

2019

Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá

María Catalina Cruz Rico
Universidad de La Salle, Bogotá

Laura Samacá Sanabria
Universidad de La Salle, Bogotá

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



Part of the [Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Cruz Rico, M. C., & Samacá Sanabria, L. (2019). Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1143

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.

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL PARQUE JAIME DUQUE UBICADO EN EL MUNICIPIO
DE TOCANCIPÁ**

MARÍA CATALINA CRUZ RICO

LAURA SAMACÁ SANABRIA

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ**

2019

**Propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque
Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá**

María Catalina Cruz Rico

Laura Samacá Sanabria

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental y sanitario

Director

Rosalina González Forero

Ing. Químico

PhD. En ingeniería civil

Universidad de La Salle

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería ambiental y sanitaria

Bogotá

2019

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecerle a Dios por brindarme sabiduría y ser mi guía, a mi familia en especial a mis padres quienes, gracias a su esfuerzo y dedicación me apoyaron para poder culminar esta etapa de mi vida, al parque Jaime Duque por permitirme llevar a cabo el proyecto en sus instalaciones. A mi directora de trabajo de grado que me ayudo en el desarrollo de este documento y por último a todas aquellas personas que me colaboraron con su conocimiento, tiempo, dedicación y apoyo a lo largo de la carrera.

Catalina Cruz Rico

A Dios y la Virgen por ser mi guía y acompañarme a lo largo de mi carrera, a mis padres por ser mi apoyo incondicional, por todas sus enseñanzas y por impulsarme cada día a cumplir mis metas, a mi hermano por ser mi ejemplo a seguir y quién me ayuda a ser mejor persona cada día y finalmente a todos mis compañeros, amigos y docentes que me brindaron todo su conocimiento para poder culminar una de las etapas más importantes de mi vida y quienes aportaron de manera significativa a mi formación profesional.

Laura Samacá Sanabria

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. MARCO DE REFERENCIA	14
3.1. Marco Conceptual.....	14
3.2. Marco Teórico.....	18
3.2.1 Municipio de Tocancipá	18
3.2.2 Información general del parque Jaime Duque.....	19
3.2.3 Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	20
3.2.4 Principios de tratamiento del agua destinada al consumo humano	21
3.2.5 Operaciones unitarias.....	24
3.2.5.1 Aireación.....	24
3.2.5.3 Coagulación-Floculación	24
3.2.5.4 Filtración.....	27
3.2.5.5 Desinfección.....	28
3.2.6 Peligros microbianos relacionados con el agua de consumo	29
3.2.6.1 Peligros de tipo químico en el agua de consumo	29
3.2.6.2 Aspectos relativos a la aceptabilidad.....	30
3.3. Marco Legal.....	33
4. METODOLOGÍA	35
4.1. Fase I. Diagnóstico del funcionamiento actual de la PTAP, obteniendo información cualitativa y cuantitativa del sistema de tratamiento.	35
4.1.1. Revisión de la PTAP.....	35
4.1.2. Toma de muestras.....	36
4.1.3. Pruebas de tratabilidad.....	36
4.1.4. Pruebas hidráulicas y operativas	38
4.1.5. Caracterizaciones fisicoquímicas y biológicas.....	39
4.1.5.1 Curva demanda de cloro.....	42

4.2.	Fase II. Propuesta de alternativas con base en caracterizaciones fisicoquímicas, pruebas hidráulicas y eficiencia de las unidades.....	43
4.2.1.	Análisis de información recolectada	43
4.2.2.	Diseño de alternativas	43
4.3.	Fase III. Selección propuesta de optimización	44
4.3.1.	Evaluación de alternativas	44
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
5.1.	Fase I. Diagnóstico del funcionamiento actual de la PTAP, obteniendo información cualitativa y cuantitativa del sistema de tratamiento.	45
5.1.2.	Revisión de la PTAP	45
5.1.2.	Toma de muestras.....	52
5.1.3.	Caracterizaciones fisicoquímicas y biológicas.....	53
5.1.3.1	Curva demanda de cloro	59
5.1.4.	Pruebas de tratabilidad	60
5.1.5.	Pruebas hidráulicas y operativas	62
5.1.5.1	Pruebas hidráulicas	62
	Definición del Horizonte de Diseño para el Proyecto	64
	Dotación Neta	64
	Pérdidas Técnicas Máximas Admisibles	65
	Dotación Bruta	65
5.1.5.1.1.2.	Cálculo de la demanda de agua del proyecto	65
	Caudal Medio Diario (Qmd).....	65
	Caudal Máximo Diario (QMD)	66
	Caudal Máximo Horario (QMH)	66
	Coefficiente de Consumo Máximo Diario -k1	67
	Coefficiente de Consumo Máximo Horario -K2.....	67
5.1.5.1.2.	Torre de aireación.....	68
5.1.5.1.3.	Clarificador	69
5.1.5.1.4.	Filtros	70
5.1.5.2	Pruebas operativas.....	74
5.2.	Fase II. Propuesta de alternativas con base en caracterizaciones fisicoquímicas, pruebas hidráulicas y eficiencia de las unidades.....	76
5.2.1.	Análisis de información recolectada	76
5.2.2.	Diseño de alternativas	79
	Cámara de cloración	80

5.3.	Fase III. Selección propuesta de optimización	90
5.3.1.	Evaluación de alternativas.....	90
5.3.2.	Selección de alternativa.....	99
6.	CONCLUSIONES	100
7.	RECOMENDACIONES.....	102
8.	REFERENCIAS	104
9.	ANEXOS	106
9.1	Cálculo dosis óptima desinfectante.....	106
9.2.	Diseño de alternativas.....	107
	Alternativa I. Cámara de contacto.....	107
	Alternativa II. Cloro gaseoso de alimentació al vacío	108
	Alternativa III. Cloro gaseoso de alimentación a presión.....	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización municipio Tocancipá.....	19
Ilustración 2. PTAP Jaime Duque	21
Ilustración 3. Toma de medidas unidades PTAP.....	35
Ilustración 4. Toma de muestra al afluyente del tanque de equilibrio.....	41
Ilustración 5. Toma de muestra al Punto de distribución	36
Ilustración 6. Ensayo de jarras.....	37
Ilustración 7. Formación de flocs y sedimentación	37
Ilustración 8. Operario PTAP	39
Ilustración 9. Preparación de medios y ensayo tren de filtración.....	39
Ilustración 10. Montaje elaboración curva de cloro	42
Ilustración 11. Plano PTAP parque Jaime Duque	45
Ilustración 12. Lago bicicletas y piscina de almacenamiento	46
Ilustración 13. Torre de aireación.....	47
Ilustración 14. Tanque clarificador.....	48
Ilustración 15. Tanque de equilibrio.....	49
Ilustración 16. Filtros.....	50
Ilustración 17. Tanque de almacenamiento	51
Ilustración 18. Unidades PTAP parque Jaime Duque	52
Ilustración 19. Toma de muestras.....	53
Ilustración 20. Ensayo siembra masiva. Crecimiento en medios EMB y MC por duplicado,	55
Ilustración 21. Resultados efluente medios MC y EMB	56
Ilustración 22. Ensayo tren de filtración, agar MC y EMB.....	58
Ilustración 23. Resultado prueba de coagulación por barrido.	61
Ilustración 24. Criterios para el almacenamiento Fuente: (PAHO, 2018)	84
Ilustración 25. Cámara de contacto con difusores Fuente: Autores	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntaje de riesgo.....	22
Tabla 2. Clasificación del nivel del riesgo según el IRCA.....	23
Tabla 3. Normativa relacionada con el proyecto	33
Tabla 4. Métodos de medición para los parámetros establecidos.....	40
Tabla 5. Parámetros realizados de la PTAP	41
Tabla 6. Ficha Técnica de la piscina de almacenamiento.....	46
Tabla 7. Ficha técnica de la torre de aireación	47
Tabla 8. Ficha Técnica del tanque clarificador.....	48
Tabla 9. Ficha técnica del Tanque de equilibrio.....	49
Tabla 10. Ficha Técnica de los filtros.....	50
Tabla 11. Ficha Técnica del tanque de almacenamiento	51
Tabla 12. Resultados caracterizaciones primera toma de muestras.....	54
Tabla 13. Resultados caracterizaciones segunda toma de muestras.....	57
Tabla 14. Resultados concentraciones cloro libre y cloro agregado	59
Tabla 15. Resultados concentración, turbiedad y % remoción de coagulación por barrido.....	60
Tabla 16. Visitantes mensual parque Jaime Duque.....	63
Tabla 17. Dotación Neta Máxima.....	64
Tabla 18. Parámetros de diseño torre de aireación.....	68
Tabla 19. Parámetros de diseño clarificador	70
Tabla 20. Parámetros de diseño filtros	70
Tabla 21. Características filtros convencionales	71
Tabla 22. Resultados parámetros con IRCA	77
Tabla 23. Alternativa I.....	80
Tabla 24. Costos alternativa I.....	81
Tabla 25. Alternativa II. Cloro gaseoso de alimentación al vacío.....	82
Tabla 26. Costos alternativa II. Cloro gaseoso de alimentación al vacío.....	86
Tabla 27. Alternativa III. Cloro gaseoso de alimentación a presión	87
Tabla 28. Costos alternativa III. Cloro gaseosos de alimentación a presión.....	89
Tabla 29. Matriz de decisión para alternativas propuestas.....	91

Tabla 30. Descripción y calificación	95
Tabla 31. Selección de alternativa	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Carga hidráulica.....	38
Ecuación 2. Tiempo de retención	38
Ecuación 3. Velocidad de filtración	38
Ecuación 4. Concentración y volumen	42
Ecuación 8. Cálculo IRCA	43
Ecuación 9. Carga hidráulica	68
Ecuación 10. Concentración aplicada por tiempo	72
Ecuación 11. Caudal bomba dosificadora	73

RESUMEN

La siguiente investigación presenta el diseño de una propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque, la cual se encarga de distribuir el agua a todas las instalaciones del parque abasteciendo a las más de mil personas y 500 trabajadores que lo frecuentan semanalmente. El proyecto constó de tres fases, en las cuales se relaciona la parte investigativa y experimental a partir de un diagnóstico del funcionamiento del proceso, la identificación de falencias técnicas y operativas en el sistema de tratamiento y el diseño y selección de la alternativa de optimización. En la primera fase fue necesario la realización de toma de muestras, caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas, pruebas hidráulicas, operativas y de tratabilidad. En la segunda se estableció el diseño de tres alternativas para la optimización de la PTAP, a partir del cálculo del IRCA, evaluación del cumplimiento normativo y el funcionamiento operativo del sistema de tratamiento. En la tercera se evaluó cada una de las alternativas con base en criterios técnicos, económicos y ambientales a partir de una matriz de evaluación, donde la alternativa I (cámara de contacto de cloro) fue seleccionada para la optimización de la PTAP con un puntaje de 445 sobre 500, la cual corresponde a la construcción de tres baffles en cada tanque de almacenamiento con el fin de cumplir el tiempo de contacto de cloro. Para el manejo operativo de esta se tendrá en cuenta la curva de dosificación de la bomba, con el fin de establecer el porcentaje regulación de caudal que se requiere para la dosificación del hipoclorito teniendo en cuenta la concentración que se requiere para el proceso de desinfección.

1. INTRODUCCIÓN

El agua potable debe reunir condiciones químicas, físicas y biológicas que le permita ser aptas para el consumo humano, para esto es necesario realizar una serie de procedimientos que ajusten las condiciones iniciales, desde su origen hasta el consumo atendiendo al requerimiento normativo. Los acueductos deben garantizar un óptimo tratamiento al agua que envían a los consumidores y así evitar posibles afectaciones a la salud producidas por la presencia de elementos y microorganismos propios de esta.

Los sistemas de tratamiento de agua potable cuentan con una serie de operaciones unitarias, que cumplen diversas funciones para eliminar o reducir las características no deseables del agua. Es importante resaltar que el buen funcionamiento del sistema no solo depende de las operaciones que lleve a cabo la planta sino del manejo operativo que se realice, pues un mal seguimiento de los parámetros o la incorrecta dosificación de químicos puede ser el detonante del impacto generado por el consumo de un agua que no cumple con las características adecuadas. Por consiguiente, el diagnóstico y elaboración de alternativas son el procedimiento para verificar y optimizar el estado actual de un sistema de abastecimiento de agua potable, donde se hace necesario contar con un estudio de las condiciones físicas, técnicas y operativas de la planta para mejorar su eficiencia y eficacia.

El parque Jaime Duque cuenta con una planta de tratamiento de potabilización, la cual se encarga de suministrar el agua a las diferentes atracciones e instalaciones del parque, y de la cual se abastece las más de 1.000 personas que lo visitan semanalmente, los 500 trabajadores y las 400 especies que habitan en él. A la planta se le han venido realizando ciertas modificaciones desde su arranque y puesta en marcha, sin embargo, estas no fueron eficientes debido a que se sigue presentando incumplimiento con la normatividad en algunos parámetros que pueden estar generando afectaciones a la comunidad del parque. Por ende, el presente proyecto tiene como finalidad establecer una propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable con el objeto de cumplir con los estándares y reglamentaciones ambientales y así abastecer a las instalaciones del parque

con una buena calidad del agua, por lo que se establece la necesidad de proponer acciones de mejora para las falencias que se encuentren en el funcionamiento y en el manejo operativo de esta.

El presente documento está estructurado por los siguientes capítulos, los cuales están relacionados para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos del proyecto. El primero es el marco de referencia, el cual se compone del marco conceptual, teórico y legal, cada uno enfocado hacia el tratamiento del agua potable. El segundo es la metodología donde se establece el procedimiento que se llevó a cabo para cada una de las fases. La primera corresponde al diagnóstico del proceso de tratamiento actual de la planta donde se identificaron las falencias técnicas y operativas que fueron objeto de optimización. La segunda fue proponer alternativas para el mejoramiento de la PTAP, con base en los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas, microbiológicas, pruebas hidráulicas y operativas y la tercera fue establecer la propuesta de optimización más viable a partir de la matriz donde se evaluaron los criterios técnicos, económicos y ambientales. El tercer capítulo corresponde a los resultados y análisis de cada una de las fases mencionadas que establece el concepto de las estructuras de cada unidad que compone la PTAP, el cálculo del IRCA y el diseño y presupuesto de la alternativa para optimizar el sistema de tratamiento. El cuarto y quinto capítulo hace referencia a las conclusiones y recomendaciones establecidas para mejorar el funcionamiento técnico y operativo del la PTAP del parque. Por último, están los anexos donde se encuentran los cálculos realizados para el diseño de cada una de las alternativas y los diferentes planos de la propuesta de optimización seleccionada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar una propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque ubicado en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca.

2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el proceso de tratamiento actual de la planta, con el fin de identificar las falencias técnicas y operativas que serán objeto de optimización.
- Proponer alternativas para el mejoramiento de la PTAP, con base en las caracterizaciones fisicoquímicas, microbiológicas, pruebas hidráulicas y operativas.
- Establecer una propuesta de optimización viable según criterios técnicos, económicos y ambientales, que aseguren la eficacia e incrementen la eficiencia del sistema.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Marco Conceptual

- **Agua potable:** Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 1575 y Resolución 2115 del 2007, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud. (EPM, 2019)

- **Planta de potabilización:** Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable. (EPM, 2019)

- **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. (EPM, 2019)

- **Análisis básicos:** Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*. (Resolución 2115,2007)

- **Análisis físico y químico del agua:** son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas. (Resolución 2115,2007)

- **Cloro residual libre:** Es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito. (Resolución 2115,2007)

- **Coliformes:** Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano. (Resolución 2115,2007)

- **Escherichia coli - e-coli:** Bacilo aerobio gram negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la galactosidasa y β -glucuronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano. (Resolución 2115,2007)

- **Población servida o atendida:** Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua. (Resolución 2115,2007)

- **Tratamiento o potabilización:** Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano. (Resolución 2115,2007)

- **Valor aceptable:** es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud. (Resolución 2115,2007)

- **Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado. (Resolución 330, 2017).

- **Análisis fisicoquímico de agua:** Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas. (Resolución 330, 2017).
- **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. (Resolución 330, 2017).
- **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). (Resolución 330, 2017).
- **Carbón activado:** Forma de carbón altamente adsorbente, usada para remover material orgánico disuelto causante del mal sabor, color y olor del agua. (Resolución 330, 2017).
- **Aireación:** Operación unitaria que permite el contacto entre la masa de agua y el aire con el fin de producir una difusión de oxígeno del aire en el agua. (González, 2015).
- **Coagulación y floculación:** Es el proceso en el cual se desestabilizan los sólidos suspendidos y se producen las condiciones para que ellos se unan entre sí, aglutinándose y la floculación es el fenómeno en el que las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras, transportándose dentro del líquido para hacer contacto, establecer puentes entre sí y formar coágulos mayores. (González, 2015).
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. (Resolución 330, 2017).
- **Filtración:** Es la operación unitaria que se encarga de separar las partículas suspendidas no sedimentadas de un cuerpo de agua, a través de su paso por un medio poroso. (González, 2015).

- **Lecho de filtración:** Medio constituido por material granular poroso por el que se hace percolar un flujo. (Resolución 330, 2017).

- **Muestra compuesta de agua:** Integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el periodo de toma de muestras. (Resolución 330, 2017).

- **Planta de tratamiento o de potabilización:** Conjunto de obras, equipos, materiales y personal necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable. (Resolución 330, 2017).

- **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. (Resolución 330, 2017).

- **Tratamiento o potabilización:** Es el conjunto de operaciones y procesos unitarios que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1575 de 2007 y sus resoluciones reglamentarias, en particular, la Resolución 2115 de 2007. (Resolución 330, 2017).

3.2. Marco Teórico

3.2.1 Municipio de Tocancipá

Tocancipá es un municipio del departamento de Cundinamarca (Colombia), que se encuentra ubicado en la Provincia de Sabana Centro, a 22 km de Bogotá, saliendo por la Autopista Norte (en el corregimiento de Briceño inicia la Concesión Briceño-Tunja-Sogamoso).

Tocancipá es reconocido por el Parque Jaime Duque y el Autódromo de Tocancipá, donde se realizan diferentes competencias de automovilismo y motociclismo. (Alcaldía de Tocancipá, 2018).

- **Extensión total:** 73,51 Km²
- **Extensión área urbana:** 0,62 Km²
- **Extensión área rural:** 72,89 Km²
- **Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar):** 2605
- **Temperatura media:** 16° C

Para el desarrollo del presente proyecto, se describieron los aspectos más importantes que permitieron la contextualización sobre el proceso de una planta de tratamiento de agua potable y las funciones de cada operación como la torre de aireación, proceso de coagulación y floculación, tanque de equilibrio, filtración y cloración que la conforman, además se verificaron 5 fuentes bibliográficas especializadas en el tema que serán establecidas en el proyecto (Organización Mundial de Salud, 2006), (González, 2015), (Romero, 2006), (AGUASISTEC, 2017), (Resolución 2115, 2007).

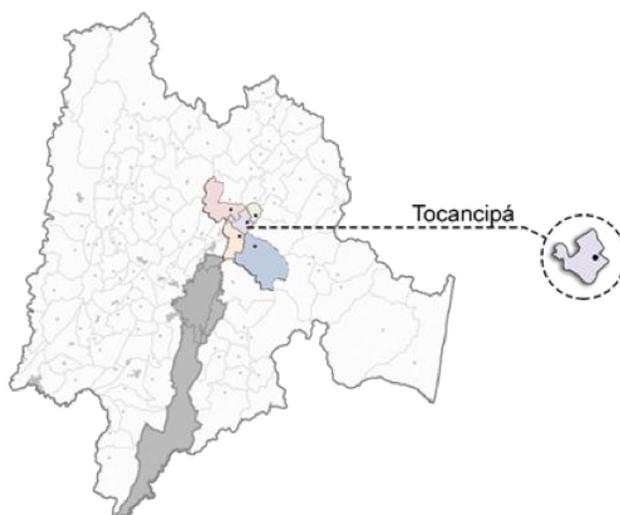


Ilustración 1. Localización municipio Tocancipá

Fuente: Autores.

Hasta hace unos años la calidad de agua destinada a un abastecimiento se centraba principalmente en que estuviera exenta de sabores, olores, no fuera muy dura y no contuviera bacterias patógenas, confiándose en gran medida en que el poder auto depurador de los embalses o ríos, y la protección de las zonas de captación eran suficientes para lograr una aceptable calidad que se completaría con un tratamiento simple de decantación, filtración y desinfección, así como hacer determinadas comprobaciones generalmente bacteriológicas del agua en la red, ausencias de sabores y olores y presencia de ligeras concentraciones del desinfectante empleado, pero con el paso del tiempo ha venido cambiando la forma de realizar el tratamiento del agua.

