

Optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda “Toibita”
Municipio de Paipa, Boyacá

Dayanna Stephania Camargo Pedraza
Julieth Paola Camargo Pedraza

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Sanitaria
Tunja
2021

Optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda “Toibita”
Municipio de Paipa, Boyacá

Dayanna Stephania Camargo Pedraza
Julieth Paola Camargo Pedraza

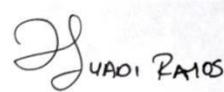
Trabajo de Grado para optar al Título de
Ingeniera Sanitaria

Director
Mg. Yadi Johaira Ramos
Ingeniera Sanitaria
Esp. Sistemas integrados de gestión QHSE
Mg. Salud pública

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Sanitaria
Tunja
2021

Nota de Aceptación:

Las estudiantes Dayanna Camargo Pedraza y Julieth Camargo Pedraza, realizaron la alternativa de grado en modalidad de trabajo de grado con el trabajo titulado “Optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda “Toibita” Municipio de Paipa, Boyacá”, obteniendo una nota aprobatoria de 4.0



Firma Presidente del Jurado



Firma del Jurado



Firma del Jurado

Tunja, 12 de noviembre de 2021

“Únicamente el Graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Universidad de Boyacá. Acuerdo 958 del 30 de marzo de 2017, Artículo décimo primero)

A Dios, a la virgen María y a mis ángeles en el cielo por permitirme culminar de manera exitosa este proyecto, a mi madre: María Pedraza, a mi padre: Carlos Camargo, a mis hermanas: Julieth y Luciana, a mi sobrina Guadalupe , por su dedicación amor y apoyo durante todas las etapas de mi vida, a mis docentes por los conocimientos impartidos durante toda mi carrera universitaria, finalmente a cada una de las personas que a través de su conocimiento y apoyo hicieron realidad la culminación de este proyecto.

Dayanna Stephania Camargo Pedraza

A Dios, a la virgen María por estar siempre a mi lado y permitirme culminar esta etapa de mi vida, a mis padres María Pedraza y Carlos Camargo por su apoyo, amor y comprensión a lo largo de mi vida, a mi hija Guadalupe por ser la luz de mi vida y mi mayor bendición, a mis hermanas Dayanna y Luciana por su amor y compañía ,a la universidad de Boyacá y a cada uno de mis docentes por los conocimientos adquiridos en mi formación académica , Finalmente quiero agradecer a mis amigos y demás personas que hoy me permiten culminar de manera exitosa este ciclo de mi vida.

Julieth Paola Camargo Pedraza

Agradecimientos

Expresamos nuestros agradecimientos a la Universidad de Boyacá y a nuestros docentes por los conocimientos adquiridos a través de nuestra formación académica, los cuales nos permitieron el desarrollo y éxito del presente proyecto, así mismo, agradecemos a la Ingeniera Yadi Johaira Ramos por su dedicación, tiempo y esfuerzo, sembrando en nosotros conocimientos bases para el desarrollo de nuestra vida profesional y personal.

Agradecemos a nuestros jurados el ingeniero Hernán Alfonso Arias y la Ingeniera Andrea Fernando Manosalva por sus aportes y sugerencias para el mejoramiento de nuestro proyecto, a la empresa de servicios públicos Red Vital Paipa S.A. E.S.P. por su colaboración, a la asociación del acueducto de la vereda Toibita por permitimos desarrollar el proyecto, finalmente a todas las personas que realizaron su aporte en conocimiento, tiempo y dedicación para que el proyecto en todas sus etapas culminara a satisfacción.

Contenido

	Pag.
Introducción	15
Agua Potable.....	16
Características del agua potable.....	17
Procesos de Potabilización.....	18
Agua Potable en el Mundo.....	18
Falta de agua potable y saneamiento	19
Cobertura de agua potable	20
Equidad en el Sector de Agua Potable.....	23
Agua Potable en Colombia	24
Agua Potable en Boyacá	27
Calidad del agua.....	28
Norma de calidad del agua para consumo humano	30
Planta de Tratamiento de agua potable de la Vereda Toibita	31
Fuente abastecedora.....	31
Calidad del agua de la fuente abastecedora	32
Identificación Sistema de Acueducto de la vereda Toibita vereda Toibita	34
Bocatoma	34
Desarenador	35
Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	36
Tanque de contacto	37
Tanque de Almacenamiento	38
Dosificación productos Químicos.....	39
Descripción de los sistemas de tratamiento de agua potable que requieren cambios para su correcto funcionamiento	39
Criterios de diseño para sistema de agua para consumo humano y domestico	40
Calidad de agua suministrada a los usuarios	41
Ciclo I	42
Ciclo II.....	49

Ciclo III	1
Ciclo IV	57
Análisis resultados Ciclos	66
Ciclo I.....	66
Dosificación Optima	0
Ciclo II	70
Ciclo III	71
Demanda de Cloro.....	71
Ciclo IV	0
Evaluación del sistema de tratamiento de agua potable acorde a la resolución 0622 de 2020.....	1
Calculo del puntaje de las buenas practicas sanitarias	8
Propuesta de optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa.	8
Conclusiones	11
Recomendaciones.....	12
Bibliografía	13
Anexos.....	17

