

Evaluación y propuesta de optimización del sistema de tratamiento de agua potable en la zona urbana del municipio de Toca

Lisbeth Camila Moreno Díaz
Deyler Johan Rodríguez Izariza

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Ambiental
Tunja
2023

Evaluación y propuesta de optimización del sistema de tratamiento de agua potable en la zona urbana del municipio de Toca

**Lisbeth Camila Moreno Díaz
Deyler Johan Rodríguez Izariza**

**Trabajo de Grado para optar al título de:
Ingeniero Ambiental**

Director

Diego Camilo Guio Sandoval

Ingeniero Sanitario

Ingeniero Ambiental

Msc. Ingeniería civil con énfasis en Hidroambiente

Codirector

José Castellanos Rozo

Ph.D. MSc. Micro. Microbiología

Universidad de Boyacá

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Tunja

2023

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 14 de noviembre de 2023

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Dedicamos este proyecto de grado a Dios por su presencia en nuestras vidas y por guiarnos en este camino hacia la culminación de nuestro proyecto de grado. Sabemos que, sin su ayuda divina, este logro no habría sido posible.

A nuestros familiares, amigos y compañeros por acompañarnos en este proceso, a nosotros mismos por el fruto de nuestro esfuerzo y dedicación para alcanzar este logro.

A la comunidad del municipio de Toca, Esperamos que nuestro trabajo pueda ser una pequeña contribución para hacer del mundo un lugar mejor, siguiendo su voluntad y propósito.

A nuestros queridos padres queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por su amor incondicional, apoyo constante y por ser nuestra fuente de inspiración. Gracias por creer en nosotros y por ser nuestro mayor impulso para alcanzar nuestras metas académicas. Sabemos que, sin su respaldo, este logro no habría sido posible. Valoramos profundamente sus sacrificios y esfuerzos para apoyarnos en cada paso del camino. Esperamos que este logro sea un reflejo del amor y dedicación que nos han brindado.

Agradecimientos

Agradecemos a nuestra querida universidad Boyacá, donde nos formamos para ser los mejores y alcanzar la grandeza. Gracias por ser el motor que impulsa nuestros sueños y nos inspira a brillar con excelencia.

A nuestros dedicados docentes, quienes nos asesoraron y aportaron en la investigación les agradecemos por su orientación experta y por ayudarnos a crecer como profesionales comprometidos con un futuro sostenible. Gracias por desafiarnos a superar nuestros límites y por guiarnos en cada etapa de nuestra investigación. Valoramos sus conocimientos y habilidades, así como su dedicación a nuestra educación.

¡Gracias a todos ustedes por ser parte de nuestro logro!

Contenido

	Pág.
Introducción	22
Diagnosticar la calidad de agua de la fuente abastecedora del río Toca y el sistema de tratamiento actual del municipio de Toca	23
Régimen de lluvias municipio de Toca	25
Caracterización de la variable climática.....	27
Precipitación	27
Estado técnico operativo y de la infraestructura del sistema de acueducto, vigilancia de la calidad del agua potable, municipio de Toca – Boyacá	36
Descripción general del sistema de acueducto	37
Operación de la PTAP	38
Fuente de abastecimiento.....	39
Descripción de la infraestructura existente del sistema de acueducto	40
Sectorización actual del servicio de acueducto	45
Cobertura	45
Operación y mantenimiento actual del sistema.....	46
Limpieza y acondicionamiento del sistema de acueducto.....	46
Bitácoras de control	48
Proyección poblacional	50
Cálculo de proyección poblacional	52
Caudal máximo diario	55
Caudal máximo horario	55
Verificación de dimensiones y parámetros específicos.....	57
Mezcla rápida	57
Mezcla lenta.....	62
Sedimentación	63
Filtración.....	65
Diagnóstico del estado actual de calidad de agua de la fuente abastecedora.....	69
Análisis de calidad de agua cruda.....	69

Contextualización del riesgo de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento	73
Diagnóstico del estado actual del sistema de tratamiento	75
Análisis in situ de los parámetros de calidad en cada uno de los módulos del sistema	75
Análisis de calidad en los puntos de muestreo	77
Identificar los factores de riesgo asociados a la PTAP en el municipio de Toca	81
Cálculos del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA)	82
Generar alternativas de optimización y selección de sistema de tratamiento	92
Prueba de tratabilidad (test de jarras)	92
Dosis optima de coagulación	93
Concentración optima de coagulante	96
pH optimo	97
Matriz de alternativas	99
Conclusiones	107
Recomendaciones	109
Referencias	111
Anexos	115

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Resultados históricos IRCA USP	23
Tabla 2 IRCA promedio por año	24
Tabla 3 Estaciones meteorológicas empleadas para el desarrollo del estudio	26
Tabla 4 Distribución mensual de precipitación de La Estación Casa Amarilla.....	28
Tabla 5 Precipitación máxima de la Estación Casa Amarilla	30
Tabla 6 Distribución mensual de precipitación de la Estación La Copa	32
Tabla 7 Precipitación máxima de la Estación La Copa	34
Tabla 8 Matriz criterios de caracterización del sistema de tratamiento actual	40
Tabla 9 Mantenimiento de los sistemas que conforman el acueducto municipal.....	47
Tabla 10 Formatos de control	49
Tabla 11 Metodologías para proyección de población	51
Tabla 12 Datos iniciales de población	52
Tabla 13 Cálculos de proyección poblacional	52
Tabla 14 Cálculo de la tasa de crecimiento	53
Tabla 15 Dotación neta máxima	55
Tabla 16 Cálculos proyección de caudal	56
Tabla 17 Matriz con criterios de caracterización de agua cruda.....	70
Tabla 18 Análisis in situ de los parámetros de calidad en cada módulo del sistema	75
Tabla 19 Matriz con criterios de caracterización del sistema de tratamiento (puntos de muestreo de calidad).....	78
Tabla 20 Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse	81
Tabla 21 Resultados muestra de laboratorio 18 de noviembre del 2022	82
Tabla 22 Resultados muestra de laboratorio 25 de noviembre del 2022	83
Tabla 23 Resultados muestra de laboratorio 2 de diciembre del 2022	84
Tabla 24 Resultados muestra de laboratorio 9 de diciembre del 2022	85
Tabla 25 Resultados muestra de laboratorio 23 de febrero 2023.....	86

Tabla 26 Resultados muestra de laboratorio 27 de febrero del 2023	87
Tabla 27 Resultados muestra de laboratorio 6 de marzo del 2023	88
Tabla 28 Resultados muestra de laboratorio 13 de marzo del 2023	89
Tabla 29 Resultados muestra de laboratorio 22 de marzo del 2023	90
Tabla 30 Resultados obtenidos por muestra IRCA años 2022 y 2023	91
Tabla 31 Materiales, equipos y reactivos.....	92
Tabla 32 Resultados parámetros iniciales.....	93
Tabla 33 Resultados dosis optima de coagulante	94
Tabla 34 Resultados concentración optima de coagulante	96
Tabla 35 Resultados pH optimo.....	98
Tabla 36 Criterios de evaluación	100
Tabla 37 Alternativas de optimización	103
Tabla 38 Matriz de alternativas.....	104

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación de las estaciones implementadas para el estudio	27
Figura 2. Promedio mensuales de precipitación de la Estación Casa Amarilla.....	29
Figura 3. Máximos diarios de precipitación de la Estación Casa Amarilla	31
Figura 4. Promedios mensuales de precipitación de la Estación La Copa.....	33
Figura 5. Máximos diarios de precipitación de la Estación La Copa	35
Figura 6. Instalaciones PTAP casco urbano	37
Figura 7. Tren de Tratamiento de la Planta de Agua Potable del Municipio de Toca – Boyacá..	38
Figura 8. Ubicación fuente de abastecimiento o bocatoma	39
Figura 9. Proyección poblacional suscriptores USP	54
Figura 10. Parámetros de diseño mezcla rápida.....	58
Figura 11. Mezcla rápida	58
Figura 12. Parámetros de diseño mezcla lenta.....	62
Figura 13. Mezcla lenta.....	63
Figura 14. Parámetros de diseño sedimentador	64
Figura 15. Parámetros de diseño sedimentador alta tasa	64
Figura 16. Parámetros de diseño filtración en múltiples etapas (FIME)	66
Figura 17. Sistema de tratamiento FIME	67
Figura 18. Cámara de salida filtro lento en arena	76
Figura 19. Puntos de muestreo o bayonetas.....	77
Figura 20. Procedimiento para la determinación de la dosis optima	92
Figura 21. Dosis optima de coagulante.....	95
Figura 22. Formación de flocc's.....	95
Figura 23. Procedimiento para la determinación de la concentración optima.....	96
Figura 24. Concentración optima de coagulante.....	97
Figura 25. Procedimiento para determinación de pH optimo	97
Figura 26. pH optimo	98
Figura 27. Matriz para desarrollar la metodología.....	99
Figura 28. Alternativa de optimización	105

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto	116
Anexo B. Informe de resultados IRCA Unidad de Servicios Públicos.....	159

Glosario

Agua potable: es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007).

Alternativa de optimización en el agua: según el Organización Panamericana de la Salud (2005), una alternativa de optimización en el agua es una opción que se puede implementar para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Puede referirse a una nueva tecnología, un cambio en los procesos o una combinación de ambos.

Análisis microbiológico del agua: son los procedimientos de laboratorio que se efectúan en una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social, 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 (MAVDT y MPS, 2007).

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* (MAVDT y MPS, 2007).

Análisis complementarios: es el procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente resolución y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo (MAVDT y MPS, 2007).

Análisis toxicológico: el análisis toxicológico en el agua potable es un proceso que se lleva a cabo para garantizar la seguridad del agua que consumimos. El objetivo de este análisis es

determinar la presencia de sustancias químicas tóxicas en el agua potable y evaluar su potencial de riesgo para la salud humana (Organización Mundial de la Salud, 2011).

Área de investigación o estudio: es un campo de estudio que se caracteriza por un conjunto de problemas, teorías, métodos y técnicas comunes (Hernández *et al.*, 2014).

Caudal: es la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal de un río, canal, tubería, etc., en un tiempo determinado. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo (m^3/s), litros por segundo (L/s) o galones por minuto (GPM) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

Caudal máximo diario (QMD): consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

Caudal máximo horario (QMH): consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

Caudal medio diario. Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año (MVCT, 2021).

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 ion hipoclorito (MAVDT y MPS, 2007).

Coliformes: bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO_2) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano (MAVDT y MPS, 2007).

Coefficiente de consumo máximo diario (K_1): número adimensional que se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario de un sistema de acueducto, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año (MVCT, 2021).

Coefficiente de consumo máximo horario (K_2): número adimensional que se obtiene de 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 (MVCT, 2021).

Color aparente: es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras (MAVDT y MPS, 2007).

Dotación Neta: Es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto (MVCT, 2021).

Dotación Bruta: es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto (MVCT, 2021).

Escherichia Coli - E-coli: bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la α galactosidasa y α glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano (MAVDT y MPS, 2007).

Filtros de arena: son dispositivos que utilizan un lecho de arena para retener partículas en suspensión del agua. Los filtros de arena se utilizan para purificar el agua potable, el agua de piscinas y otros tipos de agua (American Water Works Association, 2019).

Filtros de carbono: son dispositivos que utilizan carbón activado para eliminar los contaminantes del agua. El carbón activado es un material poroso que tiene una gran superficie

específica, lo que le permite absorber una amplia gama de contaminantes (US Environmental Protection Agency, 2017).

Fuente abastecedora de agua potable: es cualquier fuente natural o artificial de agua que se utiliza para abastecer a una población o sistema. Las fuentes abastecedoras de agua pueden ser superficiales, como ríos, lagos o embalses, o subterráneas, como acuíferos según Herraiz (2009).

Índice de Riesgo para la Calidad del Agua Potable (IRCA): este índice se utiliza para medir la probabilidad de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano (MinSalud, 2007).

Muestreo puntual en el agua: es un modo para obtener una muestra de agua en un punto específico. Esta muestra representa la calidad del agua en ese punto y momento (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2021).

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP): las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) son un conjunto de estructuras y equipos que se utilizan para eliminar los contaminantes del agua cruda, con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2020).

Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable: es una herramienta informática que permite a las autoridades sanitarias de Colombia recopilar, almacenar, analizar y reportar datos de la calidad del agua potable (MVCTC, 2021).

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 (MAVDT y MPS, 2007).

Zona urbana: es un área geográfica que se caracteriza por tener una población de 2.000 habitantes o más, una densidad de población de 500 habitantes por km² o más, y una infraestructura

y servicios urbanos, como calles, avenidas, edificios, comercios, escuelas, hospitales, etc. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2023).

Resumen

Evaluación y propuesta de optimización del sistema de tratamiento de agua potable en la zona urbana del municipio de Toca:

El presente estudio surge del análisis de los resultados del índice de riesgo para la calidad de agua potable en los últimos años obtenidos del Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano, en el cual se evidencia una distribución de agua no apta para consumo humano por los niveles de riesgo obtenidos en la mayoría de las muestras, esta problemática de calidad implico a realizar diagnóstico de la calidad de agua de la fuente abastecedora y el sistema de tratamiento actual del municipio de Toca, mediante tomas de muestras en afluente y efluente para realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos con el fin de identificar los factores de riesgo asociados a la PTAP y generar alternativas de optimización y selección de sistema de tratamiento.

El sistema de tratamiento de agua potable de la zona urbana del municipio de Toca se evaluó mediante la información histórica recopilada, resultados de análisis de calidad del agua bajo la resolución 2115 del 2007, proyecciones de caudal y la evaluación de las dimensiones establecidas en la resolución 0330 del 2017, de lo que se obtuvo que el caudal actual con el que opera la planta es menor al que se requiere para el otro año mediante proyección aritmética y a su vez se evidencio que el sedimentador de la planta convencional no cumple con el tiempo de retención hidráulica establecidos en normativa según sus medidas, por lo cual se define que hay que implementar una alternativa que aumente la capacidad de la planta.

El enfoque metodológico es de carácter mixto, considerando que se realizó una recolección de datos o variables que explican la calidad del agua en la planta de agua potable del municipio de Toca, de igual forma, se considera investigación aplicada ya que pretende dar solución a una problemática social actual que aqueja a la comunidad que se beneficia del servicio de acueducto. Para la recolección de información primaria se realizaron visitas de campo y trabajo de laboratorio para recopilar información diagnostica y documentación existente de la Unidad de Servicios

Públicos. De igual forma, para la recolección de información secundaria se realizó una revisión literaria a través de libros, EOT municipal, planos, manuales, mapas, entre otros.

De forma general, se recomienda al Municipio de Toca, implementar a corto plazo en el Sistema Convencional Tipo Compacto una filtración convencional independiente del sistema FIME: con la intención de aumentar la capacidad del caudal en todo el sistema y suplir con la demanda de la población, logrando abastecer hasta el año 2042. También se establece que a largo plazo se debe aumentar el tratamiento del sistema incluyendo procesos que remuevan los parámetros problemas en el efluente que son: nitritos, hierro, manganeso, color aparente y turbiedad con el fin de cumplir con la resolución 2115 del 2007.

Palabras Clave: agua potable, diagnostico, optimización, PTAP, diseños.

Abstract

Evaluation and proposal for optimization of the drinking water treatment system in the urban area of the municipality of Toca:

The present study arises from the analysis of the results of the risk index for the quality of drinking water in recent years obtained from the Information System of the Surveillance of the Quality of Water for Human Consumption, in which a distribution of water unfit for human consumption is evidenced by the risk levels obtained in most of the samples, This quality problem led to a diagnosis of the water quality of the supplying source and the current treatment system of the municipality of Toca, by taking samples of influent and effluent for physicochemical and microbiological analysis in order to identify the risk factors associated with the PTAP and generate alternatives for optimization and selection of the treatment system.

The drinking water treatment system of the urban area of the municipality of Toca was evaluated through historical information collected, results of water quality analysis under resolution 2115 of 2007, flow projections and evaluation of the dimensions established in resolution 0330 of 2017, from which it was obtained that the current flow with which the plant operates is less than what is required for the other year by arithmetic projection and in turn it was evidenced that the sedimenter of the conventional plant does not comply with the hydraulic retention time established in regulations according to its measurements, so it is defined that an alternative to increase the capacity of the plant must be implemented.

The methodological approach is of a mixed nature, considering that a collection of data or variables that explain the quality of the water in the drinking water plant of the municipality of Toca was carried out, likewise, it is considered applied research since it aims to provide a solution to a current social problem that afflicts the community that benefits from the aqueduct service. For the collection of primary information, field visits and laboratory work were carried out to compile diagnostic information and existing documentation of the Public Services Unit. Similarly, for the collection of secondary information, a literature review was carried out through books, municipal EOT, plans, manuals, maps, among others.

In general, it is recommended to the Municipality of Toca to implement in the short term a conventional filtration system independent of the FIME system in the Compact Type Conventional System: with the intention of increasing the flow capacity throughout the system and supplying the population's demand, achieving supply until the year 2042. It is also established that in the long term the treatment of the system should be increased including processes that remove the problem parameters in the effluent which are: nitrites, iron, manganese, apparent color and turbidity in order to comply with resolution 2115 of 2007.

Key words: drinking water, diagnosis, optimization, PTAP, designs.

Introducción

El agua es esencial para la vida humana, ya que participa en una amplia gama de procesos fisiológicos, siendo un componente de todos los tejidos y órganos del cuerpo, y además representa aproximadamente el 60% del peso corporal. En otras palabras, se reconoce a este líquido como un recurso necesario para el transporte de nutrientes y oxígeno a las células del cuerpo, la eliminación de desechos, la regulación de la temperatura corporal, la protección de los órganos y la prevención de enfermedades (Fernández, 2012).

El acceso a agua potable segura es un derecho humano fundamental, es por ello que las plantas de tratamiento de agua potable son una inversión esencial para la salud pública y el desarrollo sostenible, ya que estas infraestructuras permiten reducir la contaminación del agua y eliminar la mayoría de los contaminantes presentes antes de distribuir a los usuarios que se abastecen de la planta (Rodríguez y García, 2023). En Colombia existe el índice de Riesgo de la Calidad del Agua es una herramienta importante que se utiliza para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano, permitiendo identificar los sistemas de abastecimiento de agua que presentan un riesgo para la salud, y tomar medidas para mejorar la calidad del agua (Briñez *et al.*, 2012).

La planta de tratamiento de agua potable del municipio de Toca-Boyacá, para el año 2022 presentaba únicamente un sistema de Filtración de Múltiples Etapas FIME y actualmente se ha inaugurado un módulo Convencional Tipo – Compacto y desinfección con cloro. El agua cruda que ingresa a la planta proviene del río Toca, que es captado a través de una bocatoma y conducido por un canal de aducción. A pesar de que la planta tiene un buen funcionamiento y cumple con los estándares de calidad establecidos por la autoridad sanitaria competente, para el año 2022 se evidenció en el Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable que en varios meses la planta entregó un servicio con riesgo medio y alto lo cual puede afectar la salud de la población que se abastece con esta agua. Por tal razón es importante trabajar para garantizar que los habitantes de la zona urbana del municipio reciban agua potable segura y esto se puede hacer mediante la inversión en infraestructura de agua potable y saneamiento, la educación sobre el agua y la promoción de prácticas de higiene.

Diagnosticar la calidad de agua de la fuente abastecedora del río Toca y el sistema de tratamiento actual del municipio de Toca

La investigación surge a partir del diagnóstico histórico y documental de la prestación del servicio público de agua potable del municipio de Toca. Partiendo de la información suministrada del Sistema de Información para la Vigilancia del Agua Potable (SIVICAP); la cual es una herramienta importante para la protección de la salud pública en Colombia.

Este sistema permite a las autoridades sanitarias identificar y abordar los problemas de calidad del agua, lo que ayuda a prevenir enfermedades transmitidas por el agua. En esta se puede consultar en línea datos de los resultados de los análisis de agua, los IRCA, IRABA, los mapas de riesgo, entre otra información. Por lo cual fue la fuente de información para recopilar los históricos de planta de agua potable del municipio de Toca (Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable, 2022).

Esta información se buscó a través del SIVICAP con el fin de identificar el nivel de riesgo en el que se encuentra el agua que se le está distribuyendo a los suscriptores de la PTAP para evidenciar si puede existir una problemática sanitaria en el servicio que presenta la unidad de servicios públicos domiciliarios de Toca.

En la tabla 1 se presentan los resultados históricos del IRCA desde el año 2020 hasta el 2023.

Tabla 1

Resultados históricos IRCA USP

Año	Persona Prestadora	Mes	Fecha y Hora de la Toma	Finalidad	IRCA	Nivel de Riesgo
2020	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE TOCA	Marzo	02/03/2020 8:50:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
		Abril	27/04/2020 4:05:00 p. m.	Vigilancia	18,87	Medio
		Mayo	18/05/2020 9:10:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
		Julio	27/07/2020 8:05:00 a. m.	Vigilancia	1,88	Sin riesgo
		Agosto	10/08/2020 8:50:00 a. m.	Vigilancia	8,6206	Bajo
		Septiembre	01/09/2020 7:30:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
		Septiembre	14/09/2020 8:55:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
		Octubre	19/10/2020 4:10:00 p. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
		Noviembre	09/11/2020 8:48:00 a. m.	Vigilancia	8,7209	Bajo
		Noviembre	30/11/2020 8:48:00 a. m.	Vigilancia	26,087	Medio
		Diciembre	07/12/2020 8:40:00 a. m.	Vigilancia	100	Inviabile sanitariamente
		2021	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE TOCA	Febrero	22/02/2021 4:03:00 p. m.	Vigilancia
Marzo	08/03/2021 4:52:00 p. m.			Vigilancia	0	Sin riesgo
Abril	05/04/2021 7:52:00 a. m.			Vigilancia	25,455	Medio
Abril	19/04/2021 8:00:00 a. m.			Vigilancia	100	Inviabile sanitariamente

	Mayo	10/05/2021	5:05:00 p. m.	Vigilancia	26,667	Medio
	Junio	28/06/2021	7:50:00 a. m.	Vigilancia	25,767	Medio
	Julio	26/07/2021	7:15:00 a. m.	Vigilancia	18,405	Medio
	Agosto	30/08/2021	8:47:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
	Septiembre	12/09/2021	4:34:00 p. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
	Octubre	11/10/2021	8:30:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
	Noviembre	01/11/2021	5:05:00 p. m.	Vigilancia	26,752	Medio
	Noviembre	16/11/2021	8:30:00 a. m.	Vigilancia	26,415	Medio
	Noviembre	29/11/2021	4:40:00 p. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
	Diciembre	06/12/2021	9:40:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
2022	Febrero	09/02/2022	7:20:00 a. m.	Vigilancia	0	Sin riesgo
	Marzo	14/03/2022	7:50:00 a. m.	Vigilancia	100	Inviabile sanitariamente
	Marzo	15/03/2022	7:15:00 a. m.	Vigilancia	28,313	Medio
	Abril	06/04/2022	7:45:00 a. m.	Vigilancia	8,8235	Bajo
	Mayo	16/05/2022	10:05:00 a. m.	Vigilancia	25,862	Medio
	Junio	07/06/2022	4:01:00 p. m.	Vigilancia	29,012	Medio
	Agosto	30/08/2022	7:45:00 a. m.	Vigilancia	26,752	Medio
	Septiembre	26/09/2022	10:12:00 a. m.	Vigilancia	25	Medio
	Octubre	03/10/2022	9:50:00 a. m.	Vigilancia	100	Inviabile sanitariamente
	Octubre	03/10/2022	7:36:00 a. m.	Vigilancia	23,864	Medio
	Octubre	31/10/2022	6:45:00 a. m.	Vigilancia	57,955	Alto
	Noviembre	14/11/2022	3:20:00 p. m.	Vigilancia	26,163	Medio
Diciembre	05/12/2022	7:20:00 a. m.	Vigilancia	27,108	Medio	

Fuente: Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP). (2022). *Informe de resultados del IRCA mensual por persona prestadora por sistema - Decreto 1575/2007*. <https://sivicap.ins.gov.co/sivicap/Account/Login?ReturnUrl=/sivicap/>.