3.2.2 Información general del parque Jaime Duque

El parque Jaime Duque abrió sus puertas al público el 27 de febrero de 1,983. Está situado en el municipio de Tocancipá en el kilómetro 34 de la Autopista Norte, a 30 minutos de la ciudad de Bogotá. Es considerado por el canal Discovery Travel & Living como uno de los cinco mejores parques de Latinoamérica. (Parque Jaime Duque, 2016).

Para abastecer a más de una de las actividades como atracciones, restaurante y baños es necesario la optimización de la PTAP, ya que logra la reutilización del recurso dentro del parque.

Además de ello, la atracción del agua superficial “lago de las bicicletas”, se abastece por agua lluvia y escorrentía, sin embargo, por las diferentes especies que habitan allí genera altas concentraciones de materia orgánica lo cual es necesario generar la disminución de ella por medio de la planta de tratamiento de agua potable.

3.2.3 Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS define la planta de tratamiento de agua potable como el conjunto de obras, equipos, materiales y personal necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable. En este sentido, el diseño, la operación y el mantenimiento del sistema son actividades fundamentales para que el sistema de tratamiento brinde garantías sobre la calidad del agua para consumo humano. Según el documento Procesos unitarios y plantas de tratamiento de la CEPIS del año 1990 indica que las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta. También se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente. (Resolución 330, 2017).

Las etapas del proceso de una PTAP son:

- Pretratamiento: Torre de aireación natural o forzada.
- Coagulación y Floculación.
- Filtración.
- Desinfección con cloro.
- Almacenamiento.

La planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque tiene como finalidad generar agua con características adecuadas para lograr abastecer a los restaurantes, atracciones, entre otras instalaciones, ya que son actividades que requieren de este recurso para su adecuado funcionamiento. Para lo cual es necesario llevar a cabo un estudio de optimización que garantice la calidad del agua siendo apta para los usos que se requieren y su correcto suministro. Este sistema de tratamiento se abastece del lago las bicicletas, agua a la cual se le realiza el tratamiento y compone de las siguientes unidades: torre de aireación, tanque de equilibrio, clarificador, filtros, tanque de cloración y tanque de almacenamiento.



Ilustración 2. PTAP Jaime Duque

Fuente: Autores

3.2.4 Principios de tratamiento del agua destinada al consumo humano

Conocido el origen de un agua y sus características físicas, químicas y microbiológicas, así como su posible microcontaminación, después de comparadas estas características con las que se requieren para un agua destinada al consumo humano, puede juzgarse sobre la necesidad de su tratamiento. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Este tratamiento puede efectuarse de forma más o menos completa, según los defectos que deban corregirse. Pueden ser necesarios varios procedimientos, y, en este caso, deberá estudiarse su combinación de la forma más razonable. Tanto desde el punto de vista de la eliminación de dichos defectos, como de las condiciones locales de instalación. En la Tabla No. 1 se puede evidenciar la clasificación de algunas etapas de tratamiento del agua. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Se debe tener en cuenta instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano como el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano. Para el cálculo del IRCA al que se refiere el artículo 12 del Decreto 1575 de 2007 se asignará el puntaje de riesgo contemplado en la tabla 2 a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la resolución 2115 de 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.

Tabla 1. Puntaje de riesgo

Características	Puntaje de riesgo
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro Residual libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza total	1
Sulfatos	1

Hierro total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio (Al ³⁺)	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Echerichia Coli	25
Sumatoria Puntajes asignados	100

Fuente: Resolución 2115, 2007.

Teniendo en cuenta los resultados del IRCA por muestra, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente:

Tabla 2. Clasificación del nivel del riesgo según el IRCA

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente: Resolución 2115, 2007.

3.2.5 Operaciones unitarias

3.2.5.1 Aireación

Operación unitaria que permite el contacto entre la masa de agua y el aire con el fin de producir una difusión de oxígeno del aire en el agua. (González, 2015). Las funciones más importantes de la aireación son (Romero, 2006)

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el OD.
- Disminuir la concentración de (CO₂)
- Disminuir la concentración de (H₂S).
- Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- Oxidar hierro y manganeso.
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

El contacto entre el aire y la masa de agua se puede llevar a cabo por métodos simples como el movimiento del agua en medio de un canal abierto, donde esta se puede oxigenar a través del canal o a través de un sistema de mezclado hidráulico, caída libre, plano inclinado, cascadas o escalones. En todos ellos la difusión se basa en el movimiento, y se utilizan principalmente cuando la concentración de oxígeno que se desea difundir es poca, del orden de un par de miligramos por litro, como es el caso de tratamientos de agua para potabilización proveniente de fuentes hídricas sin impactos significativos, o cuando a la fuente no le llegan vertimientos domésticos o industriales (González, 2015).

3.2.5.3 Coagulación-Floculación

Esta operación es catalogada como el corazón de una planta de tratamiento, ya que en esta son removidos los sólidos suspendidos que no sedimentan debido a que su peso es menor al del agua. También se conoce como clarificación, porque se busca inducir la formación de sólidos más grandes por asociación de pequeñas unidades para que alcancen un peso adicional y puedan ser sedimentadas fácilmente. Si el agua es proveniente de una fuente

hídrica para potabilización, se conoce también como mezcla rápida y mezcla lenta. (González, 2015).

Esta operación consta de dos etapas bien definidas e inmediatamente continuas: la coagulación es el proceso en el cual se desestabilizan los sólidos suspendidos y se producen las condiciones para que ellos se unan entre sí, aglutinándose; y la floculación es el fenómeno en el que las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras, transportándose dentro del líquido para hacer contacto, establecer puentes entre sí y formar coágulos mayores. (González, 2015).

El proceso de coagulación dura fracciones de segundo e inicia cuando se adicionan unas sustancias químicas denominadas *coagulantes*. Los coagulantes son sustancias generalmente iónicas (catiónicas o aniónicas) o no iónicas, y pueden ser de varios tipos, (González, 2015):

- Naturales: aquellos que se encuentran en plantas o son de origen animal, como carbohidratos y polisacáridos (almidones y gelatinas de animales); son poco tóxicos, pero tienen el inconveniente de aumentar el contenido de la materia orgánica.
- Metálicos: son sales metálicas, principalmente provenientes del hierro y el aluminio, como el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal, el cloruro de polialuminio, el cloruro férrico o el sulfato ferroso, que hacen que la sedimentación sea rápida por el peso de los metales. Se adicionan diluidas, pero añaden concentraciones de metales pesados al agua que pueden ser tóxicos.
- Coagulantes sintéticos: son los derivados del petróleo y del carbón. Hay muchos derivados de la acrilamida y también de las sílicas activadas. Son llamados *polielectrolitos* por su naturaleza polimérica, con la cual unen las partículas de sólidos suspendidos a manera de red. Uno de los más comunes es la poliacrilamida o acrilato de sodio.

Además, de ello existen básicamente dos tipos distintos de coagulación: La coagulación por absorción y la coagulación por barrido. La primera puede ser de dos clases:

- a. Coagulación por neutralización, que consiste en la reducción del potencial respectivo de las cargas.
- b. Coagulación por puente químico que se realiza simultáneamente o después de la neutralización.

La coagulación por barrido consiste, en cambio, en dosificar los coagulantes metálicos con concentraciones tales que excedan ampliamente los límites de solubilidad de los hidróxidos de aluminio o hierro en el agua y produzcan una masa tridimensional esponjosa que incorpore en ella las partículas de turbiedad con las cuales colisiona.

Esto tiene especial importancia en la filtración directa porque en ella se pretende trabajar en lo posible con adsorción-desestabilización pura para evitar la producción de hidróxidos cuyo gran volumen llena rápidamente los poros de los medios filtrantes, aumenta la cantidad de lodos producidos y disminuye la resistencia al cizallamiento del floc. No siempre es viable realizar este tipo de coagulación, pero entre más se acerque el operador a ella obtendrá mejores resultados con la filtración directa, generando mejor calidad del efluente. (Arboleda, 2000)

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados (Romero, 2006)

De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos. (Romero, 2006)

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. (Romero, 2006)

La coagulación-floculación busca, (González, 2015):

- Removerla turbiedad que no sedimenta rápidamente y el color verdadero.
- Eliminar bacterias, virus y organismos patógenos por adherencia a los sólidos formados, y sustancias productoras de olor y sabor.

3.2.5.4 Filtración

Es la operación unitaria que se encarga de separar las partículas suspendidas no sedimentadas de un cuerpo de agua, a través de su paso por un medio poroso. (González, 2015).

Filtros: son unidades donde se lleva a cabo la filtración; se clasifican en varias categorías, (González, 2015):

- Por medio filtrante: homogéneos, aquellos constituidos por un solo material filtrante; y mixtos, compuestos por varios materiales.
- Por profundidad: convencionales, generalmente de 0,6 a 0,75 m; y profundos, de 0,9 a 2,4 m.
- Por velocidad de filtración: rápidos con lecho de un solo material (de arena fina o gruesa, y de antracita), rápidos con lecho múltiple (de arena y antracita, o de antracita, arena e ilmenita), rápidos con flujo ascendente, de flujo mixto y lentos.

La configuración de los filtros se encuentra compuestos por, (González, 2015):

- Lecho filtrante: es el medio poroso donde quedan atrapados los flocs que no fueron removidos en el proceso de sedimentación. El lecho puede ser de arena, compuesto de material silíceo. Este es el que más se ha usado en el mundo debido a su economía. También hay lechos de antracita o carbón, o mixtos de arena-antracita.
- Lecho de soporte: es el medio que soporta el lecho filtrante. Generalmente se utiliza grava de tamaño y profundidad de acuerdo al tamaño de la capa inferior del lecho filtrante que sustente.

3.2.5.5 Desinfección

Es la destrucción de organismos causantes de enfermedades presentes en el agua. Dentro de ellos se encuentran bacterias como *Salmonellas*, *Shigellas* (disentería), *Vibrio comma* (cólera), *Yersinia* y *E. coli*, protozoarios como amebas; virus como hepatitis, poliomielitis y otros; y tremátodos como *Ascaris* y *schistosoma manzoni*. Para su eliminación se utilizan sustancias llamadas desinfectantes, las cuales:

- Deben ser capaces de destruir los organismos causantes de enfermedades.
- Deben realizar esta labor a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuado.
- No deben hacer el agua tóxica o peligrosa para la salud, o el sabor desagradable.
- Deben ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- Deben dejar un efecto residual para que proteja el agua contra posteriores contaminaciones.

Para la desinfección se utiliza el cloro que es aquel que elimina los agentes patógenos que se encuentran presentes en el agua a tratar. El sistema de dosificación termina en el punto en que la solución de cloro se mezcla con el agua que va a ser desinfectada.

3.2.6 Peligros microbianos relacionados con el agua de consumo

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos. La carga para la salud pública es función de la gravedad de la enfermedad o enfermedades relacionadas con los agentes patógenos, de su infectividad y de la población expuesta. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Un fallo general del sistema de sistema de protección de la seguridad del abastecimiento de agua puede ocasionar una contaminación a gran escala del agua y, potencialmente, epidemias detectables. Otras averías y la contaminación leve, posiblemente en ocasiones repetidas, pueden ocasionar brotes esporádicos significativos de enfermedades, pero no es probable que las autoridades de vigilancia de la salud pública los asocien con la fuente de abastecimiento de agua de consumo. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

La transmisión por el agua de consumo es solo uno de los vehículos de transmisión de los agentes patógenos transmitidos por la vía fecal-oral. Pueden ser también vehículo de transmisión los alimentos contaminados, las manos, los utensilios y la ropa, sobre todo cuando el saneamiento e higiene domésticos son deficientes. Para reducir la transmisión de enfermedades por la vía fecal-oral es importante mejorar la calidad del agua y su disponibilidad, así como los sistemas de eliminación de excrementos y la higiene general. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

3.2.6.1 Peligros de tipo químico en el agua de consumo

Se ha demostrado que cierto número de contaminantes químicos causan efectos adversos para la salud de las personas como consecuencia de una exposición prolongada por el agua de consumo. No obstante, se trata solo de una proporción muy pequeña de las sustancias químicas que pueden estar presentes en el agua de consumo procedentes de diversas fuentes. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Ciertas sustancias consideradas peligrosas para la salud afectan a la aceptabilidad del agua de consumo de modos que, por lo general, conllevarían el rechazo del agua que contiene concentraciones bastante menores que las consideradas peligrosas para la salud. Los valores de referencia basados en efectos sobre la salud correspondientes a tales sustancias se necesitan para, por ejemplo, interpretar los datos recopilados en respuesta a reclamaciones de los consumidores. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Los contaminantes químicos del agua de consumo se pueden clasificar de varias maneras; sin embargo, la más adecuada es considerar la fuente principal del contaminante, es decir, agrupar las sustancias químicas en función del factor que se puede controlar con mayor eficacia. Esta clasificación facilita el desarrollo de métodos concebidos para evitar o reducir al mínimo la contaminación, en lugar de métodos basados primordialmente en la medición de las concentraciones de contaminantes en las aguas finales.

En general, hay dos tipos de métodos de gestión de los peligros de tipo químico en el agua de consumo: los peligros derivados fundamentalmente del agua de origen se controlan, por ejemplo, mediante la selección del agua de origen, el control de su contaminación, su tratamiento o su mezcla con otras aguas, mientras que los procedentes de materiales y sustancias químicas utilizados en la producción y distribución de agua de consumo se controlan optimizando los procesos o especificando las características de los productos utilizados. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

3.2.6.2 Aspectos relativos a la aceptabilidad

La mayoría de los consumidores no disponen de medios para juzgar por sí mismos la seguridad del agua que consumen, pero su actitud hacia el agua de consumo y hacia sus proveedores de agua se verá afectada en gran medida por los aspectos de la calidad del agua que son capaces de percibir con sus propios sentidos. Es natural que los consumidores recelen del agua que parezca sucia o tenga un color anormal, o que tenga un olor o sabor desagradable, aunque estas características puedan no tener, en sí mismas, ninguna consecuencia directa para la salud.

➤ **Aluminio**

Las fuentes más comunes de aluminio en el agua de consumo son el aluminio de origen natural y las sales de aluminio utilizadas como coagulantes en el tratamiento del agua. La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,1–0,2 mg/l suele ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del floculó de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

➤ **Cloruro**

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

➤ **Cloro**

La mayoría de las personas pueden detectar, mediante el olfato o el gusto, la presencia en el agua de consumo de concentraciones de cloro bastante menores que 5 mg/l, y algunas incluso pueden detectar hasta 0,3 mg/l. Si la concentración de cloro libre residual alcanza valores de 0,6 a 1,0 mg/l, aumenta la probabilidad de que algunos consumidores encuentren desagradable el sabor del agua. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

➤ **COT**

El carbono orgánico reacciona con los compuestos químicos que se utilizan para la desinfección, como el cloro, y forma subproductos de la desinfección (SPD) que pueden ser cancerígenos. La reducción del carbono orgánico antes de realizar la desinfección puede disminuir de forma significativa la exposición perjudicial del público a (SPD). (HACH, 2016)

➤ **Color**

Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada

(principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

➤ **Hierro**

El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías. En niveles por encima de 0,3 mg/l, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0,3 mg/l, aunque pueden aparecer turbidez y coloración. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

➤ **Turbidez**

La turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 UNT suele ser aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

3.3. Marco Legal

El objetivo de las leyes y normas nacionales relativas al agua de consumo no debe ser cerrar los sistemas de abastecimiento deficientes, sino garantizar que el consumidor tenga acceso a agua potable inocua. Idóneamente, un control eficaz de la calidad del agua de consumo se apoya en la existencia y aplicación de leyes, normas y códigos adecuados. La naturaleza específica de la legislación de cada país dependerá de consideraciones de carácter nacional, constitucional y de otro tipo.

Tabla 3. Normativa relacionada con el proyecto

NORMA	DISPOSICIONES	INCIDENCIA EN EL PROYECTO
Resolución 2115 de 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	Tiene como objeto indicar los valores máximos aceptables acerca de las características físico y químicas que debe tener el agua para el consumo humano. Establece los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano, como el IRCA, IRABA _m y los procesos básicos de control de la calidad del agua para consumo humano.
Ley 1333 de 2009	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.	Define que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales y las Corporaciones Autónomas Regionales, así como los departamentos, municipios y distritos, quedan investidos a prevención de la respectiva autoridad en materia sancionatoria ambiental. En consecuencia, estas autoridades están habilitadas para imponer y ejecutar las medidas preventivas y sancionatorias.

Decreto 1076 del 2015	Se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.	El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables.
Resolución 330 de 2017.	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS	Tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.	Tiene por objetivo establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

Fuente: Autores.

4. METODOLOGÍA

La metodología que se llevó a cabo en el proyecto comprende tres fases, en las cuales se relaciona la parte investigativa y experimental. Éstas abarcan una serie de actividades como el diagnóstico del funcionamiento del proceso de tratamiento, la identificación de falencias técnicas y operativas en el sistema y el diseño de la alternativa de optimización más viable. Para ello fue necesario la realización de toma de muestras, pruebas hidráulicas, caracterizaciones fisicoquímicas, planos, diagramas de instrumentación y tubería, entre otros.

4.1. Fase I. Diagnóstico del funcionamiento actual de la PTAP, obteniendo información cualitativa y cuantitativa del sistema de tratamiento.

4.1.1. Revisión de la PTAP

Se realizó un reconocimiento del estado de cada unidad que compone la PTAP verificando el estado físico de las estructuras y de los medios (carbón activado, arena y antracita) que se encuentran en algunas de sus unidades, estableciendo un concepto favorable; si no presentan ninguna anomalía, favorable con requerimiento; si presentan grietas u oxidación en las paredes de las unidades, o desfavorable si presentan fugas y/o rupturas. Además, se verificó la operación y proceso que se lleva a cabo en cada unidad con su correspondiente utilización de reactivos químicos, el cumplimiento de las condiciones de seguridad, y recopilación de planos para el respectivo análisis del diseño.



Ilustración 3. Toma de medidas unidades PTAP

Fuente: Autores.

4.1.2. Toma de muestras

Se realizaron dos muestreos de tipo puntual al afluente y efluente de la PTAP (agua captada y agua tratada), a las entradas y salidas de cada unidad, (torre de aireación, tanque de equilibrio, clarificador, filtros, tanque de cloración y tanque de almacenamiento) y a dos puntos de distribución agua potable del parque con el fin de determinar las eficiencias de tratamiento de cada una y el cumplimiento con la resolución 2115 de 2007. Para ello se tuvo en cuenta los lineamientos establecidos por “El manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio del Instituto Nacional de Salud”.



*Ilustración 4. Toma de muestra al afluente del tanque de equilibrio
Fuente: Autores.*



*Ilustración 5. Toma de muestra al Punto de distribución
Fuente: Autores.*

4.1.3. Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se llevaron a cabo por medio del ensayo de jarras. Estas pruebas consisten en simular el proceso de coagulación - floculación que se lleva a cabo en la planta de tratamiento. Para ello fue necesario utilizar seis (6) jarras cada una con una concentración diferente de sulfato de aluminio, determinar la alcalinidad de la muestra a analizar y realizar un ajuste del pH teniendo en cuenta que es una de las variables más influyentes en el proceso de coagulación, dado que si se realiza fuera del rango de pH se disminuye la solubilidad del coagulante en el agua lo que requerirá concentraciones más altas del mismo y tomará mayor tiempo para la formación del floc.

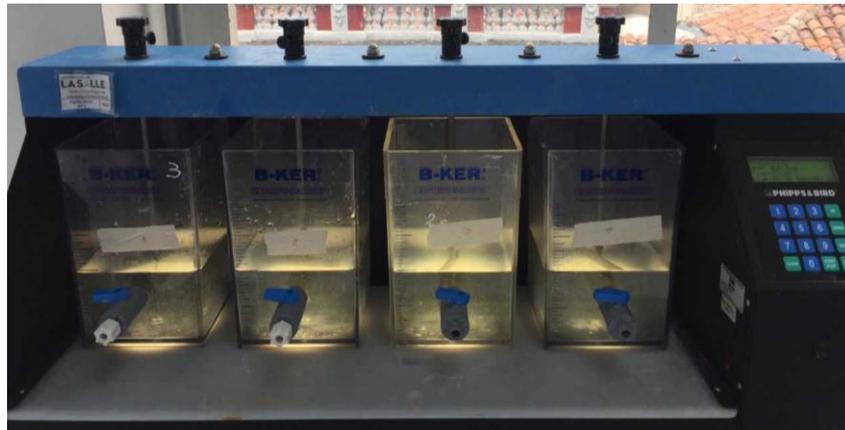


Ilustración 6. Ensayo de jarras

Fuente: Autores.

Partiendo del resultado de la alcalinidad se duplicó la concentración para dosificar el coagulante en cada una de las jarras y se iba aumentando con intervalos de 100 mg/L. Se estableció un tiempo de 30 segundos para mezcla rápida con 120 rpm y 10 minutos de mezcla lenta a 20 rpm, teniendo en cuenta que estos son los tiempos que más se asemejan a las condiciones reales del clarificador de la PTAP. Seguido a esto se dejaron sedimentar los flocs que se había formado como se puede evidenciar en la ilustración 7 y se realizó la medición de la turbiedad para cada una de las jarras.

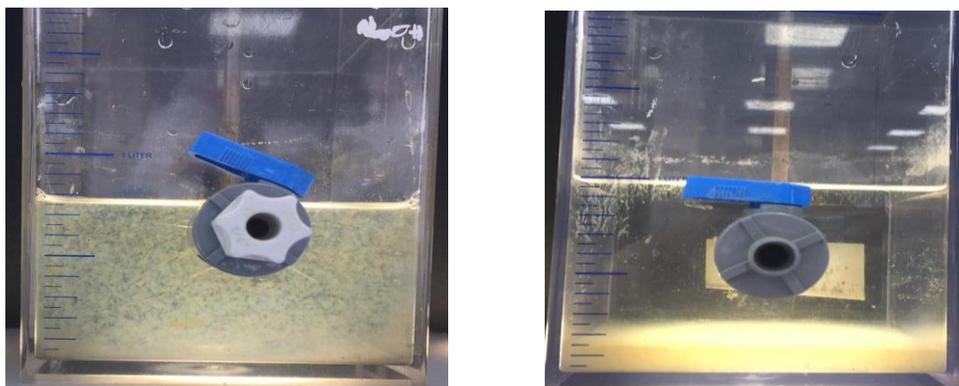


Ilustración 7. Formación de flocs y sedimentación

Fuente: Autores.

4.1.4. Pruebas hidráulicas y operativas

El objeto de estas pruebas era la comprobación del correcto montaje, funcionamiento operativo de cada unidad, accesorios, equipos e instrumentos y la proyección que se utilizó para la construcción de la planta. Para ello fue necesario tomar las medidas de cada una de las unidades, para así realizar el cálculo de carga hidráulica, tiempo de retención, velocidad de filtración, y caudal de operación del sistema de tratamiento.

La determinación de estos parámetros se realizará a partir de las siguientes ecuaciones.

$$Carga\ hidráulica = \frac{Caudal\ (m^3/día)}{área\ total\ (m^2)}$$

Ecuación 1. Carga hidráulica

Fuente. (Romero, 2006)

$$tiempo\ de\ retención = \frac{Volumen\ (m^3)}{Caudal\ (m^3/s)}$$

Ecuación 2. Tiempo de retención

Fuente. (Romero, 2006)

$$velocidad\ de\ filtración = \frac{Caudal\ (m^3/s)}{área\ de\ filtración\ (m^2)}$$

Ecuación 3. Velocidad de filtración

Fuente. (Romero, 2006)

Para las pruebas operativas fue necesario verificar el manual de operación e identificar las funciones del operario, el horario y la frecuencia en que las realiza.



*Ilustración 8. Operario PTAP
Fuente: Autores.*

4.1.5. Caracterizaciones fisicoquímicas y biológicas

Las caracterizaciones fisicoquímicas se realizaron en el Centro Tecnológico de Ambiente y Sostenibilidad de la Universidad de La Salle (CTAS), según los métodos de medición establecidos por el mismo. Para las caracterizaciones microbiológicas se realizaron dos ensayos uno por siembra masiva y el otro mediante el tren de filtración donde se utilizó agar MacConkey y agar EMB, para determinar el crecimiento de coliformes y E. coli en el afluente, efluente y punto de distribución de la PTAP.



*Ilustración 9. Preparación de medios y ensayo tren de filtración.
Fuente: Autores.*

A continuación, se presenta la tabla 7 y 8 donde se establecen los parámetros que se realizaron para cada una de las unidades estableciendo los métodos de medición.

Tabla 4. Métodos de medición para los parámetros establecidos.

Parámetro	Unidad	Método Analítico
Color	UPC	Espectrofotometría
Turbiedad	NTU	Nefelometría
pH	--	Potenciometría
Cloro residual	mg/L	Espectrofotometría
Alcalinidad	mg/L	Volumétrico
Manganeso	mgMn/L	Espectrofotometría
Zinc	mgZn/L	Fotometría
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	Volumétrico
Sulfatos	mg/L	Espectrofotometría
Hierro Total	mgFe/L	Espectrofotometría
Nitratos	mgNO ₃ /L	Espectrofotometría
Nitritos	mgNO ₂ /L	Colorimetría
Aluminio	mgAl/L	Espectrofotometría
COT	mg/L	Colorimetría
Coliformes	UFC/100 ml	Filtración por membrana
E. Coli	UFC/100 ml	Filtración por membrana

Fuente: Autores.

Tabla 5. Parámetros realizados de la PTAP

PARÁMETRO	AFLUENTE	TORRE AIREACIÓN	ENTRADA CLARIFICADOR	ENTRADA TANQUE DE EQUILIBRIO	ENTRADA FILTRO I	SALIDA FILTRO II	EFLUENTE	PUNTO DISTRIBUCIÓN
Color (UPC)								
Turbiedad (NTU)								
pH								
Cloro residual (mg/L)		----	----	----	----	----		
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)		----	----	----	----	----		
Manganeso (mg/L)					----	----		
Zinc (mg/L)		----	----	----	----	----		
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)		----	----	----	----	----		
Sulfatos (mg/L)		----	----	----	----	----		
Hierro Total (mg/L)					----	----		
Nitratos (mg/L)		----		----	----	----		
Nitritos (mg/L)		----		----	----	----		
Aluminio (mg/L)		----	----	----	----	----		
COT (mg/L)		----	----	----	----	----		
Coliformes T. (UFC/100 ml)		----	----	----	----	----		
E. Coli (UFC/100 ml)		----	----	----	----	----		

Nota: Los cuadros que se encuentran en color gris, no se realizaron.

Fuente: Autores.

4.1.5.1 Curva demanda de cloro

Teniendo en cuenta, que una de las concentraciones de cloro excedió los límites máximos permisibles de la normativa nacional vigente, se determinó la dosis óptima para el tratamiento de desinfección, para lo cual se realizó la curva de demanda de cloro, donde se preparó una solución madre impactada con hipoclorito 7% a una concentración de 50 ppm, se estandarizó la misma y se procedió a llenar 12 balones aforados con 50 mL de muestra y se impactó cada uno con concentraciones diferentes de 0,1 a 1,2 ppm de la solución madre teniendo en cuenta la ecuación 1 y pasados 30 minutos del tiempo de contacto se midió cloro residual libre para cada una de las muestra preparadas.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Ecuación 4. Concentración y volumen

V_1 = Volumen de solución madre a adicionar

C_1 = Concentración solución madre

V_2 = Volumen de muestra

C_2 = Concentración de cloro establecida



Ilustración 10. Montaje elaboración curva de cloro

Fuente: Autores.

4.2. Fase II. Propuesta de alternativas con base en caracterizaciones fisicoquímicas, pruebas hidráulicas y eficiencia de las unidades.

4.2.1. Análisis de información recolectada

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos en la primera fase, teniendo en cuenta el cumplimiento normativo de cada uno de los parámetros evaluados, el manejo operativo que se está llevando actualmente a la planta por parte del operario y el diseño de cada una de las unidades tomando como base lo establecido en la resolución 330 de 2017 – Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS.

Para el análisis del cumplimiento normativo se determinó el IRCA – índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano a partir de la siguiente ecuación:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a todas características analizadas}} \times 100$$

Ecuación 5. Cálculo IRCA

Fuente. Resolución 2115, 2007

4.2.2. Diseño de alternativas

En esta fase se realizaron tres diseños diferentes del sistema de tratamiento de agua potable del parque, basados en los resultados obtenidos de las caracterizaciones fisicoquímicas, pruebas hidráulicas, cumplimiento normativo y eficiencia de las unidades. Para lo cual se estableció un PFD - Diagrama de Flujo de Proceso, en el cual se realiza una presentación esquemática del sistema de tratamiento, sus condiciones de operación normal y su control básico. Estos diagramas proporcionan una información clara, ordenada y concisa de todas las unidades que componen la alternativa de optimización para la PTAP.

Se realizó un presupuesto para la implementación de cada propuesta de optimización diseñada para la PTAP, donde se consideró diferentes referencias de proveedores para los costos de mejora de unidades, equipos, cambio de químicos, medios filtrantes, entre otros, con el fin de evaluar cual es el más viable en términos técnicos y económicos.

4.3. Fase III. Selección propuesta de optimización

4.3.1. Evaluación de alternativas

A partir de los diseños de optimización para la PTAP se realizó una matriz de evaluación donde se evaluó las alternativas con base en criterios técnicos, económicos y ambientales, los siguientes factores: confiabilidad del sistema, vida útil (componentes), complejidad de construcción, complejidad de operación del proceso, disponibilidad de respuestos, el costo de inversión inicial, operación y mantenimiento y la generación de residuos y ruido. Cada uno de estos tuvo un rango de evaluación de 0 a 5 siendo este último como el valor de máximo puntaje.

Para el aspecto ambiental se tuvo en cuenta los impactos al recurso aire, suelo y agua por posibles modificaciones de unidades. Para la parte técnica se tuvo en cuenta cual alternativa de tratamiento es más eficiente y que cumpliera con los estándares y reglamentaciones ambientales y para el aspecto económico, se seleccionó aquel diseño con un valor aceptable para los funcionarios del parque, presente en los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Teniendo en cuenta los resultados de la matriz se seleccionó la alternativa con la mayor calificación y se estableció como la propuesta de optimización a implementar, para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque.

Para el diseño de la alternativa seleccionada se elaboraron planos de las diferentes vistas de la PTAP, perfiles hidráulicos, diagramas de instrumentación y tubería (P&ID) y los diferentes ajustes a la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, con el fin de garantizar la eficiencia y eficacia de la planta. Lo anterior está contemplado según la evaluación de los parámetros estipulados en la resolución 330 del 2017 que tiene como objeto “Señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Fase I. Diagnóstico del funcionamiento actual de la PTAP, obteniendo información cualitativa y cuantitativa del sistema de tratamiento.

En la primera fase se identificaron las características generales del sistema de tratamiento del parque Jaime Duque, obteniendo información cualitativa y cuantitativa de cada una de las unidades que componen la PTAP, del funcionamiento operativo que se lleva a cabo y el agua de la cual se abastecen todos los usuarios del parque.

5.1.2. Revisión de la PTAP

Para la revisión de la PTAP se tuvo en cuenta el manual de operación, los diferentes planos y el proceso de tratamiento el cual se describe a continuación. Primero se realiza la captación del agua en el lago las bicicletas y llega a un tanque donde es bombeada a la torre de aireación. De ahí se dirige al tanque clarificador donde se le adiciona hidroxicloriguro de aluminio como coagulante y poliacrilamida aniónica como floculante, seguido pasa al tanque de equilibrio y a la batería de filtración con arena, antracita y turbidex. El proceso de desinfección se realiza por medio de tubería con hipoclorito de sodio y llega al tanque de almacenamiento.



Ilustración 11. Plano PTAP parque Jaime Duque

5.1.2.1. Captación y piscina de almacenamiento

Tabla 6. Ficha Técnica de la piscina de almacenamiento

Unidad								
Piscina de almacenamiento								
								
<p><i>Ilustración 12. Lago bicicletas y piscina de almacenamiento</i> Fuente: Autores.</p>								
Material de construcción	Concreto							
Dimensiones	Ancho: 11,70 m Largo: 9,30 m Profundidad: 6,63 m							
Operación y proceso	El agua cruda es extraída del lago de bicicletas acuáticas (del lado que no se encuentra abierto al público, después del puente) e ingresa a una piscina de almacenamiento que está dividida en dos por medio de un baffle, donde el agua choca con una superficie de cemento y se realiza la primera oxigenación.							
Estado físico	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Bueno</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: top;">Las paredes que conforman la piscina de almacenamiento se encuentran en perfectas condiciones ya que, no presenta grietas, fugas ni malformaciones en la unidad.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Regular</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Malo</td> <td></td> </tr> </table>	Bueno	x	Las paredes que conforman la piscina de almacenamiento se encuentran en perfectas condiciones ya que, no presenta grietas, fugas ni malformaciones en la unidad.	Regular		Malo	
Bueno	x	Las paredes que conforman la piscina de almacenamiento se encuentran en perfectas condiciones ya que, no presenta grietas, fugas ni malformaciones en la unidad.						
Regular								
Malo								
Estado operativo	La inspección que requiere esta unidad se lleva a cabo cada año para evitar acumulación o incrustaciones de sólidos que se sedimentan en el fondo.							

Fuente: Autores.

5.1.2.3. Torre de aireación

Tabla 7. Ficha técnica de la torre de aireación

Unidad								
Torre de aireación								
								
<p><i>Ilustración 13. Torre de aireación.</i> Fuente: Autores.</p>								
Material de construcción	Fibra de vidrio							
Dimensiones	Número de bandejas: 6 Forma trapezoidal Ancho: 1,07 m Largo: 1,07 m Profundidad: 15 cm							
Operación y proceso	En esta unidad se lleva a cabo el proceso de oxigenación del agua por medio de carbón activado.							
Estado físico	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Bueno</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td rowspan="3">Las bandejas que conforman la torre de aireación se encuentran en perfecto estado, puesto que no se encontraron grietas o fugas en la unidad. Sin embargo, las paredes superficiales se encuentran un poco oxidadas.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Regular</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Malo</td> <td></td> </tr> </table>	Bueno	x	Las bandejas que conforman la torre de aireación se encuentran en perfecto estado, puesto que no se encontraron grietas o fugas en la unidad. Sin embargo, las paredes superficiales se encuentran un poco oxidadas.	Regular		Malo	
Bueno	x	Las bandejas que conforman la torre de aireación se encuentran en perfecto estado, puesto que no se encontraron grietas o fugas en la unidad. Sin embargo, las paredes superficiales se encuentran un poco oxidadas.						
Regular								
Malo								
Estado operativo	El cambio de carbón activado y limpieza de bandejas debe llevarse a cabo cada 3 - 6 meses, para descartar inconsistencias y garantizar eficiencia en su proceso.							
Concepto	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Favorable</td> <td></td> <td rowspan="3">La unidad se encuentra en perfectas condiciones, sin embargo, se recomienda que el operario este pendiente para evitar incrustaciones u obstrucción en los orificios.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Favorable con requerimiento</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Desfavorable</td> <td></td> </tr> </table>	Favorable		La unidad se encuentra en perfectas condiciones, sin embargo, se recomienda que el operario este pendiente para evitar incrustaciones u obstrucción en los orificios.	Favorable con requerimiento	x	Desfavorable	
Favorable		La unidad se encuentra en perfectas condiciones, sin embargo, se recomienda que el operario este pendiente para evitar incrustaciones u obstrucción en los orificios.						
Favorable con requerimiento	x							
Desfavorable								

Fuente: Autores.

5.1.2.4. Tanque clarificador

Tabla 8. Ficha Técnica del tanque clarificador

Unidad			
Tanque Clarificador			
			
<p><i>Ilustración 14. Tanque clarificador</i> Fuente: Autores.</p>			
Material de construcción	Lámina de acero al carbón		
Dimensiones	Diámetro: 2,44 m Alto: 2,74 m		
Operación y proceso	<p>El tanque clarificador se compone de una parte interna (concentrador de lodos) y una parte externa (clarificador y puente de salida). El proceso funciona de la siguiente manera: primero se realiza la inyección del coagulante y floculante al agua antes de ingresar al concentrador de lodos, cuando la mezcla ingresa al concentrador permanece en constante movimiento por un reductor, permitiendo que el coagulante desestabilice los coloides y que queden suspendidos en el agua, para que luego el floculante actúe formando flocs pesados y sedimentados para convertirse en lodos. Luego el agua pasa al clarificador con algunos flocs suspendidos en donde el coagulante y el floculante sigue actuando y pasa a través de unas rejillas al puente de salida que conecta con el tanque de equilibrio, dejando la gran mayoría de flocs suspendidos en el clarificador.</p>		
Estado físico	Bueno		El puente de salida del tanque clarificador presenta zonas oxidadas.
	Regular	x	
	Malo		
Estado operativo	La inspección que requiere esta unidad se lleva a cabo una vez al mes, para realizar la limpieza de todo el tanque (puente, concentrador y clarificador).		

Fuente: Autores.

5.1.2.5. Tanque equilibrio

Tabla 9. Ficha técnica del Tanque de equilibrio

Unidad			
Tanque de equilibrio			
			
<p><i>Ilustración 15. Tanque de equilibrio</i> Fuente: Autores.</p>			
Material de construcción	Lámina de acero al carbón		
Dimensiones	Diámetro: 0,76 m Alto: 2,74 m		
Operación y proceso	Recibe el agua del tanque clarificador a través de una tubería de 2 pulgadas y por medio de un flotador activa una bomba para enviar el agua a los filtros.		
Estado físico	Bueno	X	El tanque se encuentra en buenas condiciones, no se presentan zonas de oxidación, ni fracturas en la estructura.
	Regular		
	Malo		
Estado operativo	La inspección que requiere esta unidad se lleva a cabo una vez al mes, para realizar la limpieza.		
Concepto	Favorable		La unidad se encuentra en perfectas condiciones, sin embargo, se recomienda que el operario realice el lavado de las paredes con mayor frecuencia.
	Favorable con requerimiento	X	
	Desfavorable		

Fuente: Autores

5.1.2.6. Filtros

Tabla 10. Ficha Técnica de los filtros

Unidad		
Filtros		
		
<p><i>Ilustración 16. Filtros.</i> <i>Fuente: Autores.</i></p>		
Material de construcción	Lámina de acero al carbón	
Dimensiones	Número de Filtros: 2 Forma cilíndrica Diámetro: 0,92 m Altura: 92 cm	
Lechos Filtrantes	Arena, Antracita y Grava	
Operación y proceso	El equipo de filtración consta de dos filtros que funcionan en paralelo a presión. Cuentan con arena, antracita y turbidex como medios filtrantes, que eliminan las partículas finas y la materia coagulada previamente.	
Estado físico	Bueno	X
	Regular	
	Malo	
	Las tuberías, accesorios y unidad de filtración se encuentran en buenas condiciones, no presentan fugas ni grietas que puedan alterar la eficiencia de la unidad.	
Estado operativo	Es necesario cambiar los lechos filtrantes cada uno o dos años máximo, puesto que los sólidos que están entrando a esta unidad, pueden colmatar los lechos y disminuir la eficiencia de la unidad.	
Concepto	Favorable	X
	Favorable con requerimiento	
	Desfavorable	
	Los filtros se encuentran en buen estado, sin embargo, se recomienda que el operario verifique que los lechos filtrantes no estén colmatados antes de llevar a cabo el proceso de retrolavado.	

Fuente: Autores.

5.1.2.7. Tanque almacenamiento

Tabla 11. Ficha Técnica del tanque de almacenamiento

Unidad								
Tanque de almacenamiento								
								
<p>Ilustración 17. Tanque de almacenamiento</p> <p>Fuente: Autores.</p>								
Material de construcción	Concreto							
Dimensiones	Capacidad por tanque: 212,28 m ³							
Operación y proceso	La planta cuenta con dos tanque de almacenamiento cada uno con un volumen de 212,28 m ³ . Después de los filtros el agua llega al tanque que este operando en ese momento. En esta tubería antes de llegar al tanque se le adiciona la dosis de cloro con hipoclorito de sodio al 15% para que elimine los microorganismos que puedan afectar la calidad del agua.							
Estado físico	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Bueno</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Regular</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Malo</td> <td></td> </tr> </table>	Bueno		Regular	X	Malo		El tanque presenta fracturas en la estructura y zonas oxidadas.
Bueno								
Regular	X							
Malo								
Estado operativo	El operario no tiene establecido una frecuencia para mantenimiento del tanque.							
Concepto	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Favorable</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Favorable con requerimiento</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Desfavorable</td> <td></td> </tr> </table>	Favorable		Favorable con requerimiento	X	Desfavorable		A pesar de que la unidad cumple con su función, la estructura presenta fracturas, zonas oxidadas y elementos que pueden alterar sus características.
Favorable								
Favorable con requerimiento	X							
Desfavorable								

Fuente: Autores.

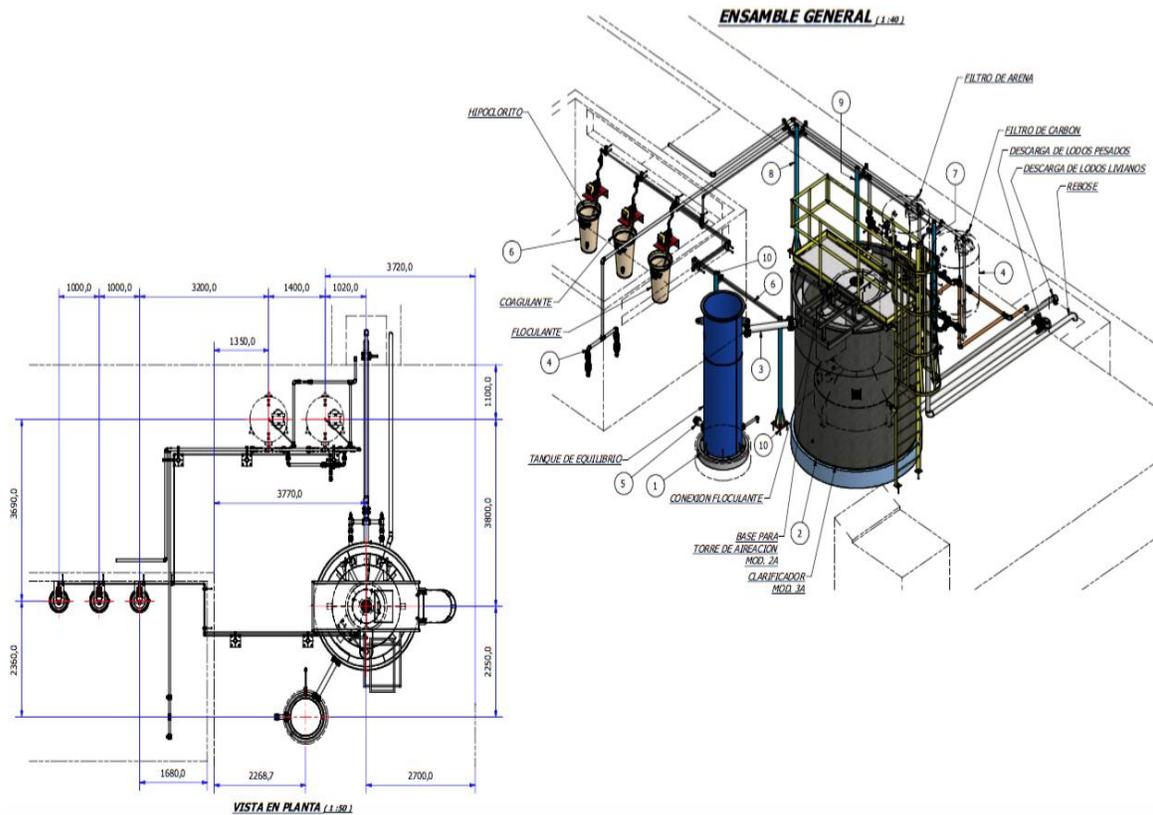


Ilustración 18. Unidades PTAP parque Jaime Duque
Fuente: EDOSPINA S.A.S

5.1.2. Toma de muestras

Se realizaron dos muestreos de tipo puntual al afluente y efluente de la PTAP y a cada una de las unidades, los días 04 de marzo y 05 de abril en horas de la mañana y la tarde respectivamente. La semana del 04 – 09 de marzo se caracterizó por presentar radiación solar y la semana del 05 – 12 de abril por presentar precipitaciones. A cada muestra se le realizó la medición de parámetros in situ (turbiedad, pH, temperatura, conductividad) y su correspondiente cadena de custodia.



Ilustración 19. Toma de muestras

Fuente: Autores.

5.1.3. Caracterizaciones fisicoquímicas y biológicas

En las tablas 15 y 16 se presentan los resultados obtenidos en cada una de las caracterizaciones realizadas en el Centro Tecnológico de Ambiente y Sostenibilidad – CTAS de la universidad de La Salle. La mayoría de ellos cumplen con la normativa nacional vigente, resolución 2115 de 2007, sin embargo, en la primera caracterización el cloro residual se encuentra por fuera del rango establecido (0,3-2,0 mg/L) con un valor de 2,6 mg/L, al igual que el manganeso que excede el límite máximo permisible con un valor de 0,2 mg/l.

En la primera caracterización (ver tabla 15) se evidencia una disminución considerable en la turbiedad y color al pasar de la entrada del clarificador a la entrada del tanque de equilibrio, lo que establece que esta unidad cumple con su objetivo principal, disminuir los sólidos suspendidos. Al igual que los coliformes también se presenta una disminución significativa en su valor del afluente al efluente, lo que indica que la alta concentración de cloro libre que se presenta en el tanque de almacenamiento permite eliminarlos en su totalidad.

Tabla 12. Resultados caracterizaciones primera toma de muestras.

MUESTREO I - MARZO 04 - 2019								
PARÁMETRO	AFLUENTE	TORRE AIREACIÓN	ENTRADA CLARIFICADOR	ENTRADA TANQUE DE EQUILIBRIO	ENTRADA FILTRO I	SALIDA FILTRO II	EFLUENTE	RES. 2115 del 2007
Color (UPC)	234	228	229	28	28	28	6	15
Turbiedad (NTU)	17,8	14,72	7,71	1,0	1,0	1,0	0,0	2
pH	6,2	6,2	6,21	6,18	6,2	6,2	6,5	6,5 - 9
Cloro residual (mg/L)	0,06						2,6	0,3-2,0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	84,4						78	200
Manganeso (mg/L)	0,3	0,3	0,2	0,2			0,2	0,1
Zinc (mg/L)	0,12						0,08	3
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	167,8						112,75	300
Sulfatos (mg/L)	3,0						1,0	250
Hierro Total (mg/L)	0,31	0,4	0,11	0,2			0,2	0,3
Nitratos (mg/L)	0,10		0,01				0,01	10
Nitritos (mg/L)	0,013		0,005				0,008	0,1
Aluminio (mg/L)	0,029						0,029	0,2
COT (mg/L)	7,8						0,5	5,0
Coliformes T. (UFC/100 ml)	121						0	0
E. Coli (UFC/100 ml)	0						0	0

Nota: Los cuadros que se encuentran en color gris, no se realizaron.

Fuente: Autores.

En la ilustración 20 se evidencian los resultados obtenidos de la siembra masiva en los medios MacConkey de color amarillo y rosado y el agar EMB de color café. Teniendo en cuenta la literatura donde (Becton Dickinson, 2013) establece que *“los organismos no fermentadores de lactosa pueden cambiar el color del medio MC a beige amarillento, mientras que la coloración naranja rojiza cambia a rosa con el crecimiento de los organismos fermentadores de lactosa.”* Se estableció que se presentan los dos tipos de microorganismos y según lo observado en el microscopio se identificaron como bacilos Gram-negativos, lo que hace referencia a la presencia del grupo de bacterias coliformes totales el cual comprende a todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios, que fermentan lactosa. Por otro lado, en el agar EMB los coliformes fermentadores fuertes de lactosa producen colonias de color negro azulado, como se evidencia en las cajas de la zona derecha de la ilustración 20. Sin embargo, para la muestra tomada del efluente en la primera caracterización no se evidencia crecimiento en ninguno de los dos medios como se evidencia en la ilustración 21, por lo que se establece con un valor de 0 UFC/100 mL para coliformes y E.Coli.

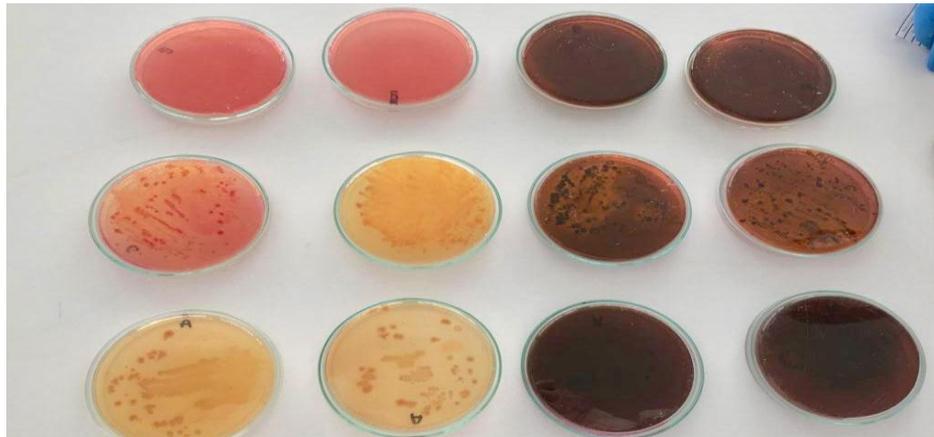


Ilustración 20. Ensayo siembra masiva. Crecimiento en medios EMB y MC por duplicado,

Fuente: Autores

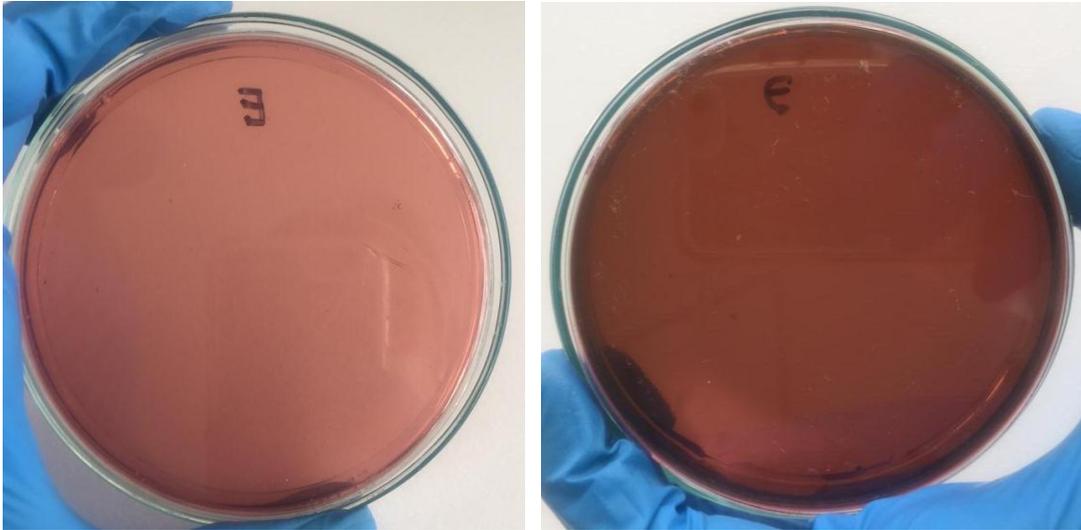


Ilustración 21. Resultados efluente medios MC y EMB

Fuente: Autores

En la tabla 16 se establecen los resultados de la segunda caracterización donde se evaluó las unidades de la planta y un punto de distribución. Para estos parámetros se obtuvo un incumplimiento en el cloro residual que se encuentra por fuera del rango establecido al igual que en la primera caracterización, pero esta vez con un valor de 0,06 mg/L, lo que genera un crecimiento de coliformes tanto en el medio MacConkey como en el EMB con un valor de 82 UFC/100 ml, debido a la baja concentración de cloro, que no permite la eliminación de los agentes patógenos. Sin embargo, los demás parámetros cumplen con la normativa y no varían de manera significativa.

Tabla 13. Resultados caracterizaciones segunda toma de muestras.

MUESTREO II - ABRIL 05 - 2019									
PARÁMETRO	AFLUENTE	TORRE AIREACIÓN	ENTRADA CLARIFICADOR	ENTRADA TANQUE DE EQUILIBRIO	ENTRADA FILTRO I	SALIDA FILTRO II	EFLUENTE	PUNTO DISTRIBUCIÓN	RES. 2115 del 2007
Color (UPC)	248	238	238	25	25	20	9	6	15
Turbiedad (NTU)	23,7	18,6	9,76	1,26	1,17	1,0	0,0	0,0	2
pH	7,86	7,74	7,71	7,33	7,66	7,68	7,73	7,26	6,5 - 9
Cloro residual (mg/L)	0,03						0,09	0,06	0,3-2,0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	97,4						78,3	73,2	200
Manganeso (mg/L)	0,3	0,3	0,2	0,2			0,1	0,1	0,1
Zinc (mg/L)	0,15						0,02	0,02	3
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	75,04						79,85	74	300
Sulfatos (mg/L)	30						1,0	1,0	250
Hierro Total (mg/L)	0,26	0,24	0,12	0,1			0,1	0,1	0,3
Nitratos (mg/L)	0,8		0,4				0,5	0,5	10
Nitritos (mg/L)	0,019		0,010				0,007	0,007	0,1
Aluminio (mg/L)	0,197						0,197	0,123	0,2
COT (mg/L)	20,1						1,8	1,8	5,0
Coliformes T. (UFC/100 ml)	INCON						84	82	0
E. Coli (UFC/100 ml)	0						0	0	0

Nota: Los cuadros que se encuentran en color gris, no se realizaron.

Fuente: Autores.

Para la segunda caracterización se realizó el ensayo microbiológico para determinar la presencia de coliformes y E. Coli por el método de filtración por membrana como se evidencia en la ilustración 22, donde se presenta un crecimiento en el medio MC y EMB, con la muestra de agua del efluente, donde se diferencia el tamaño de las colonias y el color de estas. Para el medio MacConkey se presentó un crecimiento de colonias color incoloro a beige, que según (Becton Dickinson, 2014) hacen referencia a las cepas Salmonella, sin embargo, para el medio EMB se presentó un crecimiento de colonias color violeta, las cuales hacen referencia a los productores más débiles de ácidos.

Según (Becton Dickinson, 2013) “las colonias de Escherichia coli pueden exhibir un brillo verde metálico característico debido a la rápida fermentación de la lactosa”, por lo que se establece que no hay crecimiento de las mismas, por ende se registra con un valor de 0 UFC/100 ml .

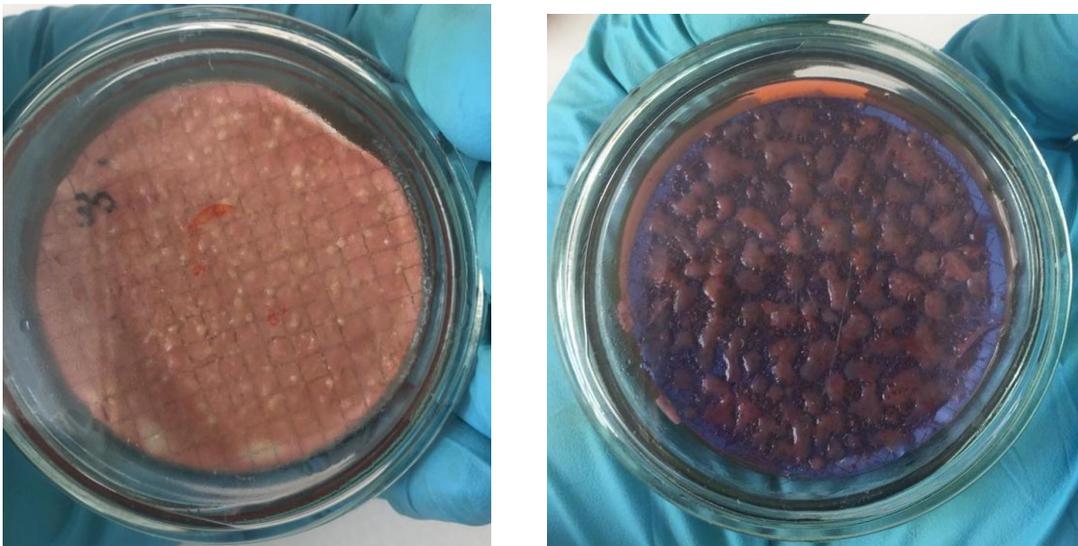


Ilustración 22. Ensayo tren de filtración, agar MC y EMB.

Fuente: Autores.

5.1.3.1 Curva demanda de cloro

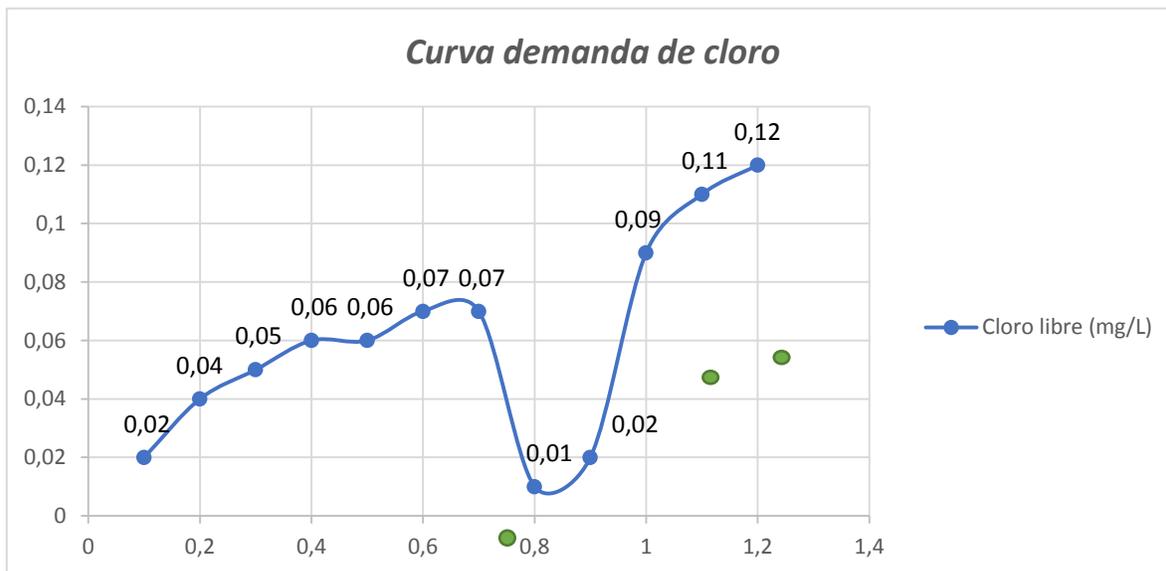
Teniendo una concentración inicial de 0,02 mg/l de cloro libre, se estableció la dosis óptima para la desinfección del agua, que suministra la PTAP a las instalaciones del parque. En la tabla 9 se presenta los resultados de la concentración del cloro residual libre para cada una de las muestras realizadas impactadas con una concentración diferente de hipoclorito.

Tabla 14. Resultados concentraciones cloro libre y cloro agregado

Cloro agregado (mg/L)	Cloro libre (mg/L)
0,1	0,02
0,2	0,04
0,3	0,05
0,4	0,06
0,5	0,06
0,6	0,07
0,7	0,07
0,8	0,01
0,9	0,02
1,0	0,09
1,1	0,11
1,2	0,12

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la gráfica 1 se evidencia el punto de quiebre entre 0,8 y 0,9 mg/L de cloro agregado, sin embargo, estos valores deben ser monitoreados dependiendo de las características del agua, puesto que la desinfección depende de estas. Además, en las dos caracterizaciones realizadas el cloro residual se encontró fuera de los rangos establecidos por la normativa, por lo que se recomienda realizar la curva de demanda de cloro antes de llevar a cabo la dosificación del hipoclorito de sodio.



Gráfica 1. Curva demanda de cloro

Fuente: Autores.

5.1.4. Pruebas de tratabilidad

Se estableció la dosis óptima de coagulante y floculante, teniendo en cuenta el ensayo de coagulación por barrido que se realizó con sulfato de aluminio al 10% y floculante aniónico al 1%, con concentraciones de 180 a 680 mg/L con intervalos de 100 mg/L como se puede observar en la tabla 10. En donde, también se evidencia el porcentaje de remoción de cada una de las concentraciones utilizadas, teniendo en cuenta el valor inicial de la turbidez de 24,3 NTU.

Tabla 15. Resultados concentración, turbiedad y % remoción de coagulación por barrido.

Jarras #	Concentración (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Remoción %
1	180	4,5	81,4
2	280	1,4	94,2
3	380	2,21	90,9
4	480	1,62	93,3
5	580	4,89	79,8
6	680	5,01	79,3

Fuente: Autores.

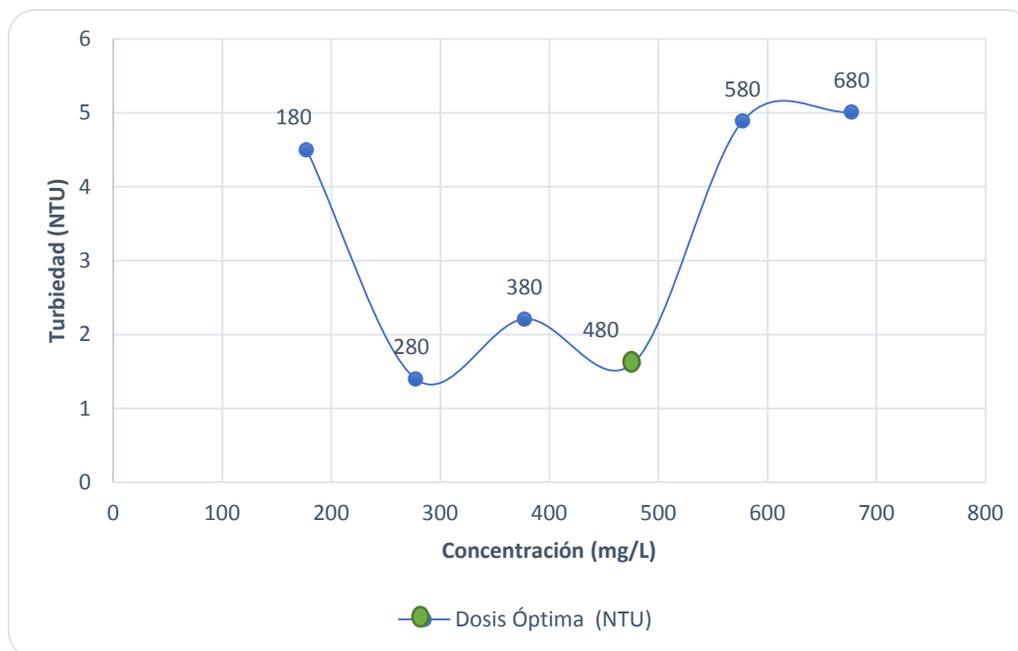
La coagulación por barrido se utiliza para aguas que presentan baja turbiedad y la cantidad de partículas coloidales es pequeña como es el caso. En donde se tuvo en cuenta un coagulante que no estuviera hidrolizado como el sulfato de aluminio, un ajuste de pH a 8 y la alcalinidad de la muestra que arrojó un valor 88,7 mg C_aCO_3/L .



Ilustración 23. Resultado prueba de coagulación por barrido.

Fuente: Autores.

Los datos obtenidos por las pruebas de tratabilidad, establecen que la dosificación óptima se encuentra en un rango de 450 a 500 mg/L, teniendo en cuenta el valor de la turbiedad de 1,62 NTU y la curva de *concentración Vs turbiedad* (ver gráfica 2) donde se presentan dos puntos de dosis óptima uno con concentración entre 250 y 300 mg/L y turbiedad de 1,4 NTU y el segundo mencionado anteriormente, él cual se conoce como dosis óptima para coagulación por barrido. Por ende, se establece la concentración de 480 mg/L de sulfato de aluminio al 10% como dosis óptima a utilizar en el clarificador de la PTAP debido a su porcentaje de remoción del 93,3%.



Gráfica 2. Dosis óptima coagulación por barrido

Fuente: Autores.

5.1.5. Pruebas hidráulicas y operativas

5.1.5.1 Pruebas hidráulicas

En las pruebas hidráulicas se identificaron los parámetros de diseño para cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento, y la comprobación con los rangos establecidos por la resolución 330 de 2017 – Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.

5.1.5.1.1. Análisis caudal de diseño

Actualmente el parque se caracteriza por tener un área de 73,51 Km², donde permanecen 500 trabajadores y un promedio de 45.541 visitantes al mes, lo que indica un total de 2.018 habitantes al día.

A medida que pasen los años la capacidad del parque seguirá siendo la misma, a no ser que se genere una ampliación del terreno. De ser así se necesitará un mayor suministro de agua para abastecer a las nuevas instalaciones y los usuarios que se beneficien de estas.

Sin embargo, hasta el momento el área y capacidad del parque es la misma, por esta razón no se requiere realizar una proyección de la población para establecer el caudal de diseño de la PTAP, con el promedio de los habitantes al día se estableció.

Tabla 16. Visitantes mensual parque Jaime Duque

PERIODO	NÚMERO DE VISITANTES
Enero	32.476
Febrero	13.792
Marzo	36.364
Abril	21.505
Mayo	30.049
Junio	51.543
Julio	55.435
Agosto	47.857
Septiembre	48.315
Octubre	66.972
Noviembre	76.881
Diciembre	65.303
Total	546.492

Fuente: (Parque Jaime Duque, 2018)

5.1.5.1.1.1. Cálculo de la dotación de agua del proyecto

Para definir la dotación por habitante se debe definir la dotación neta máxima, para ello se tiene en cuenta la altura a la que se encuentra el parque Jaime Duque. En el municipio de Tocancipá, en el km 34 de la autopista norte, se encuentra ubicada el parque a una altura de 2.590 m.s.n.m.

Según la resolución 0330 de 2017 estipula una dotación neta máxima, que se encuentra en función de la altura del municipio. Por consiguiente, la dotación neta máxima para donde se encuentra ubicado el Parque Jaime Duque según la resolución 0330 de 2017, es de 120 L/hab*día.

Tabla 17. Dotación Neta Máxima

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación Neta máxima (L/Hab*día)
>2000 m.s.n.m	120
1000-2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

Fuente. Resolución 330, 2017

Definición del Horizonte de Diseño para el Proyecto

Según la resolución 0330 de 2017 en el artículo 40, se estipula que el periodo de diseño para los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta un periodo de 25 años.

Dotación Neta

La dotación neta es la cantidad mínima de agua para satisfacer las necesidades básicas de un habitante o suscriptor, no se consideran las pérdidas en el sistema de acueducto. (Resolución 0330, 2017)

La dotación Neta en el parque Jaime Duque es de:

$$\text{Dotación neta por habitante} = \frac{120L}{\text{hab} * \text{día}}$$

La dotación neta debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. (Resolución 0330, 2017)

Sin embargo, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la Tabla 22, por esta razón se toma una dotación neta de 120 L/hab*Día.

Pérdidas Técnicas Máximas Admisibles

Según la Resolución 0330 de 2017 se estipula que las pérdidas máximas admisibles corresponden a no superar el 25%, por esta razón se establece este porcentaje ya que, corresponderá al valor tomado para el proyecto en cuestión y de tal manera se calcula la dotación bruta.

Dotación Bruta

La dotación Bruta es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, se debe considerar el porcentaje de pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto.

A continuación, se presenta el cálculo respectivo:

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ Neta}{(1 - \% \text{ pérdidas máximas})}$$

$$Dotación\ bruta = \frac{120 \frac{L}{hab * día}}{(1 - 0,25)}$$

$$Dotación\ bruta = 160 \frac{L}{hab * día}$$

5.1.5.1.1.2. Cálculo de la demanda de agua del proyecto

Caudal Medio Diario (Qmd)

Este caudal se calcula para la población que visita el parque al día (2.018 habitantes al día). y se tiene en cuenta la dotación bruta. Este corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año.

A continuación, se presenta el cálculo respectivo:

$$Qmd = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$$

$$Qmd = \frac{2.018 \text{ hab} * \frac{160L}{\text{hab} * \text{día}}}{86400}$$

$$Qmd = 3,73 \text{ L/s}$$

Caudal Máximo Diario (QMD)

Es el consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, *K1*. El valor de *K1* será tomará como 1.3 que es el valor máximo que permite la resolución 0330 de 2017 para poblaciones menores a 12500 habitantes.

A continuación, se presenta el cálculo respectivo:

$$QMD = Qmd * K1$$

$$QMD = \frac{3,73 \text{ L}}{\text{s}} * 1,3$$

$$QMD = 4,84 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Caudal Máximo Horario (QMH)

Corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año, no se tiene en cuenta el caudal de incendio. Este se calcula como el QMD por el coeficiente de consumo horario *K2*. Este coeficiente será 1.6, siendo el valor máximo presentado para la población del municipio en la resolución 0330 de 2017.

A continuación, se presenta el cálculo respectivo:

$$QMH = QMD * k2$$

$$QMH = \frac{4,84L}{s} * 1,6$$

$$QMH = 7,74 \frac{L}{s}$$

Coefficiente de Consumo Máximo Diario -k1

El coeficiente de consumo máximo diario, $k1$, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año. Según el párrafo 2 del artículo 47 de la resolución 0330 de 2017, el factor de mayoración K1 debe calcularse con los registros históricos de macromedición.

El parque Jaime Duque no cuenta con esta información, por consiguiente, se tomará el valor proporcionado por la resolución 0330 de 2017; este coeficiente estará en función de la población. El parque al poseer una población menor de 12.500 habitantes, se elige un factor de 1,3.

Coefficiente de Consumo Máximo Horario -K2

El coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, $k2$, se calcula como la relación entre el caudal máximo horario, QMH, y el caudal máximo diario, QMD, registrados durante un período mínimo de un año, sin incluir los días en que ocurran fallas relevantes en el servicio. Según el párrafo 2 del artículo 47 de la resolución 0330 de 2017, el factor de mayoración K2 debe calcularse con los registros históricos de macro medición.

El parque Jaime Duque no cuenta con esta información, por consiguiente, se tomará el valor proporcionado por la resolución 0330 de 2017; este coeficiente estará en función de la población. El parque al poseer una población menor de 12500 habitantes en el año 2044, se elige un factor de 1,6.

5.1.5.1.2. Torre de aireación

En la Tabla 21 se pueden identificar los parámetros de diseño (caudal, ancho de la bandeja, longitud, área y carga hidráulica) de una de las seis (6) bandejas que conforman la torre de aireación.

Tabla 18. Parámetros de diseño torre de aireación

Torre de Aireación					
Parámetro	Convención	Fórmula	Unidades	Valor	Comentarios
Caudal	Q	---	LPS	4,84	Caudal de diseño
			m3/s	0,00484	
			m3/d	418	
Ancho de la bandeja	W	---	m	1,07	--
Longitud	L	---	m	1,07	--
Área	A	A=W*L	m2	1,14	--
Carga hidráulica	So	So=Q/A	m3/m2d	365,251	--

Fuente: Autores.

Teniendo como base el ancho y la longitud se obtuvo el área de una de las bandejas de la torre de aireación, posterior a ello se tuvo en cuenta el caudal de diseño que fue calculado en el ítem 5.1.5.1.1 de acuerdo a los habitantes que están ingresando al parque Jaime Duque al día.

Al tener estos dos parámetros se calculó con ayuda de la ecuación 9 la carga hidráulica que es uno de los parámetros fundamentales para verificar el correcto funcionamiento de la unidad.

$$Carga\ hidráulica = \frac{Caudal\ (m^3/día)}{área\ total\ (m^2)}$$

Ecuación 6. Carga hidráulica

El proceso de oxigenación según Romero, 2006 *“es el proceso mediante el cual se pone el agua en contacto íntimo con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. La aireación se encarga de oxidar el hierro y manganeso”*. Teniendo en cuenta lo anterior este proceso es de vital importancia para disminuir las concentraciones de manganeso y tener un control para los parámetros de hierro y COT que ingresan a la PTAP con altas concentraciones, 0,3 mg/L de manganeso y 20,1 mg/L de COT que al pasar por la torre de aireación, disminuye a 0,1 mg/L de manganeso y 1,8 mg/L COT dando cumplimiento a la resolución 2115 del 2007.

Al llevar a cabo la evaluación hidráulica se tiene como base la resolución 0330 de 2017 para el diseño de la unidad e indicar si esta cumpliendo con los parámetros requeridos. Los resultados se obtuvieron en la tabla 21, lo cual indica un valor de 365,251 m³/m²d de carga hidráulica y al hacer la comparación correspondiente con la resolución encontramos un rango de 500-1500m³/m²d.

Indicando que está por debajo del valor establecido y puede generar una baja eficiencia en la unidad, sin embargo, la torre de aireación cumple con el material del lecho de contacto que es el carbón activado o coque, número de bandejas y altura total.

5.1.5.1.3. Clarificador

En la tabla 22 se establece los parámetros de diseño para el clarificador, (carga hidráulica y tiempo de retención) y las dimensiones que se identificaron para el cálculo de estos (diámetro, radio, altura, área y volumen).

Tabla 19. Parámetros de diseño clarificador

Clarifloculador					
Parámetro	Convención	Fórmula	Unidades	Valor	Comentarios
Caudal	Q	---	LPS	4,84	Caudal de diseño
			m3/s	0,00484	
			m3/d	418,176	
Diámetro	D	---	m	7,73	---
Radio	r	$r=D/2$	m	3,865	---
Área	A	$A=2\pi*r^2$	m2	93,860	---
Carga hidráulica	So	$So=Q/A$	m3/m2.d	4,455	---
Altura	h	---	m	2,74	---
Volumen	V	$V=\pi*r^2*h$	m3	128,5877011	---
Tiempo de retención	Tr	$Tr=Q/V$	s	26568	---
			min	443	---

Fuente: Autores.

5.1.5.1.4. Filtros

Al establecer el caudal de operación del sistema de tratamiento, se estableció el cálculo de tasa de infiltración para verificar el correcto funcionamiento de la unidad. En la Tabla 23 se pueden identificar algunos de los parámetros que describen la unidad presente en el sistema de tratamiento del parque.

Tabla 20. Parámetros de diseño filtros

Filtros					
Parámetro	Convención	Fórmula	Unidades	Valor	Comentarios
Caudal	Q	---	LPS	4,84	Caudal de diseño
			m3/s	0,00484	
			m3/d	418,176	
Largo	L	---	cm	92	---
			m	0,92	
Diámetro	D	---	m	2,90	---
Radio	r	$r=D/2$	m	1,45	---
Número de filtros	N	---	--	2	---
Caudal unitario	Qu	$Qu=Q/N$		0,0024	---
Área de la base	Ab	$Ab=\pi*r^2$	m2	6,61	---
Área Lateral	Al	$Al=2\pi*r*L$	m2	8,38	---
Área Total	At	$At=2Ab+Al$	m2	21,59	---
Tasa de filtración	Tf	$Tf=Q/At$	m3/m2d	19,37	---

Fuente: Autores.

La tasa de filtración es el parámetro con el cual se verificó el diseño de los tanques de filtración. En la tabla 24 se establecieron las principales características de filtros convencionales para hacer la correspondiente comparación con la resolución 330 de 2017.

Tabla 21. Características filtros convencionales

Características	Filtración lenta con lecho simple	Filtración rápida con lecho simple	Filtración rápida con lecho mixto
Tasa de filtración	7-14	<120m/d	180-480 m/d
Profundidad del medio	0,8-1,0 m	0,6-0,9 m	Antracita 0,4-0,6 m Arena 0,15-0,3m

Fuente: (Resolución 0330, 2017)

Se obtuvo un valor de 19,37 m³/m²d en la tasa de filtración y al compararlo con la resolución 0330 de 2017 se pudo identificar que al ser una filtración rápida con lecho mixto que tienen como medio arena y antracita no está cumpliendo puesto que no se encuentra dentro del rango establecido. Sin embargo, se puede identificar una tasa de filtración relativamente pequeña lo que conllevaría a que cuando los picos de caudal bajen estaría funcionando como un filtro lento con lecho simple, ya que es precisamente donde se encuentra establecido el rango de la tasa de filtración que arrojaron las pruebas hidráulicas realizadas para esta unidad, con el caudal de diseño calculado según los habitantes que están ingresando al parque durante el día.

5.1.5.1.5. Desinfección

El proceso de desinfección se lleva a cabo por tubería de ½ in en PVC. Para ello se utiliza una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio al 15% que suministra al agua proveniente de los filtros que se dirige al tanque de almacenamiento, el cual no tiene establecido un tiempo de contacto.

Según la resolución 330 de 2017 *“Para la desinfección por cloración debe emplearse tanque de contacto, previo al almacenamiento, con el fin de proporcionar un tiempo de*

contacto mínimo de 20 minutos, que garantice la desinfección del agua. Para la determinación de la dosis óptima de desinfectante debe emplearse el valor Ct-Concentración aplicada por tiempo de detención igual a K de acuerdo con ciertas indicaciones (ver anexo 1)".

$$C_t = K \text{ (mg - min/l)}$$

Ecuación 7. Concentración aplicada por tiempo

$$pH = 6,5 - 7,0$$

$$T^\circ = 20^\circ\text{C}$$

$$K = 20 \text{ (ver anexo 9.1)}$$

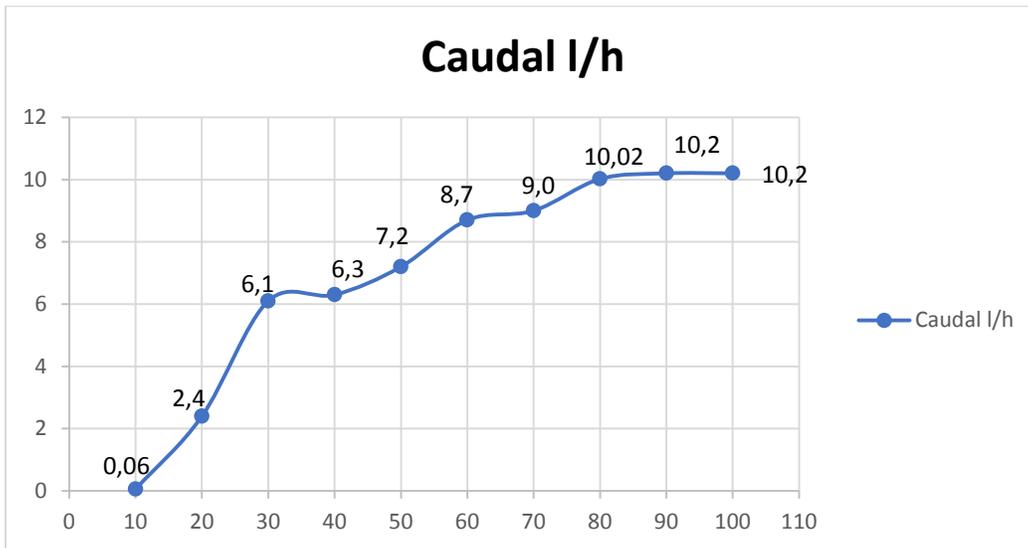
$$t = 30 \text{ min según res. 330 /2017}$$

$$C = \frac{20 \text{ mg - min/l}}{30 \text{ min}} = 0,66 \approx 0,7 \text{ mg/L}$$

Bomba dosificadora

Otro aspecto a tener en cuenta en la desinfección es la bomba dosificadora. Se realizó un aforo del caudal y no cumple con las especificaciones, para lo cual se realizó una curva de Q Vs % de regulación de caudal con el fin de que el operario verifique el porcentaje al que desea dosificar, teniendo en cuenta el caudal obtenido en la ecuacion 10.

Gráfica 3. Curva bomba dosificadora



Fuente: Autores.

Conociendo la cantidad de m^3 de agua a tratar y la cantidad de producto a dosificar en p.p.m., es posible definir el caudal mínimo de la bomba dosificadora utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{ppm * K * m^3}{1000} = l/h$$

Ecuación 8. Caudal bomba dosificadora

l/h = caudal de la bomba dosificadora ppm

ppm = cantidad de producto a dosificar en partes por millón (mg/l)

K = coeficiente de dilución del producto a dosificar (producto puro $k = 1$)

m^3 = máximo caudal de agua a tratar expresado en m^3/h .

5.1.5.1.6. Tanque de almacenamiento

Al realizar los cálculos correspondientes al tanque de almacenamiento, se toma la población para hallar el caudal máximo diario, siendo este el caudal de diseño.

$$QMD = 4,84 \text{ LPS}$$

$$QMD=0,00484 \text{ m}^3 /s$$

Según el Artículo 81 de la resolución 0330 de 2017 establece que la capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo. Por esta razón se calcula de la siguiente manera el tanque:

$$Volumen = QMD / 3$$

$$Volumen = (4,84 / 3000) * 86400$$

$$Volumen = 139,39 \text{ m}^3$$

El tanque de almacenamiento actual de la PTAP cuenta con un volumen de 424,56 m. Sin embargo, al realizar los cálculos con la población que está visitando el parque a diario se calcula la capacidad que debe necesitar dicho QMD (caudal máximo diario) indicando un volumen de 139,39 m³.

Lo que demuestra que el tanque de almacenamiento actual está sobredimensionado a la capacidad requerida según los cálculos realizados.

5.1.5.2 Pruebas operativas

La PTAP cuenta con un manual de operación el cual sigue el operario para su funcionamiento en donde se encuentran una serie de procedimientos para la preparación de químicos, mantenimiento de cada unidad y medición de parámetros, los cuales se describen a continuación.

- Tomar muestra de la piscina de almacenamiento todos los días y medir pH y cloro residual.

- Cambio de carbón activado y limpieza de bandejas cada 3 - 6 meses.
- Limpieza de clarificador y tanque de equilibrio una vez al mes.
- Prueba de jarras dos veces a la semana de forma manual.
- Cambiar lechos filtrantes cada año o dos años máximo.
- Retrolavado de filtros dos veces al día.
- Limpieza del concentrador de lodos cada mes.
- Cada dos o tres horas realizar purga de lodos.
- Preparar 30 litros de hipoclorito de sodio en 50 litros de agua.
- El operario realiza la preparación de coagulante con hidroxiclورو de aluminio y floculante con poliacrilamida aniónica en una caneca de 20 L cada uno.

5.2. Fase II. Propuesta de alternativas con base en caracterizaciones fisicoquímicas, pruebas hidráulicas y eficiencia de las unidades.

En esta fase se estableció el diseño de tres alternativas para la optimización de la PTAP, teniendo en cuenta las falencias técnicas y operativas con las que cuenta la planta, a partir del cálculo del IRCA, evaluación del cumplimiento normativo y el funcionamiento operacional del sistema de tratamiento.

5.2.1. Análisis de información recolectada

Con los resultados establecidos en la tabla 25, donde los parámetros, cloro, coliformes y manganeso incumplen con la resolución 2115 de 2007, se calculó el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano - IRCA para la planta de tratamiento de agua potable del parque, para cada una de las muestras analizadas. Con un resultado de 17,02% y 31,91% respectivamente. Sin embargo, se realizó un promedio entre los dos resultados del IRCA y se estableció que el sistema de tratamiento del parque presenta un nivel de riesgo medio con un IRCA de 24,47%, el cual se encuentra en el rango de clasificación como agua no apta para consumo humano según la resolución 2115 de 2007.

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a todas características analizadas}} \times 100$$

$$IRCA (\%) = \frac{16}{94} \times 100 = 17,02\%$$

$$IRCA (\%) = \frac{30}{94} \times 100 = 31,91\%$$

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

$$IRCA (\%) = \frac{17,02\% + 31,91\%}{2} = 24,47\%$$

Tabla 22. Resultados parámetros con IRCA

Parámetro incumplido	Efluente Muestreo 1	Efluente Muestreo 2	Resolución 2115 de 2007	Puntaje de riesgo	Puntaje de riesgo Calculado	
Color (UPC)	6	9	15	6	0	0
Turbiedad (NTU)	0,0	0,0	2	15	0	0
pH	6,5	7,73	6,5 - 9	1,5	0	0
Cloro residual (mg/L)	2,6	0,09	0,3 - 2,0	15	15	15
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	7,8	78,3	200	1	0	0
Manganeso (mg/L)	0,2	0,1	0,1	1	1	0
Zinc (mg/L)	0,08	0,02	3	1	0	0
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	112,75	79,85	300	1	0	0
Sulfatos (mg/L)	1,0	1,0	250	1	0	0
Hierro Total (mg/L)	0,2	0,1	0,3	1,5	0	0
Nitratos (mg/L)	0,01	0,5	10	1	0	0
Nitritos (mg/L)	0,008	0,007	0,1	3	0	0
Aluminio (mg/L)	0,029	0,197	0,2	3	0	0
COT (mg/L)	0,5	1,8	5,0	3	0	0
Coliformes T. (UFC/100 ml)	0	84	0	15	0	15
Escherichia Coli (UFC/100 ml)	0	0	0	25	0	0
TOTAL				94	16	30

Nota: Los cuadros que se encuentran en color gris, incumplen con la normativa.

Fuente: Autores.

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico del sistema de tratamiento se identificaron varias falencias en las unidades y el manejo operativo del proceso de potabilización que se describen a continuación:

5.2.1.1. Aspectos técnicos

- Incumplimiento de la normativa por parte del cloro residual y coliformes. Se encuentran fuera de los rangos establecidos.
- Para la dosificación del hipoclorito no se tiene en cuenta las características del agua, y se presenta variaciones significativas en la concentración de cloro residual libre.
- La bomba dosificadora de NaClO no cumple con las especificaciones del caudal.
- Obstrucción de orificios en la torre de aireación.
- El retrolavado de los filtros se realiza más de dos veces al día, lo que puede generar deterioro en los medios filtrantes.
- El tanque de almacenamiento presenta fracturas en su estructura.
- El puente de salida del tanque clarificador presenta zonas de oxidación por falta de mantenimiento.
- La PTAP no cuenta con ninguna unidad para monitorear el caudal.

5.2.1.2. Aspectos operativos

Se verificó las actividades que realiza el operario con lo establecido en el manual y se cumplen a cabalidad, sin embargo, se identificaron ciertas inconsistencias como;

- El operario y el practicante no utilizan los elementos de seguridad para ninguna de sus actividades (preparación de químicos, mantenimiento de unidades).
- La preparación del hipoclorito la realizan cada 3 o 4 días, sin embargo, se recomienda que esta preparación no dure más de dos días almacenada por lo que el cloro es un compuesto que se degrada fácilmente y puede alterar las concentraciones que son dosificadas al tanque de almacenamiento.
- La frecuencia de la prueba de jarras está establecida dos veces por semana, sin embargo, se debe realizar todos los días para identificar las características del agua.

- Los tanques de almacenamientos presentan anomalías que podrían afectar la calidad del agua, se recomienda realizar el lavado con mayor frecuencia.
- No cuentan con un equipo de turbiedad para verificar, la eficiencia del tanque clarificador y tener un seguimiento de este parámetro.
- No cuentan con un equipo para el ensayo de jarras, lo hacen de forma manual en 4 vasos precipitados, incumpliendo con los tiempos establecidos.

5.2.2. Diseño de alternativas

Teniendo en cuenta las falencias técnicas y operativas identificadas, se diseñaron tres alternativas para la optimización del sistema de tratamiento. Cada una encaminada para optimizar el proceso de desinfección, el cual incumple con la normativa y presenta variaciones significativas en las concentraciones de cloro libre.

Una de las falencias identificadas es que no se garantiza un tiempo de contacto de cloro en los tanques de almacenamiento, lo que genera que se presentan concentraciones inferiores al rango establecido por la resolución 2115 del 2007 (0,3-2,0 mg/l), debido a que en el momento en que disminuye el nivel de agua de los tanques que abastecen a todas las instalaciones del parque, se inicia el proceso de distribución del tanque de almacenamiento de la PTAP a los mismos, lo que genera que en los días de mayor afluencia de visitantes la planta suministre agua sin el tiempo necesario para garantizar las condiciones de cloración como lo indica la norma.

Otra falencia es el suministro del hipoclorito de sodio que se realiza por medio de la bomba dosificadora. Este no cumple con las especificaciones del % de regulación del caudal de acuerdo a la concentración de preparación del NaClO y el caudal proveniente de los filtros, por lo que la concentración de cloro libre que se esta dosificando a los tanques de almacenamiento no es la dosis óptima para llevar a cabo el proceso de desinfección.

5.2.2.1. Alternativa I Diseño cámara de contacto de cloro

Tabla 23. Alternativa I

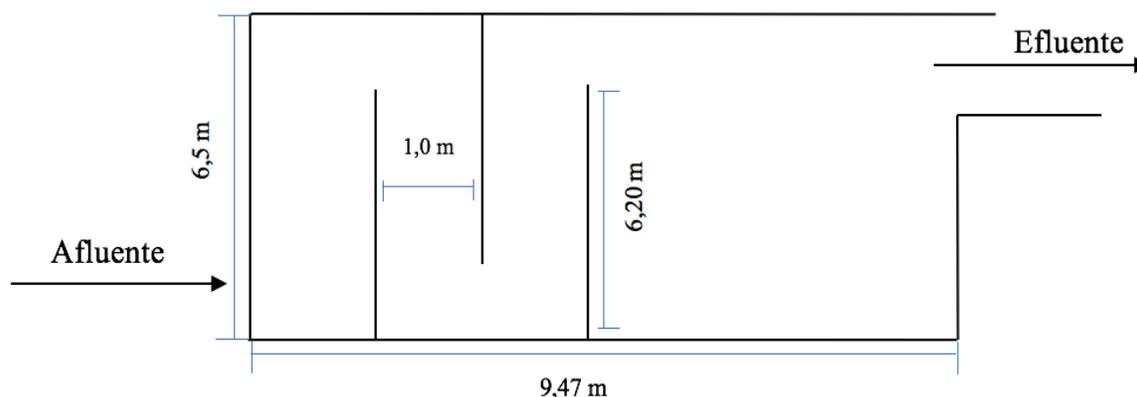
Diseño cámara de contacto de cloro
Descripción Técnica
<p>Esta alternativa consiste en instalar tabiques dentro del tanque de almacenamiento para cumplir la función de tanque de contacto de cloro. Se diseñaron tres canales de 0,3 m de ancho con funcionamiento en serie, con el fin de garantizar que todo el caudal se ponga en contacto con el cloro. La solución de cloro se añade en el inicio del primer canal, para así cumplir un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos.</p> <p>Para construir esa cámara de contacto se contó con el espacio actual de los tanques de almacenamiento, ya que como se estableció en la evaluación hidráulica cada tanque se encuentra sobredimensionado, por esta razón se pretende generar el volumen necesario que se requiere para el caudal por la población que habita a diario el parque y en el volumen restante instalar los tabiques para cumplir la función de cámara de contacto de cloro.</p>
Descripción operativa
<p>El operario deberá preparar el hipoclorito a una concentración que no permanezca más de dos días almacenado y deberá seguir la curva de dosificación de la bomba (gráfica 3), con el fin de establecer el % regulación de caudal que se requiere para la dosificación del hipoclorito, teniendo en cuenta la concentración que se requiere para el proceso de desinfección y el caudal de salida de los filtros.</p> <p>Deberá realizar la caracterización del afluente pH y temperatura y por medio de la ecuación 10 “Ct-Concentración aplicada por tiempo de detención” determinar la dosis óptima de desinfectante que debe emplearse. También puede establecer la concentración por medio de la curva de demanda de cloro.</p>

Fuente: Autores.

Cámara de cloración

Se asumió un tiempo de contacto de 30 minutos, puesto que la resolución 0330 de 2017 en el artículo 121 indica que para la desinfección por cloración debe emplearse un tanque de contacto, previo al almacenamiento, con el fin de proporcionar un tiempo de contacto mínimo de 20 minutos.

Puesto que la cámara de contacto se construirá dentro de los tanque de almacenamiento que se encuentran actualmente en la planta las dimensiones serían las siguientes. En el anexo 9.2 se encuentra la hoja de cálculo del diseño de los tabiques en el tanque de almacenamiento.



Para los costos de la alternativa I, fue necesario establecer las cantidades que se necesitaban teniendo como base las dimensiones del tanque de almacenamiento actual, para así conocer la cantidad de concreto, acero de refuerzo y mano de obra que se requiere para la cámara de contacto que se encuentra en la Tabla 27.

Se tomo como base información de la página de Corona y un presupuesto de un consorcio constructor en la ciudad de manizales del 2016, lo cual se adaptó a la cantidad de material que se requiere para llevar a cabo esta alternativa.

Tabla 24. Costos alternativa I

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL NETO
1	Concreto 4000 PSI, impermeabilizado	m ³	22,2	\$ 1'389,726	\$ 31'018,684
2	Acero de refuerzo grado 60	Kg	4898	\$ 585,257	\$ 2'866,588
SUBTOTAL					\$ 33'885,272
IMPREVISTOS 0,5%					\$ 169,426
IVA 19%					\$ 6'470,392
TOTAL					\$ 40'525,090

Fuente: Autores

5.2.2.2. *Alternativa II cloro gaseoso de alimentación al vacío*

Tabla 25. Alternativa II. Cloro gaseoso de alimentación al vacío.

Cloro gaseoso de alimentación al vacío
<p style="text-align: center;">Descripción técnica</p> <p>El proceso actualmente en la planta se está llevando a cabo por medio de cloro líquido por tubería, sin embargo, este proceso no ha sido óptimo ya que se han presentado inconsistencias en el caudal que está suministrando la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio al 15%.</p> <p>Esta alternativa consiste en cambiar el estado del cloro ya que no se estaría suministrando de forma líquida si no gaseosa. Este proceso se alimenta por medio de cloradores al vacío, el cual se caracteriza por ser un método seguro y confiable más que los cloradores a presión.</p> <p>El cloro gaseoso al vacío es un método que se utiliza a menudo para la desinfección del agua por la confiabilidad del sistema que ofrece sin embargo, se necesita suministro adicional de agua y energía para su funcionamiento.</p> <p>Para generar que el cloro gaseoso se mezcle de forma homogénea con el flujo de agua será necesario establecer una cámara de contacto la cual contara con baffles que ayude a cumplir el tiempo de detención que se requiere, igual a la diseñada en la alternativa I.</p> <p>Para llevar a cabo este proceso se requiere un manómetro después del cilindro de cloro, una válvula reductora de presión, una válvula reguladora de vacío la cual hace que se pierda toda la presión, un rotámetro que es el que ayuda a medir el flujo de gas, un dispositivo de regulación de flujo y por último una válvula de alivio. Para el sistema de inyección se debe contar con un inyector o eyector, un abastecimiento de agua y un sistema de difusores, para generar una mezcla homogénea entre en agua y el flujo de cloro gaseoso.</p> <p>A continuación, se muestra un esquema de la alternativa propuesta:</p> <div style="text-align: center;"><pre>graph LR; Afluente --> Almacenamiento[Almacén de cloro al vacío]; Almacenamiento --> Contacto[Cámara de contacto]; Contacto --> Tanque[Tanque de almacenamient]; Tanque --> Efluente</pre></div>

Descripción operativa

El sistema de operación del clorador funciona con ajuste automático de la dosis de acuerdo con la determinación de cloro residual. Es un método en el que 30 segundos después de inyectado el cloro es tomada una muestra de agua, analizada por el equipo de cloro residual, y modifica o no la rata de flujo del clorador. Por tanto, el único ajuste que el operario tiene que hacer manualmente es el debido a variaciones grandes en el caudal tratado, pero le permite fijar una dosis de cloro residual libre y mantenerla automáticamente. Además deberá garantizar que el clorador este funcionando de la manera más óptima en el suministro de agua y energía para el funcionamiento del inyector.

Fuente: Autores.

A continuación, se establecerán los cálculos y parámetros que se tuvieron en cuenta para el diseño del almacén de cloro, cámara de contacto y dimensiones de la pared de concreto que estará dividiendo el tanque de almacenamiento.

Es necesario calcular el área donde será almacenado el cloro ya que, las estaciones de cloración merecen mucha atención desde la etapa de diseño, por la importancia que este proceso requiere y por los riesgos que involucran la operación y mantenimiento de las estaciones. (PAHO, 2018)

Posterior a ello, se consideran cuatro etapas importantes para el proceso de diseño de las estaciones de cloración que son el almacenamiento del cloro, sistemas de medición y control, sistemas de inyección y sistemas de seguridad.

Primero se procede a diseñar el área donde se va a almacenar el cloro, pero para ello es necesario tener los criterios necesarios para calcular sus dimensiones, el primer requisito es conocer el consumo de cloro de acuerdo al caudal, tiempo de retención, dosis mínima y máxima, según como lo establece (PAHO, 2018)

Producto	Tiempo de almacenamiento (meses)	Dosis en mg/L		Concentración de la solución (mg/L)
		Mínima	Máxima	
Cloro en cilindros a presión	3 – 6	1	3	3.500
Hipoclorito de calcio	3 – 6	1,4	4,3	10.000 – 50.000
Hipoclorito de sodio	< 1 mes	1,7	23,1	10.000 – 50.000

*Ilustración 24. Criterios para el almacenamiento
Fuente: (PAHO, 2018)*

Según la tabla que establece la PAHO las dosis mínima es de 1 mg/L y la máxima es de 3 mg/L. Obteniendo una dosis promedio de 2 mg/L, con base a esta información se procede a calcular el número de cilindros que se necesitan para establecer el área de almacenamiento de cloro.

En Anexos se encuentra la hoja de cálculo de la estación de cloro gaseoso, su cámara de contacto y el número de baffles con los que contara la cámara.

Utilizar cloro gaseoso presenta ventajas y desventajas ya sea su dosificación al vacío o a presión puesto que es un producto económico, sin embargo, a la hora de implementarse esta alternativa es necesario que los operarios que monitorean la planta cuenten con una respectiva capacitación ya que, si no se esta operando adecuadamente podría generar riesgos.

Se procede a calcular el número de difusores con los que contara el suministro del cloro gaseoso a la cámara de contacto.

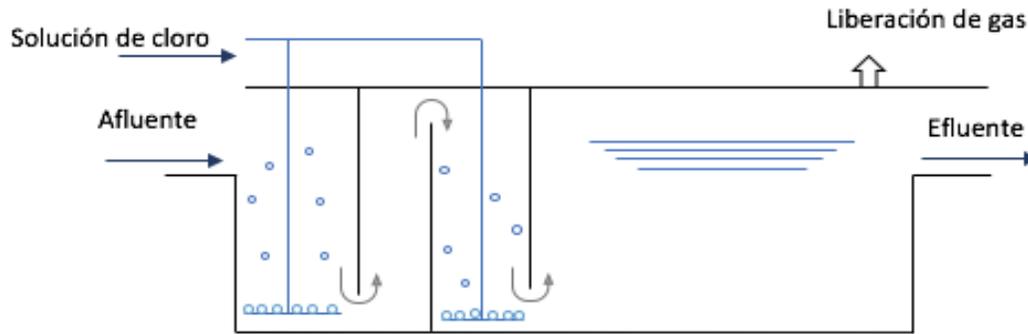


Ilustración 25. Cámara de contacto con difusores
Fuente: Autores

Se calcularon dos difusores los cuales estaran debajo de la unidad antes de cruzar al siguiente bafle como se muestra en la *ilustración 25*.

La tubería que lleva el cloro gaseoso es de ½", la cual adopta una distancia de la tubería de PVC de 0,8 m que funcionara como difusor, teniendo 8 orificios a una distancia de 0,1 m cada difusor. Cada orificio tiene un diámetro de 0,012 m.

Para saber el caudal que esta pasando cada orificio se procede a utilizar la siguiente fórmula:

$$q = cdA\sqrt{2gh}$$

$$q = 0,85 \times \frac{\pi(0,012)^2}{4} \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,012 \text{ m}}$$

$$q = 0,000046 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para los costos de la alternativa II, fue necesario obtener un presupuesto y se tomó como base la PAHO que indica costos relativos para este sistema de cloración que se pueden evidenciar en la Tabla 29, Además, se añadieron los costos de la cámara de contacto que va en el interior del tanque de almacenamiento que son los mismos de la alternativa I.

Tabla 26. Costos alternativa II. Cloro gaseoso de alimentación al vacío.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL NETO
1	Sistema de dosificación con capacidad de 0-100 lb/d, operado al vacío, con control manual de la tasa de flujo de cloro por medio del rotámetro. Incluye clorador o unidad de dosificación, eyector con su difusor, frasco vacío para amoniaco detector de fugas de cloro, llave para válvula de cloro.	GLB	1	\$ 5'136,480	\$ 5'136,480
2	Cilindros de cloro gaseoso (75kg) con válvula	Kg	3	\$ 383,483	\$ 1'150,450
3	Manifold hidráulico para línea de alimentación de agua a eyector del sistema de cloración. Incluye filtro en Y de 1", válvula de bola de 1", manómetro d'ál y juego de accesorios para ensamble en PVC.	GLB	1	\$ 1'469,334	\$ 1'469,334
4	Sistema de incorporación de diámetro 1" a sistema de cloración	GLB	1	\$ 1'495,175	\$ 1'495,175
5	Accesorios para el montaje de clorador a pared incluye Manifold, prensa de yugo para válvula del cilindro	GLB	1	\$ 2'586,026	\$ 2'586,026
6	Equipo de seguridad	UND	1	\$ 2'928,143	\$ 2'928,143
7	Báscula con celdas para control de gasto de cloro	UND	1	\$ 2'145,000	\$ 2'145,000
8	Suministro e instalación de bomba reforzadora 1,5 HP y accesorios	UND	1	\$ 9'167,474	\$ 9'167,474
9	Concreto 4000 PSI, impermeabilizado	m ³	22,2	\$ 1'389,726	\$ 31'018,684
10	Acero de refuerzo grado 60	Kg	4898	\$ 585,257	\$ 2'866,588
SUBTOTAL					\$ 59'963,354
IMPREVISTOS 0,5%					\$ 299,816
IVA 19%					\$ 11'450,002
TOTAL					\$ 71'713,172

Fuente: Autores.

5.2.2.3. *Alternativa III cloro gaseoso de alimentación a presión*

Tabla 27. Alternativa III. Cloro gaseoso de alimentación a presión

Cloro gaseoso de alimentación a presión
Descripción Técnica
<p>Esta alternativa consiste en realizar el proceso de desinfección por medio de cloro gaseoso, pero a diferencia de la alternativa II se realiza con alimentación directa a presión y no al vacío.</p> <p>Este proceso no requiere del suministro de agua y energía para su funcionamiento, pues a diferencia de los cloradores de alimentación al vacío solo requiere de la presión del gas del cilindro para el funcionamiento del clorador.</p> <p>Los cloradores de alimentación a presión funcionan de la siguiente manera: El cloro gaseoso entra a la presión normal a que está en el cilindro que es de 5.3 a 6.3 kg/cm y llega a la válvula reguladora de presión del gas, en la cual esta se reduce a 1.4 kg/cm. La contrapresión en el punto de inyección no puede ser mayor de la mitad de este valor. De allí pasa por el medidor de caudal que suele ser un rotámetro calibrado en lb/día o kg/h. Después del rotámetro, el gas pasa por un sistema de ajuste que permite fijar la tasa de flujo con que se quiere hacer trabajar el clorador y por último un sistema que regula automáticamente la presión. El cloro se inyecta a la tubería por medio de un difusor. Una válvula de seguridad impide que el exceso de presión pueda causar un accidente. Además, se incluye una válvula de alivio de acción manual que permite extraer el cloro que haya quedado en el aparato antes de hacer el cambio de envases. (Arboleda, 1992)</p> <p>Posterior al proceso de dosificación con cloro gaseoso a presión también se implementara la cámara de contacto que se diseño en la alternativa I, para que cumpla el tiempo de retención establecido y pueda operar de la manera más óptima el proceso de cloración.</p> <p>A continuación, se muestra un esquema de la alternativa propuesta:</p> <pre>graph LR; Afluente --> AlmacenamientoCloro[Almacén de cloro a presión]; AlmacenamientoCloro --> CamaraContacto[Cámara de contacto]; CamaraContacto --> TanqueAlmacenamiento[Tanque de almacenamiento];</pre>

Descripción operativa

El sistema de operación del clorador funciona con ajuste automático de la dosis de acuerdo con la determinación de cloro residual. Es un método en el que 30 segundos después de inyectado el cloro es tomada una muestra de agua, analizada por el equipo de cloro residual, y modifica o no la rata de flujo del clorador. Por tanto, el único ajuste que el operario tiene que hacer manualmente es el debido a variaciones grandes en el caudal tratado, pero le permite fijar una dosis de cloro residual libre y mantenerla automáticamente. Además deberá garantizar que el clorador este funcionando de la manera más óptima verificando el funcionamiento correcto de todos los equipos.

Fuente: Autores.

Para calcular la estación de cloración que se alimenta a presión se realizaron los mismos cálculos que la alternativa II ya que, los dos necesitan un área de almacenamiento para los equipos que van a suministrar el cloro gaseoso a la cámara de contacto.

Para los costos de la alternativa III, se tomó como base la PAHO que indica los costos relativos para este sistema de cloración y el presupuesto de un consorcio realizado en manizales en el año 2016 que se puede ver evidenciado en la Tabla 31. Además, se añadieron los costos de la cámara de contacto que va en el interior del tanque de almacenamiento que son los mismos de la alternativa I.

Tabla 28. Costos alternativa III. Cloro gaseosos de alimentación a presión.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL NETO
1	Sistema de dosificación para fijar en pared con capacidades de 0-1000 Lb/d, con control manual de la tasa de flujo. Incluye unidad de regulación de presión y manómetros	Kg	1	\$ 9'167,474	\$ 9'167,474
2	Cilindros de cloro gaseoso (75kg) con válvula	Kg	3	\$ 383,483	\$ 1'150,450
3	Equipo de seguridad	UND	1	\$ 2'928,143	\$ 2'928,143
4	Báscula con celdas para control de gasto de cloro	UND	1	\$ 2'145,000	\$ 2'145,000
5	Accesorios para el montaje de clorador a pared incluye Manifold, manómetro, filtros y válvulas	GLB	1	\$ 4'963'727	\$ 4'963'727
6	Sistema de incorporación de diámetro 1" a sistema de cloración	GLB	1	\$ 1'495,175	\$ 1'495,175
9	Concreto 4000 PSI, impermeabilizado	m ³	22,2	\$ 1'389,726	\$ 31'018,684
8	Acero de refuerzo grado 60	Kg	4898	\$ 585,257	\$ 2'866,588
SUBTOTAL					\$ 55'735,241
IMPREVISTOS 0,5%					\$ 278,676
IVA 19%					\$ 10'642,644
TOTAL					\$ 66'656,561

Fuente: Autores.

5.3. Fase III. Selección propuesta de optimización

5.3.1. Evaluación de alternativas

Para la evaluación de las alternativas se estableció la matriz de decisión establecida por la empresa Ignacio Gómez (IHM) como citó (Fiquitiva, 2017) donde se considera los criterios técnicos, económicos y ambientales.

- Aspectos técnicos: se refieren al cumplimiento de los requisitos tales como la calidad del efluente establecido por las autoridades ambientales (seguridad y cumplimiento de la normativa), y por las condiciones en las cuales opera la planta, facilidad de implementación tecnológica (complejidad de construcción), factibilidad de ajustarse a los cambios en el tiempo (vida útil) y respaldo técnico local por fallas en el funcionamiento (disponibilidad de repuestos). A cada uno de estos parámetros se les asignó un peso ponderado de 5% para tener un 25% del total. (Fiquitiva, 2017)
- Aspectos Económicos: para alcanzar los objetivos técnicos anteriores, es necesario incurrir en gastos, cuando se rehabilite la planta con esta tecnología de tratamiento estos costos pueden afectar en forma sustancial a los gastos del parque, de tal forma que se constituye en un limitante para el cumplimiento de los objetivos tecnológicos, y se les asignó un peso ponderado del 60% del total. El puntaje se basó en los costos consolidados de las alternativas que incluyen inversión inicial, operación y mantenimiento. (Fiquitiva, 2017)
- Aspectos ambientales: las plantas de tratamiento de agua potable tienen la capacidad de afectar el entorno ambiental, en una magnitud que es función de las características de este entorno, de la tecnología utilizada, y de la operación y mantenimiento de las mismas. Por lo tanto, se plantea como objetivos de carácter ambiental la mitigación de estos impactos. A las variables que tienen que ver con la generación de residuos y control de ruido se les asignó un peso ponderado del 15%. (Fiquitiva, 2017)

El proceso de evaluación, dado por la empresa IHM según (Fiquitiva, 2017) , se desarrolló de la siguiente manera:

1. Se divide cada uno de los aspectos en que se van a evaluar las alternativas (técnico, económico, ambiental) teniendo en cuenta sus variables. A cada una de estas variables y componentes se les asigna un puntaje en función de la importancia que tienen dentro de la evaluación. Estos pesos varían entre 0 y 100%.
2. Para cada alternativa se le asigna un puntaje a cada una de las variables, en función del grado de cumplimiento que se logra. Los puntajes varían entre 0 y 5, siendo la calificación cero: 0 No cumplimiento y cinco: 5, cumplimiento total.
3. Para cada alternativa hace la sumatoria de los puntajes de cada variable por su respectivo peso. Este valor, que fluctúa entre 0 y 500 corresponde a la calificación.

Tabla 29. Matriz de decisión para alternativas propuestas

<i>Aspectos</i>	<i>Parámetro evaluado</i>	<i>Peso %</i>
<i>Técnicos y operativos (25%)</i>	Seguridad y cumplimiento de la normativa	5,0
	Vida útil (componentes)	5,0
	Complejidad de construcción y equipamiento	5,0
	Complejidad de operación del proceso	5,0
	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5,0
<i>Económicos (60%)</i>	Costo de inversión inicial	20
	Costo de operación y mantenimiento	40
<i>Ambientales (15%)</i>	Generación de residuos	10
	Generación de ruido	5,0
	Total	100

Fuente: (Fiquitiva,2017)

Factor	Descripción	Calificación
Aspectos Técnicos y operativos		
<i>Seguridad y cumplimiento de la normativa</i>	Este aspecto se refiere a la capacidad de cada sistema de mantener una eficiencia constante ante variaciones ambientales del flujo, de tal manera que en todo momento se garantice uniformidad en el funcionamiento del sistema y cumplimiento de la normatividad nacional vigente.	0 No hay cumplimiento
		1 Cumplimiento bajo
		2 Bajo cumplimiento
		3 Cumplimiento Moderado
		4 Cumplimiento Alto
		5 Cumplimiento total
<i>Vida útil</i>	Este concepto responde a el interrogante sobre cuánto tiempo durará operando la alternativa de tratamiento. Generalmente la vida útil de una unidad de tratamiento esta relacionada con la infraestructura (obra civil, accesorios, tuberías, tableros de control, entre otros). Se desea que la alternativa de tratamiento posea una vida útil lo más larga posible pues será difícil contar con recursos para renovar la unidad de tratamiento en mediano plazo.	0 No hay cumplimiento
		1 Cumplimiento Menor de 10 años
		2 Cumplimiento entre 10 y 15 años
		3 Cumplimiento entre 15 y 20 años
		4 Cumplimiento entre 20 y 25 años
		5 Cumplimiento entre 25 años o más
<i>Complejidad de construcción y equipamiento</i>	Un tratamiento complejo generará un gran número de equipos, requiriendo un mayor tiempo para su construcción, instalación y puesta en marcha. Algunas veces se requerirá de la importación de materiales y equipos. Todos estos factores impactarán directamente y de manera negativa la inversión inicial requerida, e incidirán en costos.	0 Complejidad total de construcción
		1 Complejidad muy alta de construcción
		2 Complejidad alta de construcción
		3 Complejidad moderada de construcción
		4 Complejidad baja de construcción
		5 No hay complejidad de construcción

<i>Complejidad de operación del proceso</i>	Este aspecto en varias ocasiones ha sido el motivo de que una planta se abandone y deje de operar. Se debe establecer el grado de complejidad de los procesos durante su operación en condiciones normales y adversas. Debido a que de esta manera se establecerá el perfil y número del personal requerido para la operación de la planta. Si el sistema tiene equipos motrices requerirá de operarios y personal calificado para su control, así como requerimientos de mantenimiento mayores.	0 Complejidad total
		1 Complejidad muy alta
		2 Complejidad alta
		3 Complejidad moderada
		4 Complejidad baja
		5 No hay complejidad
Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	Este aspecto tiene que ver con el mantenimiento preventivo y correctivo del equipo utilizado en la PTAP. Garantizando una buena disponibilidad de repuestos y centros de servicio cercanos para así agilizar el mantenimiento y abaratar su costo.	0 No hay disponibilidad
		1 Muy baja la disponibilidad
		2 Baja disponibilidad
		3 Moderada disponibilidad
		4 Alta disponibilidad
		5 Disponibilidad Total
Aspectos económicos		
<i>Costo de inversión inicial</i>	Se consideran los costos de obra civil y adquisición de equipos necesarios para la construcción y puesta en marcha de la PTAP. Este ítem es importante al seleccionar la alternativa de tratamiento, pero a su vez debe estar relacionado con los costos de operación y mantenimiento, en un horizonte de largo plazo correspondiente con la vida útil de la planta de tratamiento. Se deberá favorecer la alternativa que, cumpliendo con una calidad de agua exigida, posea el más bajo costo de inversión.	0 mayor a 120'000.000
		1 entre 80'000.000 y 120'000.000
		2 entre 50'000.000 y 80'000.000
		3 entre 30'000.000 y 50'000.000
		4 entre 10'000.000 y 30'000.000
		5 menor de 10'000.000

<i>Costo de operación y mantenimiento</i>	Este es uno de los aspectos más importante y con mayor ponderación para seleccionar la alternativa de tratamiento. Para que la inversión perdure en el tiempo, se mantenga operando y realice la función para lo que fue diseñado, se debe tener en cuenta este factor.	0 No genera costo de O&M
		1 Muy alto costo de O&M
		2 Alto costo de O&M
		3 Moderado costo de O&M
		4 Bajo costo de O&M
		5 No hay costo de O&M
Aspectos Ambientales		
<i>Generación de residuos</i>	Uno de los aspectos más importantes a considerar en la selección de un sistema de tratamiento es la generación de residuos. La generación de residuos en la PTAP requerirá de la contratación de terceros para el traslado, tratamiento y/o disposición de estos, lo cual resultaría costoso, por lo anterior se ha decidido favorecer aquel proceso que genere la menor cantidad de residuos.	0 No hay cumplimiento
		1 Cumplimiento bajo
		2 Bajo cumplimiento
		3 Cumplimiento Moderado
		4 Cumplimiento Alto
		5 Cumplimiento total
<i>Generación de ruido</i>	Este aspecto hace referencia a los sonidos poco agradables o incluso dañinos que alteran las condiciones del lugar y pueden generar molestias y/o afectaciones en la salud.	0 No hay cumplimiento
		1 Cumplimiento bajo
		2 Bajo cumplimiento
		3 Cumplimiento Moderado
		4 Cumplimiento Alto
		5 Cumplimiento total

Fuente: (Fiquitiva, 2017)

Tabla 30. Descripción y calificación

Factor	Descripción Alternativas		
	I	II	III
	Aspectos técnicos y operativos		
<i>Seguridad y cumplimiento de la normativa</i>	Esta alternativa garantiza el tiempo de contacto necesario para la remoción de coliformes presentes en el agua y uniformidad en la concentración del hipoclorito de sodio, con el fin de que la concentración de cloro residual y las UFC de coliformes cumplan con la normatividad nacional vigente.	Esta alternativa se caracteriza por ser un sistema confiable si se maneja adecuadamente, porque si el operario no verifica su dosificación y cuidados del almacenamiento podría ser peligroso. Al colocar el cloro en contacto con el agua se debe tener un tiempo de retención como lo establece la resolución 0330 de 2017, para que se mezcle homogéneamente.	Esta alternativa al igual que la II garantiza homogeneidad en la dosificación del cloro, ya que se realiza por medio de difusores que generan una mezcla rápida. Sin embargo, es un proceso que se utiliza muy poco puesto que al llevar a cabo la dosificación de cloro gaseoso a presión no es muy seguro.
	5 pts	5 pts	3 pts
<i>Vida útil (componentes)</i>	Esta alternativa solo contará con la construcción de unos tabiques en concreto dentro del tanque de almacenamiento, lo que generará una larga vida útil. La vida útil de la bomba dependerá del uso correcto del operario, siempre y cuando siga las indicaciones establecidas para su correcta dosificación.	Esta alternativa se caracteriza por trabajar con cloro gaseoso el proceso de su alimentación se lleva a cabo al vacío. Para este ítem de calificación lo que se tendrá en cuenta los materiales y accesorios con los que se contruiran la alternaiva, los cuales se clasifican de muy buna calidad, como se establece en la tabla 28. Además, los operarios de la planta deberán supervisar el proceso de cloración para evitar daños en su proceso o fugas donde se pueda ver afectado el sistema, puesto que eso alargaria la vida útil de los equipos.	Esta alternativa al igual que la alternativa II se caracterizan por trabajar con cloro gaseoso pero el proceso de su alimentación es diferente ya que este es a presión. Para darle puntuación a este ítem se tuvo en cuenta los materialesy accesorios con los que se contruiran la alternaiva, los cuales se clasifican de muy buna calidad, como se establece en la tabla 30. Además, los operarios de la planta deberán supervisar el proceso de cloración para evitar daños en su proceso o fugas donde se pueda ver afectado el sistema, puesto que eso alargaria la vida útil de los equipos.

	5 pts	5 pts	5 pts
<i>Complejidad de construcción y equipamiento</i>	<p>Para esta alternativa no se requiere de un área extra de la PTAP para su instalación, ni de ningún equipo y/o accesorio, solo de la construcción de tres tabiques en concreto para cada tanque de almacenamiento.</p>	<p>Esta alternativa requiere de tres cilindros de cloro, un manómetro después del cilindro de cloro, una válvula reguladora de presión, un rotámetro, un dispositivo de regulación de flujo y por último una válvula de alivio. Para el sistema de inyección se debe contar con un inyector o eyector, un abastecimiento de agua y un sistema de difusores, para generar una mezcla homogénea entre en agua y el flujo de cloro gaseoso.</p> <p>Posterior a esto, se requiere la construcción de un área de almacenamiento para estos que van a ser instalados en los cilindros que almacenan el cloro gaseoso. Además, se llevara a cabo la construcción de (3) tres tabiques en concreto para cada tanque de almacenamiento lo que indica que no se necesitara excavación. Por esta razón la complejidad de construcción es mucho mas compleja que la alternativa I puesto que se necesita otra área extra en la PTAP y que la alternativa III por requerir un mayor número de equipos.</p>	<p>Esta alternativa requiere de (3) tres cilindros de cloro gaseoso, un rotámetro, unas válvulas reguladoras de presión y un sistema de difusores, para generar una mezcla homogénea entre en agua y el flujo de cloro gaseoso.</p> <p>Se requiere la construcción de un área de almacenamiento para estos equipos que se acaban de mencionar que van instalados a los cilindros que almacenan el cloro gaseoso. Además, se llevara a cabo la construcción de (3) tres tabiques en concreto para cada tanque de almacenamiento lo que indica que no se necesitara excavación. Por esta razón la complejidad de construcción e instalación es mas sencilla que la alternativa II, pues requiere de menos equipos.</p>
	5 pts	2 pts	3 pts
<i>Complejidad de operación del proceso</i>	<p>Para esta alternativa no se requiere de personal calificado, se puede capacitar al operario para que siga las instrucciones de la operación de la bomba dosificadora, con el fin de dosificar la dosis óptima de hipoclorito de sodio.</p>	<p>Los cloradores que funcionan al vacío necesitan ser monitoreados constantemente por operarios de la planta que han sido capacitados, para evitar cualquier imprevisto. Además, es necesario que los operarios sigan las recomendaciones del fabricante para asegurar un proceso óptimo.</p>	<p>La operación del sistema se realiza de tipo automático, lo cual le permite al operario fijar una dosis de acuerdo con la determinación de cloro residual y mantenerla automáticamente. Sin embargo, se requiere de una capacitación para el manejo del clorador cuando se presenten variaciones grandes en el caudal.</p>
	4 pts	3 pts	4 pts

<i>Disponibilidad de repuestos y centros de servicio</i>	El mantenimiento del tanque de contacto se deberá realizar cada seis meses con el fin de evitar incrustaciones en las paredes y en los tabiques. Para la bomba dosificadora es sencillo realizar su mantenimiento, las mangueras de succión y descarga se pueden adquirir fácilmente.	Se requerirá un técnico que será el encargado de reparar alguna falla en el proceso de conexión del rotámetro, regulador o que tengan que ver con el proceso de dosificación de cloro a la cámara de contacto. Posterior a ello los repuestos para reparar algún daño de la unidad son fáciles de encontrar.	Se requiere realizar un mantenimiento preventivo frecuentemente, debido a que es un sistema no muy seguro y para ello se solicita la contratación de un especialista en el tema. Sin embargo, los repuestos se pueden adquirir fácilmente.
	5 pts	4 pts	4 pts
<i>Costo de inversión inicial</i>	El costo de inversión inicial de la construcción de tres tabiques en cada tanque es de \$ 40'525,090 lo cual incluye 22,2 m ³ de concreto y 4898 kg de acero.	Generalmente el costo de inversión inicial en un sistema de cloro gaseoso al vacío es más elevado que el sistema de hipocloración, con una diferencia de \$ 31'188,082.	Generalmente el costo de inversión inicial en un sistema de cloro gaseoso a presión es menos elevado que el de alimentación al vacío, con una diferencia de \$ 5'056,611.
	3 pts	2 pts	2 pts
<i>Costo de operación y mantenimiento</i>	Esta alternativa no requiere de ningún costo de operación adicional al que ya maneja la PTAP. Solo se modificará la dosificación del cloro. No se cambiara el desinfectantes se seguira utilizando el mismo (hipoclorito de sodio al 15%).	El costo de operación y mantenimiento para un sistema de cloro gaseoso que funciona al vacío debe contemplar la capacitación para los operarios de la planta para evitar cualquier imprevisto y así evitar daños que pueden ser bastante costosos. Su costo de operación es más elevado en comparación con el de presión, ya que requiere de agua y energía para su funcionamiento.	Los costos de mantenimiento se podrían incrementar, ya que este se debe realizar con mayor frecuencia con el fin de prever cualquier riesgo. Sin embargo, la operación es más sencilla que el de alimentación al vacío, ya que la dosificación de cloro funciona de forma automática y no requiere de agua y energía para su funcionamiento.
	5 pts	2 pts	3 pts

<i>Generación de residuos</i>	La construcción de los baffles no generará grandes cantidades de residuos, tan ciertos materiales de construcción y demolición que se pueden manejar fácilmente sin requerir de terceros para su disposición.	Esta alternativa requiere de un área extra para construir la zona donde se van a almacenar los cilindros y equipos necesarios para la dosificación de cloro gaseoso, lo cual generara residuos de construcción que serán entregados a terceros. Además, la cámara de contacto que sera instalada dentro del tanque de almacenamiento solo necesitara la construcción de (3) tres bafes en cada tanque, lo cual no necesita excavación ni demolición de alguna unidad existente.	En esta alternativa al igual que la II, solo se generarán residuos de construcción, en la implementación del cuarto de almacén de cloro y en los baffles que van dentro del tanque de almacenamiento, lo que indica que no necesita excavación ni demolición de alguna unidad existente.
	4 pts	3 pts	3 pts
<i>Generación de ruido</i>	Al llevar al cabo la construcción de la cámara de contacto el ruido que se generara será mínimo sin embargo, al tener ya la cámara diseñada no se presentara ningún tipo de molestia.	Al llevar al cabo la construcción de la cámara de contacto y el almacén del cloro el ruido que se generara será mínimo. Sin embargo, al tener ya el diseño del almacén y de la cámara de contacto no se presentara ningún tipo de molestia.	Al llevar al cabo la construcción de la cámara de contacto y el almacén del cloro el ruido que se generara será mínimo. Sin embargo, al tener ya el diseño del almacén y de la cámara de contacto no se presentara ningún tipo de molestia.
	4 pts	4 pts	4 pts

Fuente: Autores.

5.3.2. Selección de alternativa

De acuerdo con los criterios analizados para las tres alternativas, aquella que obtuvo una mejor puntuación con base a la matriz de selección es la alternativa I, la cual corresponde a la construcción de tres baffles en cada tanque de almacenamiento con el fin de cumplir el tiempo de contacto con un puntaje de 445 sobre 500 seguido a la alternativa III que corresponde a la cloración gaseosa con alimentación a presión con una puntuación de 327,5 y por consiguiente de últimas quedó la II con un puntaje de 287,5 que corresponde a la cloración gaseosa con alimentación al vacío.

Tabla 31. Selección de alternativa

Aspectos	Factor a Evaluar	Peso %	A1	A2	A3
			Cámara de contacto	Cloro gaseoso (al vacío)	Cloro gaseoso (a presión)
Técnicos y operativos (25%)	Seguridad y cumplimiento de la normativa	5,0	25	25	15
	Vida útil (componentes)	5,0	25	25	25
	Complejidad de construcción y equipamiento	5,0	25	10	15
	Complejidad de operación del proceso	5,0	25	15	20
	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5,0	25	20	20
Económicos (60%)	Costo de inversión inicial	20	60	60	60
	Costo de operación y mantenimiento	40	200	80	120
Ambientales (15%)	Generación de residuos	7,5	30	22,5	22,5
	Generación de ruido	7,5	30	30	30
Total		100%	445	287,5	327,5

Fuente: Autores

6. CONCLUSIONES

- Se diseñó una cámara de contacto de cloro como propuesta de optimización para la planta de tratamiento de agua potable del parque Jaime Duque a partir del diagnóstico el proceso de tratamiento, donde se identificaron falencias técnicas y operativas en el proceso de desinfección que fueron objeto de optimización. Esta propuesta se evaluó con otras dos alternativas de mejora para dicho proceso según criterios técnicos, económicos y ambientales, con el fin de asegurar el tiempo de contacto de cloro en el tanque de almacenamiento y la dosis óptima de hipoclorito de sodio.
- El sistema de tratamiento está incumpliendo con la normatividad vigente, resolución 2115 de 2017 en los parámetros de cloro residual libre, manganeso y coliformes, por ende, presenta un nivel de riesgo medio con un IRCA de 24,47%, el cual se encuentra en el rango de clasificación como agua no apta para consumo humano. Sin embargo, se espera que al momento de implementar la alternativa se de cumplimiento a todos los parámetros establecidos en la normativa y se pueda calificar como un agua sin riesgo, apta para el consumo humano.
- La mayoría de operaciones unitarias que componen la PTAP, cumplen con el funcionamiento técnico, sin embargo, se presenta deficiencias en el manejo operativo, como el mantenimiento de las unidades debido a la presencia de hojas en el tanque de almacenamiento, incrustaciones en las paredes del tanque de equilibrio y zonas de oxidación en el puente de salida del tanque clarificador.
- Una de las falencias técnicas y operativas con mayor relevancia es la variación de la concentración del cloro residual libre y el incumplimiento con la normativa, esto se debe a la incorrecta dosificación del hipoclorito, donde no se verifica las características del agua antes de realizarla, el porcentaje de dosificación de la bomba que es diferente al que está establecido, y no se garantiza el tiempo de contacto del cloro en el agua, por ende se diseñan tres alternativas que den solución a estas falencias identificadas.

- Las tres alternativas diseñadas funcionan para optimizar el proceso de desinfección de la PTAP, la primera varía el manejo operativo donde se deberá seguir la curva de dosificación de la bomba, con el fin de establecer el % regulación de caudal que se requiere para la dosificación del hipoclorito teniendo en cuenta la concentración que se requiere para el proceso de desinfección, la segunda y tercera son una tecnología automática donde el clorador funciona con ajuste automático de la dosis de acuerdo con la determinación de cloro residual y las tres incluyen la modificación del tanque de almacenamiento para asegurar el tiempo de contacto de cloro a partir de los baffles. Cada una permite realizar la dosis óptima de hipoclorito de acuerdo a las características del agua y garantizar un tiempo de contacto de cloro.

- La matriz de evaluación realizada fue de vital importancia a la hora de seleccionar la alternativa para la optimización de la PTAP. En esta se evaluaron los criterios técnicos, económicos y ambientales más relevantes con una ponderación diferente para cada uno teniendo en cuenta la importancia de los mismos. Uno de los factores más importantes es el costo de operación ya que representa la inversión para que la PTAP perdure en el tiempo y se mantenga operando.

- Para verificar los diseños de las unidades de la planta y establecer el caudal de diseño no fue necesario hacer una proyección de la población, debido a que la capacidad del parque siempre es la misma y no hay un aumento progresivo de los habitantes. Para el caso se tomó un aproximado de la población diaria que permanece en el parque.

7. RECOMENDACIONES

- Para el manejo operativo de la PTAP se recomienda adquirir un equipo de turbiedad para tener control de la eficiencia del tanque clarificador y así poder verificar las características (turbiedad) del efluente.
- Se recomienda realizar la preparación del hipoclorito con medidas exactas y no de forma empírica y que este no perdure más de dos o tres días preparado, debido a que el cloro es un compuesto que se degrada fácilmente y su concentración puede disminuir si se deja almacenado por mucho tiempo.
- Se recomienda que el operario y el practicante utilicen los elementos de seguridad para todas sus actividades (preparación de químicos, mantenimiento de unidades), puesto que, al llevarlas a cabo, no cumplen con los implementos necesarios y esto podría generar afectaciones en la salud.
- La frecuencia de la prueba de jarras está establecida dos veces por semana, se recomienda realizarla todos los días para identificar las características del agua y así establecer la dosis correcta de coagulación y floculación.
- Se recomienda adquirir un equipo para el ensayo de jarras, con el objeto de identificar la concentración óptima de coagulante y floculante para realizar el proceso de mezcla rápida en el tanque clarificador, ya que el operario lo hace de forma manual en 4 vasos precipitados, incumpliendo con los tiempos establecidos.
- Se recomienda realizar mantenimiento a la torre de aireación, para evitar incrustaciones u obstrucción en los orificios y así poder garantizar su eficiencia mientras se encuentra operando. el cambio de este medio se debe llevar a cabo entre 3-6 meses, y la concentración de manganeso que es uno de los parámetros que entra con una concentración de 0,3 mg/L incumpliendo la resolución 2115 de 2007 pueda ser removido sin problema alguno.

- Se recomienda que se instale otra bomba centrífuga que capte el agua del lago de bicicletas para que al momento de alguna falla no se suspenda el funcionamiento de la PTAP y pueda encontrarse otra en su reemplazo, puesto que al descomponerse la actual el agua es dirigida directamente a la torre de aireación lo cual impide que el agua ingrese a la piscina de almacenamiento y no se realiza el primer proceso de oxigenación.

- El tanque de almacenamiento presenta actualmente zonas oxidadas para lo cual se recomienda que se lleve a cabo el mantenimiento correspondiente ya que, los operarios no tienen establecido un periodo para hacerlo. Es importante esta unidad puesto que podría afectar la calidad del agua que es distribuida a las instalaciones del parque.

8. REFERENCIAS

- Becton Dickinson. (2013). *INSTRUCCIONES DE USO – MEDIOS EN PLACA LISTOS PARA USAR* . Obtenido de BD MacConkey Agar without Salt :
<https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8804>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá: Mc Graw Hill.
- Arboleda. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia: Acodal.
- PAHO. (2018). Obtenido de
http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap6.pdf
- Granada, U. d. (2014). *Alternativa a la desinfección del agua con cloro: Ozonización*. Obtenido de
[http://grados.ugr.es/ambientales/pages/evidencias/evidencia_21tfgaprobado/!](http://grados.ugr.es/ambientales/pages/evidencias/evidencia_21tfgaprobado/)
- Becton Dickinson. (2013). *INSTRUCCIONES DE USO – MEDIO EN PLACAS LISTO PARA SU USO*. Obtenido de BD EMB Agar (Eosin Methylene Blue Agar), Modified : <https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8765>
- Becton Dickinson. (Julio de 2014). *INSTRUCCIONES DE USO – MEDIOS EN PLACA LISTOS PARA USAR* . Obtenido de BD MacConkey II Agar :
<https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8770>
- UNITEC. (2019). *Evaluación y Selección de Alternativas de Solución La Matriz de Decisión*.
- Monsalve. (2017). *DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE REDES Y EVALUACIÓN TÉCNICOECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA*.
- Fiquitiva, A. (2017). *DESARROLLO DE LA AMPLIACIÓN DE UNA SEGUNDA FASE DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE FUNZA CUNDINAMARCA*. Bogotá .
- 2115, R. (2007). *MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*.
- EPM. (2019). *Calidad del agua*. Obtenido de <http://www.grupo-epm.com/Agua.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad de agua potable*. Suiza: OMS.
- PAHO. (2018). Obtenido de
http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap6.pdf
- Rodríguez. (2008). Obtenido de
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45471/componente45469.pdf
- Duque, P. J. (2016). Obtenido de <https://parquejaimeeduque.com/jaime-duque.html>
- Tocancipá, A. d. (2018). Obtenido de <http://www.tocancipa-cundinamarca.gov.co/informaciongeneral.sht>
- UNITEC. (2019). *Evaluación y Selección de Alternativas de Solución La Matriz de Decisión*.

ISO 5667–1:1980 (UNE-EN 25667- 1:1995) Guidance on the design of sampling programmes. Guía para el diseño de los programas de muestreo

5667–3:1994 (UNE-EN 25667- 3:2004) Guidance on sampling from lakes, natural and man-made. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.

5667–4:1987 (NTC ISO 5667-4) Guidance on the preservation and handling of samples. Guía para la conservación y la manipulación de muestras.

Resolución 2115, (2007). Ministerio de la protección social, ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Bogotá.

Resolución 330, (2017). Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.

HACH, (2016). Importancia de la medición de carbono orgánico total. Obtenido de <https://co.hach.com/carbono-organico-total-biotector/family?productCategoryId=53560010005>

González, (2015). Operaciones y procesos unitarios. Universidad de La Salle

Romero, (2006). Purificación del agua (2ª Edición). Bogotá

9. ANEXOS

9.1 Cálculo dosis óptima desinfectante

Si la operación de la PTAP permite durante el 90% de su proceso la remoción del 95 al 99% de coliformes totales en los procesos previos de sedimentación y filtración, y la turbiedad del agua filtrada se mantiene durante el 95% del tiempo menor de 1 UNT, debe usarse la Tabla 13 para determinar K en función de la temperatura del agua y su pH.

Dosis de Cloro aplicada (mg/L)	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6	6,5	7	7,5	6	6,5	7	7,5	6	7	7	7,5	6	7	7	7,5
<=0,40	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0,6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0,8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1,2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1,4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1,6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1,8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2	29	35	41	50	19	23	28	33	15	17	21	25	10	12	14	17
2,2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2,4	30	36	43	2	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2,6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2,8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

9.2. Diseño de alternativas

Alternativa I. Cámara de contacto

Tanque de almacenamiento actual				
Parámetro	Convención	Unidades	Valor	Comentarios
Caudal Máximo Diario	QMD	LPS	4,84	Caudal de diseño
		m3/s	0,00484	
		m3/d	418,176	
Tiempo de retención	t	min	30	Asumido según la resolución 330 de 2017
		s	1800	
Ancho	A	m	9,47	---
Largo	L	m	6,5	---
Profundidad	Pr	--	3,45	---
Volumen tanque almacenamiento	V	m ³	212,36	---
Baffles				
Número de baffles	Nb	--	3	Asumido
Distancia entre baffles	x	m	1,0	Asumido
Altura	Hb	m	3,0	---
Borde libre	Bl	m	0,2	Asumido
Longitud baffle	Lo	cm	0,62	Asumido
		m	6,20	
Ancho del baffle	Abf	cm	20	Asumido
		m	0,2	

Alternativa II. Cloro gaseoso de alimentación al vacío

Cámara de cloración					
PARÁMETRO	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Caudal Máximo diario	QMD	---	4,84	LPS	Caudal de diseño
			0,00484	m3/s	
			418,18	m3/d	
Tiempo de retención	t	---	30	min	Asumido según la resolución 0330 de 2017
			1800	s	
Volumen	V	$V=QMD*t$	8,712	m3	---
Cámaras de contacto	C	---	1	---	---
Volumen Unitario	Vu	$Vu=V/C$	8,7	m3	---
Cálculo del área del almacén de cloro					
Dosis Mínima	Dm	---	0,8	mg/L	Datos tomados curva demanda de cloro
Dosis Máxima	Dmáx	---	3	mg/L	Datos tomados de la PAHO
Dosis promedio	D	$D=(DM+Dmáx)/2$	1,9	mg/L	---
Tiempo de almacenamiento	T	---	90	Días	---
Peso de cloro requerido en el periodo de almacenamiento	W	$w=QMD*T*D$	75,3	Kg	---
Capacidad requerida	Cr	$Cr=W/T$	0,8	Kg/d	---
Peso de un cilindro de cloro	P	---	75	Kg	Datos tomados de la PAHO
Número de cilindros	N	---	1	---	Número de cilindros en servicio según PAHO
			3		Número de cilindro de reserva mínima según PAHO
Área	Ac	---	0,071	m2	Área que ocupa un cilindro (PAHO)
Área total	At	$At=1,25*Ac*N$	0,3	m2	Área total ocupada por los cilindros
			0,8	m2	
Cálculo de una estación de cloración					
Concentración de la solución	C	---	3500	mg/L	Concentración de la solución adoptado por la PAHO
Caudal mínimo de agua	q	$q=QMD*DM/C$	4,14857E-06	m3/s	Caudal mínimo de agua requerido para la operación del eyector
Capacidad requerida del	Crc	$Crc=QMD*DM$	52,272	g/h	---

clorador					
Capacidad mínima del clorador	Cmín	Cmín= Cmax/20	37,5	g/h	---
			10,42	mg/s	
Velocidad en la tubería de alimentación del agua	v	---	0,6	m/s	Rango 0,60 a 1,20 m/s PAHO
Área de la tubería	A	$A=q/v$	6,91429E-06	m ²	---
Longitud de la tubería	L	---	4	m	Asumida la longitud de la tubería de alimentación del agua
Diámetro de la tubería	Ø	$Ø=\sqrt{4*A/\pi}$	0,002	m	---
			0,1	pulg	---
Diámetro Comercial	Ø	---		pulg	---
Coefficiente de fricción	f	---	0,03	---	---
Pérdidas de carga por fricción	Ho	$Ho=(f*L)/Ø*(v^2/2g)$	0,96	m	---
Coefficiente de Pérdida de carga por accesorios	K	---	4,45	---	---
Pérdida de carga total por accesorios	Hm	$Hm=Kv^2/2g$	0,082	m	---
Presión requerida por el inyector	h	---	30	mca	La mínima presión necesaria es 30 metros de columna de agua (mca), según la PAHO
Carga dinámica total	H	$H=h+Ho+Hm$	31,040	m	
Peso específico del agua	γ	---	9783,00	N/m ³	Apendice A libro purificación del agua Jairo Romero T° 23°C
			997,50	kg/m ³	
Eficiencia	E	---	0,85	---	---
Potencia de la bomba	Pt	$Pt=(\gamma*q*H)/75*E$	0,002014877	HP	---
Potencia comercial	Pc	---	0,5	HP	---
Tiempo de retención	t		30	min	---
Volumen	V	$V=QMD*t$	8,712	m ³	---

Alternativa III. Cloro gaseoso de alimentación a presión

Su diseño es similar al de la alternativa II. Sin embargo, para esta no se tiene en cuenta los diseños para el suministro de agua como las dimensiones y características hidráulicas de la tubería y el caudal mínimo de agua requerido para la operación del eyector.

Cámara de cloración					
PARÁMETRO	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Caudal Máximo diario	QMD	---	4,84	LPS	Caudal de diseño
			0,00484	m3/s	
			418,18	m3/d	
Tiempo de retención	t	---	30	min	Asumido según la resolución 0330 de 2017
			1800	s	
Volumen	V	$V=QMD*t$	8,712	m3	---
Cámaras de contacto	C	---	1	---	---
Volumen Unitario	Vu	$Vu=V/C$	8,7	m3	---
Cálculo del área del almacén de cloro					
Dosis Mínima	Dm	---	0,8	mg/L	Datos tomados curva demanda de cloro
Dosis Máxima	Dmáx	---	3	mg/L	Datos tomados de la PAHO
Dosis promedio	D	$D=(DM+Dmáx)/2$	1,9	mg/L	---
Tiempo de almacenamiento	T	---	90	Días	---
Peso de cloro requerido en el periodo de almacenamiento	W	$w=QMD*T*D$	75,3	Kg	---
Capacidad requerida	Cr	$Cr=W/T$	0,8	Kg/d	---
Peso de un cilindro de cloro	P	---	75	Kg	Datos tomados de la PAHO
Número de cilindros	N	---	1	---	Número de cilindros en servicio según PAHO
			3		Número de cilindro de reserva mínima según PAHO
Área	Ac	---	0,071	m2	Área que ocupa un cilindro (PAHO)
Área total	At	$At=1,25*Ac*N$	0,3	m2	Área total ocupada por los cilindros
			0,8	m2	
Cálculo de una estación de cloración					

Capacidad requerida del clorador	Crc	$Crc=QMD*DM$	52,272	g/h	---
Capacidad mínima del clorador	Cmín	$Cmín= Cmáx/20$	37,5	g/h	---
			10,42	mg/s	
Eficiencia	E	---	0,85	---	---