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1 Calidad de Fuente	29
Tabla 2 Resultados Análisis físico Químico Quebrada Toibita.....	33
Tabla 3 Resultados ciclo I.....	42
Tabla 4 Análisis Ciclo II.....	50
Tabla 5 Resultados Ciclo III	58
Tabla 6 Análisis Ciclo IV	58
Tabla 7 Resultados Prueba de Jarras.....	66
Tabla 8 Dosis de Cloro	74
Tabla 9 Demanda de Cloro	76
Tabla 10 Acta de Inspección.....	1

Tabla de Figuras

Figura 1 PTAP Vereda Toibita	31
Figura 2 Fuente Abastecedora.....	32
Figura 3 Bocatoma	35
Figura 4 Desarenador	36
Figura 5 PTAP Toibita.....	37
Figura 6 Tanque de Contacto	37
Figura 7 Tanque de Almacenamiento	38
Figura 8 Entrada Vs Tanque de Almacenamiento	47
Figura 9 Eficiencia Ciclo I.....	47
Figura 10 Toma y Análisis Ciclo I.....	48
Figura 11 Entrada Vs Tanque de Almacenamiento Ciclo II.....	52
Figura 12 Eficiencia Ciclo II.....	53
Figura 13 Toma y Análisis Ciclo II	0
Figura 14 Entrada Vs Tanque de Almacenamiento Ciclo III.....	59
Figura 15 Eficiencia Ciclo III	58
Figura 16 Toma y análisis muestras Ciclo III.....	57
Figura 17 Entrada Vs tanque de almacenamiento Ciclo IV	59
Figura 18 Eficiencia Ciclo IV	58
Figura 19 Toma de muestras y análisis ciclo IV	66
Figura 20 Cambio de lechos filtrantes	70
Figura 21 Curva demanda de Cloro	75
Figura 22 Demanda de Cloro	0

Lista de Anexos

Anexo A Anteproyecto	18
Anexo B Tablas Eficiencias Según Componente	141
Anexo C Acta de Visita de Inspección.....	167
Anexo D Propuesta de Optimización	168
Anexo E Análisis Físicoquímico y Microbiológicos	169

Glosario

Agua Potable: El agua potable es el agua apta para consumo humano, es decir, el agua que puede beberse directamente o usarse para lavar y/o preparar alimentos sin riesgo alguno para la salud. (Plata, A. M., 2005).

Coagulante: Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la descarga de todas las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), que sedimentan más rápidamente. (Restrepo Osorno, H. A. 2009)

Filtración: Se conoce como filtración a una técnica para separar sólidos en suspensión dentro de un fluido (líquido o gas), empleando para ello un medio filtrante que consiste en un material poroso que se denomina tamiz, filtro o criba. Este filtro retiene los sólidos de mayor tamaño y permite el paso del fluido, junto con las partículas de tamaño inferior. (Perea, L., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. 2014).

Floculante: El floculante se usa para clarificar el agua, es decir volverla más transparente y eliminar la turbidez. El agua se vuelve turbia o blanquecina por las partículas sólidas en suspensión, compuestas por ejemplo polvo, barro o algas. (Restrepo Osorno, H. A. 2009)

IRCA: El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), es la herramienta cuantitativa para determinar a través de un porcentaje, el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el consumo de agua. (Cruz, R. A. C., & Rodríguez, D. L. R. 2021).

Olor: Emanación volátil de ciertos cuerpos que se percibe a través del sentido del olfato. (Synnott, A. 2003).

Optimización: La optimización, en general, implica lograr el mejor funcionamiento de algo, usando de la mejor forma los recursos. (Cano Ravelo, D. C., 2014).

Riesgo: El riesgo es la exposición a una situación donde hay una posibilidad de sufrir un daño o de estar en peligro. Es la vulnerabilidad o amenaza a que ocurra un evento y sus

efectos sean negativos y que alguien o algo puedan verse afectados por él. (Bartolomé Pina, A. R. 2004).

Sabor: Cualidad de una sustancia que es percibida por el sentido del gusto. (Ulloa, C. 2006).

Saneamiento Básico: Se entiende por Saneamiento Básico a las actividades que contribuyen a preservar y/o mejorar la salud y la calidad de vida de las personas, abarcando servicios de agua potable, alcantarillado, eliminación de excretas, gestión de residuos sólidos y control de la contaminación ambiental. (Gastañaga, M. D. C., 2018).

Sistema: Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que funciona como un todo. Si bien cada uno de los elementos de un sistema puede funcionar de manera independiente, siempre formará parte de una estructura mayor. (Maldonado, C. E. 2015).