A través de los valores obtenidos de los históricos se realizó un promedio de las muestras por año obteniendo los cuales se fijaron en la tabla 2:

Tabla 2

IRCA promedio por año

Promedio IRCA		
Año	IRCA	Nivel Riesgo
2020	15	Medio
2021	19	Medio
2022	37	Alto

Fuente: Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP). (2022). *Informe de resultados del IRCA mensual por persona prestadora por sistema - Decreto 1575/2007*. <https://sivicap.ins.gov.co/sivicap/Account/Login?ReturnUrl=/sivicap/>.

En la tabla 2, se evidencian los promedios históricos de los años 2020, 2021 y 2022 del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua de la Planta de tratamiento de agua potable de la zona Urbana del municipio de Toca; en lo cual los dos primeros años reflejan un nivel de riesgo medio, indicador que permite establecer que el agua no es apta para consumo humano. Por lo cual, presenta una leve probabilidad de que los usuarios del acueducto puedan verse expuestos a tener enfermedades gastrointestinales como diarrea, vómitos y fiebre (Ministerio de Salud y Protección Social, 2021).

Para el año 2022 se obtuvo un nivel de riesgo alto que indica que existe una probabilidad alta de que el agua cause enfermedades. Esto significa que esta agua contener contaminantes que pueden causar o transmitir enfermedades graves como como la disentería y la fiebre tifoidea (MinSalud, 2021).

Por último, el promedio en lo que va del año 2023 hasta el mes de septiembre se ve una mejoría del 100% ya que el agua se presenta en un valor promedio de cero, indicando así que el agua tiene un nivel sin riesgo por lo que se asumen que no hay ningún tipo de afectación a la salud de los suscriptores de la zona urbana del municipio de Toca Boyacá.

Régimen de lluvias municipio de Toca

Se realiza el análisis del régimen de lluvias con el fin de establecer la variabilidad climática que se presenta en el municipio de Toca, para seleccionar las fechas de muestreos representativos en las diferentes condiciones climatológicas como lo son verano e invierno. Esto permitirá tener una serie de datos confiables a la hora de realizar el respectivo análisis. Además, comparar y contrastar cada una de las condiciones, siendo un factor determinante la presencia de lluvias, ya que cuando se presenta esta variable se pueden arrastrar sedimentos, contaminantes y otros materiales que pueden afectar la calidad del agua de la fuente abastecedora.

Por otro lado, según (Organización Panamericana de la Salud, 2015) cuando es época de verano las fuentes hídricas presentan pH más altos por el aumento de la temperatura, lo que favorece el crecimiento de bacterias y otros microorganismos. Esto se debe a que estas condiciones proporcionan un ambiente más favorable para el crecimiento de estos microorganismos, que pueden multiplicarse más rápidamente y producir toxinas que pueden ser dañinas para la salud.

Teniendo lo anterior y el área de influencia determinada se descargó la información climatológica reportada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, se realiza un inventario preliminar de las estaciones meteorológicas con el fin de poder seleccionar aquella que se consideran útiles y se encuentren dentro o cerca de la PTAP.

De acuerdo con las estaciones existentes dentro del área de estudio operadas por el IDEAM se escogió las estaciones ubicadas en el área denominada (**Casa Amarilla y La Copa**). Para estas estaciones se adquirieron los datos de precipitación disponibles.

En la tabla 3, se relaciona la estación meteorológica empleada para este estudio y referencia sus características generales.

Tabla 3

Estaciones meteorológicas empleadas para el desarrollo del estudio

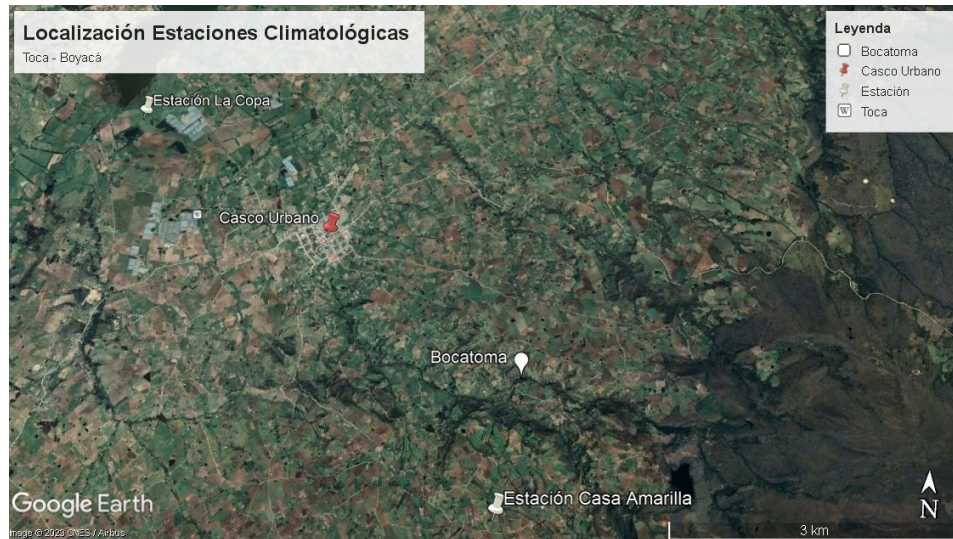
N.º	ESTACIÓN	MUNICIPIO	TIPO	DPTO.	COORDENADAS	ELEV. (m.s.n.m.)	AÑOS DE REGISTRO
1	Casa Amarilla	Toca	PM	Boyacá	5,53380556 - 73,1635	3200	1974-2023
2	La Copa	Toca	CO	Boyacá	5° 37' N - -73° 12' W	2700	1994-2023

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

En la figura 1, se presenta la ubicación de las estaciones climatológicas del municipio de Toca-Boyacá, cuyas coordenadas se pueden ver en la Tabla 3.

Figura 1

Ubicación de las estaciones implementadas para el estudio



Fuente: autores

Caracterización de la variable climática***Precipitación***

De acuerdo con el régimen de precipitación podemos determinar el carácter de intensidad de las lluvias en la Estación Casa Amarilla y La Copa durante los años 2018 a 2022. Como se evidencia en lo consignado en las Tablas 4 y Tabla 5.

Tabla 4*Distribución mensual de precipitación de La Estación Casa Amarilla*

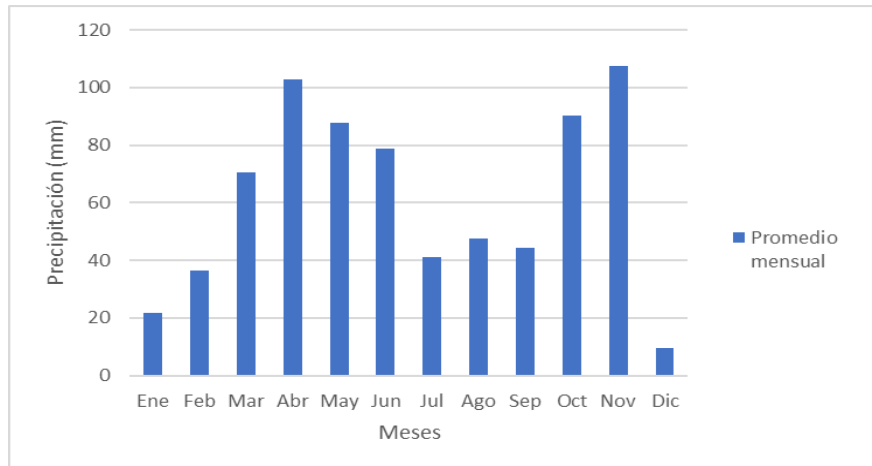
IDEAM -INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)													
FECHA DE PROCESO 06/21/2023							ESTACIÓN: CASA AMARILLA						
LATITUD	5,533805556	TIPO DE ESTACIÓN	PM	DEPARTAMENTO	BOYACÁ	FECHA DE INSTALACIÓN	15/03/1974						
LONGITUD	-73,1635	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	TOCA	FECHA DE SUSPENSIÓN							
ELEVACIÓN	3200	REGIONAL	BOYACÁ	CORRIENTE	TOCA								
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Año
2018	16,5		69	155	49,1	71	56	35,8	26	164	115	0	756,9
2019	9,3	12	120	79	150	30	38	38	32	46,1	99	6,9	658,7
2020	34,9	12	22	52.6	58,1	87	51	45,7	72	58,8	187	17	697
2021	2	73	51	135	120	91	16	81,5	32	70,5	33	5	709,3
2022	46	48	92	91.8	61	116	45	37,5	60	112	105	20	833
Total, mes	108,7	146	353	513	438	393	205	239	221	451	538	48	3654,9
Promedio mensual	21,74	37	71	103	87,7	79	41	47,7	44	90,3	108	9,6	730,98

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM.

<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Figura 2

Promedios mensuales de precipitación de la Estación Casa Amarilla



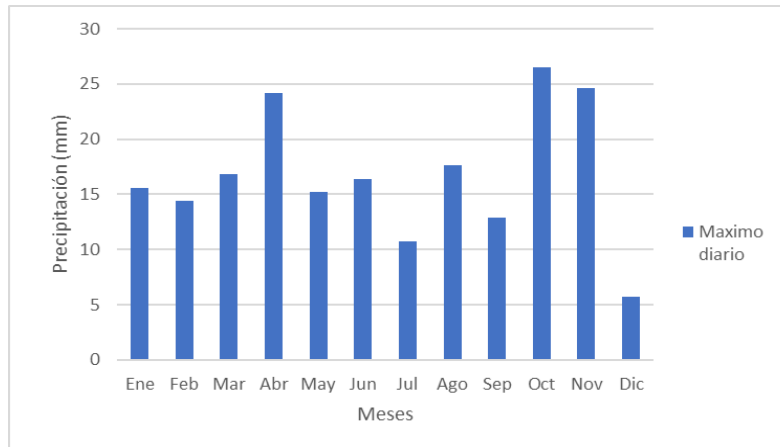
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

En la figura 2 se logra evidenciar el análisis de la información proporcionada por la estación climatológica “Casa Amarilla”, en la cual se determina que el régimen de precipitación del área de influencia del sistema de tratamiento de agua potable a través de los años presenta una tendencia ciclo bimodal; de esta manera, se observan dos períodos de lluvias y dos de verano.

Tabla 5*Precipitación máxima de la Estación Casa Amarilla*

IDEAM -INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (mm)													
FECHA DE PROCESO 06/21/2023							ESTACIÓN: CASA AMARILLA						
LATITUD	5,533805556		TIPO DE ESTACIÓN	PM	DEPARTAMENTO	BOYACÁ	FECHA DE INSTALACIÓN	15/03/1974					
LONGITUD	-73,1635		ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	TOCA	FECHA DE SUSPENSIÓN						
ELEVACIÓN	3200		REGIONAL	BOYACÁ	CORRIENTE	TOCA							
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Año
2018	7		14	20,6	12	11	9,5	8	8	26	22	0	26
2019	9,3	4,5	24	19	14,5	8	10	9,5	20	17,4	22	2,7	24
2020	21,4	8	6,3	16	15,8	29	8	18,5	15	42	28	12	42
2021	2	36	16	41,5	19	16	8	32	9,5	25	17	5	41,5
2022	38	9	24	24	15	18	18	20	12	22	34	9	38
TOTAL, MES	38	36	24	41,5	19	29	18	32	20	42	34	12	42
Máximo diario	15,54	14,375	16,86	24,22	15,26	16,4	10,7	17,6	12,9	26,48	24,6	5,74	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM.<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Figura 3*Máximos diarios de precipitación de la Estación Casa Amarilla*

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

De acuerdo a la Figura 3, nos muestra la historia climática para el área de interés, con dos patrones estacionales bien marcados, en los periodos de abril, octubre y noviembre con precipitaciones más intensas durante lo corrido de los años, con un evento extremo de verano en el periodo de diciembre. Esto permite a corto plazo implementarse como medio de información para predecir el comportamiento del clima durante los meses del año, lo que es importante para llevar a cabo una adecuada gestión del agua y la planificación para el suministro de la misma.

El análisis de la información reportada por la estación Casa Amarilla, nos permite determinar que la temporada del primer invierno o época lluviosa del año comienza marzo y se extiende hasta Junio; con valores promedio mensuales que oscilan entre 71 mm a 103 mm. El segundo periodo de lluvia se presenta entre octubre y noviembre; con valores promedio mensuales que oscilan entre 90,3 mm a 108,0 mm. El mes con más alta precipitación es noviembre, registrado con un valor de 108 mm.

El primer periodo seco se presenta en el mes de enero, con valor de precipitación mensual de 21,74 mm; el siguiente periodo de estiaje inicia en Julio y finaliza en septiembre, con precipitaciones promedio mensuales que oscilan entre 41 mm a 47,7 mm. Además, el mes con menor precipitación durante todo el año es diciembre con 9,6 mm.

Tabla 6*Distribución mensual de precipitación de la Estación La Copa*

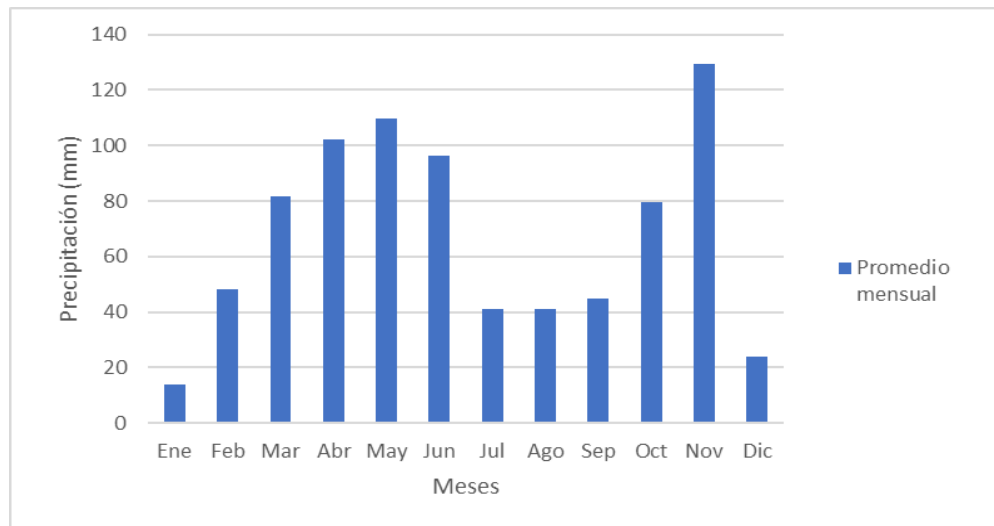
IDEAM -INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)													
FECHA DE PROCESO 06/21/2023							ESTACIÓN: LA COPA						
LATITUD	5,579194444	TIPO DE ESTACIÓN	PM	DEPARTAMENTO	BOYACÁ	FECHA DE INSTALACIÓN	15/12/1991						
LONGITUD	-73,2087778	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	TOCA	FECHA DE SUSPENSIÓN							
ELEVACIÓN	2700	REGIONAL	BOYACÁ	CORRIENTE	TOCA								
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Año
2018	15,9	2,7	68,5	152	132	50,2	48,5	19,9	33,3	99,6	134	1	758,1
2019	13,5	6,4	105	107	114	45,6	23,2	40,4	42,2	44,1	96	31,5	668,5
2020	22	51,2	30,1	51	82,2	86,2	45,7	52,7	45,6	40,5	201	39,1	746,9
2021	2,7	15,6	86,9	92,2	141	129	31,8	50,8	37	85,5	52,2	4,8	729,5
2022	16,1	166	118	110	80,2	171	56,4	41,5	66,7	128	165	42,6	1160,2
TOTAL, MES	70,2	242	408	511	550	482	206	205	225	398	648	119	4063,2
Promedio mensual	14,04	48,4	81,7	102	110	96,3	41,1	41,1	45	79,6	130	23,8	812,64

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM.

<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Figura 4

Promedios mensuales de precipitación de la Estación La Copa



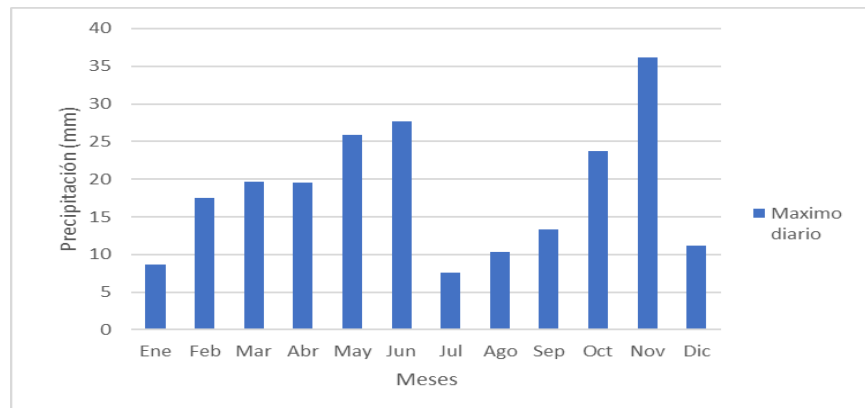
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Al igual que en la estación Casa Amarilla, la estación La Copa también registra para la zona un Régimen de carácter bimodal, con dos periodos de invierno y dos de verano bien diferenciados entre sí, como se observa en la Figura 4.

Tabla 7*Precipitación máxima de la Estación La Copa*

IDEAM -INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES													
PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (mm)													
FECHA DE PROCESO 06/21/2023							ESTACIÓN: LA COPA						
LATITUD	5,579194444	TIPO DE ESTACIÓN	PM	DEPARTAMENTO	BOYACÁ	FECHA DE INSTALACIÓN	15/12/1991						
LONGITUD	-73,2087778	ENTIDAD	IDEAM	MUNICIPIO	TOCA	FECHA DE SUSPENSIÓN							
ELEVACIÓN	2700	REGIONAL	BOYACÁ	CORRIENTE	TOCA								
AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Año
2018	4,9	0,9	37,7	15,2	22,1	15,9	5,5	3,4	11,4	19,6	71,4	1	71,4
2019	9	3,5	19,8	23,9	27,8	24,1	6,5	8,9	18,6	14,1	26,6	12,1	27,8
2020	13,3	15,4	8,6	18,3	26,8	23,9	6,2	13,5	11,3	23,6	24	13	26,8
2021	2,7	7,5	13	22,2	28,7	33,7	13,1	15	11,3	25,3	14,7	1,6	33,7
2022	13,3	60,5	19	18,3	24	40,7	6,7	11	14,3	36	44	28,3	60,5
TOTAL, MES	13,3	60,5	37,7	23,9	28,7	40,7	13,1	15	18,6	36	71,4	28,3	71,4
Máximo diario	8,64	17,56	19,62	19,58	25,88	27,66	7,6	10,36	13,38	23,72	36,14	11,2	

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Figura 5*Máximos diarios de precipitación de la Estación La Copa*

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

La Figura 5 nos permite identificar los patrones estacionales en lo corrido del año, con un comportamiento multivariable de precipitación en el área de influencia de la estación climatológica. Con un periodo bien marcado de incremento de las lluvias para el mes de noviembre y varios eventos extremos de verano para los periodos de enero, julio, agosto y diciembre. Esto permitirá establecer planes de contingencia según el patrón de influencia del momento, tomar decisiones informadas para el tema de agricultura, gestión de recursos hídricos y respuesta antes eventos climáticos extremos de invierno y verano.

De acuerdo con los datos suministrados por la estación La Copa se determina que la temporada lluviosa del año comienza en marzo y se extiende hasta junio; este comportamiento resulta similar al de la estación Casa Amarilla, con valores promedio mensuales que oscilan entre 81,7 mm a 110 mm. El segundo periodo de lluvia se presenta en los meses de octubre y noviembre; con valores promedio mensuales que oscilan entre 79,6 mm a 130 mm. El mes con más alta precipitación es noviembre, registrado con un valor de 130 mm.

El primer periodo seco se presenta en el mes de diciembre hasta febrero, con valores que oscilan entre 23,8 mm a 448,4 mm; Enero resulta ser el mes con menor precipitación durante todo el año; el siguiente periodo de estiaje se inicia en el mes de Julio y finaliza en septiembre, con precipitaciones promedio mensuales que oscilan entre 41,1 mm a 45 mm.

En relación la estación Casa Amarilla y la estación La Copa localizadas en el municipio Toca, con nivel altitudinal de 2700 m.s.n.m y 3200 m.s.n.m; observando que el comportamiento

en el régimen de precipitación resulta similar en las dos estaciones de acuerdo a las condiciones de la zona, a diferencia que en la estación Casa Amarilla caen aprox. 730,98 mm y en la estación La Copa caen aprox. 812,64 mm Total mes; con una diferencia de 81,66 mm de una a otra estación.

De manera general, se puede decir que para las dos estaciones seleccionadas los valores de precipitación resultan ser bajos. Por otra parte, se puede concluir que en promedio el 26,2% de las lluvias anuales ocurren durante los seis meses del periodo seco y el 73,8% se presenta en los seis meses de invierno mencionados.

Dada la información anterior, se establece que el municipio de Toca Boyacá tiene un régimen de lluvias que se comporta gráficamente de forma bimodal en el cual varían crecimientos y decrecimientos de precipitación a lo largo de los años (2018-2022), por tal razón en la presente investigación se realizaron análisis físicoquímicos y microbiológicos de la siguiente manera:

- Noviembre 2022: Época de lluvia.
- Diciembre 2022: Época de sequía.
- Febrero 2023: Época de sequía.
- Marzo 2023: Época de lluvia.

Estado técnico operativo y de la infraestructura del sistema de acueducto, vigilancia de la calidad del agua potable, municipio de Toca – Boyacá

La Figura 6, presenta la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Toca, Boyacá. Se distingue el módulo compacto de tratamiento, que integra procesos como coagulación, floculación y sedimentación para remover impurezas del agua captada. Junto a éste se observan los filtros FIME, de flujo ascendente y descendente, encargados de retener partículas diminutas y entregar agua de calidad apta para consumo humano. Esta moderna PTAP abastece de agua potable a la población del municipio de Toca.

Figura 6

Instalaciones PTAP casco urbano



Fuente: autores

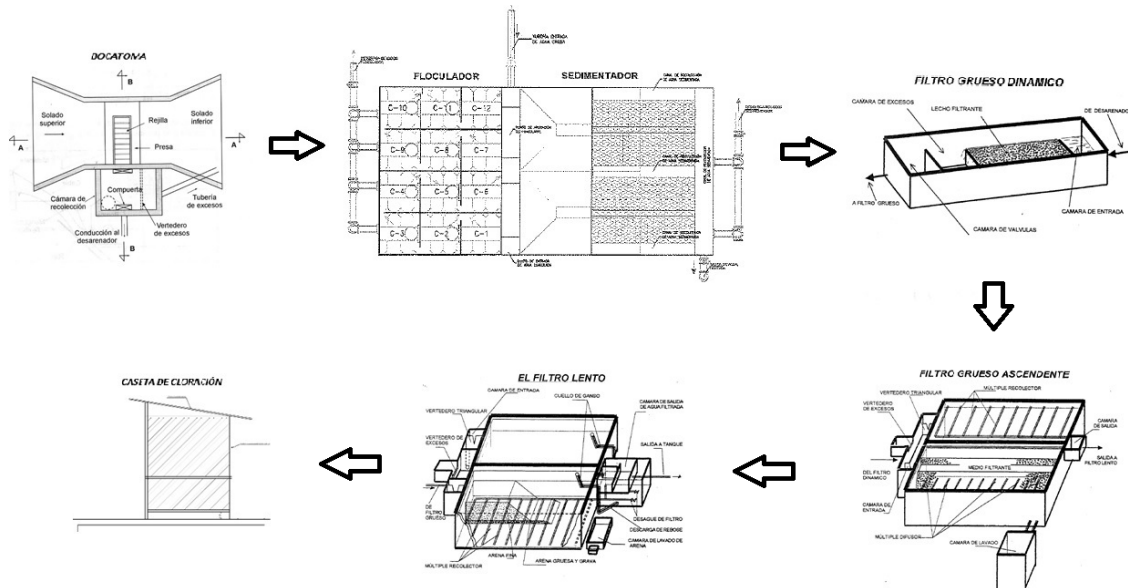
Descripción general del sistema de acueducto

El sistema de acueducto del perímetro urbano del municipio de Toca toma el agua para su funcionamiento del Río Toca. El sistema cuenta con la estructura de bocatoma, desarenador, planta de potabilización (Compacta convencional y FIME), tanque de almacenamiento y redes de distribución con válvulas y accesorios.

Operación de la PTAP

Figura 7

Tren de Tratamiento de la Planta de Agua Potable del Municipio de Toca – Boyacá



Fuente: Municipio de Toca. (2007). *Manual de Operación del Sistema de tratamiento en múltiples etapas FIME municipio de Toca - Boyacá*. Municipio de Toca.

Como se observa en la Figura 7, la planta de tratamiento del acueducto urbano (Compacta y FIME), opera de manera secuencial integrando en primera medida el sistema de coagulación, el cual consiste en un canal de entrada y una rampa que forma el resalto hidráulico que genera la mezcla rápida del coagulante dosificado en el agua. Posteriormente, el sistema se surte de un floculador Cox o floculador hidráulico de flujo vertical con 12 series de cámaras provistas de ventanas de interconexión que, según su posición, hace que el agua descienda en una cámara y ascienda en la siguiente, de manera alternada. Además, se cuenta con un sedimentador de alta tasa conformado por dos tolvas inferiores de lavado y una zona de sedimentación compuesta por paneles de sedimentación de alta tasa tipo colmena.

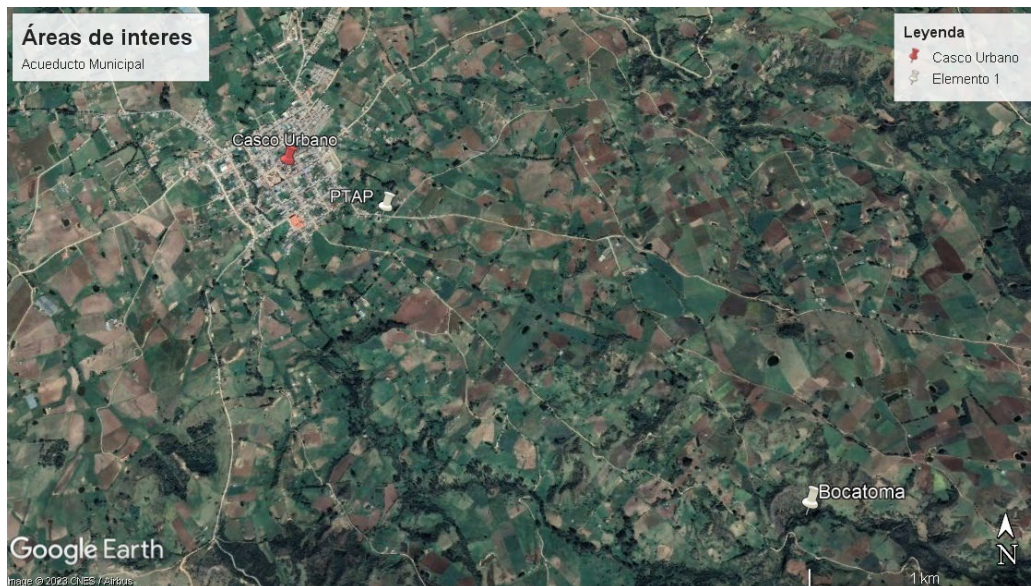
Conforme a ello, según el Municipio de Toca (2007), el sistema de tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas (FIME) se compone por dos etapas de filtración en medios gruesos (gravas) como pretratamiento (Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) y Filtros Gruesos Ascendentes (FGAs)) y la filtración lenta en arena (FLA) como tratamiento. Los dos primeros conforman la

etapa de pretratamiento que permite enfrentar concentraciones altas de sólidos suspendidos y microorganismos presentes en el agua cruda, en tanto que la tercera etapa constituye la etapa de pulido o tratamiento final del agua potable.

Fuente de abastecimiento

Figura 8

Ubicación fuente de abastecimiento o bocatoma



Fuente: autores


El acueducto urbano del municipio cuenta con una fuente de abastecimiento ubicada sobre el cauce del Río Toca. De esta manera, en la Figura 8 se presenta un croquis de la ubicación los puntos de interés.

Descripción de la infraestructura existente del sistema de acueducto

A continuación, en la Tabla 8 se describe la infraestructura existente de los sistemas que componen el acueducto del área urbana del municipio.

Tabla 8

Matriz criterios de caracterización del sistema de tratamiento actual

FUENTES	NOMBRE		CONCESIÓN DE AGUAS (SI/NO)	
FUENTE DE CAPTACIÓN	RIO TOCA		SI	
COMPONENTE	EXISTE (SI / NO)	ESTADO (BUENO/REGULAR/MALO)	OBSERVACIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO
ACUEDUCTO				
BOCATOMA	SI	BUENO	<p>Estructura de captación de tipo dique - toma, la cual consta de: rejilla de fondo y derivación al desarenador en tubería de PVC. El sistema se encuentra en buen estado de conservación, se ejecutan labores de mantenimiento periódicamente por cada uno de los operarios de la Unidad de Servicios Públicos.</p> <p>Cota aprox = 3007 m.s.n.m.</p>	
DESARENADOR	SI	REGULAR	<p>Estructura construida en concreto reforzado compuesta de cámara de entrada, cámara de aquietamiento, zona de sedimentación y cámara de salida. La infraestructura permanece en regular estado no se visualizan fisuras o grietas que comprometan su funcionamiento.</p>	

			<p>Sin embargo, se observa que el sistema opera de manera inadecuada en la cual el agua dentro del mismo sobrepasa o desborda el tanque, no llevando a cabo una eficiente remoción de las partículas y a su vez, teniendo perdidas de agua en el sistema.</p> <p>A la hora de llevar a cabo la limpieza o mantenimiento del sistema se observa que las instalaciones cuentan con un desagüe de 2” el cual no permite llevar a cabo una pronta y rápida remoción de los lodos obtenidos o generados en este módulo de tratamiento, lo que genera la necesidad de ser evacuados de manera manual por cada uno de los operarios del sistema.</p> <p>Cota aprox = 3005 m.s.n.m.</p>	
<p>PLANTA DE POTABILIZACIÓN CONVENCIONAL – TIPO COMPACTA</p>	<p>SI</p>	<p>BUENO</p>	<p>Estructura modular con tres sistemas de tratamiento en serie, para lo cual se cuenta con un sistema de coagulación que consiste en un canal de entrada y una rampa que forma el resalto hidráulico. Un floculador Cox de flujo vertical. Un sedimentador de alta tasa tipo colmena y dos unidades de dosificación con dos bombas dosificadoras tipo diafragma, y equipo de agitación con motor y mezclador tripalar.</p> <p>El sistema se inauguró a finales del año 2022, por lo cual visualmente se presenta en excelente estado, funcionando hidráulicamente bien en proceso de optimización del tren de tratamiento. Sin embargo, este módulo</p>	 

es operado de manera inadecuada, debido a que muchas veces el caudal de entrada supera el caudal de diseño de la PTAP de 6 L/s. Haciéndose necesario la construcción del nuevo módulo ya proyectado con la misma capacidad de diseño. Además, los fontaneros que realizan la operación y tratamiento aplican la dosis de coagulante de acuerdo al valor estándar que establece el manu al de operación y no se ejecuta el procedimiento de ensayo de jarras para conocer la dosis optima de coagulante que se debe agregar para desarrollar de forma eficiente el tratamiento.



Cota aprox = 2843 m.s.n.m.

Estructuras de tratamiento diseñadas para un caudal de 12,57 L/s compuesta por dos etapas de filtración en medios gruesos (gravas) como pretratamiento y la filtración lenta en arena como tratamiento.

Filtración Gruesa Dinámica (FDDi)

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FIME)

SI

REGULAR

A principios del año 2023 se realizó el cambio de cada una de las capas de filtros ubicados dentro de los tres tanques de filtración. Por ende, se observa un buen funcionamiento de los trenes de pretratamiento y tratamiento, no se encuentran fisuras o grietas que impiden su desempeño y operatividad. Sin embargo, se logra observar que en las canaletas de entrada del filtro grueso ascendente se desborda el agua; ingresando de manera irregular, no



Filtros Gruesos Ascendentes (FGAs)

ejecutando el debido y adecuado proceso de operatividad.

Además, se observa que ingresa de manera irregular un caudal directamente al filtro grueso dinámico sin ingresar en primera medida a los módulos en serie del sistema convencional tipo compacto (Coagulación, floculación y sedimentación). Caudal que expresan los operarios es producto a que el módulo o sistema compacto no es capaz de tratar un caudal igual o superior a los 6 L/s, lo que les obliga a ingresarla de manera directa al sistema FIME.

Cota aprox = 2843 m.s.n.m.



Filtración Lenta en Arena (FLA)



TANQUE DE ALMACENAMIENTO

SI



BUENO

Estructura de almacenamiento semienterrado construido en concreto reforzado. En inspección visual no se observan fisuras o grietas que comprometan su estabilidad o desempeño hidráulico. Esto debido a que a comienzos del año 2023 se realizó una impermeabilización del tanque con el propósito de impedir filtraciones de agua del interior hacia el exterior y además brindarle una mayor vida útil a la estructura.

Sin embargo, es evidente que la capacidad del tanque de almacenamiento es insuficiente para satisfacer las necesidades de todos los usuarios del acueducto urbano municipal en caso de una emergencia o desabastecimiento de agua.



V almac. (m³) = 200 m³

<p>CASETA DE CLORACIÓN</p>	<p>SI</p>	<p>BUENO</p>	<p>Se cuenta con unas instalaciones o caseta la cual, hasta junio de 2023, se utilizaba tanque de 500 L, bomba dosificadora, equipo de agitación con motor y mezclador tripalar. La cual fue sustituida por un dosificador automático de cloro en pastillas el cual por medio del contacto del agua por gravedad es degradada, método que pretende reducir el consumo energético del sistema. A su vez, es un equipo que permite una fácil operatividad y operabilidad, reduciendo los tiempos que destinan los operarios para el control y monitoreo.</p>	
<p>PUNTOS DE CONTROL</p>		<p>REGULAR</p>	<p>El municipio cuenta con seis (6) puntos de muestreo o bayonetas para el control o toma de muestras de calidad del agua para consumo humano, distribuidos en varios ramales o redes secundarias o terciarias del acueducto urbano y de las veredas Tuaneca Abajo y Centro Abajo.</p> <p>Varias de ellas no cuentan con las condiciones, cuidados y características de higiene y salubridad para llevar a cabo una adecuada toma de muestras o contramuestras. Debido a que presentan acumulación de agua en su interior por problemas de desagües; corrosión de los grifos, deterioro de las paredes internas y falta de puertas para su aislamiento y conservación de la infraestructura.</p>	

Sectorización actual del servicio de acueducto

El porcentaje de tiempo que se dispone de agua potable diaria y semanal para los suscriptores del acueducto se hace las 24 horas; teniendo establecido tres (3) horarios de sectorización (Casco Urbano y Motuas, Vereda Centro Abajo y Vereda Tuaneca Abajo) cada sector con 8 horas de servicio de acueducto; horarios que tendrán a variar debido a la disponibilidad del caudal concesionado y la extensa cobertura de la red de distribución. La cual, actualmente presenta problemas de abastecimiento domiciliario y disminución de la presión en la tubería de distribución (Municipio de Toca, 2022).

Cuando se ve vulnerado el sistema de tratamiento por carácter estacional (invierno, verano) se hace una suspensión temporal. Debido a que dentro de la ronda hídrica donde se realiza la captación del acueducto municipal existe desarrollo o explotación agropecuaria que influye de manera directa en la calidad del agua.

Cuando se presenta variabilidad climática con presencia de lluvias tiende en la zona a generarse remoción o arrastre de material orgánico y sólido, producto de los sistemas productivos llevados a cabo dentro del área de influencia.

Cobertura

Según datos de la Unidad de Servicios Públicos Domiciliarios (USPD) del municipio de Toca, la cobertura total del acueducto incluyendo el área urbana y las veredas Tuaneca Abajo y Centro Abajo, supera el 98%. En el perímetro urbano, poco menos del 100% de las viviendas y establecimientos, cuentan con conexión a la red de suministro de agua potable administrada por la Alcaldía. Esta amplia cobertura en la cabecera municipal ha sido posible debido a las inversiones realizadas en los últimos años en infraestructura, como la instalación de nuevas tuberías de distribución y la ampliación del sistema de tratamiento de agua potable.

En las veredas Tuaneca Abajo y Centro Abajo, se estima que parcialmente se cuenta con un número importante de viviendas dispersas conectadas al acueducto municipal. Si bien la cobertura es menor que en la zona urbana, representa un avance que garantiza el acceso al agua potable para muchas familias campesinas.

Operación y mantenimiento actual del sistema

La Unidad de Servicios Públicos del municipio de Toca desde el año 2002 lleva a cabo la prestación del servicio de acueducto, alcantarillado y aseo del casco urbano del municipio de Toca. Lo concerniente al sistema de acueducto del municipio (bocatoma, desarenador, red de aducción, planta de tratamiento Convencional – Tipo Compacta, sistema de Filtración en Múltiples Etapas – FIME, caseta de cloración, red de conducción y red domiciliaria) son llevadas a cabo por cuatro (4) fontaneros, dos (2) de ellos certificados con competencias laborales, los cuales realizan el control, monitoreo, vigilancia y operación de cada uno de los sistemas que conforman el acueducto municipal (Municipio de Toca, 2022).

En base a ello, la operación es llevada a cabo de acuerdo a las condiciones actuales que presenta la PTAP; en la cual aproximadamente ingresan al sistema 8,5 L/s. Sin embargo, 6,0 L/s de esos son ingresados al sistema Convencional Tipo Compacto (Coagulación, floculación y sedimentación) como su máxima capacidad de tratamiento; posteriormente es conducida a la primera etapa del sistema FIME. Los 2,5 L/s restantes son transportados de manera directa a la primera etapa del sistema FIME. Es decir, unificando agua cruda y agua tratada, que posteriormente pasará por el Filtro Grueso Ascendente, Filtro Lento en Arena y será distribuida al casco urbano municipal y las veredas Tuaneca Abajo y Centro Abajo.

El desarrollo diario de las actividades de cada uno de los fontaneros es llevado a cabo de acuerdo a las PQRS, instalaciones, reparaciones, mantenimientos y daños que se presentan en el área de cobertura del acueducto municipal, por el cual se tiene establecido horarios de trabajo para ellos, cada uno de 8 horas. Se realizan los trabajos de manera grupal (dos personas) ya que solo se cuenta con un equipo de herramienta acorde a la necesidad y un solo vehículo de transporte (motocicleta).

Limpieza y acondicionamiento del sistema de acueducto



En la Tabla 9, se observa las medidas tomadas por la Unidad de Servicios Públicos para mantener y optimizar la eficiencia del sistema de abastecimiento, pretratamiento, tratamiento y distribución del sistema de acueducto municipal son desarrolladas de acuerdo al cronograma de mantenimiento y limpieza de los sistemas, de la condición climatológica que presente el área de

cobertura de la prestación del servicio y de la disponibilidad de los fontaneros para la ejecución de estas actividades. Esto es realizado como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9

Mantenimiento de los sistemas que conforman el acueducto municipal

COMPONENTE	OBSERVACIONES	REGISTRO FOTOGRAFICO
Bocatoma	<p>Esta actividad se realiza periódicamente por cada uno de los fontaneros, dependiendo las condiciones climáticas y el requerimiento hídrico de la PTAP.</p> <p>En la cual, se hace la remoción del material vegetal (ramas, hojas, posibles residuos sólidos, entre otros) que obstruyen la rejilla de fondo del sistema de captación y no permiten un caudal continuo.</p>	
Desarenador	<p>Esta actividad se realiza periódicamente, de acuerdo al cronograma de actividades y dependiendo las condiciones climáticas que puedan alterar las características del agua. Ocasionado alto grado de acumulación de material solido transportado en suspensión, principalmente arenas, escorias, pequeñas ramas, hojas, entre otros.</p> <p>De acuerdo a esto, por medio de cepillos y agua a presión se remueven los excesos de material incrustado en paredes y se retira una parte manualmente el material solido suspendido en el tanque y la otra por el pequeño conducto de desagüe.</p>	
PTAP Convencional Tipo Compacta	<p>Esta actividad se realiza una vez al mes, en la cual por medio de cepillos y agua a presión se lavan las paredes y bases del sistema de coagulación, floculación y sedimentación.</p>	

<p>Sistema FIME</p> <p>El desarrollo de esta actividad se ejecuta dos veces a la semana, en el cual se usan cepillos de cerdas duras para eliminar las partículas grandes y sedimentos adheridos o acumulados al material granular del filtro. Además, se utiliza agua a presión para eliminar posibles excesos de material sólido en cada uno de los tres módulos del sistema FIME.</p>	
<p>Acometidas domiciliarias</p> <p>Esta se desarrolla de acuerdo a las PQR que realicen los usuarios o suscriptores del servicio de acueducto; ya sea realizada de manera verbal o escrita. Se dispone del personal de manera inmediata para atender la emergencia.</p>	

Fuente: autores

Bitácoras de control

La Unidad de Servicios Públicos establece bitácoras de control, monitoreo y vigilancia del sistema de acueducto, el cual el fontanero de turno debe realizar los registros detallados que documenten todas las actividades, eventos y datos relevantes que ocurren en el sistema. Dentro de los formatos se tiene: registro revisita y limpieza de bocatoma, mantenimientos desarenador, aplicación policloruro de aluminio, lavado planta complementaria, lavado de filtros, aplicación hipoclorito de calcio, lecturas entrada - salida PTAP y registro cloro residual. Además, se tiene establecido el formato de: dosis de coagulante, dosis de cloro y registro de presión en tuberías; los cuales no son aplicados o llevados a cabo debido a que manifiestan que no se cuenta con el tiempo suficiente para realizar estos procedimientos y tampoco algunos de ellos no cuentan con los conocimientos para poder llevar a cabo estos análisis (Municipio de Toca, 2022).

Tabla 10

Formatos de control

FORMATOS	REGISTRO FOTOGRAFICO																																																																																																																
Revisita y limpieza de bocatoma	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6</th> </tr> <tr> <th colspan="7">SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION</th> </tr> <tr> <th>MISIONAL</th> <th colspan="2">GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</th> <th colspan="4">FORMATO</th> </tr> <tr> <td>Versión 0</td> <td colspan="2">F-GSPD-13</td> <td colspan="4">06-01-2022</td> </tr> <tr> <td colspan="3">FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</td> <td colspan="4">Página 1 de 1</td> </tr> <tr> <th colspan="7">REVISTA Y LIMPIEZA BOCATOMA</th> </tr> <tr> <th colspan="3">ENTRADA</th> <th colspan="4">SALIDA</th> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th>OBSERVACIONES</th> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th colspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11/1/2023</td> <td>06:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>10/11/2023</td> <td>07:30</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>5/11/2023</td> <td>10:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>21/11/2023</td> <td>06:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>21/11/2023</td> <td>09:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>10/12/2023</td> <td>11:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>14/12/2023</td> <td>06:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>23/12/2023</td> <td>10:00</td> <td>Revisita Bocatoma</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>	TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6							SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION							MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO				Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022				FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1				REVISTA Y LIMPIEZA BOCATOMA							ENTRADA			SALIDA				FECHA	HORA	OBSERVACIONES	FECHA	HORA	OBSERVACIONES		11/1/2023	06:00	Revisita Bocatoma					10/11/2023	07:30	Revisita Bocatoma					5/11/2023	10:00	Revisita Bocatoma					21/11/2023	06:00	Revisita Bocatoma					21/11/2023	09:00	Revisita Bocatoma					10/12/2023	11:00	Revisita Bocatoma					14/12/2023	06:00	Revisita Bocatoma					23/12/2023	10:00	Revisita Bocatoma				
TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6																																																																																																																	
SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION																																																																																																																	
MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO																																																																																																														
Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022																																																																																																														
FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1																																																																																																														
REVISTA Y LIMPIEZA BOCATOMA																																																																																																																	
ENTRADA			SALIDA																																																																																																														
FECHA	HORA	OBSERVACIONES	FECHA	HORA	OBSERVACIONES																																																																																																												
11/1/2023	06:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
10/11/2023	07:30	Revisita Bocatoma																																																																																																															
5/11/2023	10:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
21/11/2023	06:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
21/11/2023	09:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
10/12/2023	11:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
14/12/2023	06:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
23/12/2023	10:00	Revisita Bocatoma																																																																																																															
Mantenimiento al desarenador	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6</th> </tr> <tr> <th colspan="7">SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION</th> </tr> <tr> <th>MISIONAL</th> <th colspan="2">GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</th> <th colspan="4">FORMATO</th> </tr> <tr> <td>Versión 0</td> <td colspan="2">F-GSPD-13</td> <td colspan="4">06-01-2022</td> </tr> <tr> <td colspan="3">FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</td> <td colspan="4">Página 1 de 1</td> </tr> <tr> <th colspan="7">MANTENIMIENTO AL DESARENADOR</th> </tr> <tr> <th colspan="3">ENTRADA</th> <th colspan="4">SALIDA</th> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th>LECTURA</th> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th colspan="2">LECTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10/01/2023</td> <td>08:00</td> <td>LAVADO DEL DESARENADOR</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>3/08/2023</td> <td>08:00</td> <td>LAVADO DEL DESARENADOR</td> <td></td> <td></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>	TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6							SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION							MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO				Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022				FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1				MANTENIMIENTO AL DESARENADOR							ENTRADA			SALIDA				FECHA	HORA	LECTURA	FECHA	HORA	LECTURA		10/01/2023	08:00	LAVADO DEL DESARENADOR					3/08/2023	08:00	LAVADO DEL DESARENADOR																																														
TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6																																																																																																																	
SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION																																																																																																																	
MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO																																																																																																														
Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022																																																																																																														
FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1																																																																																																														
MANTENIMIENTO AL DESARENADOR																																																																																																																	
ENTRADA			SALIDA																																																																																																														
FECHA	HORA	LECTURA	FECHA	HORA	LECTURA																																																																																																												
10/01/2023	08:00	LAVADO DEL DESARENADOR																																																																																																															
3/08/2023	08:00	LAVADO DEL DESARENADOR																																																																																																															
Lavado de planta complementaria	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6</th> </tr> <tr> <th colspan="5">SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION</th> </tr> <tr> <th>MISIONAL</th> <th colspan="2">GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</th> <th colspan="2">FORMATO</th> </tr> <tr> <td>Versión 0</td> <td colspan="2">F-GSPD-13</td> <td colspan="2">06-01-2022</td> </tr> <tr> <td colspan="3">LAVADO DE PLANTA COMPLEMENTARIA</td> <td colspan="2">Página 1 de 1</td> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>ACTIVIDAD</th> <th>CAUDAL GASTADO</th> <th colspan="2">RESPONSABLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15/02/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>20/02/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>15/03/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>20/03/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>15/04/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>01/05/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>08/06/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>02/07/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>01/07/2023</td> <td>LAVADO TANQUES</td> <td></td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> </tbody> </table>	TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6					SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION					MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO		Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022		LAVADO DE PLANTA COMPLEMENTARIA			Página 1 de 1		FECHA	ACTIVIDAD	CAUDAL GASTADO	RESPONSABLE		15/02/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		20/02/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		15/03/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		20/03/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		15/04/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		01/05/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		08/06/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		02/07/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO		01/07/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																						
TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6																																																																																																																	
SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION																																																																																																																	
MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO																																																																																																														
Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022																																																																																																														
LAVADO DE PLANTA COMPLEMENTARIA			Página 1 de 1																																																																																																														
FECHA	ACTIVIDAD	CAUDAL GASTADO	RESPONSABLE																																																																																																														
15/02/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
20/02/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
15/03/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
20/03/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
15/04/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
01/05/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
08/06/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
02/07/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
01/07/2023	LAVADO TANQUES		FONSTANERO																																																																																																														
Caudal gastado filtros	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6</th> </tr> <tr> <th colspan="5">SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION</th> </tr> <tr> <th>MISIONAL</th> <th colspan="2">GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</th> <th colspan="2">FORMATO</th> </tr> <tr> <td>Versión 0</td> <td colspan="2">F-GSPD-13</td> <td colspan="2">06-01-2022</td> </tr> <tr> <td colspan="3">CAUDAL GASTADO LAVADO FILTROS</td> <td colspan="2">Página 1 de 1</td> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>ACTIVIDAD</th> <th>CAUDAL GASTADO</th> <th colspan="2">RESPONSABLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>80 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>21/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>725 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>22/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>90 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>23/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>725 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>24/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>80 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>25/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>725 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>26/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>910 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> <tr> <td>27/11/2023</td> <td>LAVADO FILTRO DESARENADOR</td> <td>725 LHS</td> <td colspan="2">FONSTANERO</td> </tr> </tbody> </table>	TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6					SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION					MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO		Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022		CAUDAL GASTADO LAVADO FILTROS			Página 1 de 1		FECHA	ACTIVIDAD	CAUDAL GASTADO	RESPONSABLE		20/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	80 LHS	FONSTANERO		21/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO		22/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	90 LHS	FONSTANERO		23/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO		24/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	80 LHS	FONSTANERO		25/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO		26/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	910 LHS	FONSTANERO		27/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO																																											
TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6																																																																																																																	
SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION																																																																																																																	
MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO																																																																																																														
Versión 0	F-GSPD-13		06-01-2022																																																																																																														
CAUDAL GASTADO LAVADO FILTROS			Página 1 de 1																																																																																																														
FECHA	ACTIVIDAD	CAUDAL GASTADO	RESPONSABLE																																																																																																														
20/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	80 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
21/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
22/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	90 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
23/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
24/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	80 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
25/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
26/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	910 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
27/11/2023	LAVADO FILTRO DESARENADOR	725 LHS	FONSTANERO																																																																																																														
Toma de lecturas macro medidores planta de tratamiento	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6</th> </tr> <tr> <th colspan="7">SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION</th> </tr> <tr> <th>MISIONAL</th> <th colspan="2">GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</th> <th colspan="4">FORMATO</th> </tr> <tr> <td>Versión 0</td> <td colspan="2">F-GSPD-13</td> <td colspan="4">23-03-2019</td> </tr> <tr> <td colspan="3">FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</td> <td colspan="4">Página 1 de 1</td> </tr> <tr> <th colspan="7">TOMA DE LECTURAS MACROMEDIDORES PLANTA DE TRATAMIENTO</th> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th>LECTURA</th> <th>ENTRADA</th> <th>SALIDA</th> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th>LECTURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>07/10/2023</td> <td>06:00</td> <td>103145</td> <td></td> <td></td> <td>07/10/2023</td> <td>06:00</td> <td>110282</td> </tr> <tr> <td>06-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>133455</td> <td></td> <td></td> <td>06-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>119252</td> </tr> <tr> <td>05-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>136019</td> <td></td> <td></td> <td>05-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>118864</td> </tr> <tr> <td>04-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>135293</td> <td></td> <td></td> <td>04-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>118362</td> </tr> <tr> <td>03-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>136462</td> <td></td> <td></td> <td>03-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>117862</td> </tr> <tr> <td>02-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>135287</td> <td></td> <td></td> <td>02-10-2023</td> <td>09:00</td> <td>117362</td> </tr> </tbody> </table>	TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6							SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION							MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO				Versión 0	F-GSPD-13		23-03-2019				FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1				TOMA DE LECTURAS MACROMEDIDORES PLANTA DE TRATAMIENTO							FECHA	HORA	LECTURA	ENTRADA	SALIDA	FECHA	HORA	LECTURA	07/10/2023	06:00	103145			07/10/2023	06:00	110282	06-10-2023	09:00	133455			06-10-2023	09:00	119252	05-10-2023	09:00	136019			05-10-2023	09:00	118864	04-10-2023	09:00	135293			04-10-2023	09:00	118362	03-10-2023	09:00	136462			03-10-2023	09:00	117862	02-10-2023	09:00	135287			02-10-2023	09:00	117362														
TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6																																																																																																																	
SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION																																																																																																																	
MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO																																																																																																														
Versión 0	F-GSPD-13		23-03-2019																																																																																																														
FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1																																																																																																														
TOMA DE LECTURAS MACROMEDIDORES PLANTA DE TRATAMIENTO																																																																																																																	
FECHA	HORA	LECTURA	ENTRADA	SALIDA	FECHA	HORA	LECTURA																																																																																																										
07/10/2023	06:00	103145			07/10/2023	06:00	110282																																																																																																										
06-10-2023	09:00	133455			06-10-2023	09:00	119252																																																																																																										
05-10-2023	09:00	136019			05-10-2023	09:00	118864																																																																																																										
04-10-2023	09:00	135293			04-10-2023	09:00	118362																																																																																																										
03-10-2023	09:00	136462			03-10-2023	09:00	117862																																																																																																										
02-10-2023	09:00	135287			02-10-2023	09:00	117362																																																																																																										
Aplicación de cloro	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6</th> </tr> <tr> <th colspan="5">SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION</th> </tr> <tr> <th>MISIONAL</th> <th colspan="2">GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS</th> <th colspan="2">FORMATO</th> </tr> <tr> <td>Versión 0</td> <td colspan="2">F-GSPD-13</td> <td colspan="2">23-03-2019</td> </tr> <tr> <td colspan="3">FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</td> <td colspan="2">Página 1 de 1</td> </tr> <tr> <th colspan="5">APLICACION DE CLORO</th> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>HORA</th> <th>CANTIDAD DE HIPOCLORITO SUMINISTRADO</th> <th colspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>26/06/2023</td> <td>06:00</td> <td>8.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>09/07/2023</td> <td>10:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>10/07/2023</td> <td>08:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>12/07/2023</td> <td>08:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>14/07/2023</td> <td>07:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>10/07/2023</td> <td>10:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>07/07/2023</td> <td>08:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>26/06/2023</td> <td>08:00</td> <td>5.700 GRAMOS</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>	TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6					SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION					MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO		Versión 0	F-GSPD-13		23-03-2019		FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1		APLICACION DE CLORO					FECHA	HORA	CANTIDAD DE HIPOCLORITO SUMINISTRADO	OBSERVACIONES		26/06/2023	06:00	8.700 GRAMOS			09/07/2023	10:00	5.700 GRAMOS			10/07/2023	08:00	5.700 GRAMOS			12/07/2023	08:00	5.700 GRAMOS			14/07/2023	07:00	5.700 GRAMOS			10/07/2023	10:00	5.700 GRAMOS			07/07/2023	08:00	5.700 GRAMOS			26/06/2023	08:00	5.700 GRAMOS																																							
TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.099.642-6																																																																																																																	
SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION																																																																																																																	
MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS		FORMATO																																																																																																														
Versión 0	F-GSPD-13		23-03-2019																																																																																																														
FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE			Página 1 de 1																																																																																																														
APLICACION DE CLORO																																																																																																																	
FECHA	HORA	CANTIDAD DE HIPOCLORITO SUMINISTRADO	OBSERVACIONES																																																																																																														
26/06/2023	06:00	8.700 GRAMOS																																																																																																															
09/07/2023	10:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															
10/07/2023	08:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															
12/07/2023	08:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															
14/07/2023	07:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															
10/07/2023	10:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															
07/07/2023	08:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															
26/06/2023	08:00	5.700 GRAMOS																																																																																																															

Planta de tratamiento control de coagulante		TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.008.642-6			
		SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION			
		MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS	FORMATO	
		Versión 0	F-COM-02	06-01-2022	
FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE		Página 1 de 1			
PLANTA DE TRATAMIENTO CONTROL DE COAGULANTE					
FECHA	HORA	CANTIDAD DE COAGULANTE SUMINISTRADO	OBSERVACIONES		
20/11/2023	06:00	120			
20/11/2023	06:00	120			
21/11/2023	06:00	120			
21/11/2023	06:00	120			
22/11/2023	06:00	120			
22/11/2023	06:00	120			
23/11/2023	06:00	120			
23/11/2023	06:00	120			

Monitoreo cloro		TOCA-BOYACA ALCALDIA MUNICIPAL NIT.800.008.642-6			
		SISTEMA INTEGRADO DE PLANEACION Y GESTION			
		MISIONAL	GESTION DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS	FORMATO	
		Versión 0	F-GSPD-12	06-01-2022	
FORMATOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE		Página 1 de 1			
MONITORIO CLORO					
FECHA	RESULTADO	FECHA	RESULTADO		
11/1/2023	0.4	18/2/2023	0.4		
27/1/2023	0.6	18/2/2023	0.4		
3/1/2023	0.4	19/2/2023	0.6		
11/1/2023	0.4	20/2/2023	0.6		
15/1/2023	0.8	21/2/2023	0.6		
16/1/2023	0.6	21/2/2023	1.1		
17/1/2023	0.4	23/2/2023	1.1		

Fuente: Municipio de Toca. (2022). *Solicitud de información del proceso de tratamiento de la PTAP del municipio de Toca*. Municipio de Toca

En base a ello, se hace necesario contar con uno o más operarios de planta que permitan hacer o realizar un monitoreo y control de estos procedimientos para poder llevar a cabo una adecuada prestación del servicio de acueducto. Ya que se cuenta únicamente con fontaneros los cuales no tienen las competencias laborales para poder realizar la correcta operación, control y mantenimiento del sistema de tratamiento actual.

Proyección poblacional

La Planta de Agua Potable de la zona urbana del municipio de Toca Boyacá cuenta con 1693 suscriptores y se tiene un estimado de 3 personas por suscriptor para el año 2023, por consiguiente, la población aproximada del año en curso para la zona urbana es de 5079 habitantes, según el Municipio de Toca (2022).

A continuación, se encontrarán los métodos utilizados para proyección de caudal recomendados en la resolución 0330 de 2017 (aritmético, geométrico y exponencial), estos cálculos se obtuvieron con el fin de comprobar si la planta a futuro tendría la capacidad de abastecer a la población actual y futura de la zona urbana del municipio de Toca.

Se realizan los tres métodos con el fin de seleccionar el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población.

Tabla 11*Metodologías para proyección de población*

Procedimiento método aritmético	Procedimiento método geométrico	Procedimiento método exponencial
<p>El método aritmético para proyección de población es un método simple y directo que se basa en la idea de que la población crece o decrece a una tasa constante durante un período de tiempo determinado. Es decir que supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración.</p>	<p>Es útil para proyectar poblaciones que están en crecimiento. Este método asume que el crecimiento de la población se produce a una tasa constante, por lo que es más preciso para poblaciones que no experimentan cambios significativos en su tasa de crecimiento.</p>	<p>El método exponencial se recomienda para aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. Esto se debe a que estas poblaciones suelen tener tasas de crecimiento más altas que las poblaciones que no cumplen con estas características.</p>
<p>La ecuación para emplear este método es la siguiente:</p> $Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci}(Tf - Tuc)$ <p>Donde: Pf=Población Final Puc=Población Último Censo Pci=Población Censo Inicial Tuc=Tiempo Último Censo Tci=Tiempo Censo inicial. Tf=Tiempo Final.</p>	<p>La ecuación para emplear este método es la siguiente:</p> $Pf = Puc (1 + r)^{Tf - Tuc}$ <p>Donde: Pf=Población Final Puc=Población Último Censo Pci=Población Censo Inicial Tuc=Tiempo Último Censo Tci=Tiempo Censo inicial. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:</p> $r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\left(\frac{1}{Tuc - Tci} \right)} - 1$	<p>La ecuación para emplear este método es la siguiente</p> $Pf = Pci e^{kx(Tf - Tci)}$ <p>Donde: Pf=Población Final e=Euler. K=Tasa de crecimiento. Tf=Tiempo final. Tci=Tiempo Censo inicial. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:</p> $k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca}$ <p>Donde: Pcp=Población del censo posterior. Pca=Población del censo anterior. Tcp=Año correspondiente al censo posterior. Tca=Año correspondiente al censo anterior. Ln=Logaritmo natural.</p>

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

Para realizar el cálculo de proyección poblacional se tuvo en cuenta los siguientes establecidos en la tabla 25, ya que fue la información brindada por la unidad de servicios públicos domiciliarios de Toca.

Tabla 12*Datos iniciales de población*

AÑO	SUSCRIPTORES	POBLACIÓN
2019	1559	4677 habitantes.
2020	1575	4725 habitantes.
2021	1621	4863 habitantes.
2022	1673	5019 habitantes.
2023	1693	5079 habitantes.

Fuente: Municipio de Toca. (2022). *Solicitud de información del proceso de tratamiento de la PTAP del municipio de Toca*. Municipio de Toca

Cálculo de proyección poblacional

Mediante los métodos explicados se realizó el cálculo de proyección de población a 25 años a partir del año 2023, en el cual se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 13*Cálculos de proyección poblacional*

AÑO	ARITMÉTICO	GEOMETRICO	EXPONENCIAL
	POBLACIÓN	POBLACIÓN	POBLACIÓN
2024	5180	4975	5185
2025	5280	5293	5293
2026	5381	5404	5403
2027	5481	5517	5516
2028	5582	5632	5630
2029	5682	5749	5748
2030	5783	5869	5867
2031	5883	5992	5990
2032	5984	6117	6114
2033	6084	6245	6242
2034	6185	6375	6372
2035	6285	6508	6504
2036	6386	6644	6640

2037	6486	6783	6778
2038	6587	6924	6919
2039	6687	7069	7064
2040	6788	7216	7211
2041	6888	7367	7361
2042	6989	7521	7514
2043	7089	7678	7671
2044	7190	7838	7830
2045	7290	8002	7994
2046	7391	8169	8160
2047	7491	8339	8330
2048	7592	8513	8503

Fuente: autores

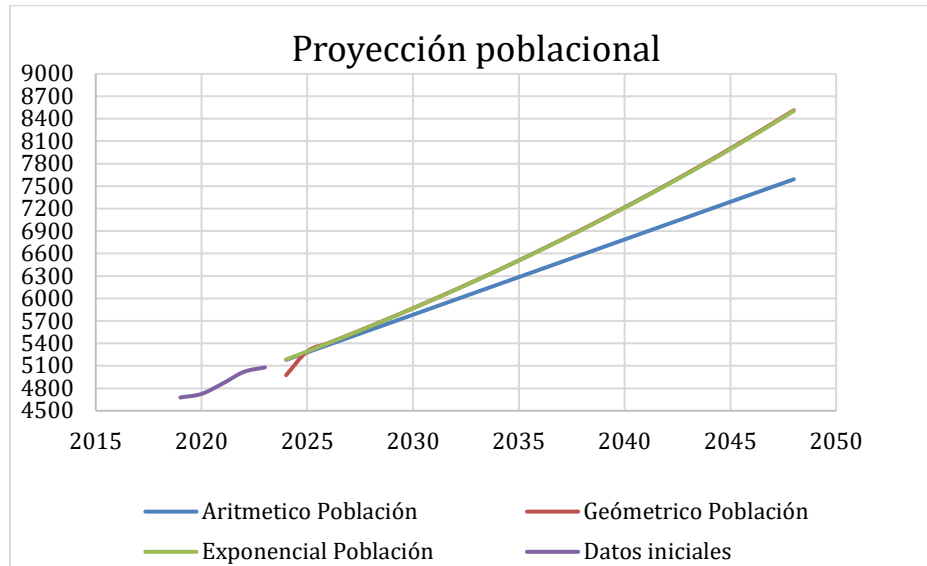
Para los métodos geométrico y exponencial sus tasas de crecimiento dieron un valor promedio igual, por lo cual al graficar la proyección va a ser muy similar.

Tabla 14

Cálculo de la tasa de crecimiento

TASA DE CRECIMIENTO						
Año	ARITMETICO		Geométrico		Exponencial	
	K=Tasa de crecimiento	Kprom	r	rPROM	K	KPROM
2020	48		0,01026299		0,01021068	
2021	138	100,5	0,02920635	0,02	0,02878797	0,02
2022	156		0,03207896		0,03157518	
2023	60		0,01195457		0,01188368	

Fuente: autores

Figura 9*Proyección poblacional suscriptores USP*

Fuente: autores

A raíz de la gráfica obtenida en la figura 9, se determina que el método en que la población de la zona urbana del municipio de Toca crece es aritmético porque se asemeja más al crecimiento del censo que ha tenido el municipio ya que la línea de color azul tiende a ser más lineal que geométrica o exponencial.

Mediante la resolución 0330 del 2017 se realiza el cálculo del caudal de diseño con ayuda de las siguientes formulas:

$$Q_D = \frac{P * D_{BRUTA}}{86400}$$

$$DOTACIÓN BRUTA = \frac{Dotación neta}{1\% - \%Perdidas}$$

Tabla 15*Dotación neta máxima*

Según artículo 43 Dotación neta Max resolución 0330 del 2017	
Elevación msnm	L/HAB*DIA
>2000	120
1000-2000	130
<1000	140

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

Caudal máximo diario

Para calcular este caudal se emplea la siguiente formula $QMD = K_1 * Qm$. En este caso el coeficiente k_1 es igual a los siguientes criterios establecidos en la resolución 0330 de 2017:

$$Población \leq 12500 \text{ habitantes } K_1 = 1,3$$

$$Población > 12500 \text{ habitantes } K_1 = 1,2$$

Caudal máximo horario

Para calcular este caudal se emplea la siguiente formula $QMH = K_2 * QMD$. En este caso el coeficiente K_2

$$Población \leq 12500 \text{ habitantes } K_2 = 1,6$$

$$Población > 12500 \text{ habitantes } K_2 = 1,5$$

Tabla 16*Cálculos proyección de caudal*

Cálculos Proyección de caudal					
Año	Población	Dotación Bruta	Qmd	QMD=K1*Qmd	QMH=K2*QMD
2024	5213	160	9,65	12,55	20,08
2025	5347	160	9,90	12,87	20,60
2026	5481	160	10,15	13,20	21,11
2027	5615	160	10,40	13,52	21,63
2028	5749	160	10,65	13,84	22,14
2029	5883	160	10,89	14,16	22,66
2030	6017	160	11,14	14,49	23,18
2031	6151	160	11,39	14,81	23,69
2032	6285	160	11,64	15,13	24,21
2033	6419	160	11,89	15,45	24,73
2034	6553	160	12,14	15,78	25,24
2035	6687	160	12,38	16,10	25,76
2036	6821	160	12,63	16,42	26,27
2037	6955	160	12,88	16,74	26,79
2038	7089	160	13,13	17,07	27,31
2039	7223	160	13,38	17,39	27,82
2040	7357	160	13,62	17,71	28,34
2041	7491	160	13,87	18,03	28,85
2042	7625	160	14,12	18,36	29,37
2043	7759	160	14,37	18,68	29,89
2044	7893	160	14,62	19,00	30,40
2045	8027	160	14,86	19,32	30,92
2046	8161	160	15,11	19,65	31,43
2047	8295	160	15,36	19,97	31,95
2048	8429	160	15,61	20,29	32,47

Fuente: autores

La planta de agua potable de la zona Urbana del municipio de Toca tiene una concesión de aguas por 10,2L/s vigente hasta el año 2024, de los cuales la planta trabaja regularmente con 8,54L/s que son capaz de abastecer a población actual. Cabe resaltar que este sistema tiene una capacidad total de 12,54L/s aproximadamente.

Según datos proyecciones calculados en la tabla 16, se tiene que para el año 2024 se requiere un caudal máximo diario (QMD) de 12,55L/s y un caudal máximo horario (QMH) de

20,08L/s, por lo cual se establece que la planta no será capaz de abastecer al 100% a sus suscriptores desde el próximo año ya que el QMH será más del doble de lo que se trata actualmente y de la concesión de aguas que se tiene destinada para el siguiente año.

Verificación de dimensiones y parámetros específicos

Como se mencionó en la proyección de caudales, la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Toca actualmente cuenta con una concesión de agua de 10,2 L/s vigente hasta el próximo año; para su tratamiento cuenta con un módulo convencional tipo compacto inaugurado en el año 2023 (coagulación, floculación y sedimentación) el cual trata un caudal de 6,0 L/s, sin embargo, el municipio trata un caudal aproximado de 8,5 L/s. El sistema en serie FIME (filtro dinámico grueso, filtro grueso ascendente y filtro lento en arena) tiene la capacidad de tratar 12,54L/s.

Los parámetros establecidos para la verificación del Sistema de Tratamiento de Agua Potable se especifican a continuación, con base en los descrito en la resolución 0330 de 2017.

Mezcla rápida

En esta etapa inicial del tratamiento se llevan a cabo los procesos de dosificación del coagulante y la mezcla rápida, una vez ingresa el agua cruda al sistema se agrega el coagulante y ciertos casos el auxiliar de la coagulación cuando se es necesario, estos deben dispersarse de manera rápida y homogénea en el cuerpo de agua, para lo cual deben emplearse las unidades de mezcla rápida. Estos equipos pueden ser hidráulicos o mecánicos (MADS, 2019).

Figura 10*Parámetros de diseño mezcla rápida*

Tipo de mezclador	Rango de Gradiente de velocidad medio	Tiempo de mezcla
Hidráulico	1000 s-1 – 2000 s-1	< 1 s
Mecánico	500 s-1 – 2000 s-1	< 60 s

Parágrafo 1º. En el caso en que se utilice un resalto hidráulico como mezclador rápido, el criterio que se requiere cumplir será la estabilidad del resalto hidráulico indicado en el parámetro de diseño del Número de Froude, que debe estar comprendido en el intervalo de 4,5 a 9.

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

La planta de tratamiento del casco urbano del municipio de Toca cuenta con un canal o vertedero rectangular, el cual tiene al extremo un resalto hidráulico que le permite el cambio súbito en la elevación y velocidad del agua (mezcla rápida). Se cuenta con una (1) sola unidad con un ancho de 0,30 m y un largo de 2,80 m, con una profundidad de 0,32 m.

Figura 11*Mezcla rápida*

Fuente: autores

Datos para evaluar la mezcla rápida del sistema actual: $Q= 6,0 \text{ L/s}$; $\mu=1,003 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$;
 $T=20^\circ\text{C}$

$$q = \frac{Q}{B}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s); B= Ancho del canal (m); q=caudal por unidad de ancho

$$q = \frac{0,006}{0,30} = 0,02 \text{ m}^2/\text{s}$$

La profundidad crítica de flujo, h_c , es:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

$$h_c = \left(\frac{0,02^2}{9,81} \right)^{1/3} = 0,034 \text{ m}$$

La distancia L_m para vertederos rectangulares de pared gruesa

$$L_m = 4,3P^{0,1} * h_c^{0,9}$$

Donde P: altura del vertedero

$$L_m = 4,3 * 0,32^{0,1} * 0,034^{0,9} = 0,18 \text{ m}$$

Las profundidades conjugadas serán

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} h_c}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c}} + 1,5}$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0,034}{1,06 + \sqrt{\frac{0,32}{0,034}} + 1,5} = 0,011 \text{ m}$$

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$v_1 = \frac{0,02}{0,011} = 1,82 \text{ m/s}$$

El número de Froude en el parágrafo 1°, para que haya resalto estable y mezcla eficiente, debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}}$$

$$F_1 = \frac{1,82}{\sqrt{9,81 * 0,011}} = 5,54$$

Se evidencia que el vertedero actual cumple con el Froude para que haya resalto estable y mezcla eficiente.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8 * F_1^2} - 1 \right]$$

$$h_2 = \frac{0,011}{2} \left[\sqrt{1 + 8 * 5,54^2} - 1 \right] = 0,08$$

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$v_2 = \frac{0,02}{0,08} = 0,25 \text{ m/s}$$

La pérdida de energía

$$n = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

$$h = \frac{(0,08 - 0,011)^3}{4 * 0,011 * 0,08} = 0,093 \text{ m}$$

La longitud de resalto L_j

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

$$L_j = 6(0,08 - 0,011) = 0,41 \text{ m}$$

La velocidad media en el resalto

$$V_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$V_m = \frac{1,82 + 0,25}{2} = 1,04 \text{ m/s}$$

El tiempo de mezcla rápida

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

$$T = \frac{0,41}{1,04} = 0,39 \text{ s}$$

El gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{yh}{\mu T}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9800 * 0,093}{1,003 * 10^{-3} * 0,39}} = 1526,4 \text{ s}^{-1}$$

Según el parágrafo 1 del artículo 111 de la resolución 0330 de 2017 el resalto hidráulico cumple con los parámetros de diseño para realizar la mezcla estable y eficiente del coagulante.

Mezcla lenta

La mezcla lenta es una técnica esencial en el tratamiento de aguas, caracterizada por la agitación suave del agua en presencia de coagulantes. Su objetivo principal es promover la coagulación de partículas suspendidas, dando lugar a la formación de flóculos. Esto resulta en una mejora significativa en la eficiencia de los procesos subsiguientes de clarificación y eliminación de impurezas en el agua. Este proceso facilita la unión de partículas coaguladas y desestabilizadas, lo que permite su posterior separación mediante sedimentación, flotación y/o filtración en el tratamiento del agua (MinVivienda, 2017).

Figura 12

Parámetros de diseño mezcla lenta

ARTÍCULO 112. Floculación convencional. Las unidades de mezcla rápida y mezcla lenta deben ubicarse lo más cerca posible. Para caudales menores de 250 l/s, el tipo de floculador podrá ser hidráulico o mecánico, mientras que para caudales mayores o iguales a 250 l/s será mecánico; en todos los casos de proyectos nuevos se deberán garantizar mínimo tres zonas de floculación, para alcanzar una disminución de los gradientes de velocidad de mezcla entre 70 s^{-1} y 10 s^{-1} y cuyo gradiente medio del proceso deberá ser 40 s^{-1} . Se requieren tiempos de retención hidráulica de 20 a 40 minutos, en total, para el proceso. El responsable del proyecto deberá realizar un análisis multivariable para la escogencia del tipo de agitación óptimo, en función de la eficiencia de remoción, tiempo de retención hidráulica, superficie de ocupación, y costos de operación de energía y productos químicos.

Tipo de floculador	Caudal	Gradientes de velocidad	Gradiente medio de velocidad	Tiempo de retención hidráulica
Hidráulico y mecánico	< 250 L/s	10 a 70 S^{-1}	40 S^{-1}	20 a 40 min
Mecánico	$\geq 250 \text{ L/s}$			-

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

El sistema de flocladores presenta ventanas intercambiadas en la parte superior e inferior de las cámaras correspondientes a la floclación. En cada cámara la ventana incrementa en profundidad y mantiene su ancho para generar el cambio de gradiente requerido para completar el proceso. Se cuenta con 12 cámaras las cuales conforman el floclador de 2 m de ancho y 2,8 m de largo con una profundidad de 2,2 m y un volumen de 12,32 m³.

Figura 13

Mezcla lenta



Fuente: autores

Al verificar el tiempo de retención se obtiene lo siguiente:

$$\text{Tiempo de retención hidraulica} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}}$$

$$\text{Tiempo de retención hidraulica} = \frac{12,32 \text{ m}^3}{0,36 \text{ m}^3/\text{min}} = 34,2 \text{ min}$$

La unidad existente cumple con el tiempo de retención hidráulica establecido dentro de la resolución 0330 de 2017.

Sedimentación

Se trata de un proceso mediante el cual los sólidos suspendidos en el agua se separan por acción de la gravedad. En un sedimentador, el agua se mantiene en reposo, permitiendo que las partículas más densas se depositen en el fondo del equipo. Esta decantación gravitatoria es un

método efectivo para la eliminación de sólidos en suspensión, contribuyendo al proceso de purificación del agua antes de su posterior tratamiento (MinVivienda, 2017).

Figura 14

Parámetros de diseño sedimentador

Tipo de sedimentador	Carga superficial (m ³ /m ² /d)	Tiempo de retención hidráulica (h)	Velocidad de flujo (cm/s)
Flujo horizontal	15 - 30	2 - 4	< 1
Flujo vertical	20 - 30 (máx. 60)	2 - 4	< 1
Manto de lodos	30 - 120	1,0 - 1,5	2,15 - 5

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

Figura 15

Parámetros de diseño sedimentador alta tasa

Tipo de sedimentador	Carga superficial (m ³ /m ² /d)	Tiempo de retención hidráulica (min)	Velocidad crítica de sedimentación (cm/s)
Módulos angostos L=0,6 m	100 - 110	10 - 20	15 - 30
Módulos angostos L = 1,2 m	120 - 185		
Módulos profundos L > 1,2 m	200 - 300		

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

El municipio de Toca cuenta con un (1) sedimentador alta tasa, tipo colmena con las siguientes dimensiones:

Largo de 2,8 m; Ancho total de 2,0 m; Área Total=5,6 m²; Profundidad de 2,2 m; Volumen= 12,32 m³

Verificando los criterios de diseño:

$$Carga\ hidraulica = \frac{Caudal}{\acute{A}rea}$$

$$Carga\ hidraulica = \frac{518,4\ m^3/d}{5,6\ m^2} = 92,6\ m^3/m^2d$$

Este se encuentra por fuera del criterio sugerido para el sistema actual.

$$Tiempo\ de\ retenci\acute{o}n\ hidraulica = \frac{Volumen}{Caudal}$$

$$Tiempo\ de\ retenci\acute{o}n\ hidraulica = \frac{12,32\ m^3}{0,36\ m^3/min} = 34,2\ min$$

El sedimentador del municipio no cumple con tiempo de retención sugerido en la resolución 0330 de 2017. Sin embargo, cumple con los parámetros de calidad según el análisis realizado en la Tabla 18 a la salida de la PTAP Convencional.

Realizando la verificación de diseños del módulo convencional – tipo compacto (coagulación, floculación y sedimentación) el cual se trabajó con el caudal de diseño de 6 L/s, como la máxima capacidad de tratamiento. Sin embargo, el caudal sobrante (2,5 L/s aproximadamente) que el sistema no es capaz de tratar es conducido de manera directa al sistema FIME. Es decir, unificado agua cruda y agua en proceso de filtración, en el filtro grueso dinámico.

De esta manera, el caudal real que la planta trata posterior a la unificación de la masa de agua es de 8,5 L/s aproximadamente como referencia para realizar la verificación de dimensiones y parámetros específicos de las unidades de filtración. Como se muestra a continuación:

Filtración

El Sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FIME) es una tecnología avanzada utilizada en el tratamiento de agua potable, diseñada para eliminar una amplia gama de contaminantes y

partículas suspendidas. Este sistema combina varias etapas de filtración con el objetivo de proporcionar agua de alta calidad y libre de impurezas (Chen *et al.*, 2017).

Este sistema ha demostrado ser altamente eficiente en la eliminación de contaminantes, incluyendo sólidos en suspensión, compuestos orgánicos, productos químicos, patógenos y sabores/olores desagradables. Su aplicabilidad en la purificación del agua potable se ha convertido en una herramienta crucial para garantizar la seguridad y calidad del agua en muchas comunidades (World Health Organization, 2017).

Figura 16

Parámetros de diseño filtración en múltiples etapas (FIME)

Parámetro	Filtración lenta en arena	Filtro grueso dinámico	Filtro grueso ascendente
Tasa de filtración (m ³ /m ² /d)	7 - 14	48 - 72	7,2 - 14,4
Profundidad del medio (m)	0,8 - 1,0	0,6 (0,2 cada capa)	0,4 - 0,9

Fuente: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

El municipio de Toca cuenta con tres (3) estructuras de filtración, filtro grueso dinámico, filtro grueso ascendente y filtro lento en arena.

Figura 17*Sistema de tratamiento FIME*

Fuente: autores

El sistema de tratamiento presenta los siguientes dimensionamientos:

Filtro grueso dinámico.

Q: 8,5 L/s

Largo: 6,30 m

Ancho: 1,60 m

Profundidad: 0,60 m

Volumen: 6,048 m³Área: 10,08 m²

Verificando la estructura existente:

- Área del filtro

$$A = \frac{Q}{T_f}$$

Dónde:

A es el área del filtro (m²)

Q es el caudal de diseño (m^3/d)

T_f es la tasa de filtración ($m^3/m^2/d$)

Despejando T_f

$$T_f = \frac{Q}{\text{Área}}$$

$$T_f = \frac{734,4 \text{ m}^3/d}{10,08 \text{ m}^2} = 72,86 \frac{\text{m}^3/d}{\text{m}^2}$$

El filtro existente entra en la clasificación de filtración gruesa dinámica, se recomienda acondicionar el filtro y tuberías para el correcto funcionamiento de este.

Filtro grueso ascendente.

Q: 8,5 L/s

Largo: 7,10 m

Ancho: 5,30 m

Profundidad: 1,95 m

Área: 37,63 m^2

El sistema presenta dos unidades

Área total: 75,26 m^2

Verificando la estructura existente:

$$T_f = \frac{734,4 \text{ m}^3/d}{75,26 \text{ m}^2} = 9,76 \frac{\text{m}^3/d}{\text{m}^2}$$

El filtro grueso ascendente actual que presenta el sistema se encuentra acorde a lo que establece la resolución 0330 de 2017.

Filtro lento en arena.

Q: 8,5 L/s

Largo: 12,20 m

Ancho: 9,20 m

Profundidad: 2,20 m

Volumen: 246,93 m³

Área: 112,24 m²

Verificando la estructura existente:

$$T_f = \frac{734,4 \text{ m}^3/d}{112,24 \text{ m}^2} = 6,54 \frac{\text{m}^3/d}{\text{m}^2}$$

Las condiciones actuales de la estructura cumplen con los requerimientos técnicos establecidos por la resolución 0330 de 2017 para este tipo de unidad de tratamiento, su capacidad operacional permite tener una adecuada eficiencia del filtro.

Diagnóstico del estado actual de calidad de agua de la fuente abastecedora

En las fuentes hídricas, tanto superficiales como subterráneas se pueden encontrar gran variedad de contaminantes, estos se pueden definir como aquellas sustancias que tiene efectos adversos en el ambiente y salud (Green Facts, 2020), es por ello que es realmente importante realizar caracterización hídrica de la fuente de abastecimiento, para de esta forma, determinar las propiedades físicas y químicas del agua.

Análisis de calidad de agua cruda

A continuación, se muestra en la Tabla 17 la caracterización del agua cruda de la fuente de abastecimiento del río Toca, antes de la entrada al sistema de tratamiento:

Tabla 17*Matriz con criterios de caracterización de agua cruda*

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRAS										Lp*
		Año 2022					Año 2023					
		Época de lluvia		Época de sequía			Época de sequía		Época de lluvia			
		18 nov	25 nov	2 dic	9 dic	23 feb	27 feb	06 mar	13 mar	22 mar		
Temperatura	°C	14,6	14,9	15,6	15,1	16	16,1	17	14	15	NA	
Color Aparente	UPC	9,6	7,0	10	5,8	10	17	30	41	35	15	
Turbiedad	UNT	5,91	7,68	4,26	4,57	0,917	1,56	2,31	3,14	2,695	2	
pH	NA	6,62	5,34	6,57	5,36	8,0	7,33	8,89	9,2	9,5	6,5-9,0	
OD	mg/L	8,41	8,39	7,56	8,61	6,57	7,11	7,85	ND	ND	NA	
Conductividad	µs/cm	24,6	19,5	26,5	24,1	23,2	28,5	28,3	26,8	24,3	1000	
Alcalinidad Total	mg/LCaCO ₃	12,7	11,1	16,8	12,5	16,2	14,8	15,7	10,5	6,8	200	
Fosfatos	mg/L PO ₄ ³⁻	ND	0,028	0,027	0,003	0,058	0,015	0,084	0,044	0,082	0,5	
Manganeso	mg/L Mn	ND	ND	1,710	ND	0,5	0,700	2,154	2,123	1,053	0,1	
Dureza Total	mg/LCaCO ₃	16,8	0	0	0	0	0	0	0	0	300	
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	27,5	25,8	34,7	32,9	58,5	57,1	37,9	16,8	15,9	250	
Hierro Total	mg/L Fe	0,38	0,32	0,23	0,211	0,201	0,56	2,51	0,245	0,125	0,3	
Cloruros	mg/L Cl ⁻	ND	ND	ND	12,3	ND	25,7	9,6	ND	ND	250	
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	2,4	2,5	ND	7,0	ND	1,5	2,4	ND	2,8	10	
Nitritos	mg/L NO ₂ ⁻	4,0	15	ND	15	ND	14	26	ND	ND	0,1	
COT	mg/L	ND	-3,5	1,0	0,8	ND	0,6	-1,4	ND	ND	5	
Coliformes Totales	UFC/100mL	240	3,6	3,6	15	ND	ND	64	23	ND	0	
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100mL	0	0	0	0	ND	ND	0	3,6	ND	0	

Fuente: autores

Nota 1. Las abreviaturas encontradas en la tabla 17 hacen referencia a; ND: no desarrollado; NA: no aplica; Lp*: limite permisible según la resolución 2115 de 2007.

De acuerdo a los resultados obtenido en la Tabla 17, durante un periodo de cuatro (4) meses se muestran de manera general que hay una variabilidad cuantitativa en cada uno de los parámetros de calidad. Cabe resaltar que los resultados de laboratorio obtenidos en la tabla corresponden al agua que ya ingreso al sistema de captación, red de aducción y desarenador; muestras que fueron tomadas en el afluente de la PTAP.

Se observa que la turbiedad presenta una gran variabilidad, con su máximo valor en el mes de noviembre el cual corresponde a 7,68 UNT y un mínimo valor de 0,917 UNT por debajo del límite de la norma en el mes de febrero, lo que se puede relacionar con causas externas debidas a la condición climática con la generación de precipitaciones reportadas por la estación climática

para ese año; los excesivos nutrientes, sedimentos suspendidos de la erosión y la escorrentía o transporte de sedimentos. La línea amarilla nos muestra los niveles de turbiedad permitidos para el agua potable según la resolución 2115 de 2007.

El color aparente se presentó en el mes de marzo su máximo valor correspondiente a 41 Unidades platino cobalto (UPC). Visualmente se observa que la condición climática con presencia de lluvias contribuye de manera directa al aumento del parámetro de calidad. Ya que en la época de sequía que presento el territorio, la fuente de abastecimiento presentaba valores por debajo del máximo permisivo, cumpliendo con la normativa vigente la cual corresponde a 15 UPC. En el cuarto periodo de análisis, se observa una variación significativa del parámetro de calidad, probablemente a causa de la presencia de lluvias lo que desencadena que se incorporen al río por la acción de lavado que realiza las aguas de escorrentía de la materia orgánica como son las sustancias húmicas.

Se pudo establecer que los valores de pH presentan gran variabilidad durante los cuatro periodos de muestreo, teniendo pH altos y bajos probablemente debido a razones como: contaminantes naturales producto del contacto con compuestos disueltos en el suelo y las rocas minerales que hacen presencia en todo el cauce del río. También, a la interacción continua con actividades antrópicas que se realizan aguas arriba de la fuente de captación (agricultura y ganadería) con el uso de agroquímicos por método de aspersión, sin la regulación previa de concentración que llega de manera directa al cuerpo de agua e ineficiente disposición de cada uno de empaques y residuos de estos agroquímicos. Además, el pastoreo fuente principal de generación de materia orgánica que influye significativamente en el cambio del parámetro de calidad.

De acuerdo con la Tabla 17, se presenta concentraciones por encima del máximo permisible para el parámetro de calidad durante un (1) periodo del año 2022 y dos (2) periodos del año 2023, con su máximo valor en el mes de marzo el cual corresponde a 2,1 mg/L Mn y un mínimo valor de 0,5 mg/L Mn por encima del límite de la norma en el mes de febrero. Esto se puede estar relacionando a la presencia de manganeso en la rivera el río o las rocas subyacentes a la fuente de agua, las cuales liberan en gran concentración de este elemento; siendo factor determinante la condición climática de la zona y los constantes cambios de las crecientes súbitas. Variando la composición típica de la fuente de abastecimiento, haciéndose necesario tomar medidas de control para tratar y eliminar el manganeso presente en el cuerpo hídrico.

De acuerdo al parámetro de hierro total, se presenta concentraciones superiores al máximo permisible durante un periodo del año 2022 y 2023, con su máximo valor en los primeros días del mes de marzo el cual corresponde a 2,51 mg/L Fe y un mínimo valor de 0,13 mg/L Fe por debajo del límite de la norma en la última muestra del mes de marzo. De esta manera, la causa puede deberse o estar relacionada a la presencia de minerales ricos en hierro en la rivera el rio, las rocas subyacentes a la fuente de agua o en las formaciones geológicas en las cuales fluye el cauce del rio Toca, las cuales liberan en gran concentración de este elemento; Como es el caso también de la presencia de Manganese y Hierro se hace necesario tomar estrictas medidas de control para tratar y eliminar este elemento presente en el cuerpo hídrico.

El NO_2^- caracterizado durante los cuatro (4) periodos presento un incremento significativo conforme a lo que establece la resolución 2115 de 2007, lo cual no se encuentra dentro del máximo permisible que establece esta norma, correspondiente a 0,1 mg/L NO_2^- . Principalmente este aumento continuo del parámetro de calidad puede deberse a la contaminación agrícola con la producción de papa, maíz, cebolla entre otras hortalizas y tubérculos que se generan dentro de la ronda hídrica, con la aplicación de diferentes agroquímicos nitrogenados en los suelos y cultivos. Los cuales, pueden ser transportados por escorrentía hacia la fuente de abastecimiento siendo fundamental la condición climatológica de la zona; ya que según la gráfica permite deducir que en los periodos de lluvia el parámetro siempre tendió a aumentar, incrementando la concentración de nitritos en el cuerpo hídrico.

Observando la Tabla 17, uno de los parámetros microbiológicos más importantes con respecto a la calidad del agua para consumo humano, el cual presento un valor alto de unidades formadoras de colonias para coliformes totales en el mes de noviembre, con un valor de 240 bacterias/100mL en condiciones de lluvia, considerándose de alto riesgo por contaminación bacteriana frente a un consumo directo. De acuerdo con ello, esta fuente de abastecimiento no es apta para consumo sin previo tratamiento. Condición que se atribuye a la presencia de sustancias húmicas producto de la degradación de la materia orgánica del suelo y de las excretas que generan las especies que interactúan con la fuente hídrica. Además, se observan que los demás periodos también presentan significativamente bacterias coliformes totales, las cuales son más recurrentes en las muestras realizadas en periodos de lluvia, que afectan las condiciones presentes de la fuente de captación.

En base a los valores obtenidos para *Escherichia Coli*, casi todos los semestres de muestreo arrojó un valor de cero, sin embargo, en el régimen de lluvia que presentó el área de estudio la cual fue reportada por la estación climática para el mes de marzo, el análisis microbiológico de laboratorio permitió establecer que la muestra de agua contenía 3,6 bacterias *Escherichia coli*/100mL; esto permite determinar que dentro de la ronda hídrica de la fuente de abastecimiento del río Toca hace presencia aguas servidas producto de las actividades antrópicas que se realizan en la zona o del pastoreo y abrevadero con la presencia de animales de especie bovina particularmente. Siendo este un indicador de riesgo, debido a que no cumple con el valor permisible si se compara con la resolución 2115 de 2007. Haciéndose necesario establecer un sistema o tratamiento acorde que permita realizar la remoción inminente de este parámetro.

Contextualización del riesgo de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento

Factores que influyen en la vulnerabilidad de la fuente de abastecimiento del río Toca: De acuerdo a lo anterior, el acueducto que beneficia la cabecera municipal, la vereda Centro Abajo y la vereda Tuaneca Abajo del municipio de Toca, ha venido teniendo dificultades en el abastecimiento, tratamiento y distribución de agua potable. Es así, que la Secretaría de Salud de Boyacá (2019) en el mapa de riesgos de la fuente de abastecimiento del municipio de Toca; resalta que la fuente de agua no cuenta con las características y cuidados para garantizar una debida potabilidad, ya que se ven expuestas de manera directa a la interacción con agroquímicos utilizados en las actividades agrícola. Dentro de las actividades potenciales se identificó el cultivo de papa, cebolla, arveja, entre otras hortalizas y tubérculos; en los cuales los agricultores afirman que implementan insecticidas como Lorsban, Latigo, Ridomil, Dithane, Fitoraz, entre otros, para poder controlar las plagas que ponían en riesgo su cultivo, sin controlar el grado de concentración y el método de aplicación. Además, comentan que utilizan fertilizantes para estos cultivos y pastos como Crecer500, Nutrifoliar, Crecifort, Plantafol, Renovador y Uno agro, para generar mejor rendimiento y potencializar cada uno de sus cultivos.

Por otro lado, la explotación ganadera con la producción bovina, ovina, porcina, entre otras y la instalación de abrevaderos son los principales generadores del componente microbiológico como bacterias, virus, helmintos y protozoos (Secretaria de Salud de Boyacá, 2019). Esta problemática influye significativamente en la calidad y estado de vida de los seres humanos que

llegan a consumir este tipo de agua, ya que puede traer consigo enfermedades crónicas y agudas. Entre las más comunes, enfermedades de origen estomacal como gástricas, diarrea, vómito, entre otras, producto de esta alteración microbiológica y fisicoquímica (Abarca y Mora, 2016).

A su vez, se ha venido observando procesos erosivos de los suelos de esta área, producto de las actividades agropecuarias sin prácticas de conservación adecuadas que han provocado este impacto en el recurso edafológico, lo que a su vez ha llevado a la sedimentación del cuerpo hídrico. Esto reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua y aumentando la turbidez, lo que ha dificultado la tratabilidad del agua para el consumo de cada uno de los suscriptores del acueducto municipal.

Esto ha generado que se cree una incertidumbre, debido a que la ronda hídrica del Río Toca ha sufrido una grave alteración siendo vulnerable ante eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías. Impacto que no ha sido ajeno a las condiciones que ha venido viviendo el municipio en el tema de disponibilidad y calidad del agua, lo que ha representado un riesgo inminente para la población que ha estado dependiendo de esta fuente de abastecimiento.

Diagnóstico del estado actual del sistema de tratamiento

Análisis in situ de los parámetros de calidad en cada uno de los módulos del sistema

De acuerdo a las condiciones actuales que presenta el sistema se realizó un muestreo in situ, de los parámetros de calidad (conductividad, pH, turbiedad y oxígeno disuelto) con el fin de conocer la eficiencia de remoción de los parámetros problema en referencia dentro de cada uno de los módulos de tratamiento (entrada y salida). En la Tabla 18 se puede observar el comportamiento de cada uno de los parámetros como se muestra a continuación:

Tabla 18

Análisis in situ de los parámetros de calidad en cada módulo del sistema

Parámetros	Afluente PTAP	Salida Tratamiento Convencional	Entrada Filtro Ascendente Grueso	Salida Filtro Ascendente Grueso	Entrada Filtro Lento	Salida Filtro Lento	Punto de Muestreo
Conductividad	8,37	13,72	8,35	8,53	8,42	12,67	16,7
Turbiedad	3,96	2,71	2,37	1,24	1,64	2,07	8,18
pH	4,92	4,74	5,04	5,25	4,86	6,01	7,24
OD	9,17	8,58	8,76	8,05	8,07	8,06	8,41

Fuente: autores

De acuerdo a la conducta de las variables, se observa un comportamiento lineal con pequeñas tendencias a disminuir en lo corrido del tren de tratamiento hasta antes de la salida del filtro lento en área. Sin embargo, de manera radical sufre un crecimiento exponencial.

En las visitas de campo realizadas para la toma de muestras y diagnóstico del sistema de tratamiento se observó que en la cámara de salida de agua filtrada; presentaba una importante degradación en su estructura, erosiones y porosidades lo cual ocasionaba que se desprendiera residuos de la infraestructura. Además, siendo este el único lugar para realizar la toma de muestra del efluente del filtro lento en arena, antes de realizar la aplicación de cloro. De esta manera, se puede evidenciar en la Figura 9, el estado y punto de la toma de muestra.

De igual forma, el aumento en los niveles de turbiedad y conductividad luego del paso por el filtro lento de arena se puede atribuir a la filtración de sólidos suspendidos provenientes de la infraestructura degradada de la cámara de salida. Desde un punto de vista técnico, se sabe que la

turbiedad en el agua está relacionada con la presencia de partículas en suspensión como arcillas y sedimentos. Por su parte, la conductividad eléctrica indica los sólidos disueltos ionizables, que pueden provenir de la corrosión y erosión de tuberías y estructuras. Considerando que, mediante observación directa de deterioro, erosiones y porosidad de la cámara de salida, es técnicamente sustentable que estas fallas estructurales permitan el arrastre de sólidos suspendidos y disueltos hacia el efluente, incrementando los valores de turbiedad y conductividad. La presencia adicional de cianobacterias (algas verdes), tipo de organismo unicelular denominado fitoplancton que se logra observar en la Figura 18, adherido a la estructura la cual corrobora esta situación.

Figura 18

Cámara de salida filtro lento en arena



Fuente: autores

También, se observó que el sistema presentaba una impermeabilización de cada uno de los tanques de tratamiento del sistema FIME, el cual no se contaba con las mejores condiciones a pesar de haberse llevado a inicios del año 2023, sin embargo, las cámaras de salida de los filtros eran los únicos que no presentaban una adecuación o impermeabilización que permitiera mejorar las condiciones de vida de la estructura y eficiencia en el tratamiento.

Por otro lado, el comportamiento de las variables de calidad obtenidos en el punto de concertación o bayoneta presentan un declive representativo; conforme al crecimiento que se presenta en la salida del filtro lento en arena, sin embargo, con la aplicación de cloro (hipoclorito

de calcio) no influye en la disminución en los parámetros de calidad por el contrario tiende a aumentar, incrementando el valor de turbiedad, pH y conductividad dentro de la red de distribución.

Análisis de calidad en los puntos de muestreo

A continuación, en la tabla 19 se encuentra la caracterización del agua del sistema de tratamiento de la zona urbana del municipio de Toca tomada en los puntos de muestreo o bayonetas destinadas para el control de la calidad del agua potable, ver Figura 19; llevado a cabo durante cuatro (4) periodos en condiciones de lluvia y sequia del año 2022 y 2023:

Figura 19

Puntos de muestreo o bayonetas



Fuente: autores

Tabla 19

Matriz con criterios de caracterización del sistema de tratamiento (puntos de muestreo de calidad)

Parámetro	unidad	Muestras									
		Año 2022				Año 2023					
		Época de lluvia		Época de lluvia		Época de lluvia		Época de lluvia			
		18 nov	25 nov	2 dic	9 dic	23 feb	27 feb	06 mar	13 mar	22 mar	Lp*
Color Aparente	UPC	135	15	85	144	44	22	28	20	25	15
Turbiedad	UNT	5,91	4,62	3,54	15,8	2,45	3,28	1,61	2,13	2,005	2
pH	NA	7,41	5,64	7,4	5,42	6,8	6,68	7,98	8,0	7,5	6,5-9,0
Cloro libre residual	mg/L	1,4	0,8	1,2	1,0	0,7	0,8	1,0	1,1	0,9	0,3-2,0
Alcalinidad Total	mg/LCaCO ₃	11,3	10,6	16,4	12,3	15,4	14	14,2	8,9	14,5	200
Fosfatos	mg/l PO ₄ ³⁻	NR	0,073	0,021	0	0,053	0,061	0,072	0,032	0,081	0,5
Manganeso	mg/l Mn	NR	0,05	1,006	0,08	0,03	0,1	1,017	1,044	0,05	0,1
Dureza Total	mg/LCaCO ₃	17,54	18,6	36	ND	ND	13,5	17,2	14,9	16,1	300
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	25,6	24,2	33,5	32,8	54,6	61,6	45,3	18,7	16,9	250
Hierro Total	mg/L Fe	0,43	0,17	0,452	0,158	ND	0,15	0,7	0,116	0,08	0,3
Cloruros	mg/L Cl ⁻	ND	ND	5,52	8,5	ND	18,2	6,0	8,0	ND	250
Nitratos	mg/L NO ₃ ⁻	2,6	1,5	ND	3,3	ND	2,0	3,1	ND	2,3	10
Nitritos	mg/LNO ₂ ⁻	8,0	4,0	ND	27	ND	10	24	ND	0,08	0,1
COT	mg/L	ND	ND	0,8	1,0	ND	0,5	1,3	ND	ND	5
Coliformes Totales	UFC/100mL	0	0	0	0	ND	ND	0	0	ND	0
<i>Escherichia Coli</i>	UFC /100mL	0	0	0	0	ND	ND	0	0	ND	0

Fuente: autores

Nota 2. Las abreviaturas encontradas en la Tabla 19 hacen referencia a; ND: no desarrollado; NA: no aplica; Lp*: limite permisible según la resolución 2115 de 2007.

A continuación, se analizan los parámetros que más incidieron en el incumplimiento de la resolución 2115 del 2007: El primer parámetro es la turbiedad, presento una mejoría en las muestras analizadas del año 2023, esta se atribuye a que partir de este año se implementó el tratamiento convencional tipo compacto. Este sistema incluye tratamientos como lo son coagulación y floculación, los cuales mediante la dosificación químicas que unen estas partículas para formar flóculos más grandes que pueden ser fácilmente sedimentados o separados del agua. Esta mejoría conlleva a cumplir con el límite máximo establecido en la resolución 2115 del 2007 para este parámetro.

El parámetro de color aparente incumplió con la resolución aplicable, en todas las muestras analizadas. Se puede identificar que el valor más alto se obtuvo el 9 de diciembre de año 2022 y que al igual que en el anterior parámetro hubo una mejoría en la calidad para el año 2023, puesto que desde este año se implementó el tratamiento del sistema convencional.

Los nitritos incumplen en la mayoría de las mediciones realizadas puesto que como se mencionó en “Contextualización del riesgo de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento” hay presencia de actividades agrícolas cerca a la fuente de abastecimiento lo cual genera una contaminación por los fertilizantes que utilizan los agricultores, ya que estos contienen nitrógeno. A su vez la presencia de este parámetro en el agua puede deberse o estar relacionada a la existencia de minerales ricos en hierro en la rivera del rio o en las rocas subyacentes a la fuente de agua.

El manganeso incumple en la medición realizada el 2 de diciembre del año 2022 y vuelve a incumplir todo el mes de marzo del 2023 en época de lluvia, este parámetro se desfasa en muy pequeñas cantidades. Por ejemplo, el 13 de marzo del 2023 se pasó del límite máximo permisible por 0,944 mg/L de Mn. Esto se debe a que inicia la época de lluvia donde pueden contener niveles más altos de manganeso en la fuente hídrica los cuales se remueven iniciando esta época lluvia.

El hierro total en el efluente de la PTAP, este se comporta de manera muy variable en cada una de los análisis realizados, se evidencia en el año 2023 mejora la calidad en el mes de febrero y vuelve a aumentar el día 6 de marzo dado que empieza la época de lluvia.

El manganeso (Mn) y el hierro (H) son parámetros que se pueden atribuir al deterioro de tubería y válvulas que se encuentran en el sistema FIME, ya que su material de fabricación es el hierro dúctil y desde el año 2006 que se implementaron la planta no se ha verificado de su estado interno, ni se le ha realizado mantenimiento o cambio, por lo cual es muy posible que se encuentre oxidado lo que conlleva al aumento de los niveles de H y Mn en el transporte del agua desde la

bocatoma hasta el efluente de la planta. Es importante resaltar que el arrastre de estos óxidos puede originar una coloración negra o marrón en el agua por lo cual se justifica el incumplimiento del parámetro de color según normativa (Valencia, 2005).

Hasta el momento no se conocen efectos nocivos para la salud de estos elementos, sin embargo, las concentraciones elevadas de manganeso pueden acelerar el crecimiento biológico en los sistemas de distribución y contribuir a los problemas de sabor y olor en el agua, así mismo aumentan la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección (Valencia, 2005).

Identificar los factores de riesgo asociados a la PTAP en el municipio de Toca

A partir de los datos obtenidos en las muestras de calidad Tabla 13. Se procedió a realizar el cálculo del “El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua – IRCA”.

Utilizando la siguiente fórmula utilizada para la estimación del IRCA en cada una de las muestras analizadas en laboratorio:

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

Mediante la siguiente tabla tomada de la resolución 2115 del 2007 se clasificará cada uno de los valores obtenidos por muestra para identificar el nivel de riesgo en que se encuentra el agua que se le está distribuyendo a la población:

Tabla 20

Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse

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: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social. (2007). Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. [Resolución 2115/2007]. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>.

Cálculos del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por variable y muestra realizada en el efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la zona urbana del municipio de Toca.

Tabla 21

Resultados muestra de laboratorio 18 de noviembre del 2022

Parámetro	Muestra 18 noviembre 2022	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	135	15	6	6
Turbiedad	5,91	2	15	15
pH	7,41	6,5 – 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	1,4	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	11,3	200	1	0
Dureza Total	17,54	300	1	0
Sulfatos	25,6	250	1	0
Hierro Total	0,43	0,3	1,5	1,5
Nitratos	2,6	10	1	0
Nitritos	8	0,1	3	3
Coliformes Totales	0	0	15	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	25	0
Total, de la suma por puntaje			86	25,5

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{25,5}{86} * 100 = 30$$

Este valor indica que es un nivel de riesgo medio “Agua no apta para consumo humano”.

Tabla 22*Resultados muestra de laboratorio 25 de noviembre del 2022*

Parámetro	Muestra 25 noviembre 2022	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	15	15	6	6
Turbiedad	4,62	2	15	15
pH	5,64	6,5 – 9,0	1,5	1,5
Cloro libre residual	0,8	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	10,6	200	1	0
Fosfatos	0,073	0,5	1	0
Manganeso	0,05	0,1	1	0
Dureza Total	18,6	300	1	0
Sulfatos	24,2	250	1	0
Hierro Total	0,17	0,3	1,5	0
Nitratos	1,5	10	1	0
Nitritos	4	0,1	3	3
Coliformes Totales	0	0	15	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	25	0
Total, de la suma por puntaje			88	25,5

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{25,5}{88} * 100 = 29$$

Igual que en la primera muestra se vuelve a obtener un nivel de riesgo medio “Agua no apta para consumo humano”.

Tabla 23*Resultados muestra de laboratorio 2 de diciembre del 2022*

Parámetro	Muestra 2 diciembre 2022	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	85	15	6	6
Turbiedad	3,54	2	15	15
pH	7,4	6,5 – 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	1,2	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	16,4	200	1	0
Fosfatos	0,021	0,5	1	0
Manganeso	1,006	0,1	1	1
Dureza Total	36	300	1	0
Sulfatos	33,5	250	1	0
Hierro Total	0,452	0,3	1,5	1,5
Cloruros	5,52	250	1	0
COT	0,8	3	5	0
Coliformes Totales	0	0	15	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	25	0
Total, de la suma por puntaje			90	23,5

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{23,5}{90} * 100 = 26$$

Igual que en las dos anteriores muestras se vuelve a obtener un nivel de riesgo medio “Agua no apta para consumo humano”.

Tabla 24

Resultados muestra de laboratorio 9 de diciembre del 2022

Parámetro	Muestra 9 diciembre 2022	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	144	15	6	6
Turbiedad	15,8	2	15	15
pH	5,42	6,5 – 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	1	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	12,3	200	1	0
Fosfatos	0	0,5	1	0
Manganeso	0,08	0,1	1	0
Sulfatos	32,8	250	1	0
Hierro Total	0,158	0,3	1,5	0
Cloruros	8,5	250	1	0
Nitratos	3,3	10	1	0
Nitritos	27	0,1	3	3
COT	1	3	5	0
Coliformes Totales	0	0	15	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	25	0
Total, de la suma por puntaje			93	24

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{24}{93} * 100 = 26$$

Igual que en las tres anteriores muestras se vuelve a obtener un nivel de riesgo medio “Agua no apta para consumo humano”.

Tabla 25

Resultados muestra de laboratorio 23 de febrero 2023

Parámetro	Muestra 23 febrero 2023	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	44	15	6	6
Turbiedad	2,45	2	15	15
pH	6,8	6,5 – 9,0	1,5	1,5
Cloro libre residual	0,7	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	15,4	200	1	0
Fosfatos	0,053	0,5	1	0
Manganeso	0,03	0,1	1	0
Sulfatos	54,6	250	1	0
Total, de la suma por puntaje =			41,5	22,5

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{22,5}{41,5} * 100 = 54$$

En esta muestra el valor del IRCA aumenta debido a que no se tienen valores de coliformes Totales y Fecales, el no incluir estas variables hace que el valor del divisor que es el puntaje de riesgo sea menor para dividir al puntaje asignado. En este caso el puntaje obtenido es riesgo alto “Agua no apta para consumo humano”.

Tabla 26*Resultados muestra de laboratorio 27 de febrero del 2023*

Parámetro	Muestra 27 febrero 2023	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	22	15	6	6
Turbiedad	3,28	2	15	15
pH	6,68	6,5 – 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	0,8	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	14	200	1	0
Fosfatos	0,061	0,5	1	0
Manganeso	0,1	0,1	1	1
Dureza Total	13,5	300	1	0
Sulfatos	61,6	250	1	0
Hierro Total	0,15	0,3	1,5	0
Nitratos	18,2	10	1	1
Nitritos	2	0,1	3	3
Total, de la suma por puntaje			48	26

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{26}{48} * 100 = 54$$

Este valor del IRCA se ve afectado igual que el anterior por que no se analizaron las variables microbiológicas, el puntaje obtenido en este caso también se encuentra asignado en riesgo alto “Agua no apta para consumo humano”.

Tabla 27*Resultados muestra de laboratorio 6 de marzo del 2023*

Parámetro	Muestra 06 marzo 2023	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	28	15	6	6
Turbiedad	1,61	2	15	0
pH	7,98	6,5 – 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	1	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	14,2	200	1	0
Fosfatos	0,072	0,5	1	0
Manganeso	1,017	0,1	1	1
Dureza Total	17,2	300	1	0
Sulfatos	45,3	250	1	0
Hierro Total	0,7	0,3	1,5	1,5
Cloruros	6	250	1	0
Nitratos	3,1	10	1	0
Nitritos	29	0,1	3	3
COT	1,3	3	5	0
Coliformes Totales	0	0	15	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	25	0
Total, de la suma por puntaje			94	11,5

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{11,5}{94} * 100 = 12$$

En esta muestra se evidencia el cumplimiento del parámetro de turbiedad a diferencia de todas las demás, porque es la única que está por debajo del límite establecido en la resolución 2115 del 2007. Gracias a que cumple este parámetro el puntaje de IRCA en esta muestra disminuye

considerablemente de las otras, pero aun así el puntaje de riesgo se encuentra en un nivel bajo que sigue siendo no apta para consumo humano.

Tabla 28

Resultados muestra de laboratorio 13 de marzo del 2023

Parámetro	Muestra 13 marzo 2023	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	20	15	6	6
Turbiedad	2,13	2	15	15
pH	8	6,5 – 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	1,1	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	8,9	200	1	0
Fosfatos	0,032	0,5	1	0
Manganeso	1,044	0,1	1	1
Dureza Total	14,9	300	1	0
Sulfatos	18,7	250	1	0
Hierro Total	0,116	0,3	1,5	0
Cloruros	8	250	1	0
Coliformes Totales	0	0	15	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	25	0
Total, de la suma por puntaje =			85	22

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{22}{54} * 100 = 26$$

En este caso se vuelve a obtener un puntaje de riesgo medio ya que vuelve a incumplir la turbiedad lo cual hace que vuelva a subir el valor del IRCA. Esta agua como todas las anteriores no es apta para consumo humano.

Tabla 29*Resultados muestra de laboratorio 22 de marzo del 2023*

Parámetro	Muestra 22 marzo 2023	Límite Resolución 2115 del 2007	Puntaje Riesgo	Puntaje asignado
Color Aparente	25	15	6	6
Turbiedad	2,005	2	15	15
pH	7,5	6,5 - 9,0	1,5	0
Cloro libre residual	0,9	0,3 - 2,0	15	0
Alcalinidad Total	14,5	200	1	0
Fosfatos	0,081	0,5	1	0
Manganeso	0,05	0,1	1	0
Dureza Total	16,1	300	1	0
Sulfatos	16,9	250	1	0
Hierro Total	0,08	0,3	1,5	0
Nitratos	2,3	10	1	0
Nitritos	0,08	0,1	3	3
Total, de la suma por puntaje			48	24

Fuente: autores

Cálculo:

$$IRCA (\%) = \frac{24}{48} * 100 = 50$$

En este caso el valor del IRCA vuelve a aumentar ubicándose en un nivel de riesgo alto siendo no apta para consumo humano.

De esta manera, en la Tabla 30 se encuentra el resumen de los resultados obtenidos del IRCA por muestra para el año 2022 y 2023.

Tabla 30*Resultados obtenidos por muestra IRCA años 2022 y 2023*

El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua del Municipio de Toca					
Año	Persona Prestadora	Mes	Fecha de la Toma	IRCA	Nivel de Riesgo
2022	UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE TOCA.	Noviembre	18/Nov/2022	30	Medio
		Noviembre	25/Nov/2022	29	Medio
		Diciembre	02/Diciembre/2022	26	Medio
		Diciembre	09/Diciembre/2022	26	Medio
2023		Febrero	23/Febrero/2023	54	Alto
		Febrero	27/Febrero/2023	54	Alto
		Marzo	06/Marzo/2023	12	Bajo
		Marzo	13/Marzo/2023	26	Medio
	Marzo	22/Marzo/2023	50	Alto	

Fuente: autores

A través de esto, se puede identificar que en el año 2022 se obtuvo un índice de riesgo medio igualmente que, en los valores históricos, esta agua se encuentra no apta para consumo humano. Por otro lado, se ve la deficiencia en el sistema de tratamiento de agua potable en lo que va de este año; ya que el puntaje del IRCA subió a un nivel de Riesgo Alto es decir que ahora el sistema de tratamiento de agua potable puede afectar gravemente la salud de cada uno de los suscriptores del acueducto municipal.

Generar alternativas de optimización y selección de sistema de tratamiento

Prueba de tratabilidad (test de jarras)

La prueba de jarras es una herramienta útil para determinar la dosis óptima de coagulantes en el tratamiento de aguas. La dosis óptima de coagulantes es aquella que permite la mayor clarificación de la muestra de agua, con el menor consumo de coagulante.

Se realizó una toma de muestra del afluente de la PTAP con el fin de identificar dosis óptima de coagulación, concentración óptima de coagulación y pH óptimo con el fin de lograr la mayor clarificación del agua, con el menor consumo de coagulantes.

Tabla 31

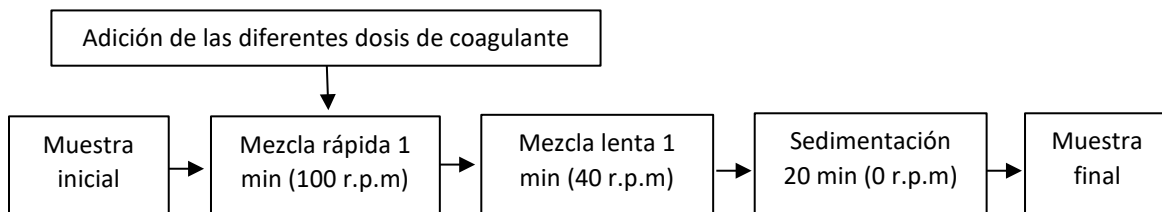
Materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Jeringas (3mL, 5mL, 10mL y 20mL)	pH-metro	Coagulante: Policloruro de aluminio al 1,0%
Embudo	Turbidímetro	Indicador mixto
Erlenmeyer	Termómetro de mercurio	Fenolftaleína
Papel filtro	Cronómetro	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)
Pipeteador	Espectrofotómetro	
Probeta	Equipo de jarras	
Bureta	Plancha de agitación	
Recipientes de plástico		
Pipetas (1mL, 2mL, 5mL, 10mL)		

Fuente: autores

Figura 20

Procedimiento para la determinación de la dosis óptima



Fuente: autores

Parámetros iniciales para la determinación de dosis, concentración y pH óptimo:

Tabla 32*Resultados parámetros iniciales*

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura	13,9	°C
pH	7,53	-
Alcalinidad	0,2	mg/L
Turbiedad Real	3,54	UNT
Turbiedad Aparente	5,55	UNT
Color Aparente	141	UPC
Color Real	60	UPC

Fuente: autores

Dosis óptima de coagulación

La coagulación es un proceso químico que consiste en la desestabilización de las partículas en suspensión y coloidales del agua, mediante la adición de un coagulante. El coagulante se une a las partículas, provocando que se aglutinen y formen flóculos. Los flóculos se sedimentan posteriormente, permitiendo la clarificación del agua. En general, la dosis óptima de coagulación se determina mediante la prueba de jarras. Esta prueba consiste en la adición de diferentes dosis de coagulante a muestras de agua, para evaluar el grado de clarificación de cada muestra (American Public Health Association., American Water Works Association and Water Environment Federation, 2023).

El parámetro que se tiene en cuenta en este caso es el color, ya que fue el valor más alto en comparación con la turbiedad.

Determinación de V_1 .

$$v_1 * c_1 = v_2 * c_2$$

$$v_1 = \frac{v_2 * c_2}{C_1}$$

$$1,0\% = 10000 \text{ mg/L}$$

Donde:

V_1 : Volumen empleado para la aplicación de la dosis

V_2 : Volumen de la jarra

C_2 : Concentración de dosis por jarra

C_1 : Concentración de (PAC) al 1,0%

Determinación de CR.

$$CR = \frac{C_f}{C_o} * 100$$

Donde:

CR: Color residual (%)

C_o : Color inicia

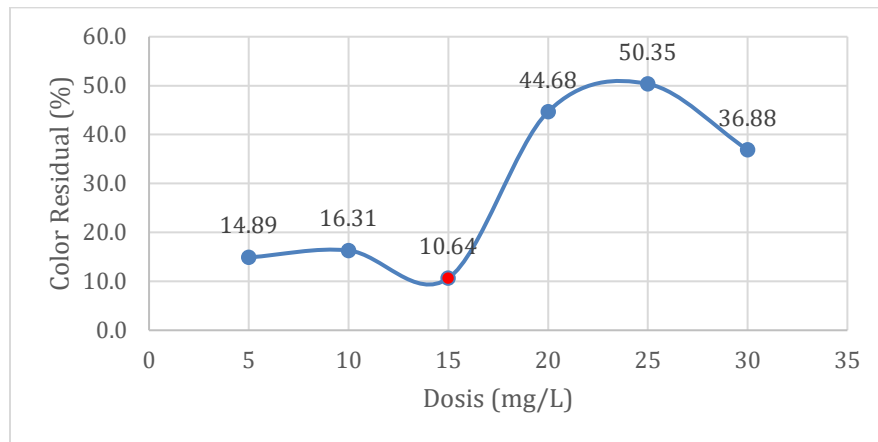
C_f : Color final

Tabla 33

Resultados dosis optima de coagulante

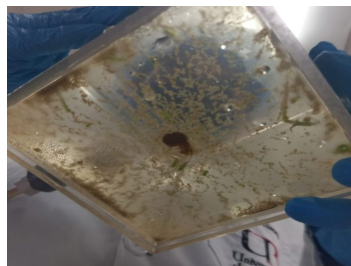
RESULTADOS					
Jarra	Dosis Optima Coagulante (mg/L)	V (ml)	Cf (UPC)	Co (UPC)	CR (%)
1	5	1	21	141	14,89
2	10	2	23		16,31
3	15	3	15		10,64
4	20	4	63		44,68
5	25	5	71		50,35
6	30	6	52		36,88

Fuente: autores

Figura 21*Dosis optima de coagulante*

Fuente: autores

En cuanto a la Figura 21, se evidencia un comportamiento de aumento conforme se va agregando más dosis de coagulante a partir de los 20mg/L, por tanto, se identifica que la dosis óptima corresponde a 15 mg/L de policloruro de aluminio, puesto que es el punto más bajo en la gráfica. Además, al realizar la prueba, dicho valor que corresponde a la jarra tres, muestra claramente una fácil aglomeración de partículas coloidales presentes en la muestra, Figura 18. De igual forma, presentó un porcentaje de color residual de 10,64% y teniendo en cuenta que la dosis óptima se identifica al obtener el menor valor residual, es decir, cuando este se acerca a cero para confirmar que se removió casi el 100% de las partículas coloidales.

Figura 22*Formación de floc's*

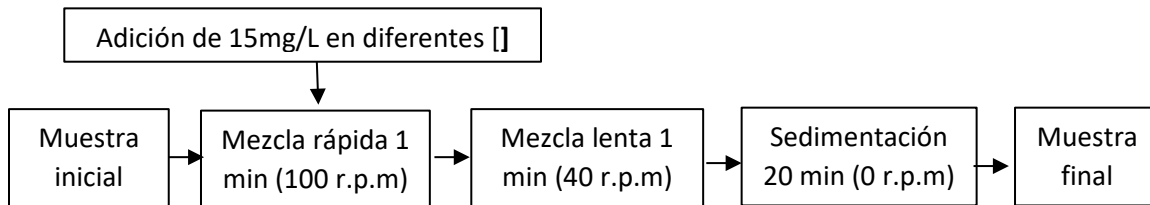
Fuente: autores

Concentración óptima de coagulante

A partir de la dosis óptima de coagulación (15mg/L). Se calcula los volúmenes para adicionar a cada jarra diferentes concentraciones.

Figura 23

Procedimiento para la determinación de la concentración óptima



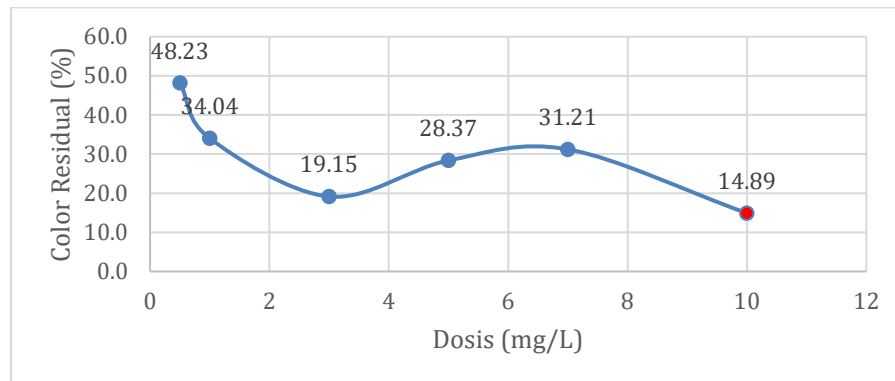
Fuente: autores

Tabla 34

Resultados concentración óptima de coagulante

RESULTADOS						
Jarra	Dosis Óptima Coagulante (mg/L)	[]%	V (ml)	Cf (UPC)	Co (UPC)	CR (%)
1	15	0,5	6,0	68	141	48,23
2	15	1	3,0	48		34,04
3	15	3	1,0	27		19,15
4	15	5	0,6	40		28,37
5	15	7	0,4	44		31,21
6	15	10	0,3	21		14,89

Fuente: autores

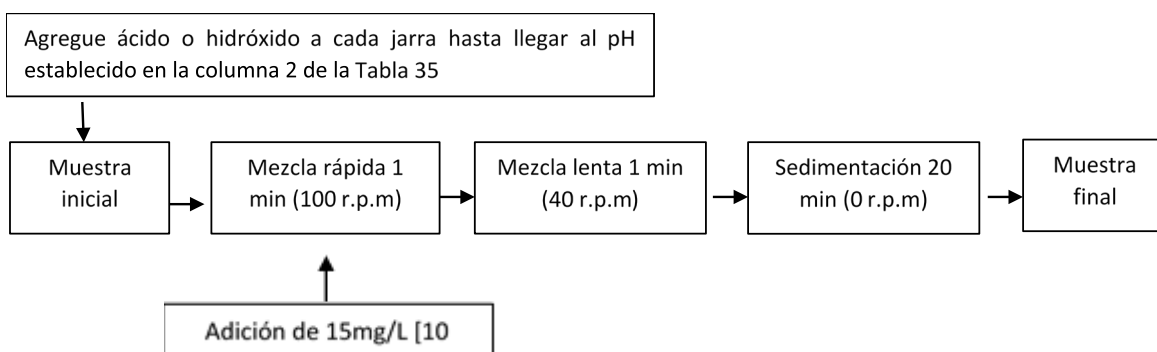
Figura 24*Concentración óptima de coagulante*

Fuente: autores

Mediante la Figura 24, se puede determinar que la concentración óptima de policloruro de aluminio es de 10%, puesto que es el valor que más se acerca a tener una remoción del 100%.

pH óptimo

Elegir el pH óptimo en el agua durante el ensayo de jarras es importante para simular las condiciones ideales de tratamiento de agua y obtener resultados precisos. El pH puede afectar la eficacia de los productos químicos utilizados en el proceso de tratamiento como lo es el coagulante (Barajas y León, 2015).

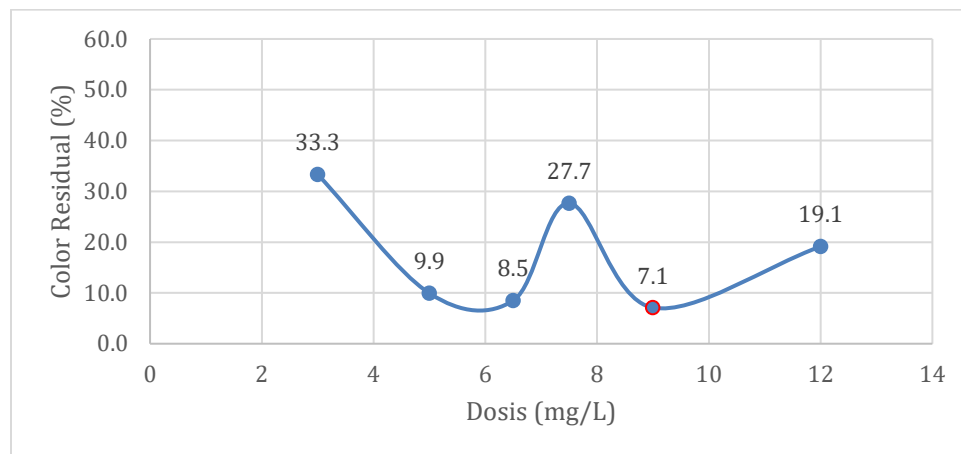
Figura 25*Procedimiento para determinación de pH óptimo*

Fuente: autores

Tabla 35*Resultados pH optimo*

Jarra	pH	Ácido Clorhídrico (ml)	Hidróxido de Sodio (ml)	Dosis Optima Coagulante (mg/L)	[]%	V (ml)	Cf (UPC)	Co (UPC)	CR (%)
1	3	0,9		15	10	0,3	47		33,3
2	5	0,2		15	10	0,3	14		9,9
3	6,5	0,01		15	10	0,3	12		8,5
4	7,5	Agua cruda		15	10	0,3	39	141	27,7
5	9,0		0,1	15	10	0,3	10		7,1
6	12		9	15	10	0,3	27		19,1

Fuente: autores

Figura 26*pH optimo*

Fuente: autores

El pH óptimo para este ensayo de jarras es de 9, ya que es el puntaje más bajo según la gráfica y está dentro del cumplimiento de la resolución 2115 del 2007. Es importante reconocer que este factor puede afectar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación, lo que puede tener un impacto significativo en la calidad del agua tratada. Un pH demasiado bajo o demasiado alto puede reducir la eficacia del proceso de coagulación-floculación, lo que puede dar lugar a una calidad de agua inferior según Lorenzo (2002).

Matriz de alternativas

Se diseñó una metodología mediante una matriz con el fin de seleccionar la alternativa más óptima que se le puede aplicar al sistema de tratamiento de agua potable de la zona urbana del municipio de Toca. Las directrices para evaluar las alternativas fueron seleccionadas partir de los lineamientos para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico en Colombia; establecidos en capítulo 4 del plan, titulado "Gestión del conocimiento y la innovación". En este documento encuentran un conjunto de **criterios** que se emplean para evaluar las alternativas del tratamiento de agua y saneamiento básico en Colombia. Estos criterios se adaptaron y utilizaron en esta evaluación bajo las condiciones actuales en que opera la planta. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2018)

Pasos para implementar la metodología:

- 1) Identificar las posibles alternativas que se pueden aplicar al sistema.
- 2) Incluir las alternativas donde dice nombre de alternativa, de derecha a izquierda ver Figura 27.

Figura 27

Matriz para desarrollar la metodología

Matriz de alternativa						
criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
	Nombre alternativa	Nombre alternativa	Nombre alternativa	Nombre alternativa	Nombre alternativa	Nombre alternativa
Inversion economica						
Vida util						
Utilidad						
Garantia en la mejoria del servicio						
Tiempo de implementacion						
Facilidad de mantenimiento						
Satisfaccion de la comunidad						
Total Criteros	Suma Total de los criterios para alternativa 1	Suma Total de los criterios para alternativa 2	Suma Total de los criterios para alternativa 3	Suma Total de los criterios para alternativa 4	Suma Total de los criterios para alternativa 5	Suma Total de los criterios para alternativa 6

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2018). *Plan director de agua y saneamiento básico - visión estratégica 2018-2030*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/plan-director.pdf>

Asignar a cada alternativa un el valor de criterio. (Ver los puntajes establecidos para cada criterio en la Tabla 35).

- Es importante resaltar que los puntajes propuestos para asignar a cada criterio, están en la escala numérica que se utiliza en la mayoría de las instituciones educativas de educación primaria en Colombia, donde 1 es el puntaje más deficiente y 5 es el puntaje superior. (Ministerio de Educación Nacional, 2008). Estos valores los debe asignar el evaluador según la importancia que corresponda en cada criterio, es decir que los criterios más importantes deben obtener un puntaje más alto con el fin de obtener la suma de la alternativa más óptima.

Tabla 36

Criterios de evaluación

CRITERIOS	VALOR PUNTAJE
Inversión económica	Baja (5)
	Media (3)
	Alta (2)
	Muy alta (1)
Vida útil	Largo plazo (5)
	Mediano plazo (3)
	Medio-corto plazo (2)
	Corto plazo (1)
Utilidad	Muy útil (5)
	Medio útil (3)
	Poco útil (1)
Garantía en la mejoría del servicio de agua potable	Alta (5)
	Media (3)
	Baja (1)
Tiempo de implementación de la alternativa	Menos de 1 mes (4)
	Entre 1 mes y menos 8 meses (3)
	Entre 8 meses y 12 meses (2)
	Mayor a 12 meses (1)
Facilidad de mantenimiento	Fácil (5)
	Medio (3)
	Difícil (1)
Satisfacción del servicio	Alta (5)
	Media (3)
	Baja (1)

Fuente: autores

La asignación se realiza de la siguiente manera:

Inversión económica: Es un criterio importante para cualquier proyecto porque determina el costo inicial, los costos de operación y mantenimiento para una planta de agua potable, una puntuación de (5) en este criterio indica que la alternativa es la más económica a diferencia que si se le asigna un puntaje de (1) quiere decir que es la opción más costosa.

Vida útil: Hace referencia a la garantía que tiene la alternativa a largo plazo, es decir el tiempo que durara la alternativa, una calificación de (5) quiere decir que la alternativa funcionara más de 10 años, un valor de (3) indica que el tiempo de vida útil esta entre 5 años y 10 años, un valor de 2 quiere decir que funcionara entre 1 año y menos de 5 años y por último un valor de (1) es probable que funcione menos de un año.

Utilidad: Indica la calidad del servicio de agua potable en referencia a normativa ambiental aplicable “resolución 2115 del 2007”. Cuando se le asigna un puntaje de (5) es porque el IRCA en que puede estar el tratamiento al incluir esta alternativa en la planta de agua potable queda sin riesgo, cuando tiene un valor de (3) es porque posiblemente el nivel de riesgo puede ser medio o bajo y por último cuando se asigna un (1) es porque el nivel de riesgo no mejoro y posiblemente está clasificando en un riesgo alto o inviablemente sanitario.

Garantía en la mejoría del servicio de agua potable: Indica la probabilidad de que la alternativa logre reducir la contaminación del agua sería considerada una buena garantía en la mejora del servicio de agua potable. Una calificación de (5) indica que se reducirá en mayor parte la contaminación en el agua, un valor de (3), es una garantía media y el puntaje (1) quiere decir que la alternativa no reduce de la contaminación del agua, no mejora aumento de la disponibilidad del agua, la mejora de la calidad del agua o la reducción del costo del agua.

Tiempo de implementación: Calificación (4), quiere decir que el Tiempo de implementación es muy corto, lo que significa que la alternativa se puede implementar de manera rápida y eficiente. Esto puede ser una opción preferible si la rapidez es esencial, calificación (3); el Tiempo de implementación es moderadamente corto, lo que indica que la alternativa requerirá un tiempo razonable para su implementación, calificación (2); el Tiempo de implementación es moderadamente largo. Esto sugiere que la alternativa tomará un tiempo significativo para su implementación y podría haber opciones más eficientes en términos de tiempo. Calificación (1): El Tiempo de implementación es muy largo, lo que significa que la alternativa requiere una cantidad considerable de tiempo antes de que se convierta en operativa. Esto podría ser una desventaja si se busca una implementación rápida.

Facilidad de mantenimiento: Cuando se asigna un valor de (1) indica que la alternativa tiene un bajo nivel de facilidad de mantenimiento, lo que significa que es difícil de mantener o requiere mucho esfuerzo y recursos para mantenerla en buen estado. Esta calificación indica que el criterio no se cumple satisfactoriamente. Medio (3): La alternativa tiene un nivel moderado de facilidad de mantenimiento, lo que significa que el mantenimiento es factible, pero podría requerir cierto esfuerzo y recursos. Fácil (5): La alternativa tiene un alto nivel de facilidad de mantenimiento, lo que significa que es fácil de mantener y no requiere grandes esfuerzos ni recursos adicionales.

Satisfacción del servicio: Hace referencia a la satisfacción por parte de los suscriptores al incluir esta alternativa. Un valor de 1 quiere decir que la alternativa no cumple con los estándares mínimos de satisfacción y es inaceptable. Un valor de (3) indica que la alternativa cumple con algunos aspectos de satisfacción, pero aún deja margen para mejorar. Por último, una calificación alta (5) es un nivel de satisfacción y cumple plenamente con los criterios y expectativas. Esta calificación ayudara a cuantificar y comparar las alternativas para tomar una decisión viable

- 3) Realizar una suma total de criterios de todas las alternativas.
- 4) Seleccionar la alternativa con la suma más alta como “alternativa óptima para aplicar al sistema”.

A continuación, se describirán las alternativas que se generaron como posibles opciones para aplicar a planta de tratamiento de agua potable del municipio de Toca, ver Tabla 36.

Tabla 37*Alternativas de optimización*

Alternativa 1 Incrementar la capacidad de tratamiento	De acuerdo a los cálculos de proyección de caudal realizados en la investigación, se evidencia que a partir del otro año el caudal máximo diario y horario, no cumplirá con el caudal de diseño del sistema actual que presenta la PTAP. Por lo cual, se debe desarrollar los estudios y diseños para la construcción de nuevas instalaciones o adecuación de las mismas. Esto puede incluir nuevos módulos convencionales Tipo Compactos, filtros entre otros. La obra civil o adecuación adicional puede instalarse en el sitio existente de la planta o en una nueva ubicación.
Alternativa 2 Filtración independiente para el Sistema Convencional – Tipo compacto	La planta convencional tipo compacta tiene la capacidad para tratar 6,0L/s y el sistema FIME 12,54L/s. Actualmente ingresa un caudal de 8,5L/s aproximadamente de los cuales el sistema compacto no presenta la capacidad para tratar el caudal total que se conduce al tratamiento FIME por ende se está mezclando con agua cruda en el filtro dinámico grueso por tal razón, se debe incluir un módulo independiente de filtración convencional para que esta ya sea conducida al área de adición de cloro.
Alternativa 3 Automatización del proceso de dosificación:	Implementar un sistema de dosificación automático para eliminar el error humano y mejorar la eficiencia del proceso de dosificación. Debido a que no se está llevando a cabo el procedimiento de ensayo de jarras para determinar (dosis optima de coagulante, pH optimo y dosis de cloro). Por lo cual, no se tienen en cuenta las condiciones cambiantes (invierno y verano) de la fuente abastecedora. Debido a que se está aplicando una dosis estándar.
Alternativa 4 Programa de monitoreo	Comprar equipos necesarios para el control, monitoreo y vigilancia de los parámetros de calidad, ya que solo se cuenta con un instrumento para medir color y pH. Adicional a esto realizar capacitaciones continuas al personal para que estén certificados en las competencias laborales.
Alternativa 5 Perfil profesional	Actualmente la planta es operada por fontaneros que no garantizan la calidad y seguridad en tratamiento de agua potable debido a que no tienen los conocimientos y competencias requeridas para cumplir con normativas y estándares del servicio. Por lo cual se requiere un ingeniero ambiental, sanitario o a fin.
Alternativa 6 Mantenimiento y adecuación en tubería de distribución	A través del análisis in situ de turbiedad, oxígeno disuelto, pH y conductividad en cada módulo de tratamiento de la planta se evidencio que presentaba una eficiente remoción de los parámetros problema sin embargo al tomar la muestra de agua en el punto de concertación o bayoneta estos parámetros sufrían un incremento considerable posiblemente atribuido a las condiciones internas y estructurales de la tubería.

Fuente: autores

Para realizar esta metodología se incluyeron en la matriz 6 alternativas posibles de implementar a planta de agua potable de la zona urbana del municipio de Toca, ver Tabla 37. Con el fin de obtener la suma total de cada alternativa y seleccionar la que obtenga el valor más alto, siendo la más óptima para implementar al sistema de tratamiento.

Tabla 38*Matriz de alternativas*

Matriz de alternativas						
Criterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
	Incrementar la capacidad de tratamiento	Filtración independiente para el Sistema Convencional – Tipo compacto	Automatización del proceso de dosificación	Programa de monitoreo	Perfil profesional	Mantenimiento y adecuación en tubería de distribución
Inversión económica	1	2	1	2	3	1
Vida útil	5	5	2	1	2	5
Utilidad	5	5	5	5	5	5
Garantía en la mejoría del servicio	5	5	3	3	3	5
Tiempo de implementación	1	2	4	4	2	2
Facilidad de mantenimiento	3	3	1	3	5	1
Satisfacción de la comunidad	5	5	3	3	3	5
Total, criterios	25	27	19	21	23	24

Fuente: autores

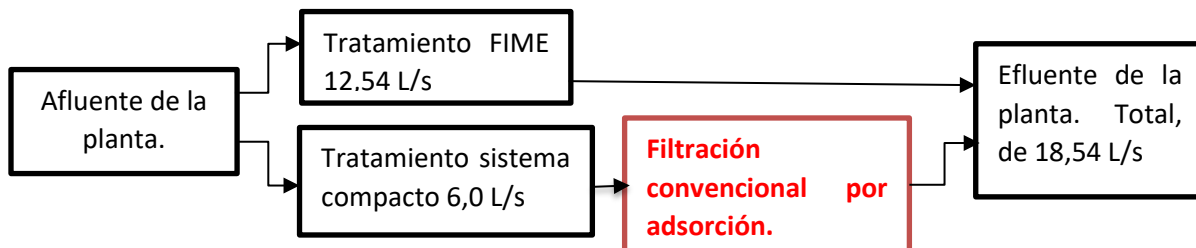
De acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de alternativas, la suma más alta de los criterios la obtuvo la alternativa “incluir al Sistema Convencional Tipo Compacto una filtración convencional independiente del FIME”, para mejorar la calidad y aumentar la capacidad del caudal en todo el sistema, logrando abastecer a la población hasta el año 2042 según los cálculos de proyección de caudal realizados dentro de la investigación y mejorar la calidad del agua que se le distribuye a la población. De esta manera, se muestra en la Figura 28 el diagrama del proceso como posible alternativa.

Es importante tener en cuenta que esta alternativa no tiene la capacidad de remover nitritos los cuales se presentan en el sistema por el uso de fertilizantes de los agricultores que están cerca de la fuente abastecedora, ni tampoco remueve hierro o manganeso presente por el deterioro de la

tubería, pero es importante reconocer que los valores de estos parámetros se pasan en muy poco con normativa por lo cual no afecta la salud de los suscriptores. Pero por cumplimiento de normatividad se debe disminuir su concentración en el agua por lo cual a largo plazo se debe implementar la alternativa 1 que es ampliar el sistema de tratamiento de toda la planta en el cual se deben elegir tratamientos que remuevan con eficiencia estos parámetros.

Figura 28

Alternativa de optimización



Fuente: autores

De acuerdo a la Figura 28, dividiendo el sistema se aumenta la capacidad de tratamiento para 19 años según las proyecciones efectuadas, ya que actualmente se está tratando 8,5 L/s aproximadamente de los cuales 6,0 L/s ingresan a Sistema Convencional Tipo Compacto y posteriormente al Filtro Grueso Dinámico y 2,5 L/s de manera directa al sistema FIME (Filtro Grueso Dinámico), unificando agua tratada con agua cruda. Este caudal tratado no será capaz de abastecer a la población del año 2024; ya que necesita caudales máximos horarios superiores a 12L/s. Por lo cual es necesario dividir el sistema e incluir un módulo de filtración convencional aparte para el tratamiento Convencional.

Esto permitirá a largo plazo garantizar la disponibilidad de agua potable por 19 años más; además adaptar el sistema actual para satisfacer la creciente demanda y mejorar la eficiencia en la prestación del servicio de acueducto.

De igual manera, como se mencionó se hace necesario a largo plazo tener en cuenta las demás alternativas para efectuar una acorde y eficiente optimización del sistema de tratamiento como es: Incrementar la capacidad de tratamiento, debido a que el sistema actual no tiene la capacidad para tratar el caudal total que ingresa dirimente. Y por lo cual, no cumple con el tiempo de retención hidráulico y la eficiencia de remoción de la carga contaminante de acuerdo a los

lineamientos establecidos por la resolución 0330 de 2017. Además, incumple con la demanda de agua potable que se requiere para poder satisfacer las necesidades para los próximos 25 años.

Mantenimiento y adecuación en tubería de distribución: Es crucial llevar a cabo el mantenimiento y la adecuación de la red existente de distribución de agua potable debido a que según los análisis efectuados el agua que sale del Filtro Lento en Arena e ingresa a la red de distribución en la cual se hace la toma de muestras (puntos de concertación o bayonetas) presentan concentración exponenciales de los parámetros de calidad, superando los valores máximos permisibles establecidos por la resolución 2115 de 2007.

Estas tuberías antiguas tienden a deteriorarse con el tiempo, lo que puede provocar fugas, pérdida de presión y la contaminación del agua ya tratada; comprometiendo la calidad del agua que se distribuye en el casco urbano y en las Veredas Tuaneca Abajo y Centro abajo. Al modernizar y mantener estas infraestructuras, garantizamos un suministro de agua seguro, confiable y eficiente para las generaciones futuras, al tiempo que reducimos los costos a largo plazo y minimizamos los impactos.

Es importante resaltar que la planta debe verificar siempre la dosis óptima de coagulación ya que esta varía según las condiciones climáticas que se presente en el municipio, en este caso para una época de lluvia nos dio una dosis óptima de 15mg/L con una concentración del 10% para trabajar a un pH de 9. Se resalta que esta dosificación puede aumentar o disminuir y el no realizarla puede afectar la parte económica al desperdiciar mayor dosis de coagulante cuando no se requiere o disminuir la formación de flóculos que alteran la calidad del agua.

Conclusiones

Cuidar la fuente de abastecimiento es fundamental para garantizar un tratamiento eficaz del agua potable. La calidad del agua que se suministra al casco urbano y a las veredas Tuaneca Abajo y Centro Abajo depende en gran medida de la pureza inicial de la fuente. Se hace necesario protegerla adecuadamente, debido a que está contaminándose con sustancias nocivas, lo que ha aumentado los costos y la complejidad del proceso de purificación. Además, la preservación de la fuente de agua será esencial para mantener un suministro sostenible a largo plazo, evitando la sobreexplotación y la escasez.

El IRCA permitió identificar el nivel de afectación a la salud que tiene la población de la zona urbana del municipio de Toca - Boyacá, gracias a este indicador se pudo determinar que todas las muestras de agua analizadas desde el 18 de noviembre del 2022 hasta el 22 de marzo del 2023; fueron distribuidas como agua no apta para consumo humano. Es decir que la planta debe mejorar su sistema de tratamiento incluyendo tecnologías de tratamiento que sirvan para disminuir las variables como nitritos, hierro, manganeso, turbiedad y color que se pasan del límite máximo permisible según la resolución 2115 del 2007.

En el proceso de coagulación, la turbidez y el color se pueden reducir agregando coagulantes, que son sustancias químicas que ayudan a las partículas a unirse y formar flóculos. Los flóculos son más grandes y más fáciles de remover por sedimentación o filtración. Por lo cual es importante determinar la dosis óptima de coagulación para asegurar que el proceso de coagulación sea eficiente y que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad. Una dosis demasiado baja de coagulante puede no ser suficiente para remover todas las partículas coloidales y los sólidos suspendidos, lo que podría dar lugar a agua turbia o con sabores y olores desagradables. Una dosis demasiado alta de coagulante puede dar lugar a agua con residuos de coagulante, lo que podría ser perjudicial para la salud y aumentaría los costos del tratamiento. Para la planta de Toca se determinó mediante el test de jarras una dosis optima de 15 mg/L de policloruro de aluminio en un pH óptimo de 9,0, cumpliendo con el límite máximo permisible en la resolución 2115 del 2007.

El sistema de tratamiento de la planta de agua potable de la zona urbana del municipio de Toca Boyacá es aproximadamente de 12,54 L/s, siendo este un caudal menor a los caudales máximo diario y horarios proyectados para el próximo año. Por lo cual se establece que se debe

ampliar el sistema de tratamiento mediante la instalación de un módulo independiente de filtración para el sistema convencional tipo compacto, permitiendo tratar los 6,0 L/s que pasaran a la dosificación con cloro. El caudal restante se conducirá al sistema FIME y se unificará el total del caudal que actualmente trata la PTAP municipal. Lo que permitirá satisfacer las necesidades de la población hasta el año 2042.

La alternativa o propuesta de optimización del sistema de tratamiento de agua potable en la zona urbana del municipio de Toca es incluir al Sistema Convencional Tipo Compacto actual una filtración convencional independiente del FIME: con el fin de aumentar la capacidad del caudal en todo el sistema. Dividiendo el sistema y unificando los caudales en el área de dosificación de cloro para posteriormente conducirlo a la red de distribución.

Por último, se hace necesario aplicar a mediano y largo plazo la alternativa 1 (Incrementar la capacidad de tratamiento) y la alternativa 6 (Mantenimiento y adecuación en tubería de distribución) de manera secuencial para llevar a cabo una adecuada y eficiente optimización del sistema de tratamiento.

Recomendaciones

Cuidar la fuente de abastecimiento del Río Toca es crucial para evitar problemas posteriores en el tratamiento del agua potable, ya que una fuente altamente contaminada requiere procesos de purificación costosos y complejos, lo que a su vez puede aumentar las tarifas para los consumidores. Además, el deterioro de la fuente puede afectar la calidad del agua, comprometiendo la salud pública de cada uno de los suscriptores del acueducto municipal. Por lo tanto, la preservación y protección de estas fuentes es esencial para garantizar un suministro de agua potable asequible y de alta calidad, beneficiando a la comunidad en su conjunto.

Se debe aumentar el sistema de tratamiento Convencional Tipo Compacta, ya que la planta de agua potable tiene la capacidad de abastecer a la población del próximo año y en adelante, esto identificado a través de cálculos de proyección de caudal. Por lo cual se recomienda agregar un módulo de filtración para el sistema convencional y que ambos sistemas operen de manera independiente para aumentar el caudal tratado y poder suplir las necesidades de los suscriptores.

Se debe invertir en equipos para llevar un control y monitoreo de la calidad de las variables fisicoquímicas y microbiológicas establecidas en la resolución 2115 del 2007 con el fin de verificar el cumplimiento de dicha normatividad.

Se debe capacitar al personal en cuanto a la manipulación del equipo de ensayo de jarras para que se realice de manera continua la determinación de la dosis óptima de coagulante, pH óptimo y dosis de cloro con el fin de lograr la clarificación y desinfección del agua, bajo las condiciones climáticas que puedan alterar o afectar las características típicas del agua.

Debe incluirse un profesional o tecnólogo en el área ambiental o sanitaria para que supervise la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable. Con el fin de garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos por las autoridades sanitarias y capacitar a cada uno de los fontaneros que operan la PTAP.

Realizar el ensayo de jarras diariamente ya que se cuenta con el equipo para seleccionar la dosis óptima, pH óptimo y dosis de cloro; de acuerdo a la variabilidad climática y los factores de riesgo que puedan afectar a la fuente abastecedora.

Es necesario realizar un mantenimiento a la tubería y accesorios, ya que por los años de operación debe estar deteriorada lo cual influye en la presencia del hierro y manganeso en el agua

puede generar un color oscuro por su proceso de oxidación y esto influye en el rechazo de los consumidores.

Se debe realizar la renovación de la concesión de agua de acuerdo a las proyecciones poblacionales y de caudal; con el fin de garantizar la gestión sostenible y adaptar a las condiciones cambiantes del entorno, la demanda, la disponibilidad y la calidad del agua, asegurando de forma eficiente la prestación del servicio y suministro de agua.

Se recomienda al Municipio de Toca, en cabeza de la secretaria de planeación y Obras Públicas realizar la ampliación del sistema del tratamiento para poder cumplir con los estándares de calidad establecidos por la resolución 2115 de 2007 y los parámetros constructivos contemplados en la resolución 0330 de 2017 logrando llevar a cabo una adecuada eficiencia en el tratamiento.

Referencias

- Abarca Monge, S., y Mora Brenes, B. (2016). Contaminación del agua. *Biocenosis*, 20(1-2).
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1311>
- American Public Health Association., American Water Works Association and Water Environment Federation. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (23^a ed.). APHA-AWWA-WEF.
- American Water Works Association. (2019). *Filtración de agua: guía de práctica*. American Water Works Association. https://www.cdc.gov/healthywater/emergency/pdf/19_302124-EWSP-GUIDE-SPANISH.pdf
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACIS). (2020). *Manual de diseño de plantas de tratamiento de agua potable*. ACIS. <https://www.acodal.org.co/>
- Barajas, C., y León, A. J. (2015). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃ 18H₂O) en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial*. (Tesis de grado, Universidad Santo Tomás de Aquino). Repositorio institucional Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf>
- Briñez, K. J., Guarnizo, J. C., y Arias, S. A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(2), 175-182.
<https://www.redalyc.org/pdf/120/12023918006.pdf>
- Chen, J., Jin, W., Shu, H., Wang, P., Yu, J., y Huang, X. (2017). A review on the advanced treatment of drinking water: Advanced oxidation process, adsorption, membrane filtration and reverse osmosis. *Science of the Total Environment*, 571, 1392-1404.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). *Metodología de clasificación de áreas urbanas y rurales*. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/116-espanol/informacion-georreferenciada/2419-estratificacion-socioeconomica-metodologia>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170.
<https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

- Green Facts. (2020). *Contaminantes*.
<https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/contaminante.htm#:~:text=Definici%C3%B3n%3A,salud%20o%20el%20medio%20ambiente>.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6^a ed.). McGraw-Hill.
<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>
- Herraiz, A. S. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos*. IDEAM.
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA*, 40(2), 10-17. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Metodología para la estimación del caudal ambiental en el río Bogotá*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
https://www.andi.com.co/Uploads/MET_CAUDAL_AMB_RB.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social. (2007). Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. [Resolución 2115/2007].
<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>.
- Ministerio de Educación Nacional. (2008). Evaluación para los aprendizajes. *Al Tablero*, (44).
<https://www.mineduacion.gov.co/1621/article-162342.html>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano IRCA 2021*.
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2021.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2007). Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. [Decreto 1575 de 2007].
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=30007

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. [Resolución 0799/2021]. <https://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-799-de-2021.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2021). *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano IRCA 2021*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2021.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2018). *Plan director de agua y saneamiento básico - visión estratégica 2018-2030*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/plan-director.pdf>
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. [Resolución 0330 de 2017]. <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *RAS Título B "sistema de acueducto"*. <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO B%200030714.pdf>
- Municipio de Toca. (2022). *Solicitud de información del proceso de tratamiento de la PTAP del municipio de Toca*. Municipio de Toca.
- Municipio de Toca. (2007). *Manual de Operación del Sistema de tratamiento en múltiples etapas FIME municipio de Toca - Boyacá*. Municipio de Toca.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Directrices para la calidad del agua potable*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Factores determinantes de las enfermedades transmitidas por alimentos. factores de contaminación, supervivencia y multiplicación. Guía para la prevención y el control de enfermedades transmitidas por alimentos*. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10808:2015-anexo-g-factores-determinantes-alimentos&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0
- Organización Panamericana de la Salud (2005). *Tecnologías para el abastecimiento de agua en poblaciones dispersas*.

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55270/OPSCEPIS05170_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rodríguez, C., y García, D. (2023). La importancia de las plantas de tratamiento de agua potable para la salud pública. *Revista de Salud Pública*, 25(3), 567-576.
- Sánchez, J., y Sanabria, J. (2009). Metabolismos microbianos involucrados en procesos avanzados para la remoción de Nitrógeno, una revisión prospectiva. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1), 114-124.
- Secretaría de Salud de Boyacá. (2019). *Mapa de riesgo de calidad de agua de la fuente de abastecimiento del municipio de Toca*. Secretaria de Salud de Boyacá.
- Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP). (2022). *Informe de resultados del IRCA mensual por persona prestadora por sistema - Decreto 1575/2007*.
<https://sivicap.ins.gov.co/sivicap/Account/Login?ReturnUrl=/sivicap/>.
- US Environmental Protection Agency. (2017). *Filtros de carbón activado para el tratamiento del agua potable*. US Environmental Protection Agency.
https://19january2017snapshot.epa.gov/environmental-topics_.html
- Valencia Espinosa, C. (2005). *Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción*. (Monografía de grado, Universidad de Cuenca).
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/754/1/ti881.pdf>
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking - water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. WHO.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>