.43</b>
5	15	65	20.0	3.5	0.65	11	0.03	0.004	7.44
6	15	70	20.0	3.5	0.45	9	0.01	0.005	7.43

Nuevamente se obtiene una calidad del agua tratada por demás excelente, como anteriormente se ha visualizado, que con estas pruebas de jarra la planta piloto puede manejar estos resultados con una dosificación de 60 ppm sin ningún problema.

##### 5. Implementación de alternativas de tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra los resultados de la implementación de la simulación realizada a la planta instalada.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
COLOR(HTH 65%)	15.0
POLICLORURO DE ALUMINIO	60.0
PolidADMAC (40%)	3.5

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLOR RES.
AGUA CRUDA	8.39	1021	141.74	0.62	0.242	0.00
AGUATRATADA	<b>7.04</b>	<b>14.0</b>	<b>0.89</b>	<b>0.05</b>	<b>0.037</b>	1.00
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	98.62	99.37	91.93	84.71	100.0

\* valor fuera de norma.

Como se proyecto anteriormente en los resultados de las pruebas de tratabilidad en el laboratorio, se puede constatar que los valores que se obtuvieron en la planta piloto si se reflejaron en forma significativa. Esto es un indicativo que el uso de estos reactivos se comportan con una alta eficiencia y efectividad.

Este tren de tratamiento por las características del agua cruda tubo un comportamiento inestable durante las tardes noches que no afectaron los promedios obtenidos en esta tabla.

El pH del agua tratada tuvo una tendencia prácticamente en el nivel neutro con bajas hacia el nivel ácido.

En cuanto a los valores color estos también se redujeron a porcentajes de remoción muy por arriba de los promedios de una planta convencional para tratar agua potable.

La carga orgánica que se presento en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	149.33	74.66
AGUA TRATADA	32.68	16.32

Este proceso los valores se redujeron prácticamente al 50 % del proceso anterior (Hidroxiclورو de Aluminio) lo cual se debe principalmente a que las precipitaciones pluviales que se presentaron en este mes ayudaron a reducir la carga orgánica presente en ambos ríos y con junto con la ayuda con nuestro proceso de Aeración ayudo a reducir significativamente estos valores.

### Análisis de metales pesados

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0255	0.0081	<0.0026	<0.0008	0.1159
AGUA TRATADA	<b>0.0126</b>	<b>0.0046</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0823</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	50.58	43.20	N/A	N/A	28.99

\*valor fuera de norma

Como se puede observar en los metales tanto en el agua cruda como en el agua tratada no indican estar fuera de los niveles promedio para el agua potable.

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opere en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Policloruro de Aluminio	4.80	5.0 - 30.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Ácido Sulfúrico	20.0	0.044
Policloruro de Aluminio	60.0	0.270
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.439</b>

### ACCIONES.

1. Continuar con este proceso de tratamiento reduciendo las dosificaciones (del coagulante) con el fin de encontrar un costo beneficio adecuado para una planta convencional de agua potable.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar estos tratamientos con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

## **CONCLUSIONES.**

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y Policloruro de Aluminio ajustando el pH es bastante adecuado para estos valores de agua cruda.

Probar dosificaciones bajas para comprobar su efectividad e implementación en plantas de tratamiento.

## Tren de Tratamiento con Ácido Sulfúrico + Policloruro de Aluminio + Cloro + Polímero

Este tren de tratamiento se implemento a partir de el día 01 de Julio y se termino el día 15 de Julio de 2004.

Tomando como base el tren de tratamiento número ocho el cual es exactamente igual al presente y contando con los mismos elementos de proceso en la planta piloto y los mismos criterios de las demandas tanto en ajuste de pH como cloro y polímero, se procedio únicamente a evaluar el comportamiento de este tren bajo las mismas circunstancias del anterior y con la calidad del agua actual.

### Pruebas de tratabilidad.

Se tomaron muestras del agua cruda y de acuerdo con el programa de análisis AQUALAB001 y el programa RTW Model con los protocolos de prueba de jarra, se procedió a realizar las pruebas de tratabilidad.