Solvente: El solvente es la sustancia que disuelve al soluto. ... Por ejemplo: azúcar (solute) + agua (solvente) = agua azucarada (solución). La combinación entre un soluto y un solvente también se llama disolución. El agua es conocida como el solvente universal ya que son muchas las sustancias que pueden ser diluidas en ella. (Masschelein-Kleiner, L. 2004)

Resumen

Camargo Pedraza, Dayanna Stephania

Optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda “Toibita”
Municipio de Paipa, Boyacá / Dayanna Stephania Camargo Pedraza, Julieth Paola Camargo
Pedraza. - - Tunja : Universidad de Boyacá, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2021.

169 h. : il. + 1 CD ROM. - - (Trabajos de Grado UB, Ingeniería Sanitaria ; n°.)

Trabajo de Grado (Ingeniera Sanitaria). - - Universidad de Boyacá, 2021.

El agua es el recurso básico para garantizar la vida de todos los seres vivos del planeta. El acceso a agua, saneamiento e higiene es un derecho fundamental, y sin embargo, seis millones de personas de todo el mundo siguen enfrentándose a diario a enormes dificultades para acceder a los servicios más básicos, la falta de acceso a servicios de agua potable a repercutido alrededor de todo el mundo en la expansión de enfermedades tales como: la diarrea aguda, la difteria o la malaria; a través del desarrollo del proyecto se realiza un diagnóstico para la identificación de las condiciones de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita; su infraestructura, su capacidad de servicio y la calidad del agua que trata, de esta realizar la optimización de la misma, ya que esta tiene una afectación directa en la salud pública de la comunidad del municipio de Paipa, respectivamente a los habitantes de la Vereda Toibita.

A través del desarrollo de trabajo se realizó la propuesta de la optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda Toibita, municipio de Paipa.

Según los resultados obtenidos a través del desarrollo de las etapas metodológicas, se logra concluir que la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita requiere la implementación de un plan de operación y mantenimiento, así mismo a través de análisis físicos químicos se determina que los procesos deficientes según su porcentaje de remoción son: coagulación, filtración y desinfección, para la optimización de esto se plantean las siguientes alternativas: realizar prueba de jarras diarias con el fin de determinar la dosis óptima del coagulante utilizado, realizar cambio de lechos filtrantes en el tren de filtración según especificaciones técnicas brindadas por el fabricante , se deberá realizar análisis de demanda de cloro para establecer dosificación adecuada de hipoclorito de calcio.

Con el desarrollo el presente proyecto se contribuirá a garantizar que la calidad de agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita es apta para consumo humano, acorde a lo establecido en la resolución 2115 de 2007:” Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”

Introducción

El acceso al agua potable y saneamiento básico se considera un derecho que está directamente vinculado con otros como la vida, la dignidad humana y la salud (Franco, 2014) por esta razón la Constitución Política de Colombia decreta como uno de los fines principales de la actividad del Estado, la solución de las necesidades básicas insatisfechas, entre las cuales se ubica con un carácter especial el acceso al servicio de agua potable, que es fundamental para la vida humana (Ministerio de Salud, 2012). Los niveles actuales de cobertura significan que casi 77 millones de personas (15%) no tienen acceso a los servicios de agua potable, de las cuales 26 millones (7%) corresponden a las zonas urbanas y 51 millones (39%) a las áreas rurales (OPS, 2001). A esto se suma el hecho de que casi 54 millones de personas (11%) se abastecen a través de sistemas definidos como “fácil acceso”, los cuales representan, en la mayoría de los casos, un riesgo significativo para la salud. La población que no tiene acceso a los servicios de agua potable se ve obligada a adoptar soluciones alternativas (tales como fuentes públicas, pozos individuales, conexiones ilegales a la red de agua potable, colección de agua de lluvia o captación de agua de ríos, lagos, manantiales u otros cuerpos de agua sin tratamiento previo), muchas soluciones de esa índole no garantizan la calidad del agua obtenida, debido principalmente a la creciente contaminación hídrica que afecta muchos cuerpos de agua alrededor del mundo.

El recurso hídrico, se caracteriza por ser una necesidad vital para la supervivencia y vida de los seres humanos, por ello desde tiempos remotos se ha visto la obligación de idear diversos sistemas de tratamiento de agua, con el objetivo de purificar este rico recurso, ya que por múltiples problemas que se presentan a nivel mundial en relación con el medio ambiente entre los cuales se destacan la falta de conocimiento para la operación sistemas de tratamiento, la deficiencia de recursos, entre otros (Comité de Naciones Unidas, 2010) lo anterior sumado a que en la actualidad el suministro de agua potable en condiciones de calidad y cantidad ha representado una de las problemáticas más grandes alrededor de todo el mundo debido a que gran parte de los recursos hídricos presentes en el planeta se encuentran sometidos a altos niveles de contaminación a los efectos de la sobreexplotación de los recursos naturales, la superpoblación y la consecuente degradación medio ambiental.

