

**DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA
SUPERFICIAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA INFERENTES
EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA EN LA COMPAÑIA
ELÉCTRICA DEL SOCHAGOTA**

RONY ALEXANDER GÓMEZ NUÑEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

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

2014

**DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA
SUPERFICIAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA INFERENTES
EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA EN LA COMPAÑIA
ELÉCTRICA DEL SOCHAGOTA**

RONY ALEXANDER GÓMEZ NUÑEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

DIRECTORES:

**DIONISIO ANTONIO LAVERDE CATAÑO
INGENIERO METALÚRGICO PhD.**

**HUMBERTO ESCALANTE HERNANDEZ
INGENIERO QUÍMICO PhD.**

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

2014

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo general:.....	14
2.2 Objetivos específicos:	14
3 METODOLOGIA.....	15
3.1 Evaluación y selección de alternativa para el sistema de desinfección.	16
4 MARCO TEORICO.....	18
4.1 Contaminantes presentes en aguas superficiales:.....	18
4.2 Biología de aguas superficiales	18
4.3 Coagulación	19
4.4 Floculación.....	19
4.5 Sedimentación	19
4.6 Filtración	19
4.7 Clorinación	20
4.8 Osmosis inversa.....	20
5 ANTECEDENTES	21
5.1 Situación actual.....	21
5.2 Efectos de la contaminación del río Chicamocha dentro de la compañía eléctrica del Sochagota S.A. – E.S.P.	22
6 RESULTADOS Y ANALISIS	24
6.1 Parámetros fisicoquímicos en la cuenca alta del río Chicamocha	24
6.2 Parámetros hidrobiológicos en la cuenca alta del río Chicamocha	33
6.3 Resultados Ensayo N° 1	34
6.4 Resultados ensayo de microbiología	35
6.5 Resultados ensayo N°2.....	36
6.6 Alternativa de desinfección hipoclorito de sodio y sulfato de cobre	36
6.7 Alternativa de desinfección hipoclorito de sodio y amoniaco	36
6.8 Alternativa de desinfección hipoclorito de sodio y luz ultravioleta	37
6.9 Selección del sistema de desinfección para Termopaipa IV.....	37
6.10 Resultados prototipo UV instalado en Termopaipa IV	37
7 CONCLUSIONES.....	39
8 RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFIA.....	41
9 ANEXO A. Resultados parámetros fisicoquímicos 2009 – 2010	42
10 ANEXO B. Resultados hidrobiológicos muestreo (25/09/2013)	48
11 ANEXO C. Presupuestos de los sistemas de desinfección.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo tratamiento de agua Termopaipa IV.	12
Figura 2 Mapa cuenca alta del río Chicamocha.....	15
Figura 3 Diagrama río Chicamocha	21
Figura 4 Demanda de hipoclorito de sodio	22
Figura 5 Fotografía membranas acetato celulosa mantenimiento 2009	23
Figura 6 Comportamiento de pH en el río Chicamocha	26
Figura 7 Comportamiento de la conductividad y solidos suspendidos en el río Chicamocha.....	27
Figura 8 Comportamiento de Turbiedad y Color en el río Chicamocha	28
Figura 9 Comportamiento de Hierro y demanda química de oxígeno en el río Chicamocha.....	29
Figura 10 Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno y carbono total en el río Chicamocha.....	30
Figura 11 Comportamiento de Carbono inorgánico total y carbono orgánico total en el río Chicamocha.....	31
Figura 12 Comportamiento de Oxígeno disuelto y concentración de manganeso en el río Chicamocha.....	32
Figura 13 Montaje prototipo UV en cámara de mezcla.....	38
Figura 14 Grafica Procontrol año operación 2013 hasta 14 de Enero 2014	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Uso del agua del río Chicamocha	21
Tabla 2 Resultado parámetros fisicoquímicos en el río Chicamocha promedios 2009-2010.....	24
Tabla 3 Resultados parámetros fisicoquímicos monitoreo del río Chicamocha (25/09/2013).....	25
Tabla 4 Resultados ensayo de laboratorio N° 1	35
Tabla 5 Resultados ensayo de laboratorio N° 2	36

TABLA DE ANEXOS

ANEXO A. Resultados parámetros fisicoquímicos 2009 - 2010.....	42
ANEXO B. Resultados hidrobiológicos muestreo (25/09/2013).....	48
ANEXO C. Presupuestos de los sistemas de desinfección.....	53

RESUMEN

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA INFERENTES EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA EN LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA DEL SOCHAGOTA*

AUTOR: Rony Alexander Gómez Nuñez**

PALABRAS CLAVE: Río, Chicamocha, monitoreo, fisicoquímico, hidrobiológico, desinfección, producción, agua, desmineralizada, costos de producción

DESCRIPCIÓN:

La compañía eléctrica del Sochagota debido al deterioro en la calidad del agua del río Chicamocha en el punto de captación, usada como materia prima para la producción de agua clarificada y desmineralizada. En el año 2009 para evitar daños en equipos, intercambiadores de calor, caldera, turbina se implementó el proceso de osmosis inversa.

Actualmente debido a la alta carga contaminante de la cuenca y el alto grado de eutrofización generada por los vertimientos municipales, industriales y domésticos a lo largo del río Chicamocha ha disminuido la calidad del agua captada, generando problemas de tratabilidad y baja calidad del agua desmineralizada producida. Además de colonización de microorganismos en las membranas de acetato celulosa. Por tal razón se hizo un monitoreo fisicoquímico e hidrobiológico de la cuenca hasta el punto de captación para establecer el estado actual hasta el punto de captación y así determinar su afectación en el sistema de tratamiento en Termopaipa IV.

Se proponen y evalúan alternativas para el sistema de desinfección para obtener mejor calidad de agua desmineralizada, evitar ensuciamiento y colonización en las membranas de osmosis inversa, aumentar la vida útil de equipos y disminuir el consumo de hipoclorito de sodio implementado como biocida,

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Directores: Dionisio Laverde Ingeniero Metalúrgico PhD, Humberto Escalante Ingeniero Químico PhD.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF PHYSICOCHEMICAL CHANGES IN SURFACE WATER OF CHICAMOCHA RIVER HIGH BASIN INFERENTS IN THE PRODUCTION OF DEMINERALIZED WATER IN THE ELECTRIC COMPANY SOCHAGOTA*

AUTHOR: Rony Alexander Gómez Nuñez**

KEYWORDS: River, Chicamocha, monitoring, physicochemical, hydrobiological, system, disinfection, quality, water demineralized.

DESCRIPTION:

The Sochagota Company due to the deterioration in water quality in the Chicamocha River at the collection spot. Used as raw for the production of clarified and demineralized water. In 2009 a stage of reverse osmosis was implemented to avoid damage to equipment, heat exchangers, boiler and turbine. Currently due to pollution and high degree of eutrophication generated by municipal, industrial and domestic discharges along the Chicamocha River has decreased the quality of the water collected, creating problems of tractability and low quality of the produced demineralized water. Besides colonization of microorganisms in cellulose acetate membranes.

For this reason a physicochemical and hydro biological monitoring of the Chicamocha River to establish the current state ta the point of capture to determine its involvement in the treatment system of Termopaipa IV.

Alternatives are proposed and evaluated for the disinfection system to get better quality of demineralized water, avoid fouling and colonization in reverse osmosis membranes, increase the life of equipment and reduce the consumption of sodium hypochlorite implemented as biocide.

* Barchelor thesis

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Directores: Dionisio Laverde Ingeniero Metalúrgico PhD, Humberto Escalante Ingeniero Químico PhD.

INTRODUCCIÓN

El agua es el eje articulador de la vida en el planeta Tierra, el incremento de población y el desarrollo de la industria, ha llegado a un estado donde las fuentes hídricas superficiales y subterráneas se encuentran deterioradas en su calidad fisicoquímica y microbiológica afectando nuestros congéneres, además de destruir la biodiversidad en general.

La compañía eléctrica del Sochagota S.A. - E.S.P está ubicada en el municipio de Paipa (Boyacá), capta agua del río Chicamocha, utilizada para la producción de agua desmineralizada posteriormente utilizada en la generación de energía eléctrica. La calidad deteriorada del agua captada del Río Chicamocha y las altas concentraciones de microorganismos por los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales; dificultan su tratabilidad, incrementando costos de operación y disminuyendo el tiempo de vida útil de los equipos, especialmente las membranas de osmosis inversa susceptibles a colonización por microorganismos, afectando la calidad de agua desmineralizada producida. Aumentando la frecuencia de regeneración de lechos catiónico, aniónico y mixto.

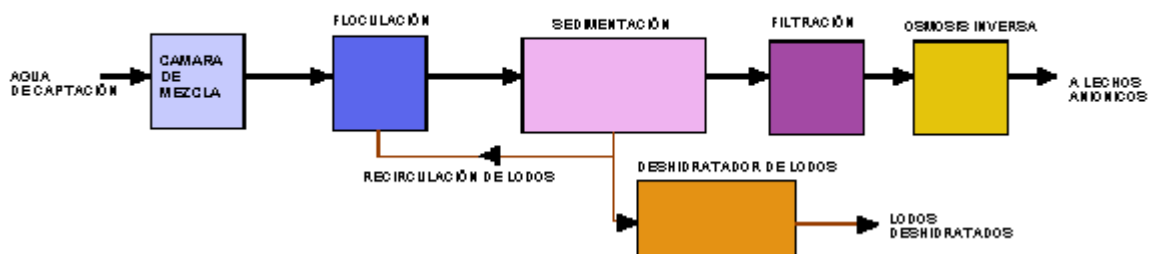
Debido a estos factores que intervienen en la eficiencia de operación, se hace indispensable la evaluación de la cuenca alta del río Chicamocha, para evaluar el estado actual; para así establecer la afectación en: equipos y procesos.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía eléctrica del Sochagota S.A. – E.S.P. capta agua del río Chicamocha para la producción de agua desmineralizada y clarificada. La variación en las características fisicoquímicas e hidrobiológicas de la fuente en los últimos años, ha disminuido la calidad de agua desmineralizada producida, incrementando los costos debido a la elevada concentración de microorganismos y alta carga orgánica e inorgánica.

El sistema de tratamiento para la producción de agua desmineralizada inicia con la captación por bombeo con bocatoma lateral, pasa por rejillas para remover el material flotante mayor que 6 mm. Posterior a esto el agua pasa a la cámara de mezcla donde por medio de sensores en línea que miden pH, conductividad y caudal y carga eléctrica medida por un Streaming Current Detector (STC) para dosificar hidroxiclورو de aluminio y polielectrolito anionico NALCO 8110 en cámara de mezcla. Ahí también se dosifica hipoclorito de sodio al 15 % p / v como biocida, la cual se efectúa dependiendo de la conductividad del agua de captación hasta un valor de cloro residual de 0,2 mg/l. Después en el retro mezclador de flujo ascendente se flocculan las partículas de 0,1 a 100 μm .

Figura 1 Diagrama de flujo tratamiento de agua Termopaipa IV.



Fuente: Autor

El agua con coagulantes pasa por dos unidades de sedimentación, la primera de quietamiento, la segunda de flujo ascendente con rasqueta de fondo para generar el gradiente hidráulico y lamelas para detener el ascenso de flóculos de bajo peso. Implementa sensores de nivel para recircular el lodo, En la salida al agua clarificada se le adiciona hipoclorito de sodio hasta un valor de cloro residual de 0,2 mg/l.

El agua clarificada es bombeada para los diferentes procesos industriales de enfriamiento en la planta y otra parte es bombeada a filtros ascendentes de medio filtrante (arena, antracita y carbón activado para disminuir la turbiedad hasta un valor de color inferior a 3 NTU, después se almacena en un tanque subterráneo para bombearse a las membranas de osmosis inversa. Donde antes de entrar a este proceso se le dosifica hipoclorito de sodio para destruir microorganismos presentes hasta un valor de cloro residual menor a 0,6 mg/l, ácido clorhídrico para controlar pH a un valor de 5,5. Después se dosifica metabisulfito de sodio para eliminar el cloro libre evitando hidrolisis en las membranas de acetato celulosa.

Continúa al desgasificador para disminuir la concentración de oxígeno disuelto, y lechos de intercambio catiónico, anionico y mixto para la eliminación de cationes y aniones presentes en el agua, Luego el agua desmineralizada es almacenada en dos tanques de 230 m³ para alimentación de la caldera para generar vapor sobrecalentado, que se circula por las turbinas para la producción de energía eléctrica.

La caracterización del agua después de ósmosis inversa es relevante en la calidad del agua desmineralizada a producir, pero el agua de captada es la que determina el consumo de reactivos y la eficiencia de los procesos. Elevados valores de conductividad en agua captada altera diferentes variables operativas, incrementando consumo de insumos de coagulación y desinfección, ocasionando colmatación de filtros y afectación en las membranas de osmosis. Aumentando a su vez la frecuencia de regeneración de lechos y la demanda de ácido clorhídrico al 5% p/v e hidróxido de sodio al 4% insumos utilizados en la regeneración.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Evaluar parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos en la cuenca alta del río Chicamocha relevantes para la producción de agua desmineralizada en la compañía eléctrica del Sochagota.