Calidad del agua cruda:  
Julio 07/07/2004

pH	:	8.55	
Turbiedad	:	174.00	NTU
Color aparente	:	1295.00	Pt-Co
Color real	:	146.00	Pt-Co
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	:	254.00	ppm
Hidroxidos	:	0.00	ppm
Bicarbonatos	:	254.00	ppm
Carbonatos	:	8.00	ppm
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	:	148.00	ppm.
Calcio como Ca	:	110.00	ppm.
Magnesio	:	38.00	ppm
Cloruros como Cl <sup>-</sup>	:	80.00	ppm.
Sulfatos	:	30.00	ppm
Nitratos	:	0.180	ppm
Nitritos	:	0.110	ppm
Fosfatos	:	2.00	ppm
Solidos Totales Disueltos	:	230.00	ppm
Solidos Suspendidos	:	486.00	ppm
Solidos totales	:	716.00	ppm
Conductividad	:	380.00	ppm
Temperatura	:	27.60	°C
Fierro	:	1.53	ppm
Manganeso	:	0.469	ppm
Cobre	:	0.00	ppm
Aluminio	:	0.109	ppm

Para simular la filtración se utilizó papel filtro Whatman número 40.

Los tiempos y rev/min. fueron:

Mezclado rápido : 180 seg. a 100 RPM

Coagulación-floculación : 15 minutos a 30 RPM.

### 1. Demanda Policloruro de aluminio.

Continuando bajo el mismo concepto de tratamiento y tomando como base las demandas encontradas en los trenes de tratamiento anteriores y las cuales no varían considerablemente, en la dosificación de los reactivos de ajuste de pH, Cloro (como Oxidante y desinfectante) y Polímero WT-40, se procede a efectuar pruebas de jarra con la siguiente calidad de agua cruda para determinar nuestra demanda:

Calidad de agua cruda.

Julio 01 (7:00 hrs)

pH : 8.39  
Turbiedad : 684.00 NTU  
Color aparente : 3296.00 Pt-Co  
Fierro : 2.18 ppm  
Manganeso : 0.824 ppm

Los tiempos y agitación son los mismos de las pruebas anteriores.

Mezclado Rápido: 180 segundos a 100.0 RPM

Coagulación/Floculación: 15 Minutos a 50.0 RPM

Sedimentación: 12 Minutos a 0.0 RPM.

Demanda de Policloruro de Aluminio									
Reactivos					Agua Filtrada				
Jarra	Cloro	Pac	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	WT 40	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Fe Ppm	Mn ppm	pH
1	15	30	20.0	3.5	1.12	25.0	0.01	0.000	6.94
2	15	35	20.0	3.5	1.05	21.0	0.03	0.000	6.94
3	15	40	20.0	3.5	0.99	18.0	0.04	0.000	6.93
4	15	45	20.0	3.5	0.78	14.0	0.02	0.000	6.95
5	15	50	20.0	3.5	0.76	13.0	0.05	0.000	6.96
6	15	55	20.0	3.5	0.67	11.0	0.03	0.000	6.95

Nuevamente se obtiene una calidad del agua tratada por demás excelente, como anteriormente se ha visualizado, que con estas pruebas de jarra la planta piloto puede manejar estos resultados con una dosificación de 45 ppm, por lo cual se implementa en la planta piloto para continuar con la optimización de este tratamiento.



## 2. Implementación del tratamiento.

En las tablas siguientes se muestra las dosificaciones y reactivos para realizar su implementación en la planta piloto instalada en Arcediano.

Las dosificaciones de reactivos que se determinaron a través de pruebas de jarra para este tren, fueron las siguientes:

PRODUCTO QUIMICO	PPM
ACIDO SULFURICO (100%)	20.0
CLORO(HTH 65%)	15.0
POLICLORURO DE ALUMINIO	45.0
PolidADMAC (40%)	3.5

### Análisis de proceso

PARAMETRO	PH	COLOR	TURBIEDAD	HIERRO	MANGANESO	COLOR RES.
AGUA CRUDA	8.57	1900	331.75	1.95	0.647	0.00
AGUATRATADA	6.45	3.0	0.61	0.03	0.070	0.3
NORMA	6.5 – 8.5	20	5.0	0.30	0.15	0.5 – 1.0
EFICIENCIA %	N/A	99.84	99.81	98.46	89.18	100.0

\* valor fuera de norma.