De acuerdo con la OMS, una parte importante de las enfermedades relacionadas con el consumo de agua como la diarrea aguda, la difteria o la malaria, tienen su origen en la deficiente administración de los recursos hídricos. En el mundo, 1.1 mil millones de personas no tienen acceso a fuentes de agua mejoradas, y 2.4 mil millones a sistemas de saneamiento básico (OMS, 2004). La mayoría de estas personas habitan en países sub desarrollados, viven en situaciones de pobreza y extrema pobreza, y asentadas en zonas periurbanas y rurales donde la prestación de servicios de agua potable y saneamiento (SAPS) es inadecuada (Molina, J. E., & Morales, S. A., 2018), por ende, son la población objeto de estudio en temas de optimización de sistemas de acueducto en el mundo. En Colombia alrededor del 78% de los habitantes de la zona rurales no cuentan con accesibilidad a agua potable que cumpla con los criterios de calidad establecidos en la resolución 2115 de 2017: “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”.

El agua es un determinante social de la salud y como tal debe ser sujeto a la vigilancia y el control con el propósito de garantizar la salud pública de la población. (Ministerio de Salud, 2016), por esta problemática se plantea la necesidad de realizar la optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa, Boyacá. En este documento se presenta : en el capítulo I la información de los sistemas de agua potable, así como su cobertura a nivel internacional, nacional y local, en el capítulo II se identifica de manera preliminar la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable en la vereda Toibita, se realiza una descripción de los sistemas de tratamiento de agua potable que requieren cambios para su correcto funcionamiento, finalmente para concluir el capítulo, se evalúa el sistema de tratamiento de agua potable acorde a la resolución 0622 de 2020. En el capítulo III se describe la propuesta de optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa

Agua Potable

Aunque el abastecimiento de agua potable constituye un servicio PÚBLICO que los Estados deben proveer de manera obligatoria a los individuos, ya que el acceso al recurso es

una necesidad colectiva, básica o fundamental, dicho abasto no ha podido ser enteramente satisfecho por muchos gobiernos en diversos países, sobre todo en aquellos donde prevalecen condiciones de subdesarrollo. Actualmente atravesamos por la llamada crisis mundial del agua, debido a que gran parte de los recursos hídricos del planeta se encuentran sometidos a altos niveles de contaminación en diversos Estados, a los efectos de la sobreexplotación de los recursos naturales y la consecuente degradación medioambiental, además de que el agua dulce utilizada por los seres humanos para cubrir sus necesidades de carácter básico y para el desarrollo de las actividades agrícolas, industriales y la generación de energía eléctrica, corresponde solamente al 1 % del total de los recursos hídricos en el mundo (Moreno, L. F. T.,2008).

El agua es sumamente abundante en nuestro planeta, y dado que es el solvente universal, a menudo contiene numerosos elementos y sustancias disueltas en ella, que pueden (o no) ser detectadas a simple vista y modifican (o no) su sabor, color y olor, representando así un peligro potencial para el cuerpo humano (Romero, F. H. C,2005).Por lo tanto, el agua potable no es tan abundante en el planeta, a pesar de que existen mecanismos de potabilización establecidos por el hombre, pues de la calidad del agua de una comunidad o nación depende, en gran medida, su salud pública. Numerosos casos de epidemias o intoxicaciones masivas se han debido a la presencia de sustancias tóxicas o agentes infecciosos en ella.De esta manera, la presencia del agua potable en el mundo está constantemente amenazada por la contaminación del agua, del suelo y del aire, ya que las grandes masas de agua como los mares y océanos no son aptos para el consumo humano, debido a su enorme cantidad de sales disueltas.

Características del agua potable

De acuerdo a las normativas de la Unión Europea, se establece que el agua potable debe tener un contenido de sales, minerales e iones (sulfatos, cloratos, nitritos, amonio, calcio, fosfato, entre otros) que esté dentro de los rangos aceptados, lo cual supone un pH entre 6,5 y 9,5.

Por otro lado, debe estar lo más libre de bacterias y microorganismos patógenos (virus, etc.), así como de partículas en suspensión y sustancias orgánicas o radiactivas. Esto implica unos estándares de pureza media que la hacen apta para el consumo libre y cotidiano.

Procesos de Potabilización

El agua potable proviene naturalmente de los hielos polares, de los arroyos montañosos o de depósitos en el subsuelo, y generalmente no requiere sino un tratamiento simple de desinfección, mediante terapias de cloro, de ozono, de exposición a rayos ultravioleta u otros mecanismos que eliminen los microorganismos de vida libre presentes en ella.

Sin embargo, no siempre se cuenta con estos recursos naturales en las inmediaciones y se procede a la potabilización de las aguas comunes, lo cual puede llevarse a cabo mediante uno o más de los siguientes procesos:

- **Procesos de filtrado:** Mediante decantación en diversos materiales, filtrado de las partículas sólidas presentes o stripping de compuestos volátiles.
- **Procesos de depuración física:** Como la evaporación selectiva, también útil para quitar los niveles de sal del agua de mar, o mediante ósmosis inversa o destilación.
- **Hervido:** Un procedimiento casero frecuente, que consiste en hervir el agua durante unos minutos, matando los microorganismos que existan en ella. Sin embargo, es ineficaz contra sustancias disueltas o residuos físicos.