2.2 Objetivos específicos:

Realizar muestreos fisicoquímicos e hidrobiológicos en la cuenca alta del río Chicamocha hasta captación.

Analizar parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos relevantes en la producción de agua desmineralizada.

Realizar análisis estadístico de los resultados obtenidos en los diferentes puntos de muestreo.

Realizar ensayos de laboratorio para seleccionar una alternativa para el sistema de desinfección.

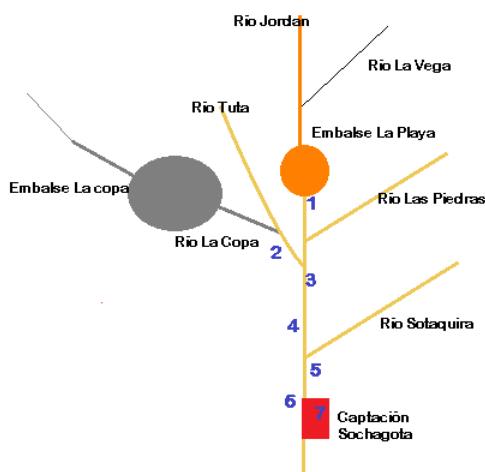
Proponer alternativas para el sistema de desinfección.

3 METODOLOGIA

El proyecto se desarrollara inicialmente con el reconocimiento de planta, consulta de planos. Revisión bibliográfica y recolección de datos de caracterización cronológicos del agua del río Chicamocha en la compañía eléctrica del Sochagota S.A – E.S.P y Corpoboyaca.

El monitoreo de la cuenca alta del río Chicamocha se hizo en los puntos de muestreo denominados: 1. Río La playa, 2. Río La copa, 3. Mezcla, 4. Siderúrgica, 5. Manzano, 6. Captación, 7. Clarificada. Ubicados en el mapa de la Figura 2.

Figura 2 Mapa cuenca alta del río Chicamocha



Se prosiguió con la obtención de muestras siguiendo el protocolo (SM 1060), un volumen de muestra 2 l por punto, utilizando recipiente de plástico previamente esterilizado y etiquetado, Posterior al muestreo se refrigera a 0°C y se analiza dentro de las 24 horas siguientes. Para el muestreo hidrobiológico se siguió el protocolo (SM 10200, SM 10300), el volumen de muestra fue de 500 ml por cada parámetro hidrobiológico y preservado con glutaraldehido al 5% p/v.

Los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras son: Color (SM 2120 B), Sólidos en suspensión (SM 2540), Turbiedad (SM 2130 B), Hierro total (SM 3500 Fe B), Demanda química de oxígeno (SM 5220 B), Manganeseo (SM 3500 Mn), Carbono total (SM 5310 B), Carbono orgánico total (SM 5310), Carbono inorgánico total, Conductividad (SM 2510 B), Oxígeno disuelto (SM 4500 O), Potencial de óxido reducción (SM 2580), Potencial de hidrogeno(SM 4500 H⁺ B), Temperatura (SM 2550 B). Los parámetros hidrobiológicos son analizados de acuerdo al protocolo (SM 10900, SM 10200 B, SM 10300 B) por el laboratorio

ANALQUIM LTDA. Acreditado con ISO:17025 por el IDEAM. Las muestras se refrigeraron y enviaron 48 horas después de efectuado el muestreo.

A los datos obtenidos y recopilados se les determino el promedio y la desviación estándar de los valores en los parámetros fisicoquímicos por punto de muestreo. Se analizan las posibles causas del comportamiento en los valores de los parámetros fisicoquímicos en los diferentes tramos de la cuenca. Se determinan microorganismos y parámetros fisicoquímicos que afectan la calidad del agua desmineralizada producida, se establecen los efectos en equipos y procesos generados por estas alteraciones.

3.1 Evaluación y selección de alternativa para el sistema de desinfección.

Las alternativas de desinfección evaluadas fueron: 1. Hipoclorito de sodio y luz ultravioleta, 2. Hipoclorito de sodio y Sulfato de cobre, 3. Hipoclorito de sodio y amoníaco. Para los ensayos de laboratorio se tomó un volumen de 20 l del agua de captación para los ensayos, posterior a esto se valoró: pH (SM 4500 H⁺ B), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad: (SM 2510 B), Oxígeno disuelto (SM 4500 O), Potencial de óxido – reducción (SM 2580).

Luego mediante una prueba de jarras, cuatro jarras con 1 litro de agua, a las cuales se les dosifico: Jarra N°1 (1 mg/l de Sulfato de cobre y 7 mg/l de Hipoclorito de calcio), Jarra N° 2 (3,5 mg/l de Amoniaco y 7 mg/l de Hipoclorito de Sodio), Jarra N°3 (7 mg/l de Amoniaco y 7 mg/l de Hipoclorito de Sodio), Jarra N°4 (7 mg/l de Hipoclorito de Sodio). Después se simulo la cámara de mezcla a 130 rpm por 2 minutos. La Jarra N°4 se expuso a luz ultravioleta (45 W/cm²) durante 2 minutos. Se estabilizaron las jarras por 20 minutos (tiempo de residencia hidráulico en el sistema de tratamiento) y se determinó en cada jarra los siguientes parámetros: cloro residual (SM 4500 Cl), pH (SM 4500 H⁺ B), Temperatura (SM 2550 B), Conductividad: (SM 2510 B), Oxígeno disuelto (SM 4500 O), Potencial de óxido – reducción (SM 2580) y se observó en el microscopio cada alternativa Luego se toma una alícuota de 100 ml de cada Jarra y se determinó el número de microorganismos heterotróficos utilizando caldo de cultivo: extracto de glucosa triptona (TGE). Se cultivan las muestras por duplicado y posterior a esto se incuban a 36 °C por 24 horas siguiendo el protocolo (SM 9215 D). Con base en los resultados se calcularon las eficiencias de remoción de microorganismos para cada alternativa de desinfección.

Se evaluó la desinfección por luz ultravioleta así: Se tomó una muestra de agua de captación 20 l. Se efectuó prueba de jarras, cuatro jarras con 1 litro de agua, a las cuales se les dosifico: Jarra N°1 (3 mg/l de Hipoclorito de Sodio), Jarra N° 2 (4 mg/l de Hipoclorito de Sodio), Jarra N°3 (5 mg/l de Hipoclorito de Sodio), Jarra N°4 (6 mg/l de Hipoclorito de Sodio). Luego se simuló cámara de mezcla a 130 rpm por

2 minutos. Las Jarras se expusieron a luz ultravioleta (45 W/cm^2) durante 2 minutos y se valoró en cada una de las jarras el cloro residual (SM 4500 Cl⁻). Posterior a esto las soluciones se estabilizaron por 20 minutos y se analizó en cada una de las jarras el cloro residual (SM 4500 Cl⁻).

Se seleccionaron los equipos para implementar en cada una de las alternativas para el sistema de desinfección con base en las fichas técnicas de reactivos y la caracterización del agua de captación en septiembre de 2013. Se hizo descripción de los equipos y costos de los mismos en cada alternativa. Se proyectaron consumos de insumos, con los datos de los ensayos de laboratorio efectuados en noviembre de 2013.

Se estimó el presupuesto de inversión inicial para cada alternativa y se calcularon costos de operación que hacen referencia a: Servicios industriales demandados, costos de mantenimiento, consumo de insumos promedio y costos de personal. Posterior a selecciono la alternativa de menor inversión anual y bajo costo de operación anual.

4 MARCO TEORICO

4.1 Contaminantes presentes en aguas superficiales:

La contaminación de las corrientes de aguas superficiales es ocasionada por los vertimientos en el cuerpo de agua. Los vertimientos se clasifican en:

- Aguas residuales domésticas: Están constituidas a su vez por: - Aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas, sales. - Aguas de lavadoras: detergentes, nutrientes. - Aguas de baño: jabones, geles, champús. - Aguas negras, procedentes del metabolismo humano: sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos.
- Aguas residuales industriales: Resultantes de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal o cuerpos de agua superficial. Presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria.
- Aguas de escorrentía pluvial: Las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema de alcantarillado que se emplea para la recogida y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales. También se alteran por la contaminación atmosférica y los arrastres de la suciedad depositada en viales, tejados, etc.

Los principales contaminantes de las fuentes de agua superficial son: Arenas, grasas, aceites, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos e inorgánicos, nutrientes (nitrógeno y fosforo), detergentes y fertilizantes, materia orgánica.

4.2 Biología de aguas superficiales

En los cuerpos de agua superficiales es común encontrar diversos organismos y microorganismos que coexisten en este medio tales como fitoplancton, zooplancton, invertebrados, peces, virus, bacterias y otros. Algunos agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales comúnmente encontrados son: Bacterias (*Escherichia coli*, *Salmonella Shiguella*, *Vibro Cholerae*, *Yersenia enterocolitica*, *Campilobacter jejuni*.), Virus (*Enterovirus*, *Rotavirus*, *Adenovirus*.), Protozoos (*Giardia Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium Coli*.), Helmintos (*Ascaris*, *Trichuris*, *Taenia*), Cianobacteria (*Anabaena*, *Microcystis*).

4.3 Coagulación

Las partículas en suspensión o coloides pueden agruparse para sedimentarse usando insumos coagulantes como: sulfato de aluminio, aluminato, sulfato férrico, óxido de magnesios. Las características del agua que se va a tratar deben ser cuidadosamente consideradas para escoger el mejor coagulante. El uso de estos insumos requiere ajuste de pH, así como una disolución apropiada.

4.4 Floculación

La floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas coloidales previamente neutralizadas por la adición de un coagulante, por tres mecanismos: 1) Floculación pericinética o browniana (debida a la energía térmica del fluido.) ,2) Floculación ortocinética o gradiente de velocidad., 3) Sedimentación diferencial. Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas aglomerándose y decantando.

4.5 Sedimentación

Relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua tales como diámetro de floculos, régimen de flujo que debe ser estudiado para evitar rompimiento de los floculos en su descenso por zonas de alta turbulencia con gradientes de velocidad elevados en el caso de sedimentadores dinámicos con rasqueta de fondo, además de eso es importante la densidad del fluido y la temperatura pues de esto depende la velocidad de sedimentación. Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración.

4.6 Filtración

Proceso por el cual una solución coloidal es pasada a través de un medio filtrante, en el cual el diámetro de los intersticios del medio retienen las partículas coloidales por ser de un diámetro inferior a las partículas y el fluido pasa a través del medio, es usual encontrar filtros biológicos en los cuales por acción microbiana se lleven a cabo reacciones químicas para eliminar diferentes tipos de sustancias químicas.

4.7 Clorinación

La clorinación del agua, es el trabajo principal en las plantas de vapor para prevenir la acumulación de algas en las superficies de los intercambiadores de calor en los sistemas de condensación y en el circuito de enfriamiento. Puede también usarse para esterilizar el agua que se usa para propósitos personales y proveer así también, una completa remoción de hierro disuelto en el agua. Se usa cloro licuado, hipoclorito de calcio o sodio.

El cloro se combina directamente con algunas materias orgánicas y bacterias. Reacciona con materias inorgánicas tales como: hidróxido ferroso, sulfuro de hidrogeno, después que se combina con las materias orgánicas e inorgánicas mencionadas, el exceso de cloro ataca las bacterias presentes en el agua. Las bacterias además de ser un peligro para la salud, causan formación de algas. Las diferentes clases de algas requieren diferentes concentraciones de cloro residual, para matarlas efectivamente. La mayor parte de ellas necesitan de 1 a 2 ppm durante pocos minutos para controlarlas, el cloro residual aumenta al llegar el "punto de ruptura" se observa que el cloro residual aumenta en mayor proporción que el cloro alimentado. Alcanzando o pasando el punto de ruptura, es un síntoma de que se han verificado las reacciones completas, pero no siempre este punto es suficiente para controlar las molestias de algas.

4.8 Osmosis inversa

Osmosis inversa, Nano filtración y ultrafiltración son procesos de membranas que usan las diferencias en permeabilidad de los constituyentes del agua como una técnica de separación. La membrana es un material sintético (son derivados de celulosa, y derivados de poliamidas. El material comercial más común es el Acetato de celulosa (AC) que es semipermeable, altamente permeable a algunos constituyentes y menos a otros. Para remover un constituyente del agua, se bombea el agua de alimentación a alta presión contra superficie de la membrana resultando en una separación de corriente en rechazo y producto. Operación utilizada para la remoción de partículas en suspensión, coloides y microorganismos.

5 ANTECEDENTES

5.1 Situación actual

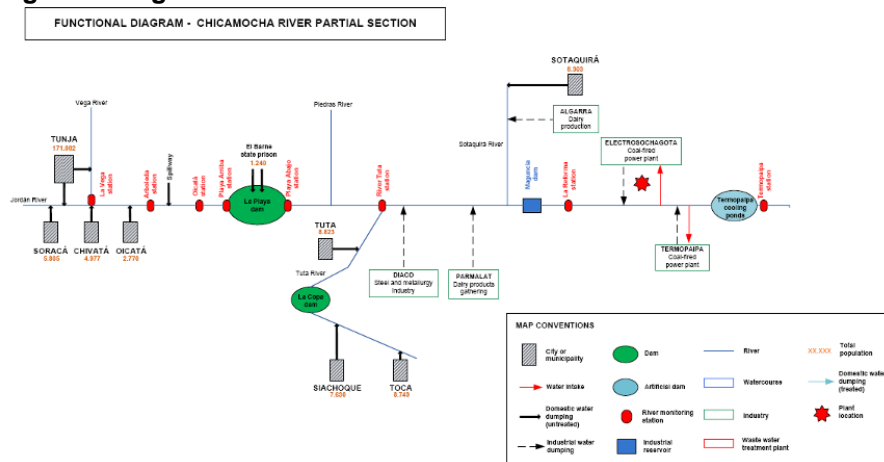
El río Chicamocha esta formado por la confluencia de el río Jordan y el río la vega, este tramo tiene una longitud de aproximadamente 104 km, el cual es dividido dentro de cinco secciones de acuerdo a la estructura, flujo dinamico y uso del agua, ver tabla 1. La unidad de termopaipa VI esta localizada en la sección número 2 aproximadamente a 50 km desde el nacimiento del río, El corredor del rio Chicamocha es receptor de vertimientos dometicos e industriales, La mayoría sin tratamiento alguno como se muestra en la figura 3.

Tabla 1 Uso del agua del río Chicamocha

SECCION	POSICION (Km)	USO DEL AGUA
1	0-33	Asimilación, dilución, estetico y agricultura
2	33-51	Asimilación, dilución, estetico, agricultura y industrial
3	51-98	Asimilación, dilución, estetico, agricultura, industrialy consumo humano
4	98-100	Agricultura
5	100-104	Asimilación, dilución y agricultura

Fuente: Coopoboyaca

Figura 3 Diagrama río Chicamocha



Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

El cauce del río está actuando como un canal de oxidación y en algunos casos

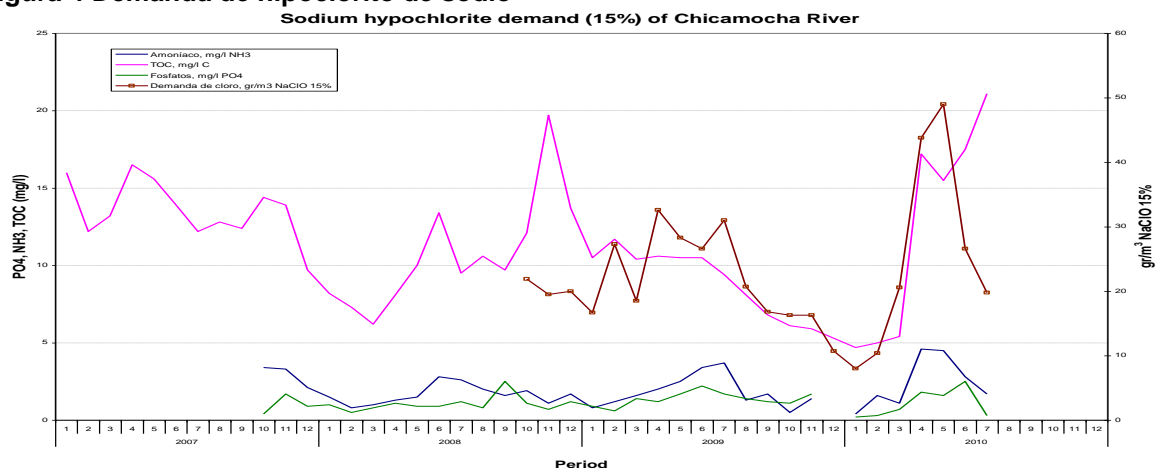
como anaerobio facultativo. El estado ecológico de su corriente esta entre eutrófico e hipertrófico. Las mayores presiones están dadas por la contaminación orgánica de la descarga de aguas residuales proveniente de los cascos urbanos, especialmente al comienzo y final de la corriente¹.

El embalse la playa actúa es un sumidero. La calidad de las aguas a lo largo de la corriente no las hace útiles para consumo humano y pecuario, pero además representa riesgos sanitarios para uso agrícola. La parte alta del río Chicamocha está sobrepasando su capacidad de resiliencia y su función como sumidero ha sido sobrepasada a causa de la descarga, principalmente, de aguas residuales domésticas provenientes de los núcleos urbanos asociados: Tunja, Soracá, Chivata, Oicatá.

5.2 Efectos de la contaminación del río Chicamocha dentro de la compañía eléctrica del Sochagota S.A. – E.S.P.

El deterioro en la calidad del agua captada del río Chicamocha, hizo implementar la automatización general de planta de agua y adicionar una etapa de osmosis inversa en julio de 2001 para alcanzar los valores de calidad de agua desmineralizada necesarios para la producción de vapor en caldera. Por el aumento de materia orgánica, fosfatos, amoniaco, nitrógeno, manganeso, otros contaminantes y microorganismos en el agua de captación. En la figura 4. Se observa un incremento en: TOC, Nitratos, Fosfatos y demanda de Hipoclorito de sodio al 15 % p/v. Existe la tendencia a aumentar en el tiempo la carga contaminante y el consumo de hipoclorito de sodio para la desinfección.

Figura 4 Demanda de hipoclorito de sodio



Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

¹ CORPOBOYACA. Formulación del plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja: 2005. p.19-21.

En febrero de 2009 se remplazan las membranas de osmosis inversa, por el incremento en la diferencia de presión, aumento en la concentración de sales y contaminantes presentes en el permeado. El porcentaje de rechazo de sales era inferior al 20%, se observó la destrucción en las membranas por micro fracturas causada por hidrolisis, ver figura 5.

Figura 5 Fotografía membranas acetato celulosa mantenimiento 2009



Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

El analisis de composición en la capa de ensuciamiento encontrada en las membranas fue: 50 % de materia organica (microorganismos y estheres), 50 % de material inorganico con 29% como MnO_2 , Hierro 10% como Fe_2O_3 , Cantidades inferiores de Al, Si, P, Si, Cl y Co fueron detectadas. La vida util de las membranas fue de 3 años y se realizo una limpieza 2 veces por año usando PermaClean PC-67, PC-77 and King Lee KL7330 and KL1000. Las membranas se cambiaron 3 veces con tiempos de vida util de 4, 3, 2 años ordenadas cronologicamente. Mostrando una clara disminucion del tiempo de vida útil de las membranas.²

² COMPAÑÍA ELECTRICA DEL SOCHAGOTA. Chicamocha river quality. Paipa: Sochagota; 2010. p. 6.

6 RESULTADOS Y ANALISIS

6.1 Parámetros fisicoquímicos en la cuenca alta del río Chicamocha

En la tabla 2. Se muestran los valores promedio obtenidos de los parámetros analizados en el seguimiento de la cuenca alta del río Chicamocha en el periodo 2009 a 2010 realizado por la compañía eléctrica del Sochagota. Donde se evidencian los puntos críticos de contaminación La playa y siderúrgica. Los datos de todos los muestreos se muestran de manera organizada y por punto de muestreo en el anexo A.

Tabla 2 Resultado parámetros fisicoquímicos en el río Chicamocha promedios 2009-2010

PARAMETRO	La playa	Río copa	Mezcla	Siderúrgica	Manzano	Captación
pH [Unidades de pH]	6,81	7,02	6,98	6,92	6,96	6,78
Conductividad [μ S/cm]	407,04	73,88	125,78	146,80	133,48	123,54
Solidos Suspendidos [mg /l]	22,40	13,60	14,00	14,00	12,00	17,00
Turbiedad [NTU]	38,80	16,20	20,20	21,16	19,40	23,40
Color [UPC]	383,40	165,20	202,60	208,60	200,00	197,40
Hierro [mg Fe/L]	2,54	1,97	2,06	2,23	2,20	2,01
Demanda Química de Oxígeno [mg O ₂ /l]	56,20	26,60	26,20	31,80	32,00	26,60
Demanda Bioquímica de Oxígeno [mg O ₂ /l]	3,60	1,56	2,94	2,59	2,83	2,25
Carbono total [mg C/l]	51,03	12,96	18,90	19,51	19,78	16,71
Carbono inorgánico total [mg C/l]	21,87	3,60	6,61	6,53	6,56	5,91
Carbono orgánico total [mg C/l]	29,16	9,36	12,30	12,98	13,35	10,85
Oxígeno disuelto [mg O ₂ /l]	4,25	6,72	5,27	3,46	3,81	5,34
Manganeso [mg Mn/l]	0,27	0,13	0,13	0,13	0,10	0,10

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

Los resultados obtenidos para el muestreo fisicoquímico e hidrobiológico realizado el día 25 de septiembre de 2013. Los resultados se muestran en la tabla 3. Por punto de muestreo para cada uno de los parámetros fisicoquímicos analizados de las muestras siguiendo los métodos descritos en la metodología.

Tabla 3 Resultados parámetros fisicoquímicos monitoreo del río Chicamocha (25/09/2013)

FECHA : 25/09/2013		PUNTO DE MUESTREO				
Parametro	Unidades	LA PLAYA	LA COPA	MEZCLA	CAPTACION	CLARIFICADA
Color	UPC	550	137	151	136	65
Solidos en suspensión (gravimetrico)	mg/L	139	3	10	8	0
Turbiedad	NTU	83,5	14,1	15,2	12,8	0,58
Hierro total	mg/L de Fe	4,206	1,4498	1,6625	1,4756	0,045
Demanda química de oxígeno	mg/L de DQO	215	6	12	22	7
Manganeso	mg/L de Mn	1,091	0,195	0,2562	0,1652	0
Carbono total	mg/L de TC	61,49	8,212	11,42	12,13	10,05
Carbono organico total	mg/L de TOC	19,14	5,303	5,532	5,365	3,642
Carbono inorganico total	mg/L de TIC	42,36	2,909	5,888	6,765	6,41
Conductividad	µs/cm	630	59	102	125	164
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	5,3	5,8	6,95	4,61	4,42
Potencial de oxido reducción	mV	200	270	243	253	619
Potencial de hidrogeno	pH	7,4	6,88	6,63	6,97	6,83
Temperatura	°C	17,5	15	15,1	15,4	15,4

Los valores de color en los puntos de muestreo: Río La playa, Río La copa, mezcla, captación no cumplen el requisito de color menor que 75 UPC contemplado en el artículo 38 del decreto 1594 de 1984 para su destinación para consumo humano con tratamiento convencional. Para su uso agrícola el requisito contemplado en el artículo 40 del decreto 1594 de 1984, el valor de concentración de manganeso debe ser inferior a 0,2 mg/l es incumplido por los puntos de muestreo denominados: La playa y mezcla³. El agua clarificada cumple los requisitos contemplados en la resolución 2115 de 2007 en los parámetros analizados en este monitoreo siendo apta para consumo humano, excepto en el artículo 2 el valor de color máximo aceptable es 15 UPC⁴.

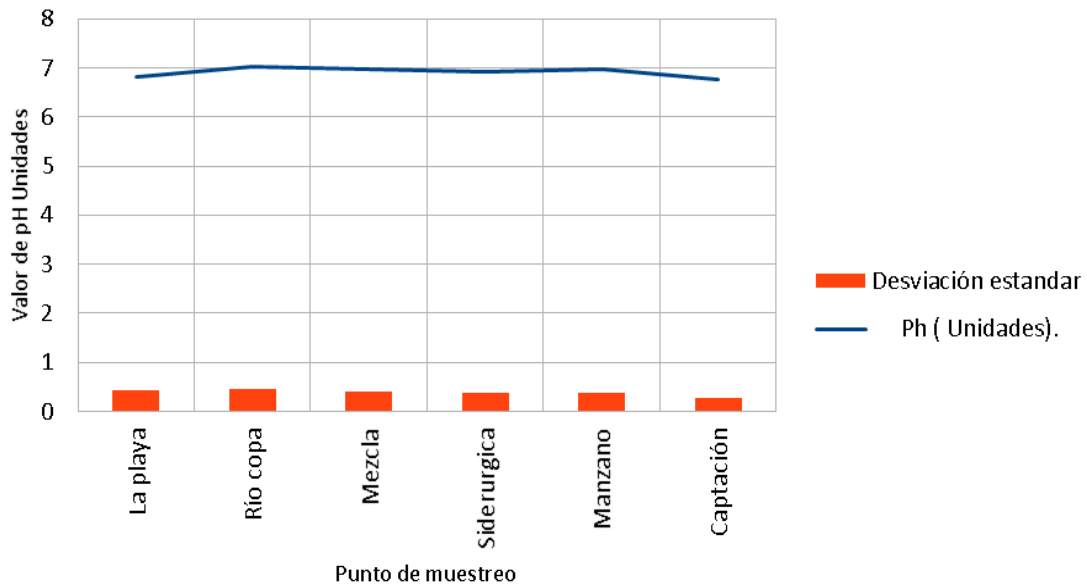
El pH a lo largo de la cuenca es de tipo ácido en el punto de muestreo la playa y en siderúrgica debido a diferentes vertimientos industriales presentes. El valor mínimo en captación durante el periodo de 2009 a 2013 fue de 6,56 y el valor máximo fue 7,17, ver figura 6. El pH es un factor que afecta la producción de agua desmineralizada debido a que el proceso de coagulación se debe encontrar dentro de un rango de 6,0 – 8,0 para una remoción eficiente de partículas de tamaño de

³ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594. (26, Junio, 1984). Usos del agua y residuos líquidos. Bogotá: El ministerio. p. 12-15.

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2115. (22, Junio, 2007). Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá. El ministerio. p. 2–4.

0,1 -100 μm . El rango de pH para un funcionamiento óptimo de las membranas de acetato celulosa de osmosis inversa es de 4 a 6. Adicional a esto valores de pH bajos producen corrosión en las superficies metálicas. Valores de pH altos fomentan la precipitación ocasionando depósitos e incrustaciones en intercambiadores de calor y en el sistema de enfriamiento.

Figura 6 Comportamiento de pH en el río Chicamocha

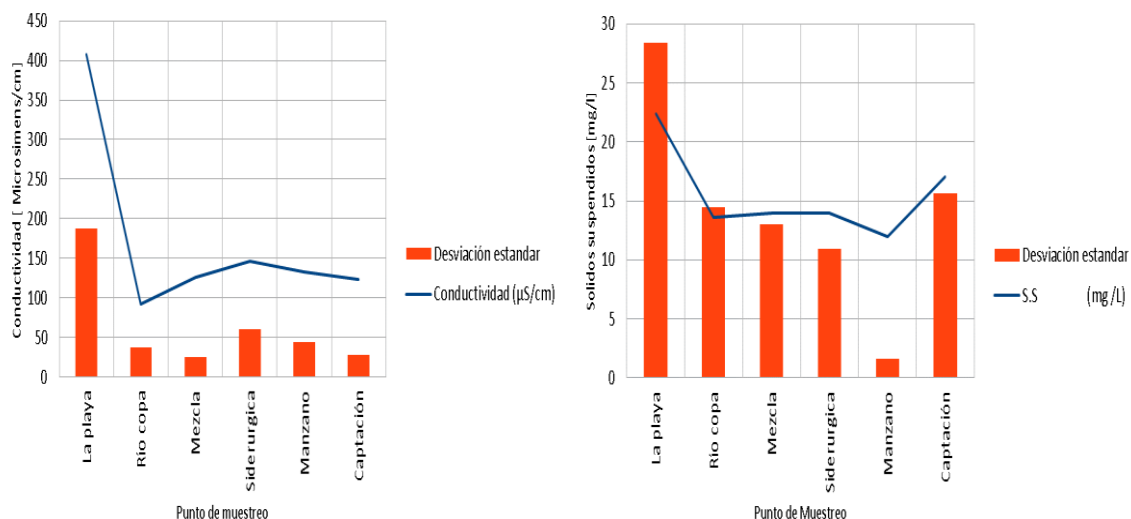


La conductividad en la cuenca alta del río Chicamocha presenta sus valores mas altos en los puntos de muestreo: La playa y Siderurgica debido los vertimientos residuales de Tunja que afectan el embalse la playa y los vertimientos industriales y rurales que aumentan la carga en el punto de muestreo siderurgica. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue $105 \mu\text{s/cm}$ y el valor máximo fue $122 \mu\text{s/cm}$, ver figura 7. Valores elevados de este parámetro producen alto riesgo de incrustaciones por dureza (calcio y magnesio), además disminuyen la eficiencia de osmosis inversa, incrementan los ciclos de regeneración de los lechos de intercambio catiónico, anionico y mixto para lograr un calidad de agua desmineralizada con una conductividad menor que $0,2 \mu\text{s/cm}$ para evitar incrustaciones en caldera y abrasión en la turbina. Adicional a esto afectan el agua clarificada producida para reposición en el sistema de enfriamiento causando incrustaciones y disminuyendo la eficiencia en la transferencia de calor en los intercambiadores de calor.

Los sólidos suspendidos en el río Chicamocha presentan los valores más altos en los puntos de muestreo: La playa debido a los vertimientos de la ciudad de Tunja en Captación debido a la carga contaminante aportada por los vertimientos industriales y rurales presentes a lo largo del cauce hasta captación. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo

presentado de sólidos suspendidos fue 7 mg/l y el valor máximo fue 44 mg/l, ver figura 7. El aumento paulatino en los sólidos suspendidos en el agua de captación incrementa el consumo de insumos de coagulación, ensucia las membranas de osmosis inversa y colmata los filtros disminuyendo significativamente la calidad de agua desmineralizada producida.

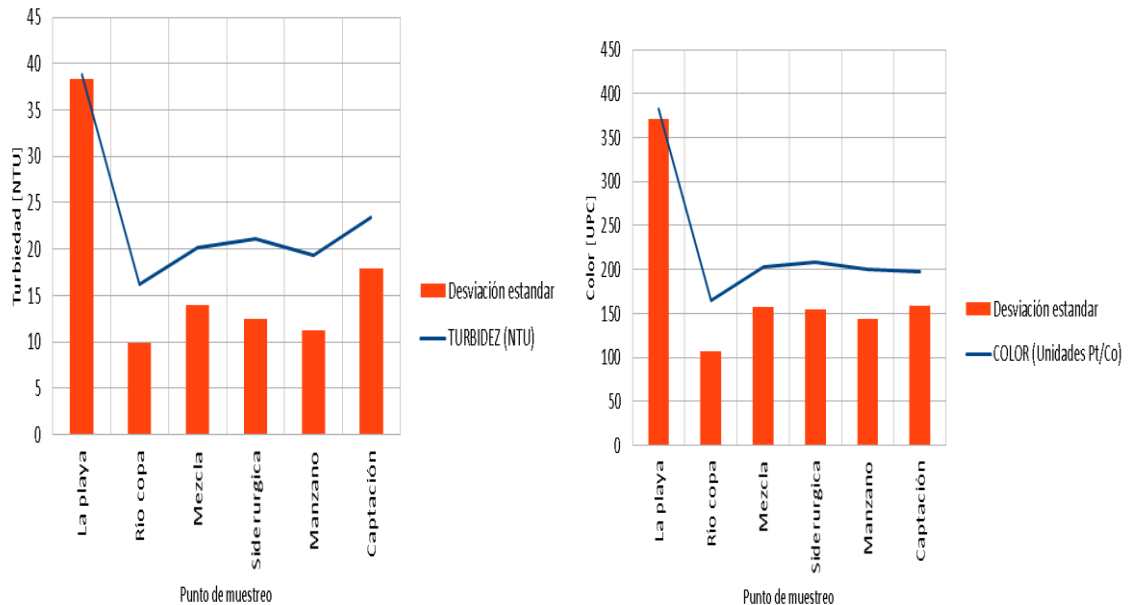
Figura 7 Comportamiento de la conductividad y solidos suspendidos en el río Chicamocha



El comportamiento de la turbiedad a lo largo del río Chicamocha presenta los valores mas altos en los puntos de muestreo: la playa y captación debido a carga contaminante aportada por los vertimientos anteriormente descritos. Los valores maximo y minimo en captación reportados en el periodo 2009-2013 son: 20 y 13 mg/l respectivamente, ver figura 8. La turbidez es directamente proporcional al contenido de sólidos suspendidos; causan problemas en los filtros, disminución de eficiencia en intercambiadores de calor, y abrasión en los alabes de la turbina.

Los valores de color más altos presentados en el río Chicamocha se presentan en los puntos de muestreo: la playa causados por la carga orgánica en los vertimientos de agua residual domestica de Tunja y siderúrgica debido a vertimientos residuales domésticos e industriales. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 104 NTU y el valor máximo fue 475 NTU, ver figura 8. Incrementos en el valor de color presente en agua de captación genera ensuciamiento en las membranas de osmosis inversa, colmatación de filtros y disminuye la calidad de agua clarificada producida generando depósitos en las tuberías e intercambiadores de calor del sistema de enfriamiento.

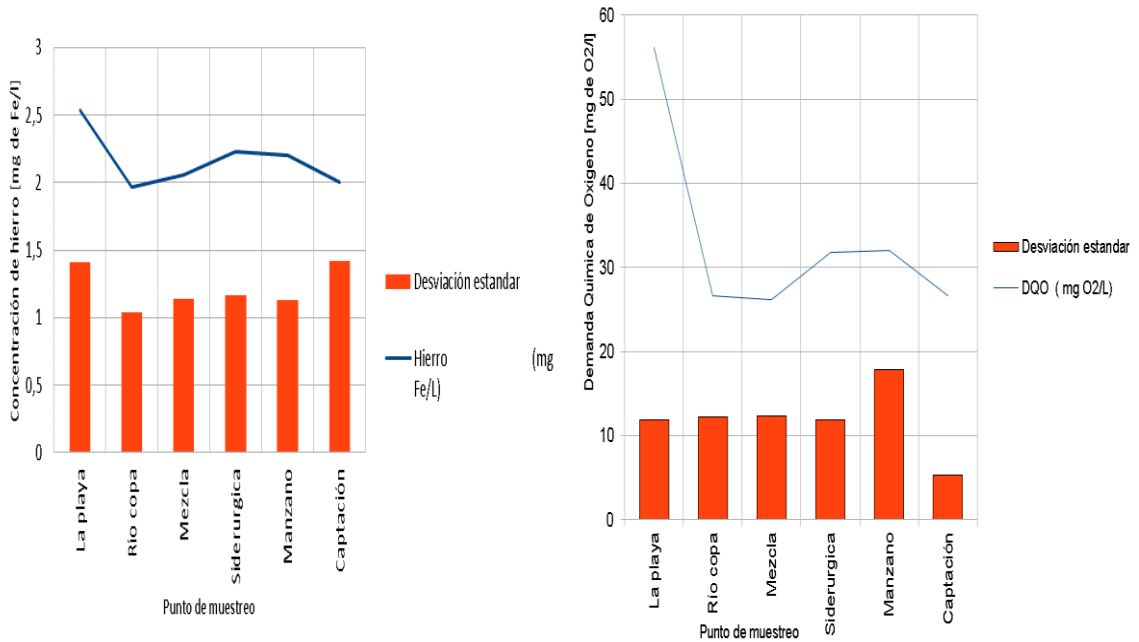
Figura 8 Comportamiento de Turbiedad y Color en el río Chicamocha



Las concentraciones de hierro mas altas se presentan en los puntos de muestreo: la playa y siderurgica debido a las altas cargas contaminantes de agua residual domestica en el punto la playa y los vertimientos industriales de diferentes empresas entre estas el grupo diaco, siderurgica de boyaca y ladrillos maguncia hasta el punto de muestreo siderurgica. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013, la concentración máxima presentada fue 4,44 mg de Fe/l y la concentración mínima fue 1,04 mg de Fe/l, ver figura 9. Valores elevados en la concentración de hierro en el sistema de enfriamiento al precipitarse causan incrustaciones en superficies de intercambio de calor y tuberías. Alta concentración de hierro en el agua de captación es un medio ideal para el crecimiento de bacterias filamentosas del hierro dentro del sistema de enfriamiento, caldera, turbina y colonización en membranas de acetato celulosa.

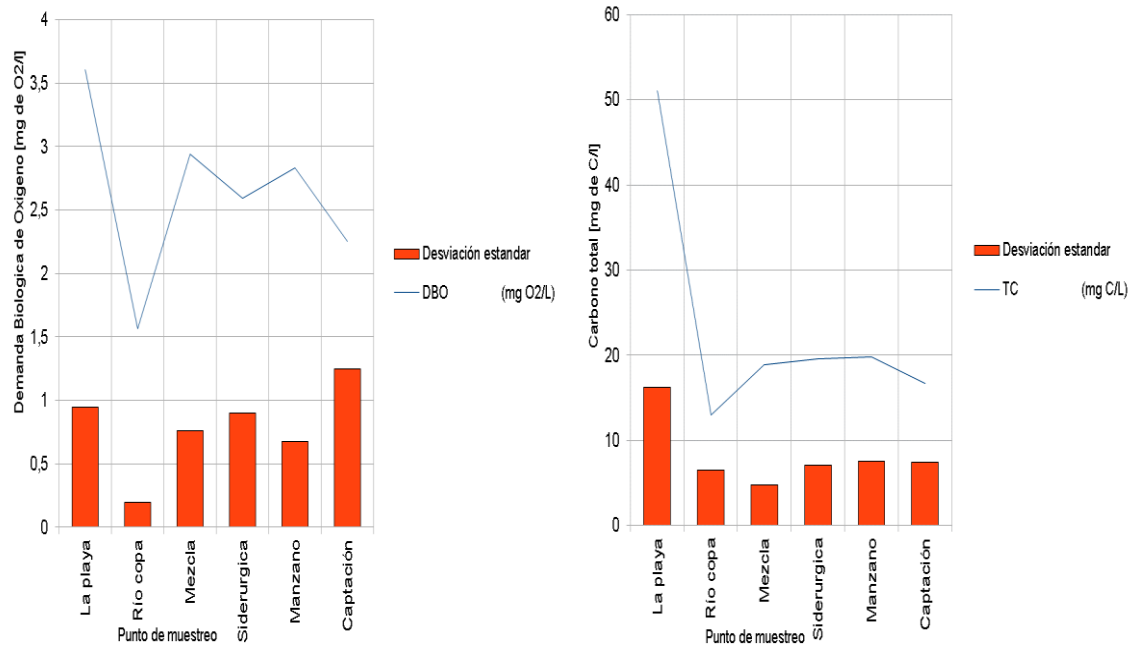
La demanda química de oxígeno en la cuenca alta del río Chicamocha presenta sus valores más altos en los puntos de muestreo: la playa y siderúrgica por los vertimientos anteriormente enunciados lo cual es un indicador de alta carga orgánica e inorgánica en estos tramos de la cuenca. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 20 mg de O₂/l y el valor máximo fue 32 mg de O₂/l, ver figura 9. Aumentos en el punto de captación incrementan la demanda de insumos de coagulación y disminuyen la calidad del agua desmineralizada producida, colmatando los filtros y membranas de osmosis inversa. Adicionalmente aumenta los ciclos de regeneración de los lechos de intercambio iónico por la saturación de los mismos por la alta carga inorgánica presente.

Figura 9 Comportamiento de Hierro y demanda química de oxígeno en el río Chicamocha



La demanda bioquímica de oxígeno esta asociada a la concentración de microorganismos en el agua; la cuenca alta presenta sus valores pico en los puntos de muestreo: la playa y siderurgica ocasionada por los vertimientos residuales domesticos en estos tramos lo cual debido a la materia organica vertida, aumenta la concentración de microorganismos en estos puntos. El punto de muestreo la copa presenta baja demanda debido a la baja densidad poblacional del municipio de Tuta, presentando valores bajos de concentración de carbono total, Luego el agua del río La Copa diluye el río Chicamocha en el punto denominado mezcla. despues debido a los vertimientos industriales en el tramo siguiente se incrementa la demanda biologica de oxígeno hasta siderurgica donde posteriormente es diluido por el río Sotaquirá hasta la captación de la empresa. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 0,27 mg de O₂/l y el valor máximo fue 3,37 mg de O₂/l, ver figura 10. La alta demanda biologica de oxígeno genera colonización en las membranas de osmosis inversa, colmatación de filtros y depositos microbianos en el sistema de enfriamiento y en las tuberías.

Figura 10 Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno y carbono total en el río Chicamocha

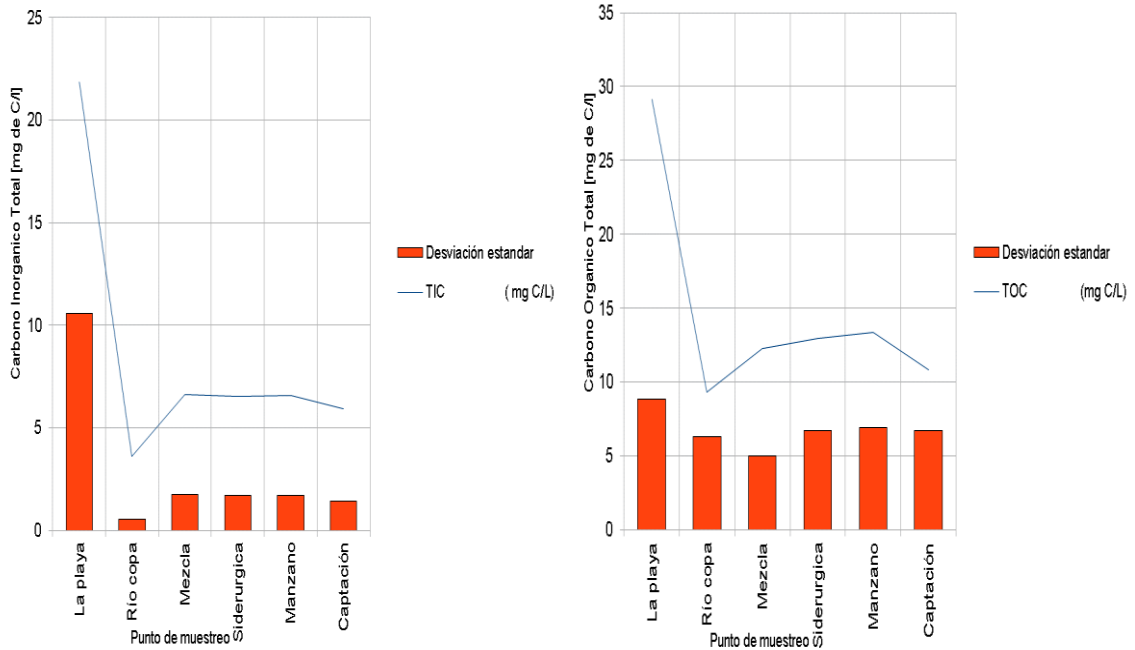


El carbono orgánico total en el río Chicamocha es asociado a la concentración de microorganismos y materia orgánica. Los valores altos se presentan en los puntos de muestreo: La playa y Manzano debido a la materia orgánica descargada en los vertimientos domésticos a lo largo de la cuenca, los valores bajos de carbono inorgánico total se presentan en el punto de muestreo la copa debido a los pocos vertimientos en este tramo. En el último tramo toda la carga orgánica arrastrada por el cauce del río es diluida por el río Sotaquirá antes de la captación de la empresa. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 5,36 mg de C/l y el valor máximo fue 21,78 mg de C/l, ver figura 11. Las altas concentraciones de carbono orgánico total en el agua de captación disminuyen la eficiencia en la coagulación, generan colonización por microorganismos y ensuciamiento en las membranas de acetato celulosa, además baja calidad en el agua de reposición para el sistema de enfriamiento ocasionando incrustaciones y depósitos en las superficies de intercambio de calor.

La concentración de carbono inorgánico total presenta los valores altos en los puntos de muestreo: la playa, siderúrgica asociado a los diferentes vertimientos industriales anteriormente descritos. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 3,65 mg de C/l y el valor máximo fue 7,17 mg de C/l, ver figura 11. El carbono inorgánico total está asociado a la presencia de carbonatos en el agua, por lo cual su incremento en el agua de captación genera incrustaciones en las tuberías, depósitos en los

intercambiadores de calor y caldera.

Figura 11 Comportamiento de Carbono inorgánico total y carbono orgánico total en el río Chicamocha

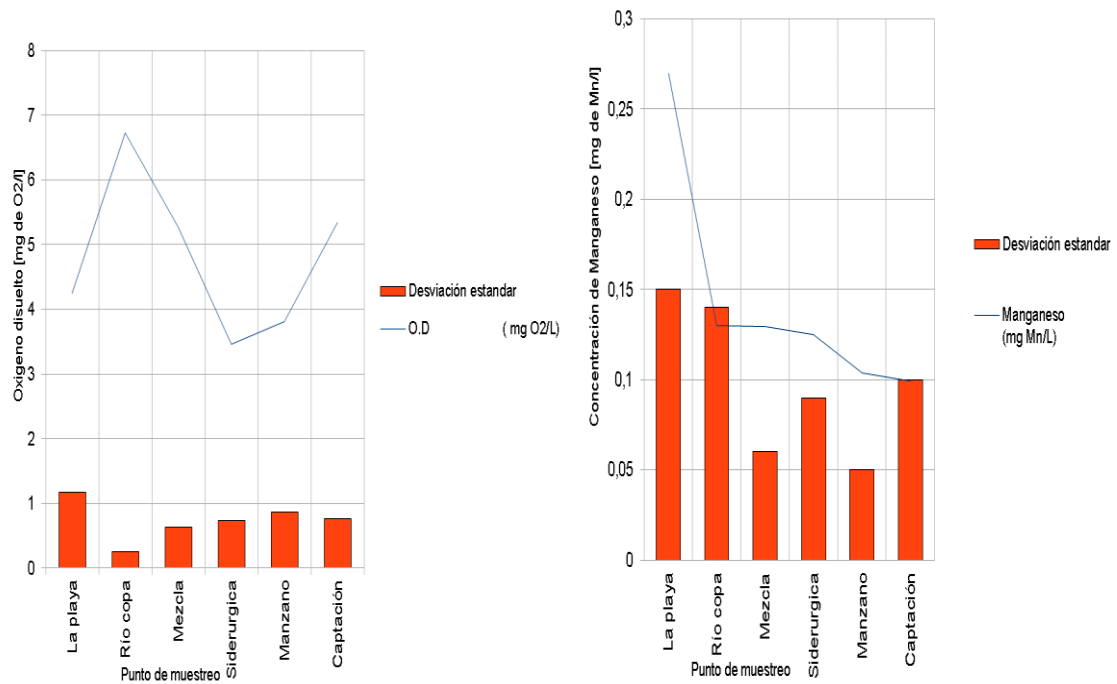


El oxígeno disuelto está asociado a la aireación en los ríos a alta calidad de la fuente, los valores más altos se presentan en los puntos de muestreo: La copa debido al bajo caudal y baja carga contaminante descargada a este afluente y en el punto de captación debido a la dilución del río Sotaquirá antes de captación. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 4,61 mg de O₂/l y el valor máximo fue 6,44 mg de O₂/l, ver figura 12. Valores elevados de oxígeno disuelto en el agua de captación acentúan la tendencia a la corrosión, arrastrando hierro en el agua dando como consecuencia la formación de incrustaciones en superficies de transferencia de calor. La concentración de oxígeno disuelto en el sistema de enfriamiento debe ser inferior a 20 µg/l.

Las concentraciones de manganeso pico se presentan en los puntos de muestreo: la playa por las altas cargas contaminantes de agua residual doméstica del municipio de Tunja con una densidad poblacional en aumento y los vertimientos industriales. En la captación de la empresa durante el periodo de 2009 a 2013 el valor mínimo presentado fue 0,03 mg de Mn/l y el valor máximo fue 0,28 mg de

Mn/l, ver figura 12. Incrementos en la concentración de manganeso en agua de captación generan depósitos de tuberías, en membranas de osmosis, en el sistema de enfriamiento. Su forma oxidada genera coloraciones marrones o negras en las superficies estructurales de hormigón o concreto.

Figura 12 Comportamiento de Oxígeno disuelto y concentración de manganeso en el río Chicamocha



En general la cuenca alta del río Chicamocha presenta alta carga contaminante en el punto de muestreo la playa donde se tienen los valores más elevados de Manganeso⁵, carbono orgánico total e inorgánico total, lo cual se debe a vertimientos sin tratamiento realizados por la ciudad Tunja y vertimientos rurales cercanos a la cuenca, provocando un alto nivel de eutrofización del río, produciendo altas concentraciones de microorganismos planctónicos y zooplanctónicos aerobios presentes para depurar la cuenca en este punto por su alta concentración de nutrientes, además de presentar un flujo laminar en todo el embalse factor que favorece su reproducción y asentamiento, la mayor concentración de microorganismos son de tipo planctónicos autótrofos, generando incrementos en color y turbiedad debido al material celular y al debris.

El embalse la copa presenta una calidad de agua alta, con bajos valores de

⁵ COMPAÑÍA ELECTRICA DEL SOCHAGOTA. Origen del manganeso en el río Chicamocha. Paipa: Sochagota; 2009. 9 p.

solidos suspendidos, además de valores bajos de turbiedad y color, con mínimas concentraciones de microorganismos, debido a los pocos vertimientos rurales por la baja densidad poblacional y la ausencia de la industria en esta zona.

En el punto de mezcla donde el río la copa tributa en el río Chicamocha diluye considerablemente la carga orgánica e inorgánica presente de los diferentes vertimientos industriales y domésticos, lo cual se ve claramente en todas las gráficas mostradas en resultados donde se observa los valores altos para el embalse la playa y la disminución en el punto de mezcla.

Aguas abajo en el punto de muestreo Siderúrgica existe un incremento en la carga contaminante y la concentración de zooplancton y fitoplancton, disminución de oxígeno disuelto. Esto es efecto de la descarga de los vertimientos municipales de Tuta, Sotaquira además de vertimientos industriales de empresas como: Fábrica de Ladrillos Maguncia, Algarra, Parmalat, Grupo Siderúrgico Diaco entre otros vertimientos rurales⁶.

En el punto de muestreo el Manzano se observa una disminución en la carga contaminante del río Chicamocha esto se debe al afluente (Río Sotaquira) que diluye la carga y mejora la calidad del río en el punto de Captación de Termopaipa IV. Existen además escorrentías intermitentes que varían su caudal según la precipitación diaria y otros arroyos que ayudan a mejorar la calidad del agua en época de invierno.

6.2 Parámetros hidrobiológicos en la cuenca alta del río Chicamocha

El muestreo hidrobiológico se efectuó el día 25 de septiembre de 2013 de acuerdo a los procedimientos contemplados en la metodología. Las muestras se preservaron y refrigeraron antes de enviar al laboratorio ANALQUIM LTDA. Acreditado ante el IDEAM por ISO: 17025 para perifiton (SM 10300), fitoplancton (SM 10200) y zooplancton (SM 10200), de los puntos de muestreo: Río La playa, Río La copa, mezcla, captación y clarificada. Los resultados entregados por el laboratorio se muestran en el anexo B.

Comparando las tablas de resultados hidrobiológicos presentes en el anexo B de este trabajo en los puntos de Muestreo: Captación y Clarificada. Se concluye que la eficiencia de desinfección en el caso del zooplancton es del 100%, morfoespecies presentes en el agua de captación: *Arcella*, *Nebella*, *Tetrahymena*, *Brachionus*, posteriormente a la salida de agua clarificada no fueron detectadas.

⁶ CORPOBOYACA. Formulación del plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja: 2010. p.24.

Para el fitoplancton se muestra una eficiencia de 99,79% , ver tabla del anexo B para el punto de muestreo de captación, se detectaron las morfoespecies presentes en el agua de captación: *Chlamydomonas*, *Crucigeniella*, *Desmodesmus*, *Kirchneriella*, *Oscillatoria*, *Trachelomonas*, *cf Lepocinclis*, *Cymbella*, *Navicula*, *Melosira* y en el agua clarificada encontramos las morfoespecies: *Chlamydomonas*, *Desmodesmus*, *cf Lepocinclis* en concentraciones de 488, 975, 244 cel /L respectivamente evidenciándose resistencia al hipoclorito de sodio implementado actualmente.

La remoción de perifiton muestra una ineficiencia debido a que en el agua de captación se presentan las siguientes morfoespecies: *Chlamydomonas*, *Crucigeniella*, *Desmodesmus*, *Oscillatoria*, *Trachelomonas*, *cf Lepocinclis*, *Cymbella*, *Eunotia*, *Synedra*, *Navicula*, *Gyrosigma*, *Melosira* con una concentración total de 64394 cel/cm² y en el agua clarificada tenemos las siguientes morfoespecies presentes: *Desmodesmus*, *cf Synechocystis*, *Trachelomonas*, *cf Lepocinclis* con una concentración de 378706 cel/cm² , lo cual indica una reproducción paulatina en el sistema de pre tratamiento el cual se debe específicamente a la morfoespecie: *cf Synechocystis* con una concentración de 377919 cel/cm² la cual no existe evidencia de su presencia en el agua de captación, indicando que su origen y colonización ocurre dentro del sistema de tratamiento. Esta cianobacteria crece en presencia de luz de forma autótrofa por fotosíntesis usando como aceptor de electrones oxígeno y en ausencia de luz de forma heterótrofa, asimilando principalmente nitrógeno y carbono, su movimiento es constante en busca de luz, tiene requerimiento de 5 a 15 minutos de exposición a la luz azul para su subsistencia. Por lo cual su reproducción se da en las lamelas del sedimentador por ser un polímero de coloración azul las bacterias crecen adheridas a estas.

6.3 Resultados Ensayo N° 1

El agua de captación tiene las siguientes características iniciales antes del ensayo: pH: 6,82, Temperatura: 17,8 °C, Conductividad: 181,5 µs/cm, Oxígeno disuelto: 1,43 mg de O₂, Potencial de óxido – reducción: 238,5 mV. Después de la prueba de Jarras y el procedimiento descrito en metodología se obtienen los siguientes resultados, ver tabla 4.

Tabla 4 Resultados ensayo de laboratorio N° 1

PARAMETRO FISICOQUÍMICO	JARRA 1 Hipoclorito de sodio y Sulfato de cobre	JARRA 2 Hipoclorito de sodio y amoniac 2:1	JARRA 3 Hipoclorito de sodio y amoniac 1:1	JARRA 4 Hipoclorito de sodio y luz UV (2minutos)
Residual de cloro [mg de Cl ⁻ /L]	0,2	0,22	0,32	0,30
Oxígeno Disuelto [mg de O ₂ /L]	0,86	0,47	0,59	0,44
pH [Unidades de pH]	7,26	8,25	8,97	6,97
Temperatura [°C]	18	17,7	17,6	17,8
Potencial oxido– reducción [mV]	506,2	423,1	350,9	499,9
Conductividad [µs/cm]	176,3	190,9	195,4	176,2

Se observa que los iones disociados del sulfato de cobre aumentan el potencial de óxido-reducción en las Jarra 1 indicando alta eficiencia biocida. Las alternativas de Las Jarras 1, 2, 3 son de tipo alcalino evidenciándose por el aumento del pH. Se observa la tendencia a aumentar el residual de cloro en presencia de amoniaco y luz ultravioleta evitando la volatilización del cloro libre. Se observa que el cloro residual es más estable en presencia de amoniaco y en contacto de luz ultravioleta evidenciándose un aumento de un 50 % comparado con el cloro residual de la dosificación únicamente de hipoclorito de sodio.

Los resultados de la observación con el microscopio utilizando lente de aumento de 40 X después de 30 minutos. Se observó lo siguiente para cada una de las jarras respectivamente: agua cruda (se presentan diversos microorganismos en movimiento en una concentración de 30 microorganismos/ mL), Jarra 1: No se presentan microorganismos vivos y sus paredes celulares están atacadas, Jarra 3: Se observan microorganismos sin movimiento y materia orgánica oxidada alrededor sin afectación a sus pared celular, Jarra 4: no se observan microorganismos presentes y nula presencia de materia orgánica o *debris*.

6.4 Resultados ensayo de microbiología

Los resultados de las muestras se muestran a continuación: agua cruda (>10⁶, >10⁶ UFC), hipoclorito de sodio-sulfato de cobre (6,5 UFC), hipoclorito de sodio – amoniaco (10,9 UFC), hipoclorito de sodio – UV (11,12 UFC), posteriormente promediando los resultados de los duplicados, y tomando como base de cálculo para el agua cruda 1x 10⁶ UFC, calculamos las eficiencias de remoción de microorganismos, obteniendo los siguientes resultados: hipoclorito de sodio - sulfato de cobre (99,99945 %), hipoclorito de sodio – amoniaco (99,99905 %), hipoclorito de sodio – UV (99,99885 %). las eficiencias remoción de microorganismos son superiores al 99,99 % para todas las alternativas, de acuerdo a esto la selección del sistema a implementar será aquella en la cual la

inversión sea inferior y la reducción de dosificación de hipoclorito sea significativa.

6.5 Resultados ensayo N°2

El agua de captación tiene las siguientes características iniciales antes del ensayo: pH 6,74, Temperatura: 17,2 °C, conductividad 157,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$, Oxígeno disuelto: 1,69 mg O_2/L , Después de la prueba de Jarras y la exposición a luz ultravioleta 45W/cm² siguiendo el procedimiento descrito en metodología se obtienen los siguientes resultados. En la cual se evidencia la estabilidad del cloro residual del cloro residual en todas las jarras.

Tabla 5 Resultados ensayo de laboratorio N° 2

	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de hipoclorito y simulación cámara de mezcla 130 rpm, tiempo: 2 minutos	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L	6 mg/L
Lámpara UV (45W), tiempo de contacto 2 minutos, se valoró residual de cloro.	0,15 mg de Cl ⁻ /L	0,13 mg de Cl ⁻ /L	0,14 mg de Cl ⁻ /L	0,19 mg de Cl ⁻ /L
Estabilización de jarras tiempo: 20 minutos, se valoró residual de cloro	0,15 mg de Cl ⁻ /L	0,14 mg de Cl ⁻ /L	0,17 mg de Cl ⁻ /L	0,22 mg de Cl ⁻ /L

6.6 Alternativa de desinfección hipoclorito de sodio y sulfato de cobre

La implementación de sulfato de cobre e hipoclorito de sodio requiere de un dosificador gravimétrico tipo tolva para el sulfato de cobre, dos tanques de 5 m³ en fibra de vidrio con muros de contención con un volumen superior a la capacidad del tanque, con agitación continua para preparar la solución a dosificar, adicional a esto un sistema 2 de bombas de desplazamiento positivo con flujo variable para dosificar en cámara de mezcla, adicional a esto un control automático mediante PLC con referencia la conductividad de agua de captación. El costo de inversión inicial: \$ 83'364.790 pesos y costos de operación anuales de \$ 440'880.360 pesos. Los costos de insumos de sulfato de cobre se proyectan con base en una dosificación promedio de 1 mg/l de sulfato de cobre y un caudal de captación de 320 m³/h durante 11 meses de operación anuales. . En el anexo C se encuentra el presupuesto detallado de la alternativa.

6.7 Alternativa de desinfección hipoclorito de sodio y amoniaco

La implementación de amoniaco e hipoclorito de sodio requiere de dos tanques de 20 m³ con bomba de trasiego para el almacenamiento y bomba de agitación con muros de contención, 2 tanques de 5m³ en fibra de vidrio, agitación continua para preparar la solución a dosificar, adicional a esto 2 de bombas de desplazamiento positivo con flujo variable para dosificar en cámara de mezcla. Control automático

por PLC con referencia a un sensor de conductividad en el agua de captación El costo de inversión inicial: \$ 118'734.790 pesos y costos de operación anuales de \$ 2.616'081.960 pesos. Los costos de insumos de amoniaco se proyectan con base en una dosificación promedio de 7 mg/l de amoniaco y un caudal de captación de 320 m³/h durante 11 meses de operación anuales. . En el anexo C se encuentra el presupuesto detallado de la alternativa.

6.8 Alternativa de desinfección hipoclorito de sodio y luz ultravioleta

La implementación de UV e hipoclorito de sodio requiere de un juego de lámparas 4 lámparas UV de 300 W para ubicar en cámara de mezcla adicional a esto una protección para evitar que las lámparas tengan contacto con el agua en acrílico, control automático por PLC con referencia a un sensor de conductividad en agua de captación. El costo de inversión inicial: \$ 31'079.790 pesos y costos de operación anuales de \$ 394'771.440 pesos. Los costos de mantenimiento incluyen el cambio de lámparas anualmente si es necesario. En el anexo C se encuentra el presupuesto detallado de la alternativa.

6.9 Selección del sistema de desinfección para Termopaipa IV

La alternativa seleccionada es el sistema de desinfección hipoclorito y luz ultravioleta debido al bajo costo de inversión inicial y costos moderados de operación anual. Disminuye los costos de producción, aumenta la eficiencia de operación debido al aumento del potencial químico del cloro residual, disminuyendo el consumo de hipoclorito de sodio en un 20%.

6.10 Resultados prototipo UV instalado en Termopaipa IV

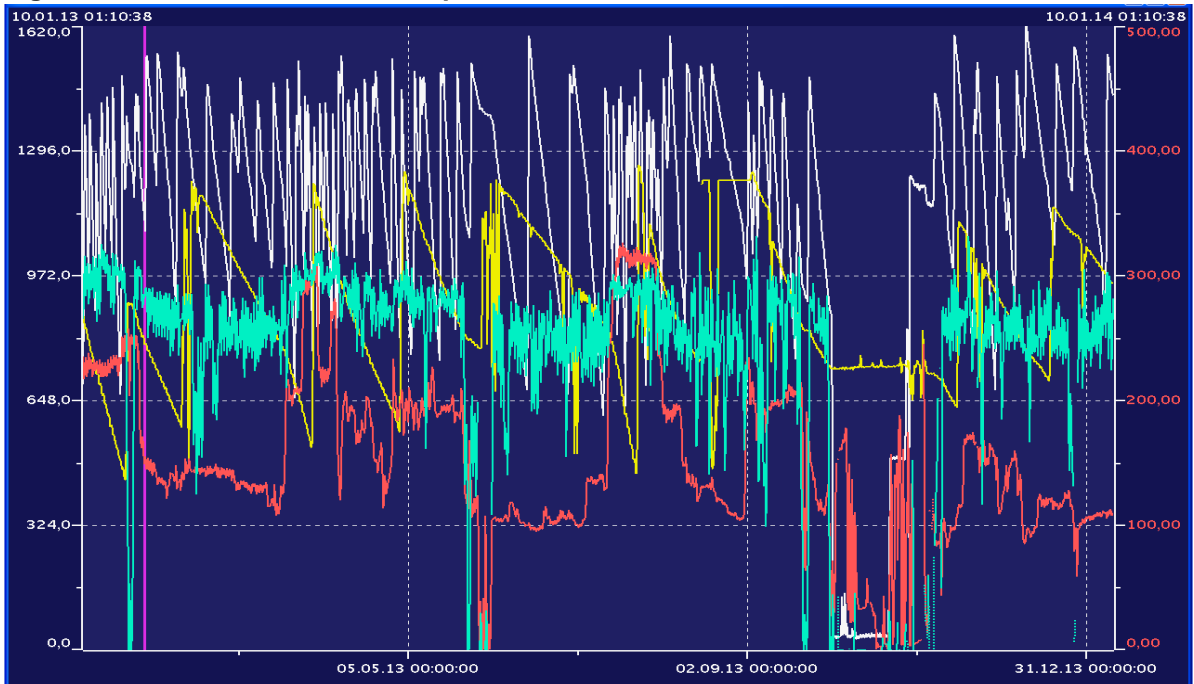
Se instaló el 1 de diciembre de 2013 en el vertedero antes de cámara de mezcla, una lámpara de luz ultravioleta con una potencia de 45 W/cm² con una carcasa de protección en aluminio y vidrio frontal, ver figura 13. Donde existe una película de agua variable de (0 a 3 cm), ancho de vertedero de 50 cm. Con esto se observó entre el 1 de diciembre de 2013 y 14 de Enero de 2014 como varia por un periodo de un mes el consumo de hipoclorito de sodio.

Figura 13 Montaje prototipo UV en cámara de mezcla



La figura 14. muestra el año de operación de 2013 hasta 14 de Enero de 2014 en el eje X. La línea blanca es el nivel de tanque de hipoclorito de sodio en el eje Y lateral izquierdo en mm, la línea azul caudal de captación, la línea amarilla nivel de tanque de hidroxiclورو de aluminio, la línea roja conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en el eje lateral derecho. Se evidencia partir de 1 de Diciembre fecha de instalación del prototipo un decrecimiento en los periodos de reposición de hipoclorito de sodio al tanque de suministro.

Figura 14 Grafica Procontrol año operación 2013 hasta 14 de Enero 2014



La instalación de este prototipo de desinfección permitirá tener datos reales del proceso, para determinar el lazo de control adecuado para aumentar la vida útil de este sistema implementado a 2 o 3 años al no utilizar las lámparas a la misma intensidad constante, sino que varíen proporcionalmente de acuerdo a la concentración de microorganismos presentes y el caudal de captación.

7 CONCLUSIONES

- La fuente principal de fitoplancton y zooplancton se origina en el río la playa donde se encuentra un sumidero, donde el agua fluye en régimen lamiar y debido a los aportes de los vertimientos de la ciudad de Tunja se genera una alta concentración de microorganismos.
- Los valores de los parámetros fisicoquímicos decrecen con el cauce de la cuenca, presentándose los más altos valores en la playa, posterior a esto por la dilución ocasionada por los afluentes tributarios y escorrentías intermitentes se disminuye sus valores.
- Los periodos de alta precipitación ayudan a diluir las altas cargas orgánicas debidas a los vertimientos de aguas residuales domésticos e industriales efectuados a lo largo del cauce de la cuenca alta del río Chicamocha.
- La implementación de sulfato de cobre para la desinfección presento la más alta eficiencia de remoción de microorganismos.
- La luz ultravioleta es la alternativa más ajustada, debido a que la dosificación de hipoclorito de sodio se disminuye en un 50%, generando mayor utilidades para la compañía y tiene un bajo costo de inversión.
- La cianobacteria *cf Synechocystis* se presenta y reproduce únicamente dentro del sistema de tratamiento por lo cual es importante la adición de sulfato de cobre en una concentración superior a 10 mg/L cuando se realiza lavado del sistema de tratamiento.
- La implementación del prototipo de desinfección por luz ultravioleta permitirá recoger datos importantes para diseñar un adecuado sistema de tratamiento ajustado a las características variables del río Chicamocha, además de implementar un lazo de control que permita extender la vida útil del mismo.

8 RECOMENDACIONES

- La reproducción de la cianobacteria presente en el sistema de tratamiento está limitada a la exposición a la luz azul y oxígeno, por tal razón debido a que las lamelas del clarificador son de polímero con coloración azul al reflejarse en el agua aumenta la concentración de estas bacterias en el sistema. Es recomendable implementar una cubierta en polietileno o acrílico en sedimentación.
- Comenzar a realizar ensayos microbiológicos cualitativos y cuantitativos más específicos para el sistema el tratamiento y capacitar al personal de la planta en estas prácticas.
- Implementar el prototipo de luz ultravioleta en el vertedero por un periodo de un mes calendario, para recoger datos precisos para poder diseñar el sistema de desinfección ajustado a las características del río Chicamocha.
- Realizar la inversión en el sistema de desinfección de hipoclorito y luz ultravioleta.

BIBLIOGRAFIA

BYRNE, Wes. Reverse osmosis: A practical guide for industrial users. Second edition. Littleton, USA: Tall Oaks, 2010.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594. Usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, 1984.

COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2115. Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá, 2007.

COMPAÑÍA ELECTRICA DEL SOCHAGOTA. Origen del manganeso en el río Chicamocha. Paipa: Sochagota; 2009.

COMPAÑÍA ELECTRICA DEL SOCHAGOTA. Chicamocha river quality. Paipa: Sochagota; 2010.

CORPOBOYACA. Formulación del plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja, 2005.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Referencias bibliográficas. Forma y estructura. Bogotá: ICONTEC, 2008. NTC 5613.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 2008. NTC 1486.

MACKENZIE, L. Davis. Water and wastewater engineering: design principles and practice. First edition. USA: MacGraw Hill Inc, 2010.

POLO FERRER, José *et al.* Tratamiento s biológicos de aguas residuales. Primera edición. México: Alfaomega Grupo Editor, 2013.

APHA, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21th edition. Washington D.C USA: AWWA, 2005.

9 ANEXO A. Resultados parámetros fisicoquímicos 2009 – 2010

Resultados parámetros fisicoquímicos punto de muestreo: La playa

PARAMETRO	RIO PLAYA				
	05/06/2009	28/09/2009	01/10/2009	23/07/2010	11/08/2010
Ph Unid.	6,6	6,6	7,56	6,66	6,62
Conductividad uS/Cm	517	469	625	189,2	235
S.S mg /L	9	13	11	73	6
TURBIDEZ NTU	21	23	27	107	16
COLOR UN Pt/Co	178	198	231	1046	264
Hierro mg Fe/L	1,99	1,5	1,23	4,54	3,44
DQO mg O2/L	47	46	75	53	60
DBO mg O2/L	4,82	4,19	2,32	3,38	3,31
TC mg C/L	50,26	58,12	74,58	36,09	36,1
TIC mg C/L	30,76	24,02	32,8	9,39	12,38
TOC mg C/L	19,5	34,12	41,78	26,69	23,72
O.D mg O2/L	4,82	4,19	2,32	4,47	5,44
Manganeso mg Mn/L	0,11	0,24	0,28	0,52	0,2

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

Resultados parámetros fisicoquímicos punto de muestreo: río La copa

PARAMETRO	RIO COPA				
	05/06/2009	28/09/2009	01/10/2009	23/07/2010	11/08/2010
Ph Unid.	6,98	7,03	7,77	6,76	6,55
Conductividad uS/Cm		72,3	64	146	87,1
S.S mg /L	8	7	3	39	11
TURBIDEZ NTU	17	12	9	33	10
COLOR UN Pt/Co	144	104	78	350	150
Hierro mg Fe/L	1,93	1,4	1	3,7	1,81
DQO mg O2/L	20	18	16	44	35
DBO mg O2/L	1,67	1,78	1,65	1,3	1,41
TC mg C/L	10,59	9,5	8,53	24,39	11,81
TIC mg C/L	4,02	2,69	3,73	3,97	3,6
TOC mg C/L	6,57	6,81	4,8	20,42	8,21
O.D mg O2/L	6,65	6,47	7,03	6,49	6,97
Manganeso mg Mn/L	0,05	0,07	0,06	0,38	0,09

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

Resultados parámetros fisicoquímicos punto de muestreo: Punto de Mezcla

PARAMETRO	MEZCLA				
	05/06/2009	28/09/2009	01/10/2009	23/07/2010	11/08/2010
Ph Unid.	7,02	6,97	7,6	6,78	6,51
Conductividad uS/Cm		115	130	158	100,1
S.S mg /L	11	8	6	37	8
TURBIDEZ NTU	17	13	13	45	13
COLOR UN Pt/Co	155	115	100	480	163
Hierro mg Fe/L	1,94	1,4	1,08	4	1,87
DQO mg O2/L	24	20	12	45	30
DBO mg O2/L	3,66	2,9	3,73	2,46	1,97
TC mg C/L	16,25	15,57	17,14	27,14	18,42
TIC mg C/L	6,84	5,04	9,37	6,59	5,2
TOC mg C/L	9,42	10,53	7,77	20,54	13,22
O.D mg O2/L	5,42	5,16	5,12	4,45	6,2
Manganeso mg Mn/L	0,12	0,09	0,12	0,24	0,076

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

Resultados parámetros fisicoquímicos punto de muestreo: Siderúrgica

PARAMETRO	SIDERURGICA				
	05/06/2009	28/09/2009	01/10/2009	23/07/2010	11/08/2010
Ph Unid.	7,1	7,03	7,36	6,72	6,38
Conductividad uS/Cm		112	138	234	103,2
S.S mg /L	13	8	6	33	10
TURBIDEZ NTU	20	15	14	43	13,8
COLOR UN Pt/Co	175	115	114	481	158
Hierro mg Fe/L	2,04	1,5	1,22	4,2	2,17
DQO mg O2/L	28	22	25	52	32
DBO mg O2/L	3,31	3,43	2,64	2,4	1,19
TC mg C/L	17,64	12,55	17,17	31,47	18,72
TIC mg C/L	7,02	4,41	8,86	7,02	5,36
TOC mg C/L	10,62	8,14	8,31	24,45	13,36
O.D mg O2/L	3,39	3,57	2,64	3,06	4,63
Manganeso mg Mn/L	0,1	0,06	0,1	0,28	0,085

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

Resultados parámetros fisicoquímicos punto de muestreo: Manzano

PARAMETRO	MANZANO				
	05/06/2009	28/09/2009	01/10/2009	23/07/2010	11/08/2010
Ph Unid.	7,2	7,07	7,3	6,87	6,36
Conductividad uS/Cm		110	122	199	102,9
S.S mg /L	13	12	10	14	11
TURBIDEZ NTU	17	14	11	39	16
COLOR UN Pt/Co	156	121	108	454	161
Hierro mg Fe/L	1,79	1,4	1,2	3,97	2,65
DQO mg O2/L	24	19	19	61	37
DBO mg O2/L	3,53	3,22	2,89	2,8	1,73
TC mg C/L	15,85	15,18	16,17	33,01	18,68
TIC mg C/L	6,31	4,86	8,72	7,86	5,07
TOC mg C/L	9,54	10,5	7,98	25,14	13,61
O.D mg O2/L	4,09	3,64	3,11	3,04	5,15
Manganeso mg Mn/L	0,08	0,09	0,07	0,19	0,09

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

Resultados parámetros fisicoquímicos punto de muestreo: Captación

PARAMETRO	CAPTACION CES				
	05/06/2009	28/09/2009	01/10/2009	23/07/2010	11/08/2010
Ph Unid.	7,17	6,6	6,56	6,98	6,57
Conductividad uS/Cm	112	105	122	173	105,7
S.S mg /L	9	8	7	44	17
TURBIDEZ NTU	20	13	13	55	16
COLOR UN Pt/Co	117	111	104	475	180
Hierro mg Fe/L	1,09	1,4	1,04	4,44	2,06
DQO mg O2/L	25	20	24	32	32
DBO mg O2/L	2,94	0,27	2,88	3,37	1,79
TC mg C/L	12,79	11,14	12,36	28,96	18,28
TIC mg C/L	6,58	3,65	6,71	7,17	5,42
TOC mg C/L	6,21	7,49	5,92	21,78	12,86
O.D mg O2/L	4,75	4,86	4,78	5,86	6,44
Manganeso mg Mn/L	0,03	0,03	0,08	0,28	0,075

Fuente: Compañía eléctrica del Sochagota

10 ANEXO B. Resultados hidrobiológicos muestreo (25/09/2013)

Resultados hidrobiológicos punto de muestreo: La playa (25/09/2013)

PUNTO DE MUESTREO 1 "LA PLAYA"					
RESULTADOS ZOOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Ciliophora	Haptorida	Lacrymariidae	Lacrymaria	843	ind/L
Ciliophora	Sessilida	Vorticellidae	Epystilis	179635	ind/L
Ciliophora	Tetrahymenida	Tetrahymenidae	Tetrahymena	2530	ind/L
RESULTADOS FITOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	1289165	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Crucigeniella	14278	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	49974	cel/L
Chlorophyta	Ulotrichales	Ulotrichaceae	Ulothrix	135644	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	149209	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Strombomonas	41779	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	393912	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	274544	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	Phacus	35810	cel/L
Heterokontophyta	Thalassiosirales	Melosiraceae	Melosira	5968	cel/L
RESULTADOS PERIFITON					
PROTOCOLO:	SM 10300 B,C y E. GTC 25.EPA-841-B-99-002, Cap 6				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Raspado de diferentes tipos de sustratos completando un área de 9 cm ²				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	753008	cel/cm ²
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	16985	cel/cm ²
Chlorophyta	Zygnematales	Desmidiaceae	Closterium	64	cel/cm ²
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	2958	cel/cm ²
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	5079	cel/cm ²
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Strombomonas	24062	cel/cm ²
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	97665	cel/cm ²
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	41047	cel/cm ²

Fuente: Analquim Ltda.

Resultados hidrobiológicos punto de muestreo: La copa (25/09/2013)

PUNTOS DE MUESTREO N°2 "LA COPA"					
RESULTADOS ZOOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Ciliophora	Sessilida	Vorticellidae	Epystilis	4193	ind/L
RESULTADOS FITOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Sphaeropleales	Ankistrodesmaceae	Monoraphidium	122	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	975	cel/L
Chlorophyta	Ulotrichales	Ulotrichaceae	Klebsormidium	2316	cel/L
Chlorophyta	Zygnematales	Desmidiaceae	Closterium	61	cel/L
Chlorophyta	Zygnematales	Zygnemataceae	Spyrogira	670	cel/L
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	62530	cel/L
Heterokontophyta	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	731	cel/L
Heterokontophyta	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	244	cel/L
Heterokontophyta	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	244	cel/L
Heterokontophyta	Fragilariales	Fragilariaceae	Synedra	61	cel/L
Heterokontophyta	Naviculales	Naviculaceae	Navicula	3047	cel/L
Heterokontophyta	Thalassiosirales	Melosiraceae	Melosira	54608	cel/L
RESULTADOS PERIFITON					
PROTOCOLO:	SM 10300 B,C y E. GTC 25.EPA-841-B-99-002,Cap 6				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Raspado de diferentes tipos de sustratos completando un área de 9 cm ² .				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Zygnematales	Desmidiaceae	Staurastrum	3	cel/cm ²
Chlorophyta	Zygnematales	Zygnemataceae	Spyrogira	33	cel/cm ²
Cyanophyta	Nostocales	Nostocaceae	Anabaena	120	cel/cm ²
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Lyngbya	163	cel/cm ²
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	2690	cel/cm ²
Heterokontophyta	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	17	cel/cm ²
Heterokontophyta	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	7	cel/cm ²
Heterokontophyta	Fragilariales	Fragilariaceae	Synedra	23	cel/cm ²

Fuente: Analquim Ltda.

Resultados hidrobiológico punto de muestreo: Punto de Mezcla (25/09/2013)

PUNTOS DE MUESTREO N°3 "LA MEZCLA"					
RESULTADOS ZOOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Ciliophora	Prorodontida	Colepidae	Coleps	24	ind/L
Ciliophora	Sessilida	Vorticellidae	Epystilis	61	ind/L
Ciliophora	Tetrahymenida	Tetrahymenidae	Tetrahymena	73	ind/L
Cnidaria	Anthoathecatha	Hydridae	Hydra	61	ind/L
Rotifera	Ploima	Brachionidae	Brachionus	12	ind/L
RESULTADOS FITOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	97815	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Ankistrodesmaceae	Monoraphidium	663	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	6632	cel/L
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	5637	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Strombomonas	663	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	12931	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	11605	cel/L
Heterokontophyta	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	663	cel/L
Heterokontophyta	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	995	cel/L
Heterokontophyta	Naviculales	Naviculaceae	Navicula	332	cel/L
Heterokontophyta	Thalassiosirales	Melosiraceae	Melosira	1658	cel/L
RESULTADOS PERIFITON					
PROTOCOLO:	SM 10300 B,C y E. GTC 25.EPA-841-B-99-002,Cap 6				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Raspado de diferentes tipos de sustratos completando un área de 9 cm2.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	26539	cel/cm2
Chlorophyta	Chlamydomonales	Volvocaceae	Pandorina	670	cel/cm2
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	12739	cel/cm2
Chlorophyta	Zygnematales	Desmidiaceae	Desmidium	782	cel/cm2
Cyanophyta	Nostocales	Nostocaceae	Anabaena	18047	cel/cm2
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	2343949	cel/cm2
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	223	cel/cm2
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	6369	cel/cm2
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	3185	cel/cm2
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	Phacus	223	cel/cm2
Heterokontophyta	Bacillariales	Bacillariaceae	Nitzschia	2123	cel/cm2
Heterokontophyta	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	112	cel/cm2
Heterokontophyta	Cymbellales	Gomphonemataceae	Gomphonema	1062	cel/cm2

Fuente: Analquim Ltda.

Resultados hidrobiológico punto de muestreo: Captación (25/09/2013)

PUNTOS DE MUESTREO N°4 "CAPTACIÓN"					
RESULTADOS ZOOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Amoebozoa	Arcellinida	Arcellidae	Arcella	24	ind/L
Amoebozoa	Arcellinida	Diffugiidae	Nebella	12	ind/L
Ciliophora	Tetrahymenida	Tetrahymenidae	Tetrahymena	12	ind/L
Rotifera	Ploima	Brachionidae	Brachionus	12	ind/L
RESULTADOS FITOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	611971	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Crucigeniella	14614	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	43843	cel/L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Selenastraceae	Kirchneriella	12787	cel/L
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	69418	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	32882	cel/L
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	16441	cel/L
Heterokontophyta	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	1827	cel/L
Heterokontophyta	Naviculales	Naviculaceae	Navicula	9134	cel/L
Heterokontophyta	Thalassiosirales	Melosiraceae	Melosira	9134	cel/L
RESULTADOS PERIFITON					
PROTOCOLO:	SM 10300 B,C y E. GTC 25.EPA-841-B-99-002,Cap 6				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Raspado de diferentes tipos de sustratos completando un área de 9 cm ² .				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	43936	cel/cm ²
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Crucigeniella	693	cel/cm ²
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	3206	cel/cm ²
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	7799	cel/cm ²
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Trachelomonas	1127	cel/cm ²
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	5546	cel/cm ²
Heterokontophyta	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	173	cel/cm ²
Heterokontophyta	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	173	cel/cm ²

Fuente: Analquim Ltda.

Resultados hidrobiológico punto de muestreo: Agua clarificada (25/09/2013)

PUNTOS DE MUESTREO N°5 "CLARIFICADA"					
RESULTADOS ZOOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
NO SE REORTAN INDIVIDUOS					
RESULTADOS FITOPLANCTON					
PROTOCOLO:	SM 10200 B,C y G.GTC 25.				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Se filtraron 2,051 L de agua a través de una red de plancton.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Chlamydomonales	Chlamydomonaceae	Chlamydomonas	488	cel / L
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	975	cel / L
Euglenophyta	Euglenales	Phacaceae	cf Lepocinclis	244	cel / L
RESULTADOS PERIFITON					
PROTOCOLO:	SM 10300 B,C y E. GTC 25.EPA-841-B-99-002,Cap 6				
TÉCNICA DE MUESTREO:	Raspado de diferentes tipos de sustratos completando un área de 9 cm2.				
PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	MORFOESPECIE	No INDIVIDUOS	UNIDADES
Chlorophyta	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus	27	cel /cm2
Cyanophyta	Chroococcales	Merismopediaceae	cf Synechocystis	377919	cel /cm2

Fuente: Analquim Ltda.

11 ANEXO C. Presupuestos de los sistemas de desinfección

SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE SULFATO DE COBRE E HIPOCLORITO DE SODIO				
ITEM	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL	
BOMBA EMEC CMSQ-0720, DIAFRAGMA EN TEFLON	UN	2	\$4.600.000	\$9.200.000
AGITADORES PARA TANQUE 0,3 HP	UN	2	\$700.000	\$1.400.000
TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO, BRIDAS 1 Y 1/2" ASTM 3299 5 m3	UN	2	\$5.000.000	\$10.000.000
MUROS DE CONTENCIÓN TANQUE 7,5 m2	m2	7,5	\$70.000	\$525.000
SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN	UN	1	\$2.700.000	\$2.700.000
DOSIFICADOR GRAVIMETRICO TIPO TOLVA	UN	2	\$7.750.000	\$15.500.000
ELECTROVALVULA FESTO 1/2"	UN	4	\$590.000	\$2.360.000
SENSOR DE NIVEL MEDICIÓN CONTINUA (ULTRASONIDO)	UN	2	\$2.900.000	\$5.800.000
SENSOR DE CONDUCTIVIDAD ABB K: 0,05	UN	1	\$2.479.790	\$2.479.790
CPU PLC OMRON CPIMXA	UN	1	\$4.500.000	\$4.500.000
PANTALLA OMRON DACTILAR MONOCROMATICA	UN	1	\$2.200.000	\$2.200.000
PROGRAMACIÓN PLC Y PUESTA EN MARCHA	UN	1	\$5.200.000	\$5.200.000
INSTALACION TUBERIA ACERO INOXIDABLE SCH 80 1" Y 1/2", 50 m	M	50	\$50.000	\$2.500.000
PANEL DE CONTROL DE OPERARIOS EN ALUMINIO CON MANDOS Y SEÑALIZACIÓN	UN	1	\$1.000.000	\$1.000.000
INSTALACIÓN ELECTRICA CON MATERIALES	UN	1	\$15.000.000	\$15.000.000
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL	UN	1	\$3.000.000	\$3.000.000
TOTAL COSTOS DE INVERSIÓN INICIALES				\$83.364.790
COSTOS DE OPERACIÓN ANUALES				
COSTOS DE PERSONAL	OP	1	\$25.000.000	\$25.000.000
COSTOS DE MANTENIMIENTO	UN	1	\$5.000.000	\$5.000.000
COSTOS DE ELECTRICIDAD	kW/h	55440	\$419	\$23.229.360
COSTOS DE AGUA	M3	2534400	\$140	\$354.816.000
COSTO DE SULFATO DE COBRE	KG	2590	\$6.500	\$16.835.000
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL				\$424.880.360

SISTEMA DE DESINFECCIÓN CON AMONIACO E HIPOCLORITO DE SODIO				
ITEM		CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
BOMBA EMEC CMSQ-0720, DIAFRAGMA EN TEFLON	UN	3	\$4.600.000	\$13.800.000
BOMBAS CENTRIFUGA EN ACERO INOXIDABLE SUCCIÓN Y DESCARGA EN 1°	UN	3	\$2.850.000	\$8.550.000
TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO , BRIDAS EN 2" Y 1" ASTM 3299 20 m3	UN	2	\$10.000.000	\$20.000.000
MUROS DE CONTECCION TANQUE 27 m2	m2	27	\$700.000	\$18.900.000
AGITADORES PARA TANQUE 0,3 HP	UN	2	\$700.000	\$1.400.000
TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO, BRIDAS 1 Y 1/2" ASTM 3299 5 m3	UN	2	\$5.000.000	\$10.000.000
MUROS DE CONTENCIÓN TANQUE 7,5 m2	m2	7,5	\$70.000	\$525.000
SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN	UN	1	\$2.700.000	\$2.700.000
ELECTROVALVULA FESTO 1/2"	UN	2	\$590.000	\$1.180.000
SENSOR DE NIVEL MEDICIÓN CONTINUA (ULTRASONIDO)	UN	2	\$2.900.000	\$5.800.000
SENSOR DE CONDUCTIVIDAD ABB K: 0,05	UN	1	\$2.479.790	\$2.479.790
CPU PLC OMRON CPIMXA	UN	1	\$4.500.000	\$4.500.000
PANTALLA OMRON DACTILAR MONOCROMATICA	UN	1	\$2.200.000	\$2.200.000
PROGRAMACIÓN PLC Y PUESTA EN MARCHA	UN	1	\$5.200.000	\$5.200.000
INSTALACION TUBERIA ACERO INOXIDABLE SCH 80 1" Y 1/2", 50 m	M	50	\$50.000	\$2.500.000
PANEL DE CONTROL DE OPERARIOS EN ALUMINIO CON MANDOS Y SEÑALIZACIÓN	UN	1	\$1.000.000	\$1.000.000
INSTALACIÓN ELECTRICA CON ALAMBRADO Y PROTECCIONES	UN	1	\$15.000.000	\$15.000.000
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL	UN	1	\$3.000.000	\$3.000.000
TOTAL COSTOS DE INVERSIÓN INICIALES				\$118.734.790
COSTOS DE OPERACIÓN ANUALES				
COSTOS DE PERSONAL	OP	1	\$25.000.000	\$25.000.000
COSTOS DE MANTENIMIENTO	UN	1	\$5.000.000	\$5.000.000
COSTOS DE ELECTRICIDAD	kW/h	55440	\$419	\$23.229.360
COSTOS DE AGUA	M3	2534400	\$140	\$354.816.000
COSTO DE AMONIACO	KG	700964	\$3.150	\$2.208.036.600
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL				\$2.616.081.960

ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN CON LUZ ULTRAVIOLETA E HIPOCLORITO DE SODIO				
ITEM		CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
LAMPARA UV longitud de onda: 237 nm 300W	UN	4	\$300.000	\$1.200.000
CARCAZA DE PROTECCIÓN LAMPARA UV (IMPERMEABLE)	UN	4	\$250.000	\$1.000.000
SENSOR DE INTENSIDAD LUMINICA SCITEC	UN	1	\$500.000	\$500.000
SENSOR DE CONDUCTIVIDAD ABB K: 0,05	UN	1	\$2.479.790	\$2.479.790
CPU PLC OMRON CPIMXA	UN	1	\$4.500.000	\$4.500.000
PANTALLA OMRON DACTILAR MONOCROMATICA	UN	1	\$2.200.000	\$2.200.000
PROGRAMACIÓN PLC Y PUESTA EN MARCHA	UN	1	\$5.200.000	\$5.200.000
INSTALACIÓN ELECTRICA CON ALAMBRADO Y PROTECCIONES	UN	1	\$7.000.000	\$7.000.000
SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN ELECTRICA	UN	1	\$3.000.000	\$3.000.000
PANEL DE CONTROL DE OPERARIOS EN ALUMINIO CON MANDOS Y SEÑALIZACIÓN	UN	1	\$1.000.000	\$1.000.000
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL	UN	1	\$3.000.000	\$3.000.000
TOTAL COSTOS DE INVERSIÓN INICIALES				\$31.079.790
COSTOS DE OPERACIÓN ANUALES				
COSTOS DE PERSONAL	OP	1	\$25.000.000	\$25.000.000
COSTOS DE MANTENIMIENTO	UN	1	\$5.000.000	\$5.000.000
COSTOS DE ELECTRICIDAD	kW/h	23760	\$419	\$9.955.440
COSTOS DE AGUA	M3	2534400	\$140	\$354.816.000
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN ANUALES				\$394.771.440