Como se proyectó anteriormente en los resultados de las pruebas de tratabilidad en el laboratorio, se puede constatar que los valores que se obtuvieron en la planta piloto sí se reflejaron en forma significativa. Esto es un indicativo que el uso de estos reactivos se comportan con una alta eficiencia y efectividad.

Este tren de tratamiento por las características del agua cruda tuvo un comportamiento inestable durante las tardes noches que no afectaron los promedios obtenidos en esta tabla.

En cuanto a los valores color estos también se redujeron a porcentajes de remoción muy por arriba de los promedios de una planta convencional para tratar agua potable.

La carga orgánica que se presentó en este periodo con este tren de tratamiento se puede observar en la tabla siguiente.

### Análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARÁMETRO	DQO	DBO <sub>5</sub>
AGUA CRUDA	149.33	74.66
AGUA TRATADA	32.68	16.32

Este proceso los valores se redujeron prácticamente al 50 % del proceso anterior (Hidroxiclورو de Aluminio) lo cual se debe principalmente a que las precipitaciones pluviales que se presentaron en este mes ayudaron a reducir la carga orgánica presente en ambos ríos y con junto con la ayuda con nuestro proceso de Aeración ayudo a reducir significativamente estos valores.

### Análisis de metales pesados

↗ Cambiar Datos.

PARAMETRO	ARSENICO	PLOMO	CADMIO	MERCURIO	ALUMINIO
AGUA CRUDA	0.0255	0.0081	<0.0026	<0.0008	0.1159
AGUA TRATADA	<b>0.0126</b>	<b>0.0046</b>	<b>&lt;0.0020</b>	<b>&lt;0.0006</b>	<b>0.0823</b>
NORMA	0.020	0.01	0.005	0.001	0.20
EFICIENCIA %	50.58	43.20	N/A	N/A	28.99

\*valor fuera de norma

Como se puede observar en los metales tanto en el agua cruda como en el agua tratada no indican estar fuera de los niveles promedio para el agua potable.

### Evaluación económica de la simulación.

En el cuadro siguiente, se muestran los precios de los reactivos así como las dosificaciones promedio que se usan en una planta con el tratamiento que se opero en esta etapa.

Producto	Costo \$/Kg	Dosificación promedio ppm
Ácido Sulfúrico	2.20	2.0 - 20.0
Policloruro de Aluminio	4.80	5.0 - 30.0
Poli(DACMAC)	10.00	0.5 - 5.0
Cloro Gas	6.00	1.0 - 15.0

Metals	ARSENICO	Plomo	CADMIO	Mer.	Aluminio
Cruda	0.0150	0.0050			0.1645
Trat.	0.0100	0.0040			0.0991

### Costo del tratamiento.

Producto	Gr/M <sup>3</sup>	Costo/M <sup>3</sup>
Acido Sulfúrico	20.0	0.044
Policloruro de Aluminio	45.0	0.216
Polímero	3.5	0.035
Cloro	15.0	0.09
	<b>TOTAL</b>	<b>0.385</b>

### ACCIONES.

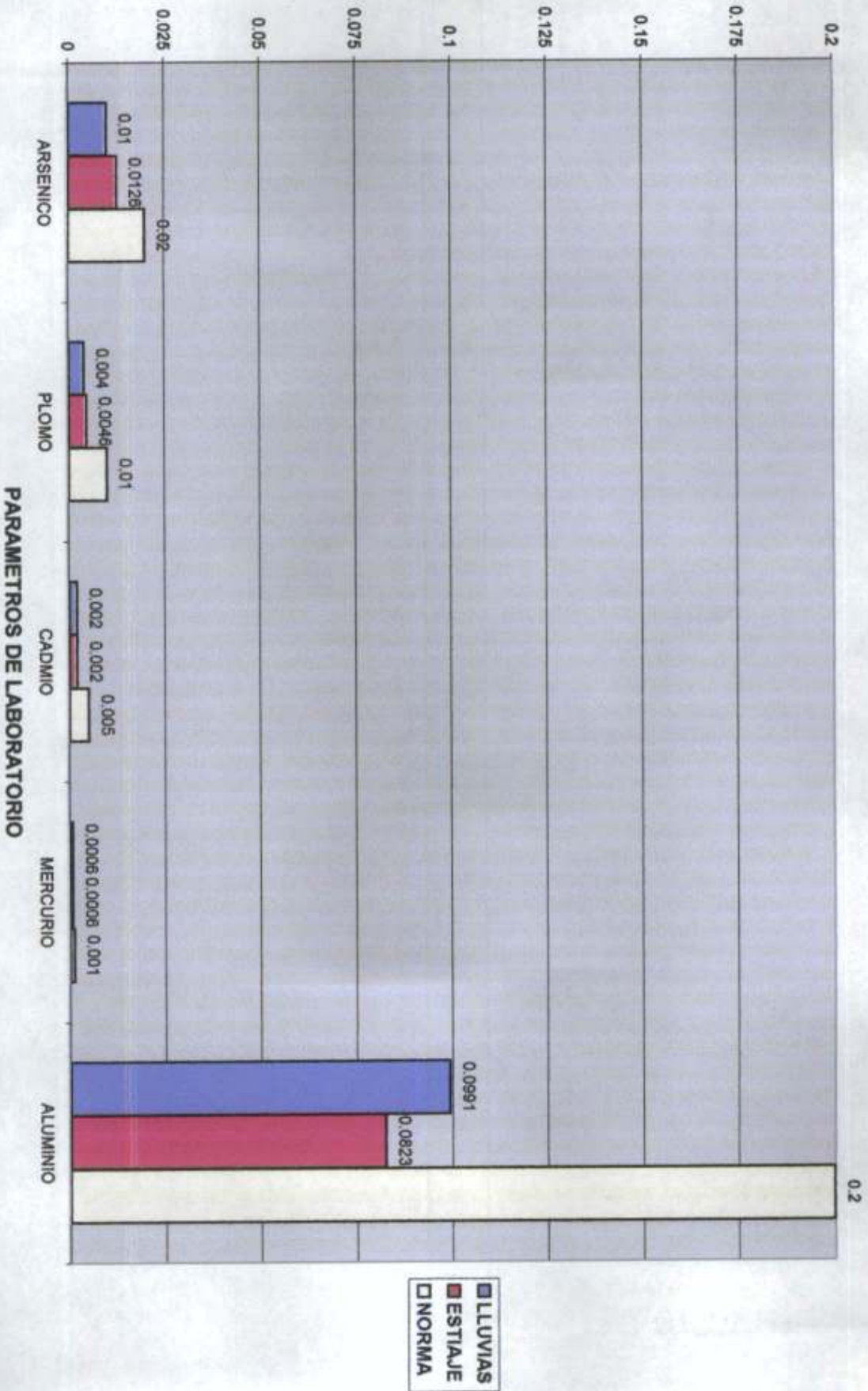
1. Continuar con este proceso de tratamiento reduciendo las dosificaciones (del coagulante) con el fin de encontrar un costo beneficio adecuado para una planta convencional de agua potable.
2. Hacer pruebas, con agua directa del Río Verde y comparar su comportamiento.
3. Monitorear los análisis de laboratorio de los metales pesados fuera de norma y llevar un registro horario.
4. En una siguiente etapa, es muy conveniente y necesaria, comparar estos tratamiento con un simulador de separador de sólidos por flotación para evaluar su eficiencia y efectividad.

### CONCLUSIONES.

Este tren de tratamiento, en definitiva con el uso de cloro y Policloruro de Aluminio ajustando el pH es bastante adecuado para estos valores de agua cruda.

Probar dosificaciones bajas para comprobar su efectividad e implementación en plantas de tratamiento.

COMPARATIVO METALES PESADOS TREN No. 8



SITIO "ARCEDIANO" COMPARATIVO CALIDAD DE AGUA TRATADA

