

1-1-2016

Plan de mejoramiento y puesta en marcha de la planta de potabilización de la Institución Educativa Distrital Chorrillos

Mayra Alejandra Toro Prieto
Universidad de La Salle, Bogotá

Viviana Paola Díaz García
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Toro Prieto, M. A., & Díaz García, V. P. (2016). Plan de mejoramiento y puesta en marcha de la planta de potabilización de la Institución Educativa Distrital Chorrillos. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/352

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**PLAN DE MEJORAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE
POTABILIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL CHORRILLOS**

TRABAJO DE GRADO

**DIRECTOR
JULIO CESAR RAMIREZ RODRIGUEZ**

PRESENTADO POR:

**MAYRA ALEJANDRA TORO PRIETO
VIVIANA PAOLA DIAZ GARCIA**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.
2016**

**PLAN DE MEJORAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE
POTABILIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DISTRITAL CHORRILLOS**

**MAYRA ALEJANDRA TORO PRIETO
VIVIANA PAOLA DIAZ GARCIA**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera ambiental y sanitaria

**DIRECTOR
ING. JULIO CESAR RAMIREZ RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.
2016**

AGRADECIMIENTOS

Los autores damos especial agradecimiento a:

Nuestro director de proyecto de grado, el Ingeniero Julio Cesar Ramírez Rodríguez por su paciencia y dedicación, por su tiempo y por todo el conocimiento brindado para el desarrollo de este proyecto.

A los jurados que con sus aportes y observaciones contribuyeron para lograr que este proyecto cumpliera las expectativas.

Al cuerpo docente de La Universidad de La Salle por brindarnos sus conocimientos y experiencias para fundar las bases de excelentes profesionales.

Al Ingeniero Leonardo Calle, quien en su ejercicio como director del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria ha encaminado la práctica de la profesión con ética y moral para servir a la sociedad.

A La Universidad de La Salle por brindarnos la oportunidad de adquirir todos los conocimientos que se requieren para ejercer nuestra profesión con excelencia, abriéndonos las puertas de sus aulas y demás espacios académicos.

A todos aquellos que hicieron parte de este proyecto gracias infinitas por su tiempo, dedicación y aportes.

DEDICATORIA MAYRA ALEJANDRA TORO PRIETO

Le agradezco a Dios por haberme puesto en este camino y por permitirme culminar mis estudios de pregrado de manera satisfactoria.

Dedico este trabajo a mi padre José Raúl Toro, a mi madre Amira Prieto y a mis hermanas Adriana y Carolina, quienes con su esfuerzo incansable me ayudaron a cumplir este sueño. Por todos sus años de trabajo y de esfuerzo para guiarme por el buen camino. Por creer en mí y por ser mi apoyo incondicional, son mi vida entera y cada logro que alcanzo es para ustedes, gracias por siempre. A mi sobrina Luciana, quien me ha enseñado a crecer. A Gerónimo y Teodoro, por mantenerme siempre tan humana y por mostrarme el amor más puro y noble.

A mi compañera Viviana Díaz por ser parte de este logro y por todos los momentos compartidos. Han sido gratas experiencias.

A Natalia Montealegre y Julieth Ramírez, por su apoyo y paciencia en la ejecución de este proyecto, sin ustedes no habría sido posible.

A Daniel Felipe Noguera, por su apoyo infinito durante estos años de estudio.

Por último, dedico este trabajo a Doña María, por ser siempre luz y un ejemplo de fuerza y bondad.

DEDICATORIA VIVIANA PAOLA DIAZ GARCIA

Mi dedicatoria primeramente se dirige a quien ha forjado mi camino, a Dios, que me ha permitido alcanzar esta meta.

Dedico de manera especial a mi Madre por todo su esfuerzo y sacrificio para brindarme todo su amor y apoyo incondicional. Gracias por apoyar mis sueños y batallarlos a mi lado, no existen palabras para agradecerte, por tanto, eres y siempre serás el mayor tesoro de mi vida, gracias amada madre.

A toda mi familia, en especial a mi tía Leidy García, aunque te encuentres lejos, me brindaste tu apoyo y cariño incondicional.

Por último, quiero dedicar a mi amigo y Director Ingeniero Julio César Ramírez por sus sabios consejos, su apoyo y confianza, y a mi compañera de tesis Alejandra Toro Prieto por su paciencia y gran amistad.

Tabla de contenido

Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Capítulo 1	4
Marco de Referencia	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Marco Teórico	6
1.3 Marco Conceptual	14
1.4 Marco Legal	18
Capítulo 2	20
Metodología	20
2.1 Etapa 1. Diagnóstico	20
2.2 Etapa 2. Determinaciones	23
2.3 Etapa 3. Elaboración del manual de operación	25
2.4 Etapa 4. Evaluación	25
Capítulo 3	25
Resultados	26
3.1 Recolección de información relevante	26
3.1.1 Usos del agua en la IED Chorrillos	26
3.1.2 Población a servir	26
3.2 Diagnóstico	27
3.3 Planimetría	1
3.4 Actividades realizadas para el mantenimiento de la planta de potabilización	4
3.5 Caracterización Preliminar	7
3.5.1 Análisis de resultados	8
3.5.2 Caracterización Microbiológica Preliminar	10
3.6 Determinación del Caudal Real	12
3.7 Tiempos de Retención	14
3.8 Prueba de Jarras	16
3.9 Curva de cloración	27

3.10 Descripción de tratamiento realizado en la planta -----	29
3.11 Eficiencias de las unidades de tratamiento-----	30
3.12 Caracterización final -----	35
3.12.1 Análisis de resultados -----	37
3.12.2 Caracterización microbiológica final -----	39
3.12.3 Cumplimiento de los máximos permisibles de la Resolución 2115 de 2007 -----	40
3.12.4 Eficiencia total de la planta de potabilización -----	42
3.13 Evaluación económica -----	43
4. Conclusiones -----	46
5. Recomendaciones -----	47
6. Referencias -----	48

Índice de cuadros

Cuadro 1. Normatividad relevante para la ejecución del proyecto -----	19
Cuadro 2. Métodos utilizados para la medición de parámetros-----	21
Cuadro 3. Parámetros escogidos para la determinación de eficiencias -----	25
Cuadro 4. Resultados pruebas microbiológicas con Petrifilm -----	110
Cuadro 5. Resultados Presencia/Ausencia con Colitag -----	121
Cuadro 6. Resultados del efluente prueba por Petrifilm -----	3968
Cuadro 7. Resultados del efluente prueba de coliformes por medio de Colitag-----	4068

Índice de imágenes

Imagen 1. Estado inicial de la PTAP-----	33
Imagen 2. De izquierda a derecha se evidencia el antes y el después del proceso de mantenimiento de las bandejas -----	34
Imagen 3. De izquierda a derecha se evidencia el antes y el después, del mantenimiento del tanque de coagulación y floculación. -----	34
Imagen 4. Antes y después de las colmenas -----	35
Imagen 5. Antes y después del tanque -----	635
Imagen 6. Antes y después del tanque de almacenamiento-----	635
Imagen 7. Dimensiones del tanque de almacenamiento-----	¡Error! Marcador no definido.2

Índice de diagramas

Diagrama 1. Plano distribución de la PTAP de la IED Chorrillos, dirección flujo y dosificación y desinfección. -----	29
Diagrama 2. Plano de planta de tratamiento de agua potable con vista superior y vista frontal	10
Diagrama 3. Plano de perfil frontal y perfil superior por unidades -----	21

Índice de graficas

Grafica 1. Resultado de Turbiedad de ensayo de jarras con coagulante de sulfato de aluminio. Comparado con los máximos permisibles y turbiedad inicial -----	48
Grafica 2. Resultado de Turbiedad de ensayo de jarras con coagulante PAC, comparado con los máximos permisibles y turbiedad inicial-----	221
Grafica 3. Resultado de Turbiedad de ensayo de jarras con coagulante de Sulfato de Aluminio tipo B. Comparado con los máximos permisibles y turbiedad inicial -----	2453
Grafica 4. Demanda de cloro, por medio de una curva de cloración midiendo cloro necesario, y cloro residual libre para el proceso de desinfección-----	2858

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados Caracterización inicial-----	736
Tabla 2. Tiempos de retención de cada unidad de la planta -----	1443
Tabla 3. Análisis preliminar para prueba de jarras-----	1846
Tabla 4. Concentración de coagulante de sulfato de aluminio, y análisis de parámetros de salida de prueba de jarras.-----	1947
Tabla 5. Concentración de coagulante de PAC, y análisis de parámetros de salida de prueba de jarras.-----	220
Tabla 6. Concentración de coagulante de Sulfato de aluminio tipo B, y análisis de parámetros de salida de la prueba de jarras.-----	2352
Tabla 7. Eficiencias de turbiedad de la prueba de C de jarras-----	54
Tabla 8. Concentraciones de coagulante y floculante de la prueba de jarra C-----	2554
Tabla 9. Eficiencias teóricas ensayo jarra 130 ppm-----	2655
Tabla 10. Eficiencias de bandejas de aireación -----	3159
Tabla 11. Eficiencias realizadas en el tanque de coagulación-----	310
Tabla 12. Eficiencias realizadas en el tanque de floculación-----	321
Tabla 13. Eficiencias realizadas en el tanque de sedimentación-----	3362
Tabla 14. Eficiencias realizadas en el tanque de igualación-----	34
Tabla 15. Eficiencias realizadas en el filtro de arena-----	3463
Tabla 16. Resultados de la caracterización final -----	3564
Tabla 17. Caracterización inicial y final comparados con la norma de agua potable resolución 2115 de 2007-----	400
Tabla 18. Eficiencia total de la PTAP -----	421
Tabla 19. Costos de operación y de insumos de la PTAP -----	442
Tabla 20. Insumos y operación de carro tanque-----	72

Resumen

El tratamiento del agua subterránea de la que se abastece la Institución Educativa Distrital I.E.D Chorrillos se llevó a cabo con la puesta en marcha de la planta de potabilización con que cuenta la Institución, adaptando la red hidráulica de distribución y con la realización de ensayos en laboratorio para la determinación del estado físico químico preliminar del agua, como también las dosis necesarias para realizar un proceso químico de coagulación por medio de Sulfato de Aluminio tipo B y desinfección por medio cloración.

El tratamiento se enfocó en la remoción de turbiedad, hierro y manganeso, parámetros que sobrepasaron en el análisis inicial los máximos permisibles de la resolución 2115 de 2007. Con base en el análisis de resultados de la caracterización final se concluyó que la planta tiene una eficiencia total del 65 %, removiendo la concentración inicial de turbiedad en un 66%, hierro total en un 84% y manganeso en un 100%, siendo óptimo el tratamiento y generando agua segura para el uso secundario que se le da en la institución.

Introducción

El agua es el disolvente universal y el medio en el que se desarrollan todos los procesos vitales y uno de los recursos naturales más abundantes. A pesar de ello, la disponibilidad de agua para satisfacer la demanda de uso impuesta por la sociedad actual es cada vez más limitada.

Una de las principales causas limitantes del uso es el creciente deterioro de su calidad. La contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido al desarrollo industrial y al aumento de la población es un grave problema mundial (Morell y Fagundo, 1996, p.18).

El agua subterránea es importante como fuente de agua potable, para la irrigación agrícola y para uso industrial, además de ser una de las principales fuentes naturales en lugares donde no se cuenta con suficiente suministro de aguas superficiales. La calidad de este recurso se define por la concentración de sus constituyentes químicos, los que a su vez determinan su potencial y los usos que se le puede dar (Arizabalo y Díaz, 1991).

El aprovechamiento de aguas subterráneas en la mayor parte del territorio colombiano es todavía muy incipiente, principalmente por el desconocimiento de su potencial. En el país existen grandes áreas susceptibles por la falta de suministro de agua, en las cuales hay recursos de agua subterránea que podrían utilizarse para suplir las necesidades de agua para diferentes usos (MINAMBIENTE, s.f).

Este trabajo comprende la puesta en marcha de la planta de potabilización de la Institución Educativa Distrital I.E.D Chorrillos, situada en la vereda Chorrillos - Suba, la cual no cuenta con sistema de acueducto para el abastecimiento de agua potable, por lo que surge la necesidad de abastecerse de un pozo subterráneo.

Objetivos

Objetivo General

Proponer el Plan de mejoramiento y puesta en marcha de la planta de potabilización de la Institución Educativa Chorrillos

Objetivos Específicos

- Determinar el estado actual de la estructura, operación y condiciones de la planta de tratamiento a través de un diagnóstico
- Proponer las mejoras necesarias para el funcionamiento de la planta de tratamiento mediante la evaluación de la eficiencia de cada una de las unidades.
- Formular un plan operativo de la planta de tratamiento para el suministro de agua de uso secundario.

Capítulo 1

Marco de Referencia

1.1 Antecedentes

La disponibilidad de agua en la vereda Chorrillos es deficiente ya que dicho sector no tiene infraestructura de servicios públicos como acueducto y alcantarillado, por la distancia del perímetro de cobertura de la empresa de Acueductos y Alcantarillado de Bogotá- EAAB. Por lo cual la Vereda chorrillos se abastece de agua por medio de pozos superficiales o freáticos cuya calidad no cumple con los requerimientos técnicos de la norma 2115 del 2007 de agua potable. (Pardo, Ortíz y Porras, 2008)

La Institución Educativa Distrital I.E.D Chorrillos cuenta con una planta de potabilización, la cual fue diseñada y construida para el tratamiento de agua de origen subterráneo. El funcionamiento de la planta de potabilización, se vio interrumpido en el 2010, ya que la calidad del agua tratada no cumplía con los máximos permisibles.

La responsabilidad de brindar agua potable a la Institución se realiza por medio de la Secretaría de Educación la cual está encargada en la actualidad del suministro de agua potable. El suministro de agua potable se realiza por medio de carrotanque que transporta de 13 m³ a 15 m³ de agua potable cada 15 días, y se almacenan en el tanque de almacenamiento subterráneo con el que cuenta la Institución.

En el 2014 el Hospital Pablo VI - Bosa, realizó un mapa de riesgos de la calidad de agua para consumo humano en la I.E.D Chorrillos, en la cual se evidencio inconsistencias en el manejo de agua potable en el carrotanque, riesgos en el tanque de almacenamiento de agua potable por falta

de desinfección en el almacenamiento y un posible deterioro de las unidades de tratamiento a causa del no uso de la planta de tratamiento. (Hospital Pablo VI - Bosa, 2014)

1.2 Marco Teórico

Abastecimiento de agua para consumo y uso doméstico

El abastecimiento de agua para actividades humanas como consumo y uso doméstico debe garantizar que toda la población a servir cuente con acceso conveniente a recurso de buena calidad y en cantidades que satisfagan todas las necesidades sin llegar a agotarse. La mayoría de los usuarios no aprecian tan fácilmente la calidad del agua; para la mayoría de personas la calidad solo puede valorarse en términos estéticos, es decir, en la claridad, color, turbiedad, sabor y olor del agua. Es posible que el recurso cumpla tales requisitos y que aun así sea insegura en términos de su calidad bacteriológica y/o química. Por tanto, además de la instalación de las obras, equipos y elementos físicos, los programas de abastecimiento de agua deben priorizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica para que la población tenga acceso a agua segura (OPS, 1998).

Turbiedad

El término aplica a las aguas que tienen materia en suspensión que interfiere con el paso de la luz a través del agua. La turbiedad puede ser causada por diversos materiales en suspensión, en agua en condiciones de relativa quietud se debe a las dispersiones coloidales y a las extremadamente finas (Sawyer, McCarty y Parkin, 2001).

Es esencial considerarse en el abastecimiento de agua por:

- Cualquier turbiedad en el agua es relacionada por los usuarios con posible contaminación por lo que se rechaza su consumo
- Cuando la turbiedad es alta se dificulta la filtración del agua y aumenta los costos en el tratamiento y en el mantenimiento de los filtros.

- En aguas turbias los organismos nocivos para la salud están expuestos a la acción del desinfectante, pero, cuando la turbiedad es causada por sólidos de agua residual, los organismos pueden estar encapsulados y protegidos contra el desinfectante que por lo general es cloro (Sawyer *et al.*, 2001).

El dato de turbiedad junto con otros parámetros determina si el agua requiere tratamiento especial por coagulación química y filtración antes de abastecerse al público (Sawyer *et al.*, 2001).

Color

El color natural existe en el agua principalmente en forma de partículas coloidales con carga negativa y su remoción se lleva a cabo en forma rápida por coagulación, con la intervención de una sal que contenga un ion metálico trivalente como aluminio o hierro (Sawyer *et al.*, 2001).

pH

Es un término que se usa para expresar la actividad del ion hidrógeno. Se debe considerar en la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento de aguas y el control de la corrosión (Sawyer *et al.*, 2001).

Acidez

Las aguas subterráneas usualmente contienen considerables cantidades de dióxido de carbono que representan la acidez en el agua con pH menor a 8.5. Esto resulta de la oxidación bacteriana de la materia orgánica con la que el agua ha estado en contacto. Esta consideración tiene poca importancia desde el punto de vista sanitario, pero resulta relevante por sus características corrosivas y los gastos producidos para la remoción y control de las sustancias que la producen.