Agua Potable en el Mundo

Nuestro planeta contiene unos 1386 millones de km³ de agua, una cantidad que no ha disminuido ni aumentado en los últimos dos mil millones de años. Se calcula que el 97% es agua salada y sólo el sólo el 2.5% del agua que existe en la Tierra se considera dulce. Si tenemos en cuenta que el 90% de los recursos disponibles de agua dulce del planeta están en la Antártida esta sensación de abundancia disminuye, un 70% en agua congelada en glaciares y un 30% en la humedad del suelo o acuíferos. Respecto al resto, un 1% se encuentra en cuencas hidrográficas y tan solo un 0,025% es apta para ser potable. Datos oficiales afirman que sólo el 0.007% del agua existente en la Tierra es potable, y esa cantidad se reduce año tras año debido a la contaminación.

Esto nos hace conscientes que el agua es un recurso escaso y limitado además de un derecho en un mundo desigual. La falta de acceso a ella es motivo de pobreza, desigualdad, injusticia social y crea grandes diferencias en las oportunidades que ofrece la vida. La ONU confirma que la falta de suficiente cantidad de agua potable afecta a más del 40% de la población mundial. Cada día, cerca de mil niños mueren debido enfermedades que se podían prevenir causadas por el agua o las diarreas relacionadas con el saneamiento. Según los datos que manejan Naciones Unidas, hablaríamos de 4.200 millones de personas que en la actualidad carecen de acceso a servicios de agua limpia y saneamiento gestionados de forma segura. Además, 673 millones de personas siguen teniendo que recurrir a prácticas poco sanitarias, como la defecación al aire libre. Por otro lado, alrededor de 2.000 millones de personas se ven obligadas a utilizar fuente de agua potable contaminada con heces.

Falta de agua potable y saneamiento

En ese sentido, debemos hablar de una doble amenaza para la población del mundo. En las peores de las circunstancias, las personas se pueden encontrar afectadas por la falta de un acceso a agua potable corriente y a un saneamiento que asegure las mínimas condiciones sanitarias. Por este motivo, el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible está centrado en la consecución de Agua y Saneamiento universal. Para ello, diferentes instituciones del mundo están llevando a cabo todo tipo de actividades con el fin de llevar estos sistemas a diferentes partes del mundo.

A nivel mundial, 2400 millones de personas carecen de acceso a servicios de saneamiento mejorados y, de esa cifra, cerca de 1000 millones de habitantes practican la defecación al aire libre. Pese a los avances importantes logrados hasta la fecha —desde 1990 unos 2100 millones de personas han logrado tener acceso a retretes o letrinas— el saneamiento fue uno de los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) que estuvo muy lejos de alcanzarse en el mundo. Solo el 68 % de la población mundial tiene acceso a saneamiento mejorado, y el 70 % de los habitantes de África al sur del Sahara y el 53 % de Asia meridional no cuentan con estos servicios. El mundo no pudo cumplir la meta de los ODM en materia de saneamiento, lo cual afectó a 700 millones de personas.

El saneamiento constituye la base de muchos otros desafíos de desarrollo, ya que las deficiencias en este ámbito tienen impactos en la salud pública, la educación y el medio ambiente. Cerca de 1000 niños menores de 5 años mueren diariamente a raíz de diarreas causadas por servicios de agua, saneamiento e higiene inadecuados. Sin instalaciones de saneamiento adecuadas, es más probable que las niñas abandonen la escuela o sean vulnerables a ataques mientras buscan un lugar privado para hacer sus necesidades. Análisis recientes indican que poner fin a la práctica de defecar al aire libre puede salvar la vida de los niños al disminuir el contagio de enfermedades, el retraso del crecimiento y la desnutrición, todos factores importantes para el desarrollo cognitivo infantil y la productividad económica futura.

La falta de saneamiento también frena el crecimiento económico. Los servicios de saneamiento deficientes pueden tener un costo de miles de millones (i) para algunos países. Este monto equivale anualmente a 6,3 % del PIB en Bangladesh; 6,4 % en India; 7,2 % en Camboya; 2,4% en Níger, y 3,9% en Pakistán. Las pérdidas económicas son impulsadas principalmente por las muertes prematuras, el costo de los tratamientos de salud, y el tiempo y la productividad que se pierden en la búsqueda de atención médica e instalaciones de saneamiento. La contaminación derivada de la eliminación y el tratamiento inadecuados de aguas residuales y materia fecal de las viviendas también afecta los recursos y los ecosistemas hídricos. Al mismo tiempo, las aguas residuales y la materia fecal pueden proporcionar recursos valiosos (agua, nutrientes y energía) y oportunidades económicas, en especial en zonas urbanas y en lugares donde hay escasez de agua.