La cantidad de dióxido de carbono determina si el método de tratamiento será la aireación o la neutralización con cal o hidróxido de sodio (Sawyer *et al.*, 2001).

Alcalinidad

Es la medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. En aguas naturales se debe a las sales de ácidos débiles, principalmente a hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. Los bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad, puesto que se forman en cantidades considerables por la acción del dióxido de carbono sobre la materia básica del suelo (Sawyer *et al.*, 2001).

Su importancia en la salud pública es poca, aunque es considerable el sabor desagradable y el pH alto que genera en el agua. En caso de realizar tratamiento por coagulación química es esencial su determinación puesto que, los químicos utilizados reaccionan con ella para formar precipitados insolubles. Tiene que haber un exceso de alcalinidad para que pueda ser neutralizado por el ácido liberado por el coagulante y así lograr que la coagulación sea efectiva (Sawyer *et al.*, 2001).

Dureza

La dureza del agua refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto. Generalmente las aguas superficiales son más blandas que las aguas profundas. El calcio y el magnesio causan la mayor parte de la dureza en agua naturales.

Su presencia no tiene importancia en la salud pública, sin embargo, no resultan satisfactorias si se tiene en cuenta el costo por sus efectos adversos sobre los jabones (Sawyer *et al.*, 2001).

Cloro residual y demanda de Cloro

El propósito principal de la desinfección de los abastecimientos públicos de agua es la prevención de la diseminación de las enfermedades transmitidas por el agua (Sawyer *et al.*, 2001).

El cloro se usa en forma de cloro libre o como hipoclorito. En cualquiera de las dos formas actúa como un agente oxidante potente y frecuentemente se disipa tan rápidamente que, si no se aplica cantidades superiores a la demanda de cloro, la desinfección es insuficiente (Sawyer *et al.*, 2001).

El hipoclorito de sodio es utilizado cuando se requiere en grandes cantidades. El hipoclorito de calcio se utiliza cuando se requiere cantidades limitadas. El hipoclorito tiende a aumentar el pH mientras que el cloro tiende a disminuirlo (Sawyer *et al.*, 2001).

El Fe^{2+} , el Mn^{2+} y el NO^{-2} son algunos de los agentes reductores inorgánicos presentes en los abastecimientos de agua que reaccionan con el cloro (Sawyer *et al.*, 2001).

En la desinfección son sumamente importantes dos factores: el tiempo de contacto y la concentración del agente desinfectante. Con tiempos largos de contacto es suficiente una baja concentración de desinfectante o viceversa (Sawyer *et al.*, 2001).

La demanda de cloro en el agua es la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada y la cantidad de cloro libre, combinado o total disponible, remanente al finalizar el periodo de contacto. La demanda depende de la cantidad aplicada, el cloro residual deseado, el tiempo de contacto, el pH y la temperatura. La prueba debe realizarse con el cloro o con el hipoclorito, depende de cual se utilizará en la práctica real (Sawyer *et al.*, 2001).

Cloruros

El contenido de cloruros aumenta a medida que aumenta en contenido de minerales. Las aguas subterráneas suelen tener cantidades considerables. El poder solvente del agua disuelve los cloruros de la capa superficial del suelo y de las formaciones más profundas. Los cloruros no representan riesgos para la salud humana; en concentraciones mayores a 250 mg/L generan un sabor salado en el agua (Sawyer *et al.*, 2001).

Hierro y Manganeso

Las aguas subterráneas que contienen apreciables cantidades de hierro o manganeso siempre carecen de oxígeno disuelto y tienen alto contenido de dióxido de carbono. El hierro y el manganeso están presentes como Fe^{2+} y Mn^{2+} . Cuando aguas con contenido de dichos elementos son expuestas al aire aparecen turbias debido a la entrada de oxígeno, y resultan estéticamente inaceptables; esto se debe a que el hierro y el manganeso se oxida y al estado Fe (III) y Mn (IV), que forman precipitados coloidales. La presencia de estos elementos en el agua no representa riesgos para la salud humana (Sawyer *et al.*, 2001).

Sulfato

El ion sulfato es uno de los aniones más abundantes en las aguas naturales. Es importante en la salud humana debido a sus efectos catárticos cuando se encuentra en cantidades excesivas. Es importante en los sistemas de tratamiento debido a que genera costras duras. En el tratamiento de aguas residuales genera fuertes olores y corrosión en las alcantarillas (Sawyer *et al.*, 2001).

Fluoruros

Su consideración es importante ya que el exceso de fluoruros en el agua genera la fluorosis dental. En situaciones en que deba agregarse fluoruros es esencial conocer su cantidad natural

existente, y luego de realizar el tratamiento realizar la medición para asegurar que no se exceda el máximo permisible (Sawyer *et al.*, 2001).

Sustancias inorgánicas

Los contaminantes inorgánicos en los abastecimientos de agua se presentan como trazas debido a que el máximo permisible generalmente es de 1 mg/L o menor. Dichas sustancias están representadas principalmente por metales (Sawyer *et al.*, 2001).

El cadmio que llega al medio acuático proviene de las operaciones de enchapado en las que es ampliamente utilizado. Es de importancia en la salud porque genera la enfermedad 'Itai-Itai' (Sawyer *et al.*, 2001).

El cromo en el agua existe en forma de cromato (Cr (IV)) y puede hallarse en ella debido a que es ampliamente utilizado en aleaciones, refractarios, catalizadores, sales de cromato, pinturas y soluciones limpiadoras. Genera enfermedades de la piel y lesión hepática (Sawyer *et al.*, 2001).

El plomo es altamente tóxico y es probable que genere cáncer. Su presencia en agua puede deberse a que las tuberías de conducción están hechas en plomo y por la aplicación de algunas pinturas que también lo contienen (Sawyer *et al.*, 2001).

El níquel se usa en la galvanoplastia y su presencia en el agua puede deberse al enjuague de estas operaciones que por percolación y escorrentía llegan al medio acuático (Sawyer *et al.*, 2001).

Dentro de los No metales es importante la consideración de cianuros, ya que estos entran al medio acuático por la descarga de enjuague del proceso de enchapado y por aguas residuales de las refinerías y de las operaciones de elaboración de carbón coque (Sawyer *et al.*, 2001).

Información de la vereda Chorrillos

A partir del diagnóstico de la calidad de agua para consumo humano y sus posibles riesgos a cargo de la Secretaría Distrital de Salud, realizado por el Hospital Pablo VI Bosa, se identificaron riesgos como el alto aporte por elementos provenientes de material geológico, el posible aporte por cultivos cercanos a la zona y aporte por aguas residuales domésticas de la vereda de Chorrillos. (Hospital Pablo VI - Bosa, 2014)

Aporte de elementos provenientes del material geológico

Las concentraciones altas de turbiedad y de hierro presentes en el agua subterránea del sector se deben a la formación de los suelos que se clasifica en “formación sabana” que se conforma de arcillolitas y limonitas con alto contenido de ferruginosos y areniscas; debido a esto se aumenta la erosión por la saturación del suelo por cantidades abundantes de precipitación, que genera pérdida del suelo, de arcilla, material orgánico y nutriente (Hospital Pablo VI - Bosa, 2014).

Hidrología e hidrogeología

La disponibilidad de agua en la vereda Chorrillo es deficiente, ya que no cuenta con fuentes superficiales suficientemente cercanas con la calidad y capacidad necesaria para abastecer a la vereda. Existen varios drenajes pluviales dentro del área conocida como el humedal Torca que se conduce por el canal de la Torca, el canal Guaymaral, la quebrada La Salitrosa, el humedal La Conejera que recoge las aguas lluvias del sector occidental y al occidente el río Bogotá. (Pardo, Ortiz y Porras, 2008)

En la parte hidrogeológica la vereda se encuentra sobre el suelo conformado por rellenos Cuaternarios recientes, en sucesiones de arenas finas con recubrimiento de arcillas impermeables, algunas con un grado de permeabilidad moderado (Pardo, Ortiz y Porras, 2008).

Manejo de aguas lluvias

El manejo de aguas lluvias que realiza la Vereda Chorrillos, se realiza por medio de vallados y/o cunetas que tienen una dirección de Oriente Occidente, siendo el receptor el río Bogotá. En temporada de verano estas cunetas son utilizadas para riego de cultivos y huertas caseras de la zona, generando sedimentos y en época de lluvias las cunetas tienden a desbordarse causando inundaciones por la zona. (Pardo, Ortiz y Porras, 2008)

Actividades económicas

Las actividades de la vereda se caracterizan por ser agrícolas y de floricultura, las cuales desde hace 10 años han incrementado. Cabe resaltar que la población de la vereda realiza huertas y cultivos pequeños caseros de hortalizas. El uso de agroquímicos se puede dispersar por escorrentía contaminando los acuíferos. (Pardo, Ortiz y Porras, 2008)

1.3 Marco Conceptual

Alcalinidad: Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3) (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Análisis físico-químico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Análisis microbiológico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Agua segura: Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana (Decreto 1575, 2007).

Calidad del agua: Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia (Decreto 1575, 2007).

Cloración: Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Coagulación: Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Desinfección: Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Dosificación: Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua. Dosis óptima Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Eficiencia de remoción: Medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Ensayo de tratabilidad: Son los estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Filtración: Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Fuente de abastecimiento de agua: Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Mantenimiento: Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Mantenimiento preventivo: Conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Mantenimiento correctivo: Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Mezcla rápida: Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Mezcla lenta: Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Operación: Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Planta de tratamiento: Es el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable (Decreto 1575, 2007)

Población servida: Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua (Decreto 1575, 2007).

Prueba de jarras: Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Punto de quiebre en cloración (break point): Adición de cloro al agua hasta que la demanda de cloro ha sido satisfecha, para tener un residual de cloro libre en el agua tratada (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Red de distribución: Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Tanque de almacenamiento: Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Tratamiento: Conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el Decreto 475 de 1998 (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Turbiedad: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión. Unidad de la planta de tratamiento Cada uno de los procesos de tratamiento. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

Valor admisible: Es el valor establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua de consumo humano no representa riesgo para la salud del consumidor (Decreto 1575, 2007).

1.4 Marco Legal

En el Cuadro 1 se indica la normatividad aplicable para la ejecución del proyecto.

Norma	Entidad	Definición	Relevancia en el proyecto
Decreto 3930 de 2010	Presidente de La República de Colombia	<p>En cuanto a usos del agua y se dictan otras disposiciones.</p> <p>Capítulo IV. De la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas</p>	<p>Artículo 9°. Usos del agua. 1. Consumo humano y doméstico.</p> <p>Artículo 10. Uso para consumo humano y doméstico. 2. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.</p> <p>Los artículos 9 y 10 indican el uso que es permitido darle al agua subterránea a tratar y su posible uso secundario en la Institución.</p>
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<p>Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano</p> <p>Capítulo II. Características físicas y químicas del</p>	<p>Artículo 2°. Características físicas Artículo 3°. Conductividad Artículo 4°. Potencial de Hidrógeno Artículo 5°. Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. Artículo 6°. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana. Artículo 7°. Características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana. Artículo 9°. Características químicas de otras sustancias utilizadas en la potabilización. Artículo 10°. Técnicas para realizar análisis microbiológicos. Artículo 11°. Características microbiológicas</p>

		agua para consumo humano Capítulo III Características microbiológicas	Los artículos definen los parámetros medidos en la caracterización fisicoquímica y microbiológica inicial y final del agua tratada y los máximos permisibles de dichos parámetros
--	--	---	---

Cuadro 1. *Normatividad relevante para la ejecución del proyecto*

Fuente: Autores

Capítulo 2

Metodología

2.1 Etapa 1. Diagnóstico

Recopilación de información y planimetría: Para realizar el diagnóstico y la recopilación de información relevante se llevaron a cabo varias visitas a la institución en las que se evaluó el estado de la PTAP, los usos del agua y se tomaron las medidas de toda la planta y de cada una de las unidades para la realización de la planimetría.

Mantenimiento: Se realizó por medio de jornadas de limpieza y adecuación de las unidades de tratamiento con la aplicación de anticorrosivo y pintura epoxica.

Puesta en marcha de la planta: Se realizó la conexión hidráulica de la tubería que conduce el agua hasta las bandejas de aireación, ya que inicialmente esta tubería no llegaba hasta la unidad y se encontraba interrumpida por un tapón. Igualmente se realizó la conexión dentro del cuarto de bombas para conducir el agua hasta el tanque de almacenamiento.

Caracterización inicial: Se realizó la medición de los parámetros establecidos por la Resolución 2115 de 2007; cada uno de los parámetros se midió siguiendo los métodos que se indican a continuación en la Cuadro 2.

Parámetro	Método
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	Titulación con Fenolftaleína y NaOH
Aluminio (mg/L)	Determinación colorimétrica mediante reacción del ácido ascórbico
Cadmio (mg/L Cd ²⁺)	Determinación fotométrica mediante cadiona
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	Absorción de Dióxido de Carbono

Cianuro libre y disociable (mg/L CN ⁻)	Piridina-pirazolona
Cloruros (mg/L Cl)	Determinación fotométrica mediante tiocianato de mercurio(II) y nitrato férrico(III)
Cobre (mg/L Cu ²⁺)	Determinación fotométrica con cuprizona [ácido oxálico bis(ciclohexilidenedrazida)]
Cromo Total (mg/L Cr)	Oxidación alcalina del hipobromito
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	Titulación con EDTA
Fluoruros (mg/L F)	Determinación fotométrica mediante complejo lantano-alizarina
Hierro Total (mg/L)	Reacción con Fenantrolina
Manganeso (mg/L Mn)	Oxidación del periodato
Molibdeno (mg/L Mo ⁶⁺)	Ácido mercaptoacético
Níquel (mg/L Ni)	Determinación fotométrica mediante dimetilglioxima
Nitratos HR (mg/L N-NO ₃)	Reducción de Cadmio
Nitratos LR (mg/L N-NO ₃)	Reducción de Cadmio
Nitritos HR (mg/L NO ₂)	Reducción de nitrito a óxido nitroso
Nitritos LR (mg/L NO ₂)	Diazotización
pH	Multiparámetro HANNA
Plomo (mg/L Pb ²⁺)	Determinación fotométrica de plomo con 4-(piridil-2-azo)-resorcina (PAR)
Sulfatos (mg/L SO ₄)	Precipitación Sulfato de Bario
Turbiedad NTU	Turbidímetro HANNA
Zinc (mg/L Zn ²⁺)	Determinación fotométrica mediante cincón
Conductividad (ms)	Multiparámetro HANNA

Cuadro 2. Métodos utilizados para la medición de parámetros

Fuente: Autores

Para la medición de cianuro, cromo, hierro total, manganeso, molibdeno y sulfatos se realizó primero la medición con agua destilada en una celda Hach, adicionando los sobres correspondientes como lo indica cada método; el blanco utilizado fue agua destilada. Seguidamente se realizó la medición con la muestra siguiendo el mismo procedimiento, esta vez tomando como blanco la muestra y en otra celda la muestra mezclada con los sobres. A los valores obtenidos de la muestra se les restó el valor obtenido en la medición del agua destilada, esto con el fin de asegurar que los datos obtenidos corresponden a la presencia de estos parámetros en el agua y no a interferencias colorimétricas por la adición de los sobres o por reacciones entre elementos que generan interferencias aumentando la concentración del parámetro medido.

Caracterización microbiológica: Esta se realizó por 2 métodos:

Recuento de coliformes con placas Petrifilm, cuyo método consiste en un medio de cultivo que contiene nutrientes del *Agar Standard Methods*, un agente gelificante soluble en agua fría y un tinte indicador de color rojo que facilita el recuento de las colonias (3M, s.f).

Se emplearon 3 placas para la medición en campo, en la primera se realizó dilución 1/100, agregando 1 mL de muestra en balón de 100 mL, llenando hasta el aforo con agua estéril y posteriormente se agregó 1 mL de la dilución en la placa. En la segunda se realizó dilución 1/1000 agregando 1 mL de muestra en balón de 1000 mL y llenando hasta el aforo con agua estéril, luego se tomó 1 mL de la dilución y se agregó en la placa. En la tercera placa se agregó 1 mL de muestra sin dilución.

Prueba de presencia - Ausencia Colitag, que es una prueba de 16 a 48 horas que puede detectar cantidades de 1 NMP (Número Más Probable) de *E. Coli* y otras bacterias coliformes en 100 mL de agua (International, s.f). El método se realizó en laboratorio tomando 100 mL de muestra en

un frasco estéril en el que después se agregó el contenido de una papeleta de Colitag; se llevó a la incubadora por 48 horas a 27°C y luego se llevó a una lámpara ultravioleta de longitud larga (366 nm).

2.2 Etapa 2. Determinaciones

Caudal real: Para su determinación se calculó el volumen del tanque (Figura geométrica: cono truncado) de almacenamiento de agua, dimensionado de la siguiente manera: Diámetro superior, diámetro inferior, altura y altura lateral. Esto con el fin de conocer el volumen en litros que almacena dicho tanque; sabiendo esto, se determina el volumen que permanece constante en la lámina de agua en el tanque, hallando la diferencia entre ese volumen permanente y el volumen de consumo diario. De esta manera calcular el caudal por jornada de consumo que tiene la institución.

El volumen gastado se determinó reemplazando el valor obtenido en la ecuación 1 en la siguiente expresión matemática (1):

$$\text{Volumen cono truncado} = \frac{1}{3}\pi * h * (R^2 + r^2 + (Rr)) \quad (1)$$

Donde h = es la altura del cono o tanque (m)

R = es el radio superior (m)

r = es el radio inferior (m)

Para hallar los tiempos de retención se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de Retencion} = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Donde:

V= Volumen (m³)

Q= Caudal

T= Tiempo de retención en (s)

Prueba de jarras: Se realizó con 3 coagulantes: Sulfato de Aluminio, Policloruro de Aluminio (PAC) y Sulfato de Aluminio tipo B. Para cada coagulante se realizaron 10 ensayos con diferentes concentraciones expresadas en partes por millón (ppm), evaluando un rango considerable para determinar y escoger el coagulante y la dosis adecuada. Previo al ensayo y posterior a éste se realizó la medición de alcalinidad, dureza total, acidez, turbiedad, pH, hierro, sulfato y manganeso para identificar y comparar las variaciones de dichos parámetros al realizar el tratamiento.

Demanda de cloro: Se realizó un ensayo de laboratorio para determinar el punto de quiebre de cloro que se consume en el proceso de tratamiento y el cloro residual libre, para su proceso se tomaron 20 concentración de 0.1 mg/L a 4 mg/L, aumentando la concentración de hipoclorito de sodio cada 0.3 mg/l.

Determinación de eficiencias: Se tomaron parámetros base que teóricamente deben removerse en cada una de las unidades. A continuación, se muestran los parámetros escogidos para medir la eficiencia en cada unidad:

Unidad	Parámetro
Bandejas de aireación	Hierro divalente
Tanque de Coagulación	Alcalinidad, Sulfatos, Aluminio, Turbiedad, pH
Tanque de Floculación	Alcalinidad, Sulfatos, Aluminio, Turbiedad
Tanque de Sedimentación	Alcalinidad, Sulfatos, Aluminio, Turbiedad
Tanque de Igualación	Alcalinidad, Sulfatos, Aluminio, Turbiedad

Filtro de Arena	Alcalinidad, Sulfatos, Aluminio, Turbiedad
-----------------	--

Cuadro 3. Parámetros escogidos para la determinación de eficiencias

Fuente: Autores

2.3 Etapa 3. Elaboración del manual de operación

Elaboración del manual: Se realizó teniendo en cuenta los tiempos de retención calculados en la etapa anterior y lo establecido por el RAS 2000 Título C sección II. En el manual se especifica el paso a paso el procedimiento a seguir para la adecuada operación de la planta y el mantenimiento que debe realizarse. Adicionalmente se incluye un glosario con el fin de que los términos técnicos o que puedan resultar desconocidos para el lector sean claros y entendibles y así lograr que cualquier persona esté en la capacidad de operar la planta. Por su extensión, para mayor detalle, ver el manual.

2.4 Etapa 4. Evaluación

La caracterización final, tanto fisicoquímica como microbiológica se realizó midiendo los mismos parámetros que en la caracterización inicial y siguiendo los mismos métodos que se indican en el Cuadro 2.

Capítulo 3

Resultados

3.1 Recolección de información relevante

3.1.1 Usos del agua en la I.E.D Chorrillos

La institución maneja dos suministros de agua para el desarrollo de sus actividades. El agua potable se suministra por medio de un carrotanque que lleva a la institución de 13 a 15 m³ de agua cada 15 días, que se almacenan en el tanque subterráneo y se distribuye por medio de bomba de succión y cargador de aire a los lavamanos y cocina.

El segundo suministro es por medio del agua subterránea, que a través de la estación de bombeo transporta el agua al tanque de almacenamiento sin ningún tipo de tratamiento, y se distribuye por medio de bomba hacia los sanitarios y llaves dispuesta para limpieza de la institución.

3.1.2 Población a servir

La I.E.D Chorrillos sede primaria brinda servicio escolar desde grado preescolar a grado quinto, desarrollando actividades doble jornada con una totalidad de 400 niños, en edades de 4 a 12 años, que representa población vulnerable; Adicionalmente hay 24 personas entre el personal del área administrativa, cuerpo docente, servicios generales y seguridad. La población flotante se debe a que las instalaciones de la institución se prestan para desarrollar actividades recreativas en la vereda con personas en su mayoría de la tercera edad.

3.2 Diagnóstico

La Institución Educativa Distrital Chorrillos cuenta con una planta de tratamiento de agua potable semi compacta, con 8 unidades unitarias que son: Bandejas de aireación, tanque de coagulación, tanque de floculación, tanque de sedimentación tipo colmena, tanque de igualación, filtro de arena y unidad de desinfección, un cuarto de eléctrico que incluye el equipo de dosificación, y un cuarto de Bombas. Adicionalmente cuenta con bombas y un tanque de almacenamiento subterráneo que es utilizado para el agua potable que se suministra por carro tanque, (ver anexo A-4 Plano de planta de tratamiento de agua potable con vista superior y vista frontal, y A-5 Plano de perfil frontal y perfil superior por unidades).

Bandejas de aireación: Esta unidad está conformada por 5 bandejas hechas en acero que se encontraba con carbón coque desde hace más de 2 años, encontrándose taponamiento en los agujeros por los que pasa en agua de una bandeja a otra. Se evidencio incrustaciones amarillentas y moho. En la primera bandeja se encontró abundante agua estancada de color verde y con mal olor.

Tanque de coagulación y floculación: Estas dos unidades se encontraban cubiertas por tejas. Se evidencio lodo estancado que llegaba a un metro de altura, (probablemente cuando se dejó de operar la PTAP no se desocupó, dejando cantidades considerables de agua en las unidades), mal olor, corrosión en las paredes y taponamiento en las llaves de salida debido a la gran cantidad de lodos y a la acumulación de piedras y objetos voluminosos como pelotas de tenis y juguetes de plástico.

Tanque de sedimentación: El tanque se encontraba con lodo, ocupando poco más de un metro de altura dentro de esté, con presencia de sólidos, dificultando la salida del lodo y su limpieza.

Las colmenas con que cuenta el tanque se encontraban en deterioro, con presencia de lodos, moluscos y algas.

Tanque de igualación: Igual que en las otras unidades se encontró lodo ocupando cerca de un metro de altura dentro del tanque. El tubo que de esta unidad conduce el agua hacia el filtro tenía abundante lodo y presencia de moluscos.

Cuarto eléctrico: El filtro de arena que se encuentra dentro de este cuarto se encontraba sellado sin ningún registro de retrolavado. Las cajas eléctricas se encontraban con presencia de polvo y telarañas, y los switches se encontraban en funcionamiento. Los dosificadores funcionaban de manera automática por medio de la caja eléctrica. Las mangueras de dichos dosificadores se encontraban taponadas y ennegrecidas.

Cuarto de bombas: Las dos bombas con que están dentro de este cuarto se encontraron en óptimo funcionamiento.

Tanque de almacenamiento: El agua almacenada en este tanque provenía directamente del pozo subterráneo sin ningún tratamiento previo. Se encontraron lodos a 30 cms de altura, generando que el agua distribuida a los sanitarios tuviera mayor turbiedad.

Pozo subterráneo: El estado inicial y actual del pozo se desconoce ya que se encuentra sellado, y la institución no cuenta con documentos de mantenimientos realizados.

Para el entendimiento del funcionamiento de la planta se realizó el plano preliminar de distribución de la PTAP como se muestra en el Diagrama 1.

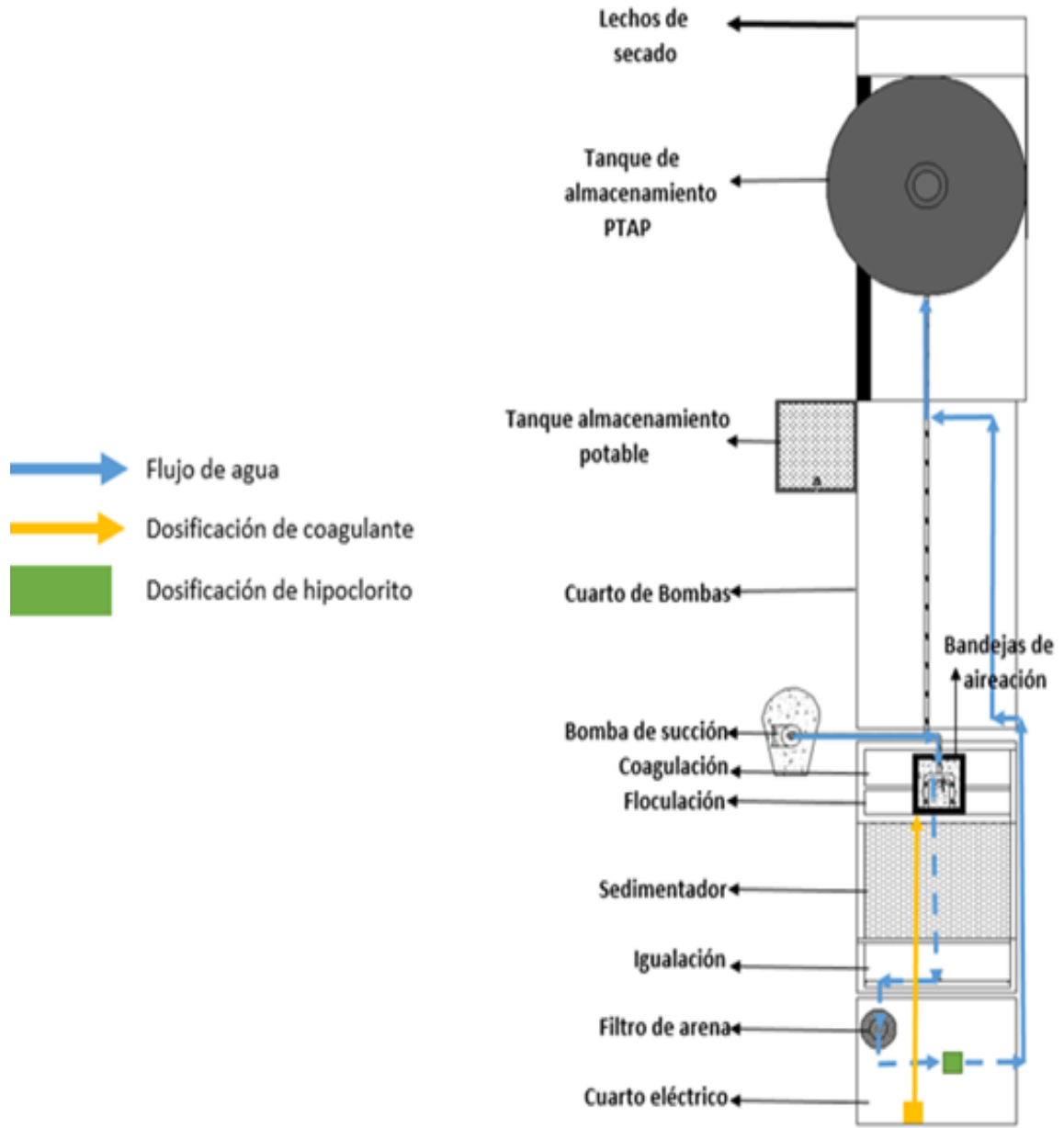


Diagrama 1. Plano distribución de la PTAP de la IED Chorrillos, dirección flujo y dosificación y desinfección.

Fuente: Autores

3.3 Planimetría

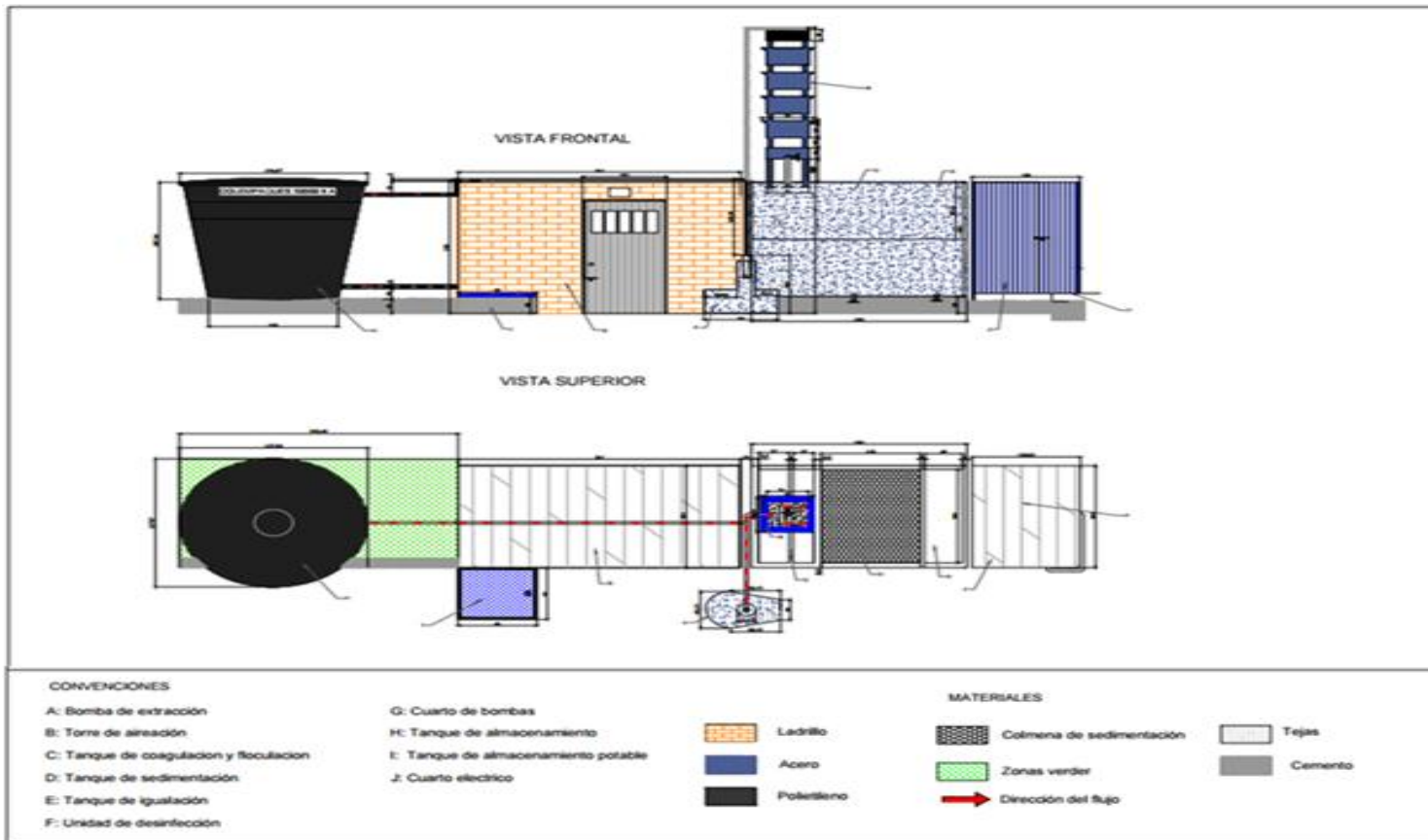


Diagrama 2. Esquema de planta de tratamiento de agua potable con vista superior y vista frontal

Fuente: Autores

Para el desarrollo de la planimetría se realizaron visitas en campo, tomando las medidas de la estructura completa como se observa en el Diagrama 2. La planta está compuesta por 5 unidades, una bomba de extracción, un cuarto de bombas, dos tanques de almacenamiento, un cuarto de bombas y un cuarto eléctrico; estas unidades se encuentran identificadas con letras en el diagrama.

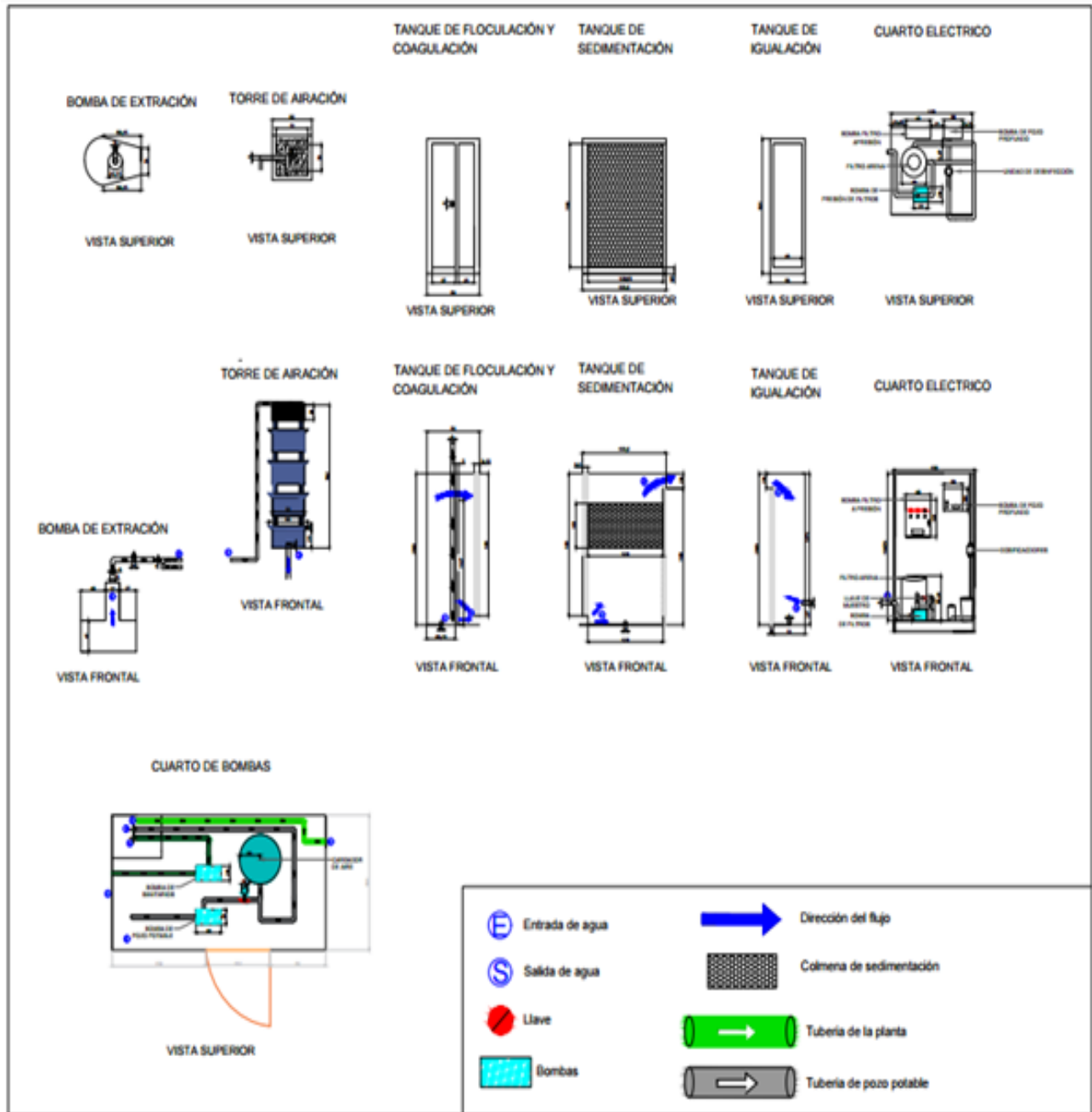


Diagrama 3. Esquema de perfil frontal y perfil superior por unidades

Fuente: Autores

En el Diagrama 3 se puede observar cada una de las unidades de la PTAP y la dirección del flujo del agua, para mayor detalle ir a (A-5 Plano de perfil frontal y perfil superior por unidades)

La estación de bombeo (bomba de extracción) se encontraba en uso, suministrando agua directa del pozo subterráneo al tanque de almacenamiento sin ningún tratamiento. Del tanque de almacenamiento, por medio de tubería a presión, se conduce el agua para la descarga de las cisternas y para algunos grifos ubicados en áreas de limpieza. Se encontró una segunda tubería, conectada junto con la tubería principal (por medio de una unión para doble tubo e interrumpida inicialmente por un tapón) que tiene la función de conducir el agua hasta las bandejas de aireación de la PTAP.

Tanque de coagulación y floculación: Está dos unidades cuentan con dos compartimientos; el primero se halla en el tanque coagulación, donde llega el agua de la torre de aireación, (como indican las flechas azules en el Diagrama 3) que se comunica por medio de un tubo de 230 metros de alto, llegando el agua a la parte baja y llenando el tanque de manera ascendente. El segundo compartimiento tiene como función conducir el agua por desborde desde el tanque de coagulación.

Tanque de sedimentación: La pared que separa el tanque de floculación del tanque de sedimentación cuenta con una abertura de 30 cms desde el suelo hasta donde inicia el muro, permitiendo que el agua que pasa por desborde desde el tanque de coagulación, llene el tanque de floculación al mismo tiempo que se llena el tanque de sedimentación de manera ascendente. El tanque de sedimentación cuenta con dos colmenas de 1 metro por 60 centímetros.

Tanque de igualación: La unidad está diseñada para el paso del agua por desborde del tanque de sedimentación, y cuenta con una tubería de 2 pulgadas, para conducir el agua hacia el filtro de arena. Su Función se caracteriza por unificar las características del agua.

Cuarto eléctrico: El cuarto eléctrico cuenta con un filtro de arena, 2 cajas eléctricas, tubería para el proceso de retrolavado y funcionamiento de bomba subterránea, y dosificadores.

Cuarto de bombas: El cuarto de bombas cuenta con dos bombas, una para bombeo de agua potable que se almacena en el tanque subterráneo, transportándola por medio de bomba y cargador de aire. La otra bomba sirve al tanque de almacenamiento del agua tratada en la PTAP, que se suministra a sanitarios y a grifos destinados para limpieza de la Institución.

Tanque de almacenamiento: El tanque de almacenamiento es de 5,000 litros y conduce el agua por medio de la red de distribución hacia los sanitarios y grifos de limpieza.

3.4 Actividades realizadas para el mantenimiento de la planta de potabilización

Para el mantenimiento se realizó un proceso de evacuación de los lodos que se encontraban en la planta, eliminando gran cantidad de maleza, piedras, carbón y elementos sólidos que se encontraban dentro de la PTAP. De esta manera se pudo despejar el área permitiendo la limpieza de cada unidad.



Imagen 1. Estado inicial de la PTAP

Fuente: Autores

Se retiraron los residuos de carbón coque que se encontraba en las bandejas y se procedió al destaponamiento de los orificios de las bandejas. Además de la limpieza, se lijaron las bandejas por la

parte interna y externa debido a que estas presentaban un alto nivel de corrosión y de suciedad. Seguidamente se aplicó anticorrosivo y pintura epóxica a base de solvente de dos compuestos que proporciona una película de adherencia. Esta pintura es apta para agua potable. (Pintuco, 2016)



Imagen 2. De izquierda a derecha se evidencia el antes y el después del proceso de mantenimiento de las bandejas

Fuente: Autores

En los tanques de coagulación y floculación, luego de evacuar los lodos, se procedió al lavado de las paredes con jabón alcalino, para posteriormente lijarlas y aplicar pintura epoxica.



Imagen 3. De izquierda a derecha se evidencia el antes y el después, del mantenimiento del tanque de coagulación y floculación.

Fuente: Autores

La limpieza en el tanque de sedimentación se realizó en dos etapas; en la primera se retiraron las colmenas y con ayuda de hidrolavado a presión se lavaron los orificios en dirección diagonal y con un churrusco se aplicó el jabón alcalino.; en la segunda etapa se realizó la limpieza del tanque, evacuando primeramente los lodos. Posteriormente se lijo y se aplicó pintura epóxica. Se esperó 24 horas para el secado de la pintura y se introdujeron las colmenas nuevamente.

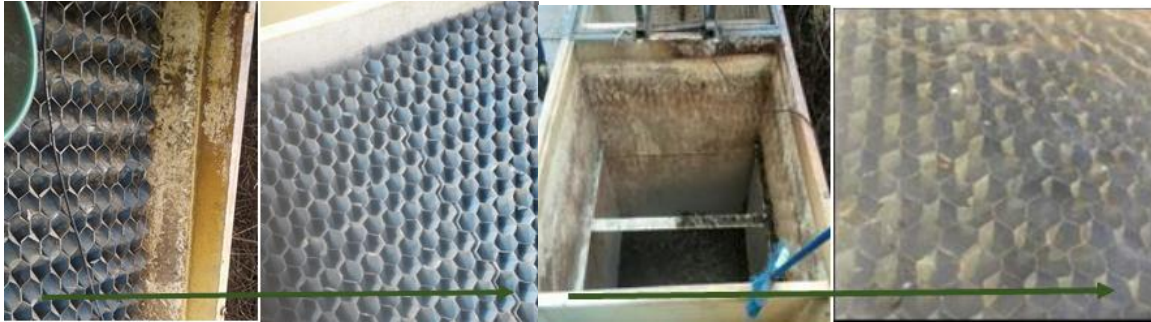


Imagen 4. Antes y después de las colmenas

Imagen 5. Antes y después del tanque

Fuente: Autores

Para finalizar, se realizó el mantenimiento del tanque de almacenamiento. Para ello fue necesario entrar en esté y retirar los lodos por medio de un balde. Se lavó repetidas veces con jabón alcalino hasta que se logró retirar la capa de lodo adherido en las paredes.



Imagen 6. Antes y después del tanque de almacenamiento

Fuente: Autores

3.5 Caracterización Preliminar

A continuación, en la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización del afluente de la salida de la estación de bombeo. Se realizaron tres mediciones por cada uno de los parámetros y se halló el promedio de estos para lograr su representatividad.

Tabla 1. Resultados Caracterización inicial

Parámetro	Rango de medición	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio \bar{x}	Varianza S	Desviación estándar S^2
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	-	116	148	132	132	256	16
Aluminio (mg/L)	0,008 – 0,800	0,174	0,181	0,1	0,152	0,002	0,045
Cadmio (mg/L Cd ²⁺)	0,05–2,00	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	0,3 - 20	12,6	13	12,6	12,7	0,05	0,23
Cianuro libre y disociable (mg/L CN ⁻)	0,002 – 0,240	0	0,004	0,008	0,004	0,000016	0,004
Cloruros (mg/L Cl)	0,5–50	15,3	17,2	15,3	15,9	1,2	1,10
Cobre (mg/L Cu ²⁺)	0,01–2,00	0,1	0,1	0,1	0,1	2,89E-34	1,70E-17
Cromo Total (mg/L Cr)	0,01 - 0,70	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)		55	57	54	55,3	2,3	1,5
Fluoruros (mg/L F)	0,1–2,0	0,1	0,1	0,1	0,1	2,89E-34	1,70E-17
Hierro Total (mg/L)	0,02 - 3	4,66	4,46	4,6	4,5	0,011	0,103
Manganeso (mg/L Mn)	0,1 - 20	0,6	0,7	0,9	0,7	0,022	0,152

Parámetro	Rango	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio \bar{x}	Varianza S	Desviación estándar S ²
Molibdeno (mg/L Mo ⁶⁺)	0,2 - 4	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Níquel (mg/L Ni)	0,01–2,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
Nitratos HR (mg/L N-NO ₃)	0,3 – 30,0	L.D	L.D	LD	-	-	-
Nitritos LR (mg/L NO ₂)	0,002 - 0,3	L.D	L.D	L.D	-	-	-
pH	-	6,36	6,97	6,91	6,75	0,11	0,34
Plomo (mg/L Pb ²⁺)	0,10–5,00	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Sulfatos (mg/L SO ₄)	2 - 70 mg/l	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Turbiedad NTU		12,5	12	12,5	12,3	0,08	0,29
Zinc (mg/L Zn ²⁺)	0,10–4,00	0,4	0,2	0,2	0,3	0,01	0,12
Conductividad (mS)	-	0,32	0,3	0,32	0,31	0,0001	0,012

*L. D: Límite de Detección

Fuente: Autores

3.5.1 Análisis de resultados

La alcalinidad obtenida corresponde a 132 mg CaCO₃/L, aunque el valor que no excede el máximo permisible de la norma es considerablemente alto y puede indicar que es posible realizar el proceso de coagulación y esta no llegara a consumirse en su totalidad durante el tratamiento.

El aluminio y los sulfatos son parámetros determinantes en la caracterización preliminar debido a que son frecuentemente utilizados en coagulantes; ya que ninguno de los dos sobrepasa el máximo permisible de la norma, será posible utilizarlos en la dosificación de coagulante.

Se obtuvo valores entre 12,6 y 13 mg/L de Carbono Orgánico Total; esto puede deberse a alto contenido de materia orgánica en descomposición en el agua. Resulta importante considerar que este parámetro supera el máximo permisible de la norma ya que en concentraciones altas reacciona con los compuestos químicos utilizados en la desinfección, generando subproductos que podrían ser cancerígenos.

La concentración de dureza corresponde a 54 mg CaCO₃/L y no supera el máximo permisible de la norma. Su presencia se debe a que el agua subterránea contiene aguas con dureza por la formación geológica.

El valor obtenido en la medición de hierro total supera el máximo permisible de la norma. Su alto contenido se debe a la naturalidad con que se presenta en aguas subterráneas y a posibles aportes del suelo que poseen alto contenido de hierro. Este valor indica que es necesario exponer el agua al proceso de aireación para que el hierro divalente se oxide a trivalente antes de realizar la coagulación. Al estar en estado trivalente se espera que se formen precipitados coloidales y que por la acción del coagulante puedan constituyan floculos y ser removidos antes de llegar a la unidad de desinfección, de no ser así, podría reaccionar con el compuesto que se utilice para la desinfección y generar una coloración amarilla en el agua.

La turbiedad medida sobrepasa considerablemente la norma, obteniendo 12,3 NTU cuando la norma indica un máximo permisible de 2 NTU. Este valor puede deberse al aporte geológico y a una alta cantidad de sólidos disueltos en el agua,

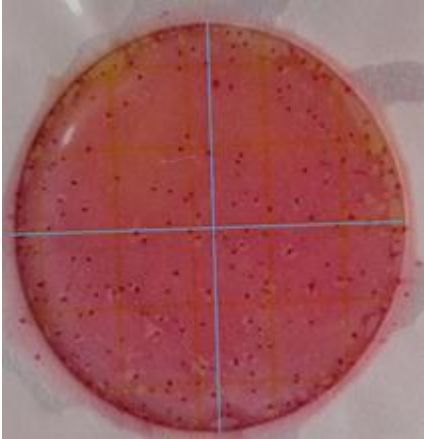
De acuerdo a la información obtenida de la vereda, la presencia de cultivos (principalmente de flores) cerca de la PTAP, podría repercutir con la presencia compuestos de uso agroquímicos que se mezclaran al pozo subterráneo, por medio de infiltración o percolación.

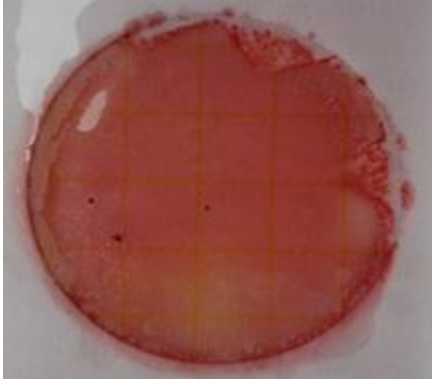
Realizando el análisis fisicoquímico del afluente se descarta que el pozo de captación contenga compuestos derivados de agroquímicos utilizados como nitratos y nitritos que son los más utilizados convencionalmente, zinc y molibdeno. Estos parámetros se encuentran bajos los máximos permisibles de la norma.

Se descarta la presencia de Cadmio, Cianuro, Cobre, Cromo, nitritos y nitratos ya que en las mediciones realizadas se obtuvieron valores bajo el límite de detección del espectrofotómetro por el método realizado, indicando que el agua no contiene concentración ni trazas de dichos elementos. En cuanto a los valores obtenidos en cianuro, fluoruros y plomo, de acuerdo a los métodos de medición, se deben a las interferencias generadas por la turbiedad y el alto contenido de hierro y manganeso.

La desviación estándar resulta en valores muy cercanos al cero, indicando que los valores que puedan encontrarse dispersos no tengan variaciones considerables respecto al valor promedio.

3.5.2 Caracterización Microbiológica Preliminar

<p>Prueba de coliformes 1: Sin dilución Cuento de un cuarto de placa fue de 51 UFC. $51 \text{ UFC} \times 4 = 204 \text{ UFC}$ en la prueba 1</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
---	--

<p>Prueba de coliformes 2: Dilución 1 mL en 100 mL</p> <p>Conteo en placa = 3 UFC</p> <p>Total de UFC con el factor de dilución = 300 UFC/100 cm³</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
---	---



Cuadro 4. Resultados pruebas microbiológicas con Petrifilm

Fuente: Autores

Como se puede observar en el Cuadro 4, se obtuvo crecimiento en las pruebas de placa realizadas en campo indicando presencia de coliformes en el agua extraída del pozo.

En promedio, de los valores obtenidos de la aplicación directa de la muestra en la prueba 1, y en la dilución realizada para la prueba 2, la cantidad de UFC de la muestra sin tratamiento es de 250 UFC/100 cm³. La presencia de coliformes determina la necesidad de llevar a cabo un proceso de desinfección eficiente.

En el Cuadro 5 se puede observar que la prueba con Colitag también resultó positiva, indicando presencia de coliformes y posiblemente de *E. Coli*.

 <p>Fuente: Autores</p>	<p>Paso 1: Realización de Prueba de Colitag en laboratorio con 100 ml de muestra</p>
 <p>Fuente: Autores</p>	<p>Paso 2: La coloración azul al exponer la muestra a la luz ultravioleta, después de las 49 horas de incubación indica Presencia en 100 cm³</p>

Cuadro 5. Resultados Presencia/Ausencia con Colitag

Fuente: Autores

3.6 Determinación del Caudal Real

La determinación del caudal real se realizó hallando el volumen total del tanque de almacenamiento. Para determinar el consumo se determinó la altura desde la base del tanque hasta la parte superior en la que se mantiene constante la lámina de agua y la altura desde la base del tanque hasta la parte superior en la que, por acción del flotador, cuando se consume aproximadamente la diferencia entre las dos alturas de 10 cm, el tanque vuelve a llenarse.

Dimensiones tanque de almacenamiento: Diámetro superior (2,02667 m), diámetro inferior (1,560 m), altura (2,0794 m) y altura lateral (1,965 m)

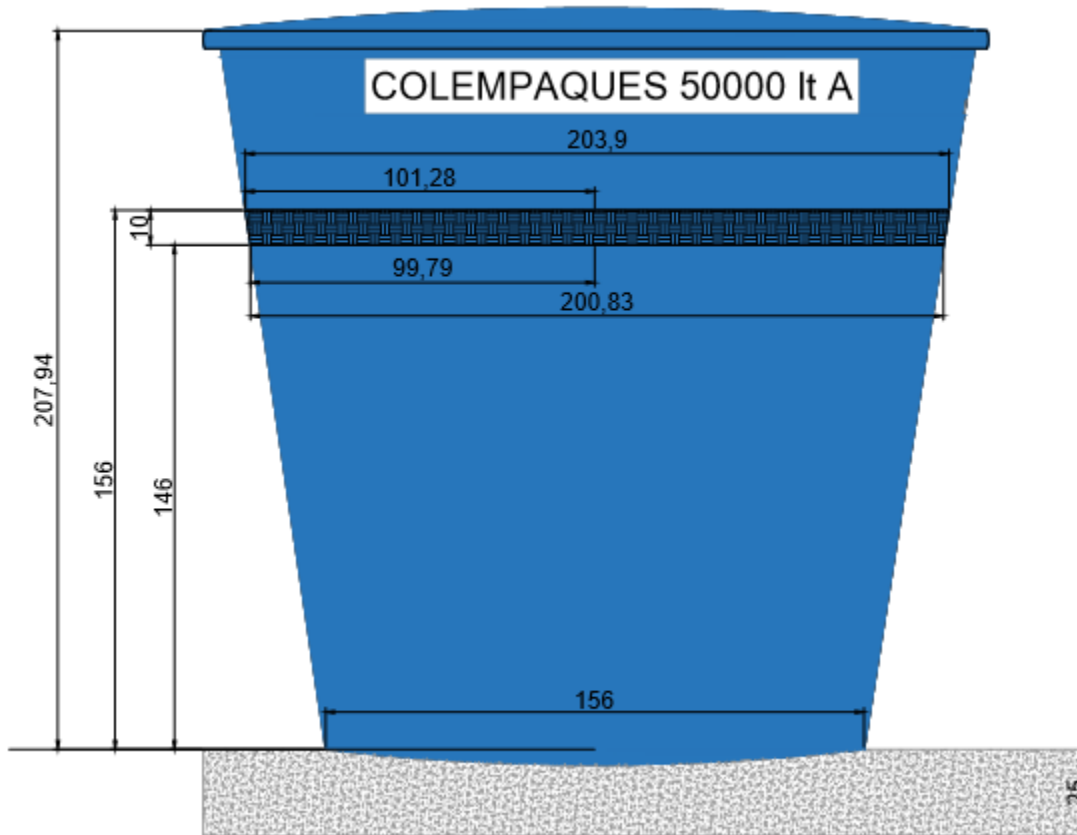


Imagen 7. Dimensiones del tanque de almacenamiento

Fuente: Autores

Reemplazando los valores reales de las dimensiones del tanque en la expresión (1) así:

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen cono truncado} &= \frac{1}{3} \pi * 0.10 * (0.9979^2 + 1.0128^2 + (0.9979 * 1.0128)) \\
 &= 2.1407 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

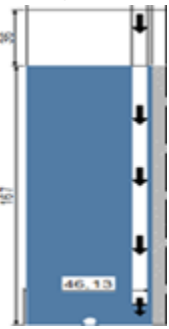
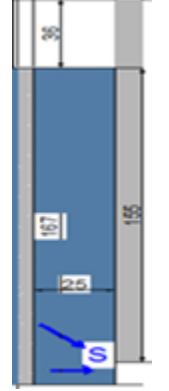
Este valor hallado es el volumen gastado en un periodo de 10 descargas diarias (jornada completa), lo que indica que el volumen total gastado diariamente es aproximadamente:

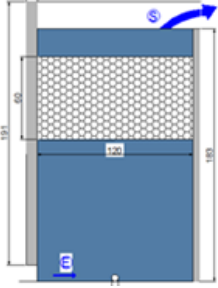
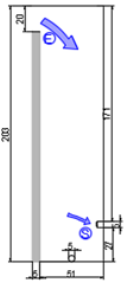
Este valor hallado es el volumen gastado en un periodo de 10 descargas diarias (jornada completa), lo que indica que el volumen total gastado diariamente es aproximadamente:

$$\text{Caudal Real} = 318 \text{ L} * 10 \text{ descargas} = \frac{3.180 \text{ L}}{\text{día}} \quad (2)$$

3.7 Tiempos de Retención

Tabla 2. Tiempos de retención de cada unidad de la planta

Tiempos de retención			
Unidad	Dimensión	Caudal	Tiempo de Retención
<p>Coagulador</p> 	<p>Ancho: 1.66 m Largo: 0.4613 m Alto: 1.67 m</p> <p>Volumen: 1.2788 m³</p>	<p>3.38 m³/d</p>	$Tr = \frac{0.473 \text{ m}^3}{3.38 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 0.1399 \text{ días}$ $Tr = 0.1399 \text{ días} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ días}} = 3.35 \text{ horas}$ <p><i>Tr</i> ≈ 3 horas</p>
<p>Floculador</p> 	<p>Ancho: 1.66 m Largo: 0.25 m Alto: 1.55 m</p> <p>Volumen: 0.473 m³</p>		$Tr = \frac{1.2788 \text{ m}^3}{3.38 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 0.3780 \text{ días}$ $Tr = 0.3780 \text{ días} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ días}} = 9.0 \text{ horas}$ <p><i>Tr</i> ≈ 9 horas</p> <p><i>Tr total</i> = 12 horas</p>

<p>Sedimentador</p> 	<p>Ancho: 1.66 m Largo: 1.20 m Alto: 1.84 m</p> <p>Volumen: 3.665 m³</p>		$Tr = \frac{3.665m^3}{3.38 \frac{m^3}{dia}} = 1.0852 \text{ dias}$ $Tr = 1.0852 \text{ dias} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dias}} = 26.04 \text{ horas}$ <p>$Tr \cong 26 \text{ horas}$</p>
<p>Igualación</p> 	<p>Ancho: 1.66 m Largo: 0.51 m Alto: 1.83 m</p> <p>Volumen: 1.549 m³</p>		$Tr = \frac{1.549m^3}{3.38 \frac{m^3}{dia}} = 0.4582 \text{ dias}$ $Tr = 0.4582 \text{ dias} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dias}} = 10.99 \text{ horas}$ <p>$Tr \cong 11 \text{ horas}$</p>

Fuente: Autores

Los tiempos de retención calculados se observan en la Tabla 2. Para su determinación se tuvo en cuenta lo establecido por el Ras Título C en cuanto las variables de diseño, mantenimiento, control y operación.

Los tiempos de retención calculados tienen especial énfasis en los tanques de coagulación, floculación y sedimentación, ya que en estos se desarrolla el principal proceso químico, la formación de floculos y la sedimentación de estos.

La mezcla rápida para el proceso de coagulación se da en la tubería que conduce el agua hasta la parte baja del tanque de coagulación. La mezcla lenta se da cuando al llegar a la parte baja de este tanque, empieza su llenado de manera ascendente y pasa por desborde al tanque de floculación. Por lo anterior, el tiempo de retención de coagulación y floculación se determina

como el de una sola unidad, realizando la sumatoria de las 2 determinaciones individuales, obteniendo como resultado 12 horas de tiempo de retención.

El consumo del recurso hídrico en la institución no es muy alto, ya que el uso que se le da al agua se limita a la descarga de sanitarios y al lavado de áreas comunes. La demanda crítica del recurso se genera de lunes a viernes de 9 a 10:30 am y de 3 a 4:30 pm, que corresponde a los horarios de refrigerio en la Institución y los días viernes y sábado en que se realiza la limpieza general de todas las áreas de la Institución.

3.8 Prueba de Jarras

Durante el proceso de coagulación la alcalinidad se consume disminuyendo considerablemente su concentración. Con la siguiente ecuación se determinó la cantidad de alcalinidad que se necesita en el agua con la expresión 4, y así determinar si resulta necesario la adición de Hidróxido de Sodio para generar exceso de alcalinidad. El cálculo se realizó con Sulfato de Aluminio como coagulante.

$$\frac{486 \text{ mg Ca(HCO}_3)_2}{594 \text{ mg Al}_2(\text{SO}_4)_3} * \frac{2 \text{ eq} - \text{g}}{162 \text{ mg Ca(HCO}_3)_2} * \frac{100 \text{ mg CaCO}_3}{2 \text{ eq} - \text{g}} = \frac{0,50 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}}{\text{mg Al}_2(\text{SO}_4)_3} \quad (3)$$

El valor necesario de alcalinidad para coagular con sulfato de aluminio es de 0,50 mg CaCO₃/L.

Debido a esto se realizó el cálculo con la expresión 5, despejando el hidróxido de sodio (NaOH) que indicará el volumen necesario en caso de que sea necesario aumentar la alcalinidad en la muestra.

$$\begin{aligned} & \text{Alcalinidad inicial} - \text{Alcalinidad necesaria con Sulfato de Aluminio} + \text{Alcalinizante} \\ & = \text{Alcalinidad Total esperada} \quad (4) \end{aligned}$$

Para asegurar que la alcalinidad que contiene el agua previa al tratamiento, no se consume en su totalidad durante el proceso de coagulación indicando que no resultara necesario agregar un alcalinizante para generar su exceso, se realiza el cálculo con el valor obtenido en la determinación de la alcalinidad necesaria y la mayor concentración de Sulfato de Aluminio aplicada en los ensayos de jarras que corresponde a 210 mg/L.

$$\text{Alcalinidad necesaria} = 0,50 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 210 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 105 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (5)$$

Realizando la determinación con la expresión (4)

$$\begin{aligned} \frac{148 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} - \frac{105 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} + \text{Alcalinizante} &= \frac{25 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} \\ -\frac{148 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} + \frac{105 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} + \frac{25 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} &= \text{Alcalinizante} \\ -\frac{18 \text{ mg Ca CO}_3}{\text{L}} &= \text{Alcalinizante} \end{aligned}$$

El valor negativo indica que no es necesario agregar ningún tipo de alcalinizante ya que la alcalinidad no llega a consumirse en su totalidad al aplicar la máxima concentración de los ensayos realizados. Ya que los ensayos realizados variaron de 10 en 10 desde 10 ppm hasta 210 ppm, ninguna de las concentraciones escogidas consumirá el total de la alcalinidad.

Previo a la realización de los ensayos de jarras se realizó la medición de turbiedad, dureza, alcalinidad, acidez y pH obteniendo los resultados que se observan en la Tabla 3, para identificar las variaciones en las concentraciones de estos parámetros durante el tratamiento químico.

Tabla 3. Análisis preliminar para prueba de jarras

Análisis preliminar	
Turbiedad NTU	12,1
Dureza mg CaCO ₃ /L	99
Alcalinidad mg CaCO ₃ /L	116
Acidez mg CaCO ₃ /L	38
pH	8.37

Fuente: Autores

Prueba de jarras A – Sulfato de Aluminio tipo A

La primera prueba de jarras se realizó utilizando como coagulante Sulfato de Aluminio tipo A sin utilizar floculante. Se realizaron 21 ensayos con 500 mL de muestra en cada jarra.

La cantidad de coagulante a dosificar se calculó teniendo en cuenta que las concentraciones variaron de 10 en 10, desde 10 ppm hasta 210 ppm con el fin de tener un rango amplio de medición y determinar con mayor exactitud la dosis adecuada para el tratamiento.

El cálculo de la cantidad en mL a agregar de Sulfato de Aluminio tipo A en cada una de las jarras de acuerdo a su concentración se realizó con la expresión 6 que se indica a continuación

$$V_1 * V_2 = C_1 * C_2 \quad V_2 = \frac{V_1 * C_1}{C_2} \quad (6)$$

$$\frac{500 \text{ mL} * \text{Concentracion de la jarra ppm}}{10.000 \text{ ppm}} = \text{Dosificacion de Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ en la jarra}$$

Donde

V₁ = volumen de la muestra en cada una de las jarras

C₁ = concentración de la jarra (de 10 ppm a 210 ppm según la jarra correspondiente)

V_2 = volumen de $Al_2(SO_4)_3$ que se debe agregar de acuerdo a la concentración de la jarra

C_2 = concentración de la solución (valor constante)

Tabla 4. Concentración de coagulante de sulfato de aluminio, y análisis de parámetros de salida de prueba de jarras.

Prueba de jarras A						
Concentración del coagulante en cada jarra (ppm)	Dosificación $Al_2(SO_4)_3$ (ml)	Turbiedad NTU	pH	Alcalinidad	Acidez	Dureza
10	0,5	40,6	6,96	196	29	54
20	1	44,4	7,03	179	28	64
30	1,5	49,5	6,97	177	27	61
40	2	52	6,95	175	25	62
50	2,5	57,6	6,9	172	25	63
60	3	54	6,9	170	27	52
70	3,5	27,9	6,87	169	26	68
80	4	14,2	7,6	161	27	69
90	4,5	28,9	6,63	145	25	61
100	5	19,4	6,6	137	24	61
110	5,5	63	6,73	132	27	46
120	6	39	6,63	130	28	49
130	6,5	74,2	6,7	124	30	45
140	7	37,8	6,46	116	37	48
150	7,5	47,9	6,4	100	33	48
160	8	32,5	6,36	118	31	44
170	8,5	16,6	6,36	107	36	52

Concentración del coagulante en cada jarra (ppm)	Dosificación $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ml)	Turbiedad NTU	pH	Alcalinidad	Acidez	Dureza
180	9	5,61	6,3	94	32	46
190	9,5	17	6,2	94	27	49
200	10	72,8	6,17	92	28	45
210	10,5	57,9	6,03	90	30	50

Fuente: Autores



Gráfica 1. Resultado de Turbiedad de ensayo de jarras con coagulante de sulfato de aluminio. Comparado con los máximos permisibles y turbiedad inicial

Fuente: Autores

Como se puede evidenciar en la Gráfica 1, el menor valor de turbiedad se encontró en la jarra con concentración de 180 ppm, obteniendo 5,61 NTU con una eficiencia de remoción del 56 % respecto al valor inicial.

La concentración de la alcalinidad disminuye en 22 unidades llegando a 94 mg CaCO_3/L , indicando que la alcalinidad se consume en una proporción baja y esto permite que la

coagulación sea efectiva y evita la adición de otra sustancia química para generar su exceso y obtener un tratamiento óptimo.

Los resultados de Dureza total se pudieron ver interferidos por iones metálicos que alteran el consumo del titulante EDTA. Esto se ve reflejado en que los datos de dureza total fluctúan 45 mg CaCO_3/L a 69 mg CaCO_3/L .

Aunque el porcentaje de remoción de la turbiedad es considerablemente bueno, se observó que en la jarra de las 180 ppm persistía la coloración amarilla del agua y el floc se mantuvo disperso, quedando en suspensión sin haberse sedimentado totalmente.

Adicionalmente, en la mayoría de ensayos realizados la turbiedad aumento, esto debido a que el coagulante no resulta apto para el tratamiento del agua, ya sea porque no se logra formar floculos adecuados para que posteriormente se sedimenten o porque el tiempo de sedimentación es demasiado largo. Por lo anterior se tomó la decisión de realizar 2 pruebas más con otros coagulantes.

Prueba de jarras B - Policloruro de Aluminio (PAC)

La prueba de jarras B se realizó con Policloruro de Aluminio (PAC) como coagulante. Se realizaron 10 ensayos con variación en las concentraciones de 10 en 10 desde 80 ppm hasta 170 ppm. Se decidió iniciar con 80 ppm debido a que en la prueba A, con las concentraciones menores no se obtuvieron valores considerables para el tratamiento del agua.

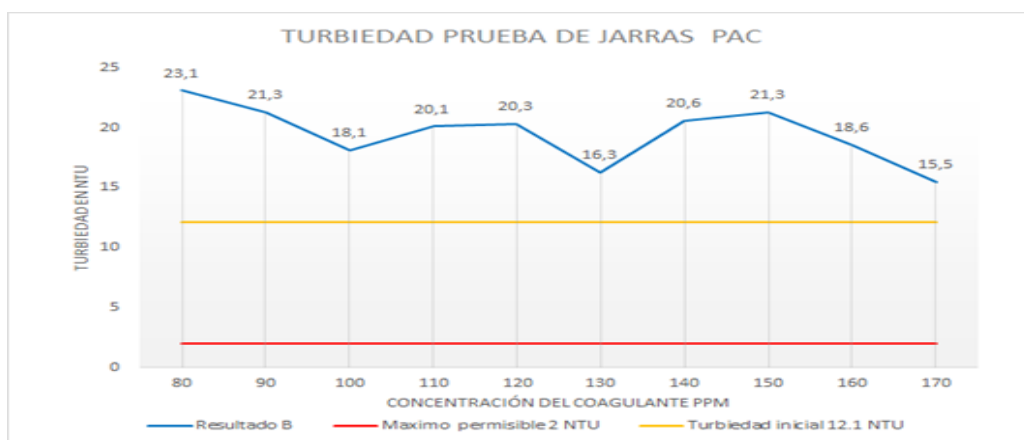
El cálculo de la cantidad en mL a agregar de Policloruro de Aluminio (PAC) en cada una de las jarras de acuerdo a su concentración se realizó con la expresión (6) utilizada en la prueba A, manejando los mismos valores en las variables V_1 , C_1 y C_2 .

En la Tabla 5 se observan los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 5. Concentración de coagulante de PAC, y análisis de parámetros de salida de prueba de jarras.

Prueba de jarras B						
Concentración del coagulante en cada jarra (ppm)	Dosificación $Al_2(SO_4)_3$ (ml)	Turbiedad NTU	pH	Alcalinidad	Acidez	Dureza
80	4	23,1	6,51	68	64	16
90	4,5	21,3	6,35	94	58	19
100	5	18,1	6,19	68	44	39
110	5,5	20,1	6,04	69	69	38
120	6	20,3	5,61	77	79	40
130	6,5	16,3	5,6	72	72	45
140	7	20,6	5,95	70	92	19
150	7,5	21,3	5,27	72	99	36
160	8	18,6	4,93	75	104	19
170	8,5	15,5	4,99	79	130	33

Fuente: Autores



Grafica 2. Resultado de Turbiedad de ensayo de jarras con coagulante PAC, comparado con los máximos permisibles y turbiedad inicial

Fuente: Autores

Como se puede observar en la Gráfica 2, los resultados de turbiedad de la prueba de jarras B son negativos, ya que aumenta la turbiedad final aumenta respecto a la inicial en un 35%; esto debido a que el Policloruro de Aluminio (PAC) tiene un proceso demasiado lento en la formación de flóculos.

El consumo de alcalinidad es el doble con respecto al sulfato de aluminio, alterando la dureza total ya que se precipita a valores muy bajos. Debido a esto y a que no hubo emoción de la turbiedad se descarta el PAC como coagulante para el tratamiento real en la planta.

En esta prueba también aumenta la turbiedad en casi todos los ensayos; esto puede deberse a las mismas razones por las que aumento la turbiedad en la prueba A.

Prueba de jarras C - Sulfato de Aluminio tipo B

La prueba de jarras C se realizó con Sulfato de Aluminio tipo B como coagulante. Se realizaron 10 ensayos con variaciones en las concentraciones de 10 en 10 desde 80 ppm hasta 170 ppm.

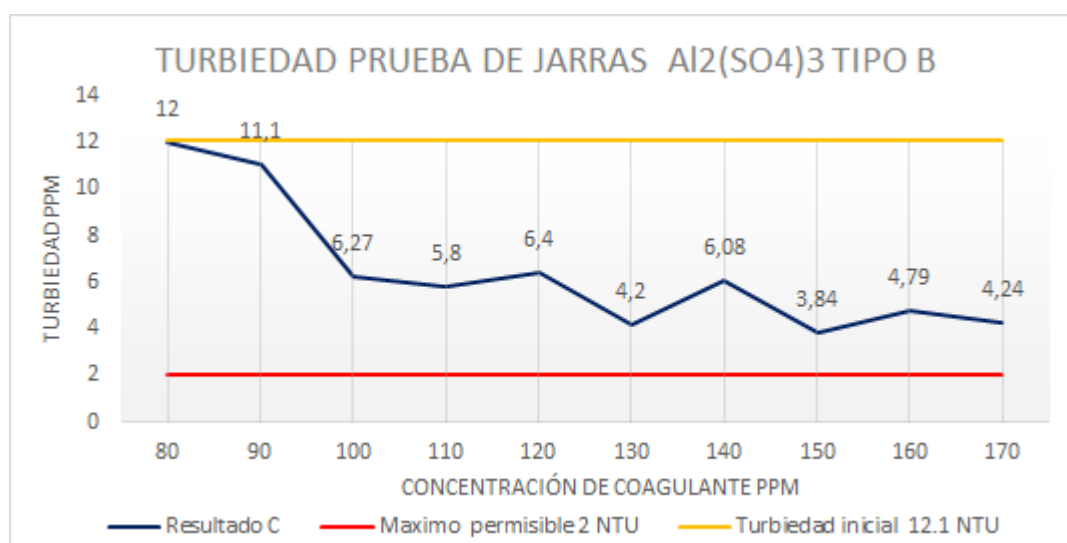
El cálculo de la cantidad en mL a agregar de Policloruro de Aluminio (PAC) en cada una de las jarras de acuerdo a su concentración se realizó con la expresión (6) utilizada en la prueba A y B, manejando los mismos valores en las variables V_1 , C_1 y C_2 .

Tabla 6. Concentración de coagulante de Sulfato de aluminio tipo B, y análisis de parámetros de salida de la prueba de jarras.

Prueba de jarras C						
Concentración del coagulante en cada jarra (ppm)	Dosificación $Al_2(SO_4)_3$ (ml)	Turbiedad NTU	pH	Alcalinidad	Acidez	Dureza
80	4	12	6,91	116	38	67
90	4,5	11,1	6,92	104	47	86
100	5	6,27	6,95	107	34	92
110	5,5	5,8	6,9	98	42	80

Concentración del coagulante en cada jarra (ppm)	Dosificación $Al_2(SO_4)_3$ (ml)	Turbiedad NTU	pH	Alcalinidad	Acidez	Dureza
120	6	6,4	6,85	93	26	58
130	6,5	4,2	6,85	96	34	64
140	7	6,08	6,8	111	31	68
150	7,5	3,84	6,88	101	29	93
160	8	4,79	6,71	103	31	65
170	8,5	4,24	6,68	101	28	86

Fuente: Autores



Grafica 3. Resultado de Turbiedad de ensayo de jarras con coagulante de Sulfato de Aluminio tipo B. Comparado con los máximos permisibles y turbiedad inicial

Fuente: Autores

Como se puede ver en la Gráfica 3, la prueba con Sulfato de Aluminio tipo B es la más eficiente ya que la turbiedad baja en todos los ensayos realizados, obteniendo remoción hasta del 68%.

La alcalinidad presenta un consumo inversamente proporcional a las concentraciones de coagulante, donde se obtiene un consumo máximo de alcalinidad de 23 mg $CaCO_3/L$ llegando a

un valor final de 68 mg CaCO₃/L, este valor nos indica niveles óptimos en el proceso de coagulación, evitando la corrosividad de las siguientes unidades, y evitando los cambios de pH.

El valor inicial de dureza es de 99 mg CaCO₃/L y el valor final promedio es de 75,9 mg CaCO₃/L, este dato pudo ser alterado por la reacción con Sulfato de Aluminio, ya que puede precipitar la dureza y disminuir su concentración.

En la Tabla 7 se pueden observar las eficiencias obtenidas en cada una de las jarras

Tabla 7. Eficiencias de turbiedad de la prueba de C de jarras

Jarra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración del coagulante (ppm)	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Eficiencias remoción de turbiedad (%)	1	8	48	52	47	65	50	68	60	65

Fuente: Autores

Se repitió el ensayo para las jarras con mayor remoción de turbiedad (130, 160 y 170), tomando 1 litro de muestra y agregando 1 ml de floculante aniónico en cada una de las jarras.

Tabla 8. Concentraciones de coagulante y floculante de la prueba de jarra C

Jarra	Coagulante Sulfato de Aluminio Tipo B	Floculante aniónico
Jarra 130 ppm	13 ml	1 ml
Jarra 150 ppm	15 ml	1 ml
Jarra 170 ppm	17 ml	1 ml
Tiempos	Se agregó al iniciar la mezcla rápida	Se agregó a los 30 sg de iniciar la mezcla rápida

Fuente: Autores

De las pruebas realizadas, se observó que en la jarra de 130 ppm se formó mayor aglomeración de floculos y se notó mayor clarificación en el agua. Dado lo anterior se realizó un último ensayo con 2 litros de muestra, agregando el doble de la dosis de coagulante del ensayo anterior (es decir de la dosis de 130 ppm, 26 ml) y se agregaron 2 ml de floculante aniónico. Se realizó la medición de la turbiedad luego de esperar 40 minutos (incluyendo los tiempos de mezcla rápida y lenta). El valor resultante fue de 2,99 NTU, siendo el valor más próximo de los ensayos realizados al máximo permisible de la norma, por tanto, en el tratamiento real de la planta se hará el cálculo respectivo de acuerdo a los volúmenes de tanque de coagulación y floculación con base en la dosis de esta jarra.

Se calcularon las eficiencias teóricas con los valores obtenidos en el ensayo de 130 ppm, para analizar la remoción de los parámetros preliminares que sobrepasan los máximos permisibles la Resolución 2115 del 2007, esperando obtener los mismos resultados al realizar el tratamiento en la planta.

Tabla 9. Eficiencias teóricas ensayo jarra 130 ppm

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio inicial	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio final	Máximo permisible Resolución 2115 de 2007
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	116	148	132	132	86	92	82	87	200
Aluminio (mg/L)	0,174	0,181	0,1	0,152	0,358	0,542	0,484	0,461	0,2
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	99	81	95	92	74	70	75	73	300
Hierro Total (mg/L)	4,66	4,46	4,6	4,57	0,72	0,83	0,81	0,79	0,3
Manganeso (mg/L)	0,6	0,7	0,9	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,1
Sulfatos (mg/L)	L.D	L.D	L.D	-	65	60	62	62	250
Turbiedad NTU	12,5	12	12,5	12,3	2,9	3,4	3	3,1	2

Fuente: Autores

La alcalinidad se consume aproximadamente 50 mg CaCO₃/L con respecto a la alcalinidad inicial 132 mg CaCO₃/L; esto indica que el exceso inicial permite que no se consuma toda la alcalinidad durante la coagulación, haciendo que esta sea efectiva para el tratamiento.

El aluminio aumenta de 0,152 mg/L a 0,48 mg/L; esto se debe al uso de sulfato de aluminio como coagulante, que al reaccionar aumenta la concentración, sobrepasando el máximo permisible de 0,2 mg/L.

El agua presenta un aumento en la concentración de sulfatos, obteniendo resultados que oscilan entre 62 y 68 mg/L; esto se debe a que el coagulante utilizado es sulfato de aluminio. Aun así, dicho aumento no supera el máximo permisible de la norma.

Después del proceso de coagulación el valor de hierro total disminuye a 0,787 mg/L. Aunque hierro total no cumple con los máximos permisibles de la norma, se obtiene una eficiencia de remoción del 82 %.

3.9 Curva de cloración

La prueba de demanda de cloro se realizó con hipoclorito con el que dispone la institución, para la prueba se realizó un rango de 0,1 a 5 mg/L, en intervalos de 0,3 realizando en total 20 ensayos.

La preparación del hipoclorito se realizó en un balón aforado de 1000 mL, a una solución de hipoclorito al 15% de concentración; por medio de la expresión matemática (6) así:

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

$$V_1 * 150000 \text{ ppm} = 1000 \text{ ml} * 100 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{1000 \text{ ml} * 100 \text{ ppm}}{150000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 0,66 \text{ ml}$$

V_1 = Volumen de hipoclorito a agregar en 1000 ml de agua destilada

C_1 = Concentración del hipoclorito

V_2 = 1000 ml de solución

C_2 = Concentración de la solución

Se realiza una prueba adicional para comprobar la concentración real del hipoclorito, ya que lleva muchos años guardado en la Institución, y debido a que este se descompone bajo la luz solar, su concentración puede haber disminuido significativamente.

Para la prueba se diluyó 1 mL de la preparación realizada en el balón aforado de 1000 mL que tenía una concentración del 15% del balón aforado de 1000 ml con concentración de 15%, esperando obtener como resultado 1 ppm, que indicaría que el cloro en efecto aún conserva el 15% de concentración.

El valor de cloro es de 0,51 mg/L, lo que indica que el hipoclorito ha perdido concentración y se reajusta la concentración inicial del hipoclorito preparado a 8%.

Para la curva de cloración se realiza desde 0,1 a 3,9 mL debido a que los de 3,9 hasta 5,1 se encuentran sobre el rango permisible de medidas de cloro residual. Como se observa en la Gráfica 4 se halló la demanda de cloro por medio de una curva de cloración con los valores obtenidos de cloro necesario, y de cloro residual libre para el proceso de desinfección.



Grafica 4. Demanda de cloro, por medio de una curva de cloración midiendo cloro necesario, y cloro residual libre para el proceso de desinfección

Fuente: Autores

El consumo de cloro se debe a las características que tiene la muestra, ya que, al ser proveniente de un pozo subterráneo con altas cantidades de hierro y manganeso, aumenta su consumo en la demanda cloro. El punto de quiebre del cloro consumido, al cloro residual libre es de 2,4 mg/l, indicando la cantidad de cloro que se necesita dosificar para cumplir con el cloro necesario en el proceso de desinfección, y el cloro adicional que proteja de futuras contaminaciones.

3.10 Descripción de tratamiento realizado en la planta

El agua se suministra por medio de la estación de bombeo que succiona agua del pozo subterráneo y es llevado hacia las bandejas de aireación donde se lleva a cabo el proceso de oxidación de hierro Fe^{+2} (Ferroso) a Fe^{+3} (Férrico) para que en la operación posterior de coagulación pueda ser retirado. Adicionalmente se realiza el proceso de dosificación del

coagulante sulfato de aluminio tipo B, en la primera bandeja para conseguir el proceso de mezcla.

El efluente de las bandejas de aireación pasa a través del tubo de la última bandeja hacia el tanque de coagulación donde se realiza el proceso de mezclado y la formación del floc, y pasa por rebose al tanque de floculación que se llena alternamente con el tanque de sedimentación; esta unidad tiene un tiempo de retención de 22 horas que ayuda a que se sedimenten los floc formados en las dos unidades anteriores. Al llenarse el tanque de sedimentación pasa por rebose al tanque de igualación donde se unifican los caudales. El agua es tomada por una bomba centrífuga y pasa al proceso de filtración por el lecho de arena, que tiene una capacidad de 0,50 m³. Finalmente pasa por un proceso de desinfección por medio de pastillas de hipoclorito de calcio, diluido en el agua, y graduado para obtener la cantidad de cloro deseada. Y llevado al tanque de almacenamiento para su distribución.

3.11 Eficiencias de las unidades de tratamiento

La determinación de las eficiencias se realizó luego de poner en marcha la planta y de realizar el tratamiento químico con coagulante y con cloro como desinfectante. Se esperó 2 semanas para que la planta se estabilizara y así obtener eficiencias considerables en las mediciones de los parámetros escogidos por unidad para determinar la eficiencia.

El coagulante se preparó en una caneca de 60 litros y la desinfección se llevó a cabo por medio de pastillas de hipoclorito de calcio.

Debido a algunas inconsistencias en los cálculos de las dosificaciones, las primeras pruebas realizadas tuvieron márgenes de error.

Bandejas de aireación

Parámetro: Hierro Ferroso

Rango de medición: 0,03 – 3 mg/l Fe

Método: Determinación fotométrica con 1,10-fenantrolina

Tabla 10. Eficiencias de bandejas de aireación

Bandeja	Parámetro	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
1	Hierro divalente	1,77	1,36	23,16
2	Hierro divalente	1,36	1,29	5,14
3	Hierro divalente	1,29	1,11	13,95
4	Hierro divalente	1,11	1,09	1,80
5	Hierro divalente	1,09	0,66	39,45

Fuente: Autores

Para la determinación de las eficiencias en las bandejas de aireación se estableció como parámetro principal Hierro Ferroso. Esto debido a que, cuando el agua pasa a través de las bandejas, el hierro divalente que contiene el agua se oxidará y pasará a ser trivalente. Teóricamente, el hierro divalente o ferroso deberá disminuir a medida que pasa por las bandejas. Como puede observarse en las tablas de cada bandeja, el hierro al oxidarse, disminuyó de una bandeja a otra, obteniendo como eficiencia total de 65,2 % en la remoción de este parámetro.

Tanque de coagulación

Tabla 11. Eficiencias realizadas en el tanque de coagulación

Tanque de coagulación			
Parámetro	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
Turbiedad (NTU)	12,33	16,02	-----
Sulfatos (mg/L SO ₄)	0	60	-----
Aluminio (mg/L)	0,174	2,192	-----

Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	132	102	22,7
---------------------------------------	-----	-----	------

Fuente: Autores

Para la determinación de las eficiencias en el tanque de coagulación se realizaron mediciones in situ de turbiedad para la obtención de valores reales y representativos. La medición de sulfato, aluminio y alcalinidad se realizó en el CTAS.

Estos parámetros fueron escogidos para la determinación de las eficiencias debido a que, al usar como coagulante Sulfato de Aluminio tipo B, resulta importante verificar el incremento o disminución en las concentraciones de sulfatos y aluminio.

Como se puede observar en la Tabla 11, el agua en su caracterización inicial contiene un alto contenido de alcalinidad, y durante las pruebas realizadas en el ensayo de jarras se pudo comprobar que esta se consume poco después del proceso.

En cuanto a los sulfatos, se puede observar que aumentan significativamente en comparación al valor inicial, dicho incremento se debe a la utilización de este tipo de coagulante; lo mismo sucede con el aluminio. También es notable el incremento en la turbiedad, que al igual que el incremento de los otros parámetros, se debe al tipo de coagulante utilizado y a que las muestras analizadas se tomaron dentro de las 2 semanas de estabilización de la planta, presentándose margen de error porque la planta aún se estaba adaptando al tratamiento químico.

Tanque de floculación

Tabla 12. Eficiencias realizadas en el tanque de floculación

Tanque de floculación			
Parámetro	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
Turbiedad (NTU)	16,02	12,37	22,78
Aluminio (mg/L)	2,192	1,724	21,350
Sulfatos (mg/L SO ₄)	60	50	16

Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	102	99	2,94
--------------------------------------	-----	----	------

Fuente: Autores

Los datos obtenidos de las muestras del tanque de floculación demuestran una disminución en todos los parámetros. Esto se debe a que, en la coagulación, luego de la mezcla rápida que se lleva a cabo al pasar por las bandejas, y de la mezcla lenta que se lleva a cabo durante el tiempo de llenado en el tanque de coagulación y durante su paso por desbordamiento al tanque de floculación, se genera el floc que se sedimenta en la parte baja del tanque, permitiendo que el agua que sube y se desborda tenga menor concentración de los parámetros medidos.

Las concentraciones con mayor porcentaje de remoción, como se indica en la tabla, son turbiedad y aluminio.

Tanque de Sedimentación

Tabla 13. Eficiencias realizadas en el tanque de sedimentación

Tanque de sedimentación			
Parámetro	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
Turbiedad (NTU)	12,37	6,05	51,09
Aluminio (mg/L)	1,724	0,264	84,687
Sulfatos (mg/L SO ₄)	50	40	20
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	99	92	7

Fuente: Autores

Los valores obtenidos de las muestras del tanque de sedimentación presentan eficiencias significativas y remociones importantes, principalmente en la turbiedad, esto debido al tiempo de retención que tiene el tanque.

Tanque de igualación

Tabla 14. Eficiencias realizadas en el tanque de igualación

Tanque de igualación			
Parámetro	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
Turbiedad (NTU)	6,05	5,98	1,15
Aluminio (mg/L)	0,264	0,198	25
Sulfatos (mg/L SO₄)	40	40	0
Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	92	90	2,17

Fuente: Autores

En el tanque de igualación no se presenta mayor remoción de las concentraciones salientes del tanque de sedimentación; esto se debe a que su tiempo de retención no es tan alto y llegado al nivel de la tubería, el agua pasa inmediatamente al filtro de arena. Aun así, es importante verificar que ninguno de los parámetros aumenta, sino que por el contrario disminuyen o se mantienen como puede observarse en los resultados.

Filtro de arena

Tabla 15. Eficiencias realizadas en el filtro de arena

Filtro			
Parámetro	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
Turbiedad (NTU)	5,98	4,09	31,60
Aluminio (mg/L)	0,198	0,046	76,76
Sulfatos (mg/L SO₄)	40	40	0
Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	90	77,6	13,7

Fuente: Autores

Las mediciones realizadas en filtro resultan determinantes ya que estos valores son los finales y son los que indican que tan efectivo resultó el tratamiento realizado en el agua. Como se puede observar, la remoción de la turbiedad y de aluminio es considerable, debido al tiempo de retención y a la acción filtrante de la arena. El sulfato se mantiene debido a su alto índice de solubilidad en el agua.

Los parámetros medidos en esta unidad concuerdan con los valores obtenidos en la caracterización final.

3.12 Caracterización final

Tabla 16. Resultados de la caracterización final

Parámetro	Rango de medición	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio \bar{x}	Varianza S	Desviación estándar S ²
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)		73	81	79	78	17,3	4,16
Aluminio (mg/l)	0.008 - 0.800	0,049	0,021	0,068	0,046	0,001	0,02
Cadmio (mg/L Cd ²⁺)	0,05–2,00	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	0,3 - 20	5,3	5,3	5,3	5,3	0,0	0
Cianuro libre y disociable (mg/L CN ⁻)	0.002 - 0.240	0,006	0,009	0,005	0,007	0,000004	0,002
Cloruros (mg/L Cl)	0,5–50	20	17	20	19	3	1,7
Cobre (mg/L Cu ²⁺)	0,01–2,00	0,1	0,1	0,2	0,1	0,003	0,06

Parámetro	Rango de medición	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio \bar{X}	Varianza S	Desviación estándar S ²
Cromo Total (mg/L Cr)	0,01 - 0,70	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	0	60	49	48	52	44	7
Fluoruros (mg/L F)	0,1-2,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Hierro Total (mg/L)	0,02 - 3	0,69	0,77	0,72	0,72	0,002	0,04
Manganeso (mg/L Mn)	0,1 - 20	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Molibdeno (mg/L Mo ⁶⁺)	0,2 - 4	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Níquel (mg/L Ni)	0,01-2,00	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Nitratos HR (mg/L N-NO ₃)	0.3 - 30.0	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Nitratos LR (mg/L N-NO ₃)	0.01 - 0.50	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Nitritos HR (mg/L NO ₂)	2 - 250	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Nitritos LR (mg/L NO ₂)	0,002 - 0,3	L.D	L.D	L.D	-	-	-
pH		7,03	6,95	6,63	6,87	0,04	0,2
Plomo (mg/L Pb ²⁺)	0,10-5,00	L.D	L.D	L.D	-	-	-
Sulfatos (mg/L SO ₄)	2 - 70 mg/l	40	41	40	40	0,3	0,6
Turbiedad NTU		4,23	4,11	3,9	4,1	0,02	0,1
Zinc (mg/L Zn ²⁺)	0,10-4,00	0,2	0,2	0,05	0,15	0,008	0,09
Conductividad (mS)		0,39	0,32	0,38	0,36	0,001	0,04

3.12.1 Análisis de resultados

La concentración final de aluminio fue de 0,046 mg/L, Este valor refleja un buen proceso de coagulación y de tiempos de retención en los procesos de tratamiento, ya que en las eficiencias realizadas por cada unidad (ver literal 3.11 eficiencias por unidad), se evidencia los cambios de concentración del aluminio hasta llegar a su proceso de estabilización. En el proceso final la remoción de aluminio fue de 70% con respecto al inicial, cabe resaltar que el valor inicial de aluminio cumple los máximos permisibles, y su remoción en el efluente garantiza un valor más óptimo con respecto a la norma.

Al igual que el aluminio, el afluente no registró presencia de sulfatos en el análisis preliminar, permitiendo determinar la viabilidad en el uso de sulfato de aluminio como coagulante. Los máximos permisibles de la 2115 en sulfatos son de 250 mg/L, la interacción con el coagulante, aumentó la concentración final a 40 mg/L; el aumento de sulfatos no superó los máximos permisibles y se encuentra en una concentración favorable con respecto a la norma.

La alcalinidad final se encuentra en 78 mg/L este valor disminuye por el consumo en el proceso de coagulación en un 41% con respecto al preliminar; aunque el valor se encuentra bajo los máximos permisibles, un valor muy bajo de alcalinidad puede afectar la estructura como también la tubería por corrosión, por tanto, el consumo de alcalinidad en el proceso de coagulación no puede resultar en una concentración menor de 25 mg/L.

El proceso de la estabilización de la dureza en el proceso de tratamiento se mantiene relativamente constante ya que el valor preliminar de dureza fue de 55.5 mg CaCO₃/L, y el valor

final es de 52,3 mg CaCO₃/L. La relación de la dureza es óptima ya que demuestra que el proceso de reacción con el coagulante no precipita la dureza, ni cambia la concentración de pH.

La presencia de cloro total en el efluente es de 0,56 mg/L, este valor corresponde a cloro residual libre, que se determinó por medio de curva de demanda de cloro, (ver literal 3.9 curva de cloro).

La presencia de cloro residual libre en el efluente es necesaria para proteger de posibles futuras contaminaciones. Debido a que la institución y la distribución de consumo de agua de la PTAP tienen un recorrido y periodo de tiempo muy corto, no es necesario una dosis alta de cloro, ya que el valor se encuentra en el rango de la norma de 0,2 mg/L a 2 mg/L de cloro residual libre.

El proceso de remoción de hierro fue el más complejo. El valor final es de 0,72 mg/L, con un porcentaje de remoción del 84% con respecto al valor inicial; aunque la remoción es considerable, la concentración continúa excediendo el máximo permisible de la norma que corresponde a 0,3 mg/L.

La remoción de la turbiedad fue de 64 % con respecto al valor inicial; el valor final de corresponder a 4,1 NTU, indicando que no se cumple con el máximo permisible de la norma. La presencia de turbiedad en el proceso final, se debe a la cantidad de hierro divalente que se oxida y no logra ser removido en su totalidad con el tratamiento previo a la desinfección; dicho residual reacciona con el cloro agregado generando un color amarillo en el efluente.

Según el método de medición NANOCOLOR kit COT, se encuentra interferencia con parámetros como aluminio y sulfatos, los cuales aumentaron al utilizar el coagulante sulfato aluminio, a su vez aumenta la interferencia por la presencia de hierro total en el proceso final. El valor inicial de COT fue de 12,7 mg/L, y en el efluente se registra un valor de 5.3 mg/L, la remoción de COT es del 58% debido a las interferencias, se asume que la remoción es mayor.

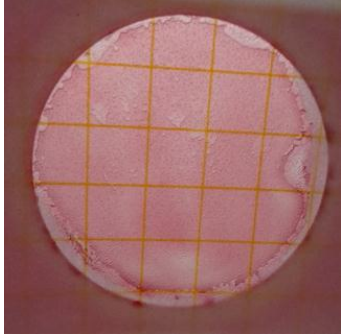
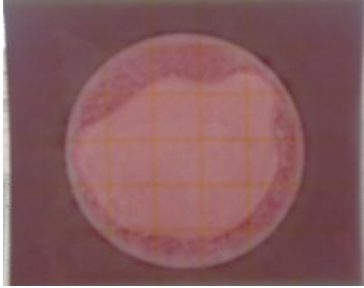
La concentración de manganeso se removió en un 100%, obteniendo en la medición final valores por debajo del límite de detección.

Parámetros como nitritos, nitratos, y plomo su concentración se encuentra bajo el rango de medida, cumpliendo con los máximos permisibles.

Parámetros como Cadmio, cianuro, cobre y cromo, se mantiene con respecto a los análisis preliminares, cumpliendo con los máximos permisibles.

Los valores de la desviación estándar mantienen un margen similar a los obtenidos en la caracterización inicial, indicando que los datos de las mediciones finales tienen datos con muy poca dispersión con respecto al valor promedio.

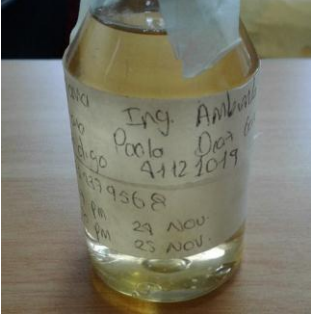

3.12.2 Caracterización microbiológica final

<p>Prueba de coliformes A: Sin dilución en campo Conteo de un cuarto de placa = 0 UFC</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
<p>Prueba de coliformes B: Se realiza una réplica de petrifilm sin dilución en campo Conteo de un cuarto de placa = 0 UFC</p>	 <p>Fuente: Autores</p>

Cuadro 6. Resultados del efluente prueba por Petrifilm

Fuente: Autores

En la prueba microbiológica realizada en campo con placa petrifilm se agregó 1 mL de muestra tratada. Se observó que no hubo crecimiento de microorganismo, lo que indica que el proceso de desinfección resulto eficiente.

 <p>Fuente: Autores</p>	<p>Proceso 1: Se agregaron 100 mL de muestra tratada en el recipiente estéril y se seguidamente se agregó una papeleta de Colitag</p>
 <p>Fuente: Autores</p>	<p>Proceso 2: Para comprobar la presencia de coliformes, se llevó la muestra luego de las 48 horas de incubación a una lámpara ultravioleta de longitud de larga 366 nm. Se evidencio que la muestra no cambio a color azul, lo que nos indica que no hay presencia de coliformes en el agua tratada.</p>

Cuadro 7. Resultados del efluente prueba de coliformes por medio de Colitag

Fuente: Autores

3.12.3 Cumplimiento de los máximos permisibles de la Resolución 2115 de 2007

Tabla 17. Caracterización inicial y final comparados con la norma de agua potable resolución 2115 de 2007

Parámetro	Resultado Inicial	Resultado Final	Máximos Permisibles Resolución 2115 de 2007
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	132	78	200 mg/l
Aluminio (mg/L)	0,152	0,046	0,2 mg/l
Cadmio (mg/L Cd ²⁺)	L.D	L.D	0,003 mg/l

Parámetro	Resultado Inicial	Resultado Final	Máximos Permisibles Resolución 2115 de 2007
Carbono Orgánico Total (mg/L C)	12,7	5,3	5 mg/l
Cianuro libre y disociable (mg/l CN ⁻)	0,004	0,007	0,05 mg/l
Cloruros (mg/L Cl)	15,9	19	250 mg/l
Cobre (mg/L Cu ²⁺)	0,1	0,1	1 mg/l
Cromo Total (mg/L Cr)	L.D	L.D	0,05 mg/l
Dureza Total (mg Ca CO ₃ /L)	55,3	52	300 mg/l
Fluoruros (mg/L F)	0,1	0,1	1 mg/l
Hierro Total (mg/L)	4,57	0,72	0,3 mg/l
Manganeso (mg/L Mn)	0,7	L.D	0,1 mg/l
Molibdeno (mg/L Mo ⁶⁺)	L.D	L.D	0,07 mg/l
Níquel (mg/L Ni)	0,01	L.D	0,02 mg/l
Nitratos HR (mg/L N-NO ₃)	L.D	L.D	10 mg/l
Nitratos LR (mg/L N-NO ₃)	L.D	L.D	
Nitritos HR (mg/L NO ₂)	L.D	L.D	0,1 mg/l
Nitritos LR (mg/L NO ₂)	L.D	L.D	
pH	6,75	6,87	6,5 – 9,0
Plomo (mg/L Pb ²⁺)	L.D	L.D	0,01 mg/l
Sulfatos (mg/L SO ₄)	L.D	40,333	250 mg/l
Turbiedad NTU	12,3	4,093	2 NTU
Zinc (mg/L Zn ²⁺)	0,3	0,15	3 mg/l

Parámetro	Resultado Inicial	Resultado Final	Máximos Permisibles Resolución 2115 de 2007
Conductividad (mS)	0,31	0,36	1000 ms/cm

*L. D = *Limite de detección*

Fuente: Autores

En la Tabla 17 se puede observar el promedio de los parámetros de entrada y salida de la PTAP, comparados con la Resolución 2115 de 2015 de agua potable. Los parámetros resaltados con color rojo exceden los máximos permisibles de la resolución.

Aunque no se cumple el máximo permisible de hierro y turbiedad, su remoción es considerable y las concentraciones finales obtenidas no representan riesgo para la salud de las personas que asisten a la institución teniendo en cuenta que su uso será secundario.

Es importante considerar que uno de los parámetros más relevantes en la caracterización final es la prueba de actividad microbiológica, ya que representa el factor principal de contagio de enfermedades por contacto directo o indirecto con el agua; los resultados finales demuestran que el agua, por medio del tratamiento y de la desinfección realizada con hipoclorito de calcio, elimina los microorganismos encontrados en la caracterización inicial, esto sumado a que los valores de hierro y turbiedad no exceden la norma en más de 2 unidades nos permite afirmar que el agua es segura para su uso en descarga de sanitarios y lavado de áreas comunes.

3.12.4 Eficiencia total de la planta de potabilización

Tabla 18. Eficiencia total de la PTAP

Parámetros	Eficiencia Total por parámetro	Sumatoria
Alcalinidad Total	41%	0,41
Aluminio	70%	0,69
Hierro Total	84%	0,84

Parámetros	Eficiencia Total por parámetro	Sumatoria
Manganeso	100%	1
Sulfatos	33%	0,32
Turbiedad	67%	0,66
Eficiencia Total en la planta		65,70%

Fuente: Autores

En la Tabla 18 se presentan los porcentajes de remoción de los parámetros seleccionados y la eficiencia total de la planta calculada con base en estos; se realizó la sumatoria y el promedio para la obtención de un 66 % de eficiencia en el tratamiento del agua en la planta.

3.13 Plan Operativo de la Planta de Tratamiento para el suministro de agua de uso secundario

El plan operativo se realizó por medio de la elaboración de un programa y del manual de operación y mantenimiento de planta de tratamiento. Adicionalmente se realizó una comparación de costos con el fin de que la institución pueda evaluar la viabilidad de continuar operando la PTAP en lugar de continuar con el abastecimiento de agua potable por medio de carrotanque. El agua potable suministrada, a causa del tiempo que queda estancada sin ningún tipo de aireación en el tanque de almacenamiento subterráneo, tampoco resulta apta para su consumo, por lo que dicho recurso resulta también en un uso secundario.

A continuación, se presenta lo costos generados al operar la PTAP comparados con los costos que genera el transporte de agua potable por medio de carrotanque.

Tabla 19. Costos de operación y de insumos de la PTAP

Actividad	Descripción	cantidad	Valor	Valor mensual	Valor Anual
Coagulación	Proceso de preparación de coagulante: sulfato de aluminio tipo B	1 Kg cada 2 días	\$ 1.200	\$ 18.000	216000
Desinfección	Pastillas de cloración	5 pastillas cada 3 meses	\$ 12.000	\$ 4.000	48000
Operario	Operario que realice la preparación y mezcla de coagulante	1 persona cada 2 días	\$ 20.000	\$ 300.000	\$ 3.600.000
TOTAL				\$ 322.000	\$ 3.864.000


Tabla 20. Insumos y operación de carro tanque

Actividad	Descripción	cantidad	Valor	Valor mensual	Valor Anual
Carro tanque	Actividad que se realiza 2 veces al mes con 15 m ³ de agua potable	2 veces al mes	\$ 389.000	\$ 778.000	\$ 9.336.000
Operario	Operario de manejo de carro tanque	2 veces al mes	\$ 25.000	\$ 50.000	\$ 600000
TOTAL				\$ 828.000	\$ 9.936.000

Como se puede observar y comparar en la Tablas 19 y 20, los costos que genera operar la PTAP son mucho menores que los costos de transporte de agua potable a la institución.

La elaboración del manual se realizó para lograr el mantenimiento y la operación, indicando paso a paso el procedimiento a seguir, con el fin de que cualquier persona pueda realizar dichas actividades. adecuada de la planta de tratamiento. A continuación, se presenta el programa que conforma el plan operativo.

PLAN OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL SUMINISTRO DE AGUA DE USO SECUNDARIO

	<p>INSTITUTO EDUCATIVO DISTRITAL CHORRILLOS</p>
	<p>PLAN OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL SUMINISTRO DE AGUA DE USO SECUNDARIO</p>
<p>1. DESCRIPCIÓN:</p>	
<p>El plan operativo cuenta con un programa en el cual se realiza el procedimiento a seguir para el funcionamiento de la planta de potabilización para uso secundario, por medio de un manual de operación, donde se describe el proceso de operación y el mantenimiento a realizar, para el funcionamiento óptimo de la planta de potabilización.</p>	
<p>2. OBJETIVOS</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaborar un manual de operación. 2. Realizar una comparación del costos de la PTAP, y el suministro por carro tanque 	
<p>3. ACTIVIDADES</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaboración del manual <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Descripción del proceso de tratamiento. 1.2 Descripción de la operación de la planta de potabilización. 1.3 Descripción de mantenimiento por cada unidad de la planta. 2. Realizar una comparación de costos de operación, insumos y suministro por medio de carro tanque 	
<p>4. ACTIVIDADES</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar el manual de operación desarrollando las actividades del literal 1 2. Realizar una comparación de los costos de operación y de insumos que genera la PTAP comprados con los costos de operación del servicio de suministro de carrotanque. 	
<p>5. RECURSOS</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Manual de operación 	

4. Conclusiones

- En el diagnóstico inicial se identificó el deterioro de la Planta de Tratamiento por la falta de uso y mantenimiento. El principal inconveniente se presentó debido a la falta de tubería que condujera el agua extraída desde el pozo subterráneo hasta la primera unidad de la planta para realizar su tratamiento. Aun así, la planta de tratamiento cuenta con las unidades adecuadas y con el sistema eléctrico propio para realizar el tratamiento óptimo del agua.
- Las principales mejoras para el funcionamiento óptimo de la planta consisten en su puesta en marcha de manera continua, la dosificación adecuada de coagulante, la continuidad de los tiempos de retención, el retrolavado del filtro y la dosificación de cloro para el proceso de desinfección.
- Los parámetros principales son el manganeso, el hierro y la turbiedad, ya que en la caracterización inicial sobrepasaron los máximos permisibles de la Resolución 2115 de 2007 y son los parámetros con mayor porcentaje de remoción como se puede observar en los resultados de la caracterización final.
- Por medio del manual de operación realizado se espera que cualquier persona pueda operar y hacer el respectivo mantenimiento de la planta. Para la formulación de éste, se tuvo en cuenta la frecuencia de las dosificaciones, el mantenimiento a realizar por unidad y las especificaciones de materiales y elementos, explicando cada procedimiento, de manera clara y concisa.
- Aunque el uso de floculante en el proceso posterior al de coagulación aumenta más la remoción y la eficiencia, genera altos costos para su operación, y por su viscosidad se dificulta la dosificación.

5. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la operación de la PTAP, ya que su funcionamiento representa la solución más viable para el problema de saneamiento básico que se presenta en la institución, además de que representa bajos costos.
- La institución no cuenta con registro de los mantenimientos realizados a la estación de bombeo ni al pozo de agua subterránea. Se recomienda realizar mantenimiento a la estación de bombeo por medio de formatos llevar los registros.
- Dentro de proyecto siempre se desea que haya una mejora continua, así que se recomienda, complementar el tratamiento, reparando el filtro de carbón activado que se encuentra obsoleto por fuga, y así optimizar el proceso de tratamiento de la PTAP y obtener mejores resultados.
- Debido a la cantidad de hierro presente en el agua se recomienda realizar un proceso de pre cloración, dosificando hipoclorito de sodio a la última bandeja de aireación (aproximadamente 2 ppm), para oxidar el hierro y aumentar la remoción del mismo.

6. Referencias

1. 3M. (s.f). 3M. Obtenido de Guia de interpretacion Placas Petrifilm : <http://multimedia.3m.com/mws/media/444944O/petrifilm-aerobic-count-plate-interpretation-guide-spanish.pdf>
2. Arizabalo y Diaz. (1991). *La contaminacion del agua subterranea y su transporte en medios porosos*. Ciudad de Mexico : Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
3. Castaño, D. M. (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada*. Obtenido de Universidad tecnológica de Pereira: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2081/628161M977.pdf?sequence=1>
4. Castillo, J. R. (2012). Libro Hidrogeoquímica: Química del Agua Subterránea. EAE. Domingo, I. T. (1999).
5. Decreto 1575, 2007. Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/documents/decreto%201575%20de%202007.mps-mavdt.pdf>
6. Decreto 3930, 2010. En cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Publicado en el Diario Oficial 47873 de octubre 25 de 2010. Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>
7. HACH Be Right. (2015). *IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DE CARBONO*. Obtenido de http://es.hach.com/cms/documents/Drinkingwaterpdf/14797957_DOC040.61.10062.Jun15_ES.pdf
8. Hospital Pablo vi Bosa. (diciembre de 2014). *Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano Acueducto instituto educativo distrital chorrillos*. Obtenido de http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Documentos/Mapa_riesgo_Colegio_Chorrillos.pdf
9. Ingeniería Sanitaria I, Manual de prácticas. Santo Domingo: Editora BUHÓ.
10. International, C. (s.f). *CPI International*. Obtenido de Colitag: <http://www.colitag.com/inicio>

11. Juárez, B. (2015). *DEAQ*. Obtenido de Diccionarios de especialidades agroquímicas.
12. MINAMBIENTE. (s.f). *IDEAM*. Obtenido de DEMANDA DE AGUA:
<http://www.ideam.gov.co/web/siac/demandaagua>
13. Ministerio de Desarrollo Económico, D. d. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. RAS - 2000. TÍTULO C*. Bogotá D.C: Ministerio De Desarrollo Económico.
14. Morell y Fagundo. (1996). *Contribuciones a la investigacion y gestion del agua subterranea*. Castelló de la Plana : Universitat Jaume I .
15. OPS. Organizacion Panamericana de la Salud (1998). *Guias para la calidad del agua potable*. Washington D.C: Organizacion Mundial de la Salud.
16. Pardo, Ortiz y Porras. (2008). *Valoración técnica y ambiental para el agua de consumo, vereda chorrillos sector 3, localidad de suba, Bogotá D.C*. Obtenido de Dolly Marcela Barrera Pardo, Adriana Rocío, Gómez Ortiz Álvaro, Chávez Porras:
http://www.umng.edu.co/documents/10162/745277/V2N1_2.pdf
17. Pintuco. (2016). Obtenido de <http://www.pintuco.com/index.php/12-rad/195-pinturas-epoxicas>
18. Resolución 2115, 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Publicada en el Diario Oficial 46.679 de julio 4 de 2007. Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>
19. Salgado Cardona Ltda. (2005). *Manual de operación y mantenimiento IED Chorrillos*. . Bogotá.
20. Sawyer, McCarty y Parkin. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental* . MCGRAW-HILL.

Anexos

A-1. Libro de campo preliminar

UNIVERSIDAD DE LA SALLE PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA PROYECTO DE GRADO	
FICHA TÉCNICA PUNTO DE TOMA	
Lugar de muestra: Colegio IED Chorrillos	Fecha y hora de recolección: 2 de septiembre del 2016 4:35 PM
Propósito de muestra: Caracterización preliminar de pozo subterráneo, para PTAP	Georreferenciación: Pozo profundo Longitud: 74° 5' 29,065" W Latitud: 4° 47' 5,405" N Altitud (M.S.N.M): 2553
Responsable de toma de muestra: Alejandra Toro	
Método de muestra: Tipo puntual simple Composición del pozo subterráneo es relativamente constante. Toma de muestra del afluente de la PTAP.	
Tipo de muestra: Puntual	Método de preservación: Refrigeración
Método de transporte: Se almacenan en neveras, para ser transportadas por vía terrestre	Volumen: 3 Litros
Observaciones: El punto de muestreo se tomó en la salida de la estación de bombeo, entrada a las bandejas de aireación	
REGISTRO FOTOGRÁFICO	



Imagen 1. Evidencia toma parámetros In situ
Fuente: Autores



Imagen 2. Toma de pH
Fuente: Autores

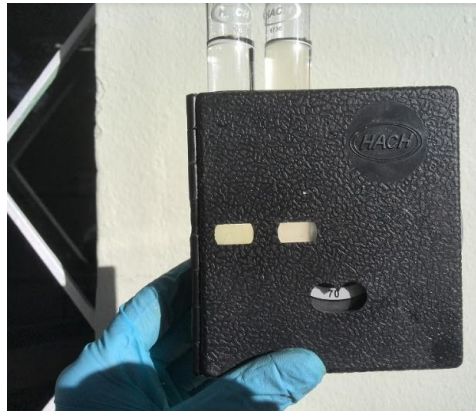


Imagen 3. Color aparente
Fuente: Autores

A- 2 Libro de campo final

UNIVERSIDAD DE LA SALLE PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA PROYECTO DE GRADO	
FICHA TÉCNICA PUNTO DE TOMA	
Lugar de muestra: Colegio IED Chorrillos	Fecha y hora de recolección: 18 de noviembre del 2016 3:30 PM
Propósito de muestra: Caracterización final y toma de datos in situ, del afluente de la PTAP	Georreferenciación: Pozo profundo Longitud: 74° 5' 29,065" W Latitud: 4° 47' 5,405" N Altitud (M.S.N.M): 2553
Responsable de toma de muestra: Viviana Díaz	
Método de muestra: Tipo puntual simple Debido a que la toma de muestra se realizó en el tanque de almacenamiento el cual iguala las concentraciones. Toma de muestra del efluente de la PTAP.	
Tipo de muestra: Puntual	Método de preservación: Refrigeración
Método de transporte: Se almacenan en neveras, para ser transportadas por vía terrestre	Volumen: 3 Litros
Observaciones: El punto de muestreo se tomó de la salida del tanque de almacenamiento de la PTAP	
REGISTRO FOTOGRÁFICO	

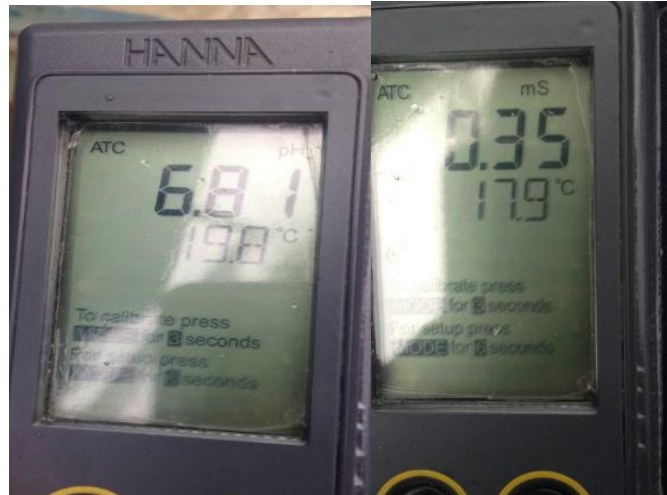


Imagen 1. Medida pH
Fuente: Autores

Imagen 2. Medida conductividad
Fuente: Autores



Imagen 3. Toma de parámetros In situ
Fuente: Autores

A-3 Registro fotográfico

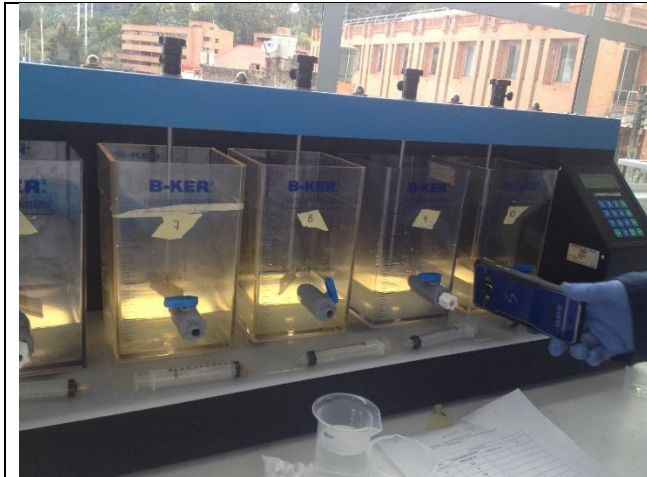
		
<p>Medición de Carbono Orgánico Total Realizado por: Alejandra Toro</p>	<p>Medición de Cromo Total Realizado por: Alejandra Toro</p>	<p>Medición Fluoruros Realizado por: Viviana Díaz</p>
		
<p>Medición Cloro Total Realizado por: Alejandra Toro</p>	<p>Medición Sulfatos Realizado por: Viviana Díaz</p>	<p>Medición Nitratos HR Realizado por: Viviana Díaz</p>
		
<p>Medición Nitritos LR Realizado por: Viviana Díaz</p>	<p>Medición Cianuros Realizado por: Alejandra Toro</p>	<p>Medición Nitratos HR Realizado por: Alejandra Toro</p>
		
<p>Medición Nitratos LR Realizado por: Viviana Díaz</p>	<p>Medición de Cromo Total Realizado por: Alejandra Toro</p>	<p>Medición Nitritos HR Realizado por: Alejandra Toro</p>
		
<p>Medición Cianuros Realizado por: Viviana Díaz</p>	<p>Medición Manganeso Realizado por: Alejandra Toro</p>	<p>Medición Aluminio Realizado por: Viviana Díaz</p>

 <p>Medición Aluminio Realizado por: Viviana Díaz</p>	 <p>Medición Aluminio Realizado por: Viviana Díaz</p>	 <p>Medición Cloruro Realizado por: Alejandra Toro</p>
 <p>Medición Zinc Realizado por: Alejandra Toro Fuente: Autores</p>	 <p>Medición Conductividad Realizado por: Viviana Díaz Fuente: Autores</p>	 <p>Medición Conductividad Realizado por: Alejandra Toro Fuente: Autores</p>
 <p>Medición Manganeso Realizado por: Viviana Díaz Fuente: Autores</p>	 <p>Medición Cianuro Realizado por: Alejandra Toro Fuente: Autores</p>	 <p>Medición Dureza y Alcalinidad Realizado por: Viviana Díaz Fuente: Autores</p>



Medición en campo Kit Hierro
Realizado por: Viviana Díaz
Fuente: Autores

Medición de las muestras preparadas en campo
Realizado por: Alejandra Toro
Fuente: Autores



Prueba de jarras coagulante tipo A
Fuente: Autores



Prueba de jarras coagulante tipo B
Fuente: Autores



Prueba de jarras coagulante tipo c
Fuente: Autores



Evidencia de Jarra ganadora
Fuente: Autores

A-4 Plano de planta de tratamiento de agua potable con vista superior y vista frontal

A-5 Plano de perfil frontal y perfil superior por unidades