Cobertura de agua potable

Aunque parezca impensado, aún hoy, el agua es un privilegio y no un derecho. Lo que para muchos es parte de la vida cotidiana, para otros es un lujo. Desde el año 2000, millones de personas han tenido acceso a servicios de agua potable, saneamiento e higiene, pero muchos países todavía tienen un largo camino que recorrer para cumplir plenamente la ambición del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de lograr el acceso universal. El

informe “Progreso del agua potable, el saneamiento y la higiene en los hogares 2000-2020”, recientemente publicado por el Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, el Saneamiento y la Higiene (PCM) de la OMS y UNICEF, evalúa las tasas actuales de progreso y afirma que aún estamos lejos de alcanzar las metas de los ODS para 2030.

La escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque ha habido avances innegables desde 1990 cuando alrededor de dos millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes.

El agua es un derecho, no un privilegio. Sin embargo, en muchas latitudes algo tan cotidiano como abrir el grifo cada mañana para lavarse las manos es un lujo impensado. Para hacerle frente a esta grave problemática que mezcla una problemática ambiental con una social, el ODS 6 propone que para 2030 toda la población mundial tenga acceso al agua limpia y al saneamiento. Según Naciones Unidas, asegurar el agua potable segura y asequible universal implica llegar a más de 800 millones de personas que carecen de servicios básicos y mejorar la accesibilidad y seguridad de los servicios por más de dos mil millones. Sin embargo, lamentablemente, estamos lejos de llegar a este objetivo. El mundo no está en camino de alcanzar las metas 6.1 y 6.2 de los ODS según muestra el informe “Progreso del agua potable, el saneamiento y la higiene en los hogares 2000-2020” recientemente publicado por el Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, el Saneamiento y la Higiene (PCM) de la OMS y UNICEF.

A partir de los datos extraídos de dicha investigación, se afirma que para lograr la cobertura universal en 2030 será necesario cuadruplicar las tasas actuales de progreso en los servicios de agua potable gestionados de forma segura, los servicios de saneamiento y la higiene básica. Los países menos desarrollados son los que más lejos tienen que llegar y será especialmente difícil acelerar el progreso en estos territorios. Los datos son estremecedores: una de cada cuatro personas, es decir, 2.000 millones de personas en todo el mundo, carecen

de agua potable. El documento muestra que, en el 2020 sólo el 74% de la población mundial utilizar servicios de agua potable gestionados de forma segura, el resto no. Además, la cobertura es menor en las zonas rurales (60%) que en las urbanas (86%), donde viven dos de cada tres de los 5.800 millones de personas que utilizan servicios gestionados de forma segura. Además, el informe advierte que casi la mitad de la población mundial, es decir, 3.600 millones de personas, carecen de saneamiento seguro.

Al respecto, se afirma que en 2020, sólo el 54% de la población mundial (4.200 millones de personas) utilizan servicios de saneamiento gestionados de forma segura. Dos tercios de las poblaciones que aún carecían incluso de servicios básicos viven en zonas rurales, y casi la mitad en el África subsahariana. Respecto al acceso a los servicios básicos de higiene, el documento muestra que 3 de cada 10 personas, es decir, 2.300 millones de personas en todo el mundo, carecen de estos servicios. A partir de la investigación se conoció que el año pasado, el 71% de la población mundial (5.500 millones) disponía de un servicio básico de lavado de manos con agua y jabón en su casa. Otro 21% (1.600 millones) tenía instalaciones para lavarse las manos que carecían de agua o jabón en el momento de la encuesta, y el 9% (670 millones) no tenía ninguna instalación para lavarse las manos. Evidentemente, los datos desglosados revelan enormes disparidades en los servicios entre los países y dentro de ellos.

Otro importante hallazgo del informe tiene que ver con la desigualdad que es aún mayor para mujeres y niñas. Los datos muestran que estas no tienen los servicios que necesitan para la salud menstrual. La meta 6.2 de los ODS pide que se preste "especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas" y los programas de agua, saneamiento e higiene están supervisando cada vez más las necesidades relacionadas con la salud menstrual, para que todas puedan tener acceso a un lugar privado para lavarse y cambiarse durante el período menstrual. En muchos países, una proporción significativa de mujeres y niñas no dispone de los servicios que necesita para la salud menstrual y a menudo existen disparidades sustanciales entre los subgrupos de población y para las mujeres y niñas con y sin discapacidad. Durante los primeros cinco años desde el lanzamiento de los ODS, la cobertura de agua potable básica en regiones más vulnerables ha aumentado del 71% en 2015 al 74% en 2020. Sin embargo, el informe advierte que, para lograr el acceso universal al agua potable

básica será necesario multiplicar por 4 las tasas de progreso actuales, mientras que para lograr el acceso universal al agua potable gestionada de forma segura será necesario multiplicar por 23. La cobertura de los servicios básicos de higiene ha aumentado del 43% en 2015 al 48% en 2020, pero al ritmo actual de progreso solo el 58% de la población que vive en contextos vulnerables tendrá acceso en 2030.

Equidad en el Sector de Agua Potable

Sin agua limpia y segura no hay igualdad de género. Aunque el acceso al agua y el saneamiento es reconocido desde hace más de una década como un derecho humano básico, a menudo se pasa por alto la forma en que las mujeres y las niñas soportan las peores consecuencias de la escasez de agua, que van desde una peor educación hasta un mayor número de enfermedades. Y es que la importancia del agua para el desarrollo sostenible va mucho más allá de una mera cuestión física para entrar de lleno en asuntos de género y salud pública, principalmente en los países menos desarrollados. El principal problema que dificulta la relación entre agua e igualdad de género es una cuestión de tiempo. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) apunta que las mujeres realizan hasta el 80% del trabajo informal no remunerado relacionado con el suministro de agua, especialmente en el continente africano. Esto significa que, en los países menos desarrollados donde no existen infraestructuras adecuadas que garanticen el acceso a un agua y un saneamiento seguros en cada casa, las mujeres son las responsables de encontrar este recurso, vital para que sus familias puedan beber, cocinar, limpiarse y sobrevivir.

Este rol de género tan marcado puede traducirse en millones de horas perdidas en actividades como hacer cola para conseguir agua o recorrer largas distancias para poder abastecerse. Según las estimaciones de la ONG WaterAid, en un día cualquiera, las mujeres de todo el mundo dedican un total de 200 millones de horas a recolectar agua, una cifra que asciende hasta las 466 millones de horas cada día si se tiene en cuenta el tiempo perdido en buscar un sitio donde poder defecar con seguridad. Pero más allá de esta grave cuestión, uno de los principales problemas de la falta de agua en países en vías de desarrollo es que también supone mayores problemas de salud para las mujeres. De acuerdo a las conclusiones de un

estudio elaborado por investigadores de la George Washington University (EE UU) en 2018, sólo la práctica diaria de caminar varios kilómetros cargando con bidones de agua causa a muchas mujeres daño muscular esquelético, daño de tejidos blandos y puede conducir a artritis precoz.

La falta de un saneamiento adecuado en muchas zonas rurales subdesarrolladas lleva además a que sean las mujeres las que tienen que lidiar en primera línea con enfermedades transmitidas por el agua como el cólera o la esquistosomiasis, una infección causada por gusanos parásitos que viven en el agua dulce. Según la ONU, más de 3.000 millones de personas sufren riesgos sanitarios por el vertido de aguas residuales sin tratar a ríos, lagos y océanos y cada año mueren más de 2,2 millones de personas en los países en desarrollo por culpa de enfermedades prevenibles que están fuertemente asociadas con la falta de acceso a agua potable y, aunque no existen estadísticas de fallecimientos divididas por género, desde WaterAid calculan que este tipo de enfermedades tienen el doble de posibilidades de afectar a las mujeres y niñas.

Agua Potable en Colombia

Los países de América Latina y el Caribe se esfuerzan para mejorar las condiciones de vida de su población. En los años 80, se celebró La Década Internacional del Agua Potable y el Saneamiento Básico que coincidió desafortunadamente con la crisis económica mundial por lo que fue catalogada como "La década perdida"; dado los mínimos avances alcanzados desde el punto de vista económico y social. Como producto de esta situación en América Latina, se deterioran las condiciones ambientales. Se hace evidente con el apareamiento del cólera en enero de 1992; enfermedad transmisible que no se presentaba en el continente desde hacía más de un siglo (Correa Assmus, G,2017).

Esta situación conduce a la Organización Panamericana de la Salud (OPS - OMS) a replantear sus esquemas de trabajo y a movilizar los gobiernos que al reconocer esta realidad aprueban la Resolución XVII de la XXXV Reunión del Consejo Directivo, en respuesta al mandato de la Primera Cumbre Iberoamericana de Jefes de Estado y Gobierno sobre la

formulación del Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud (PIAS) cuyo objetivo fue inducir un proceso de reforma en los sectores de ambiente y salud en los países de la región. En materia de servicios de agua potable y saneamiento se buscó el mejoramiento y la ampliación de los servicios y el incremento y optimización de las inversiones y los recursos necesarios disponibles; tanto a nivel de los países como del sistema internacional de cooperación técnica y financiera. El elemento básico del Plan, para la adecuada toma de decisiones y su correcta instrumentación, fue el conocimiento profundo y global de la realidad sectorial de cada país, logrado por todas y cada una de las partes que participan en su desarrollo.

La herramienta propuesta para tal conocimiento se orientó hacia un análisis sectorial que proporcionase datos sobre demandas y déficit visibles e invisibles de coberturas y de servicios, sobre fortalezas y debilidades de las instituciones sectoriales y sobre sus restricciones operativas (Romero, F. H. C,2005). En este contexto y recogiendo las aún vigentes orientaciones, en abril de 1996, la OPS por intermedio de su Representación en Colombia, promocionó en el Ministerio de Desarrollo Económico, en el Departamento Nacional de Planeación y en otras instituciones del sector, la realización del análisis sectorial de agua potable y saneamiento en el país. El Ministerio de Desarrollo Económico, a través del Viceministerio de Vivienda Desarrollo Urbano y Agua Potable, acogió la iniciativa de la Organización Panamericana de la Salud y lideró el proceso de conformación del equipo de trabajo y de las actividades previas a la realización del estudio. Posteriormente se concretó la participación del Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Salud, el Ministerio del Medio Ambiente, la Comisión de Regulación de Agua Potable "CRA", la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios "SSDP", y la Financiera de Desarrollo Territorial " FINDETER". Cada una de estas instituciones contrató un consultor externo que analizó un tema 5 específico y delegó a un funcionario quien actuó como interlocutor de la entidad ante el grupo de trabajo. El estudio se inició el 11 de agosto del año en curso con un taller previo al cual asistieron los consultores y las contrapartes nacionales de cada una de las instituciones antes mencionadas. El equipo de trabajo estuvo integrado por diez consultores colombianos contratados directamente por las entidades, más tres consultores contratados por la OPS, dentro de los cuales figuró el Coordinador General del Estudio. La

Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico del Ministerio de Desarrollo, designó además dos coordinadores nacionales que apoyaron al equipo durante el período de la realización del estudio. El análisis de los temas específicos realizado por los consultores, concluyó el 30 de septiembre. Finalizada esta labor, se procedió a la discusión de cada uno de los documentos con las respectivas contrapartes nacionales y a efectuar los ajustes pertinentes. Posteriormente, se tomó la decisión de preparar un informe resumen en el cual se destacarán los aspectos más importantes de cada uno de los temas estudiados (Ordóñez, J. I., 2020).

La elaboración del resumen quedó a cargo del Coordinador Internacional, quien también fue responsable de la parte institucional y contó para tal efecto, con el apoyo de los coordinadores del Ministerio de Desarrollo. Como es propio de este tipo de trabajos, no es posible llegar a un concepto unánime debido a la heterogeneidad del grupo que lo elabora. En consecuencia, el informe resumen no es un documento de consenso, sin embargo, resalta lo más interesante del análisis efectuado por cada uno de los consultores y las conclusiones del esquema institucional del sector (Vargas, R. M. (2018). La primera parte del documento corresponde al resumen mencionado anteriormente y contiene el enfoque conceptual adoptado por el equipo de trabajo, el análisis evolutivo del sector desde 1945 hasta la expedición de la ley 142 de 1994 y la evaluación del desempeño y resultados del sector. Finalmente, se describen las líneas de acción que se consideran prioritarias y sobre las cuales se deberán estructurar los proyectos a realizar en el corto y mediano plazo. La segunda parte del documento presenta en detalle cada uno de los temas estudiados a saber: reseña histórica, que abarca desde 1936 hasta la Constitución de 1991, análisis del sector frente al proceso de descentralización y el marco institucional actual, aspectos económicos y financieros, aspectos técnicos y gestión de los servicios, aspectos de regulación, participación privada, saneamiento básico rural, gestión ambiental, impacto en salud, control y vigilancia (Sutorius, M., & Rodríguez, S., 2015).

Agua Potable en Boyacá

Según el más reciente informe del Índice de Riesgo de Calidad de Agua Potable (IRCA), presentado por la Secretaría de Salud de Boyacá, para el primer semestre del año 2021, tan solo 89 municipios de la zona urbana del departamento y 13 de la zona rural, cuentan con agua apta para el consumo humano, los demás presentan un riesgo en la calidad del agua, lo cual puede afectar la salud de los boyacenses (Moreno Méndez, J. O,2020). De acuerdo con este informe, la zona urbana desmejoró notablemente la calidad de agua en algunos municipios, donde 34 continúan con un agua de mala calidad, generando preocupación en sus habitantes.

Los municipios de Caldas, Guayatá, Páez, Ráquira, San Luis de Gaceno, San Mateo, Soracá, Sutamarchán, Tinjacá, Tipacoque, Toca y Tutazá, no tienen agua apta para consumo humano y se encuentran en riesgo medio y el municipio de Cucaita, en alto riesgo, lo que genera mayor preocupación, Por su parte, la zona rural del departamento tuvo una mejora significativa, gracias a que 25 acueductos más lograron ofrecer agua apta para consumo humano. Según la referente de Calidad de Agua, Yaneth Zipa Casas, de 67 acueductos rurales que tenían agua apta para consumo humano, ahora son 92 con agua potable, de 485 que son vigilados por la Secretaría de Salud de Boyacá.

“Exaltamos el trabajo desarrollado por las Juntas Administradoras de los acueductos y las administraciones municipales en mejorar la calidad de agua en esos 25 acueductos rurales, exhortamos a la comunidad de la zona rural de todos los municipios, para que sigan el ejemplo y se concienticen de la necesidad de trabajar unidos y fortalecidos, en busca de soluciones rápidas para mejorar las condiciones del agua, como líquido fundamental para la salud humana”, puntualizó la ingeniera.

A la vez, hizo un llamado a los acueductos rurales para que continúen con el mejoramiento de la infraestructura sanitaria, y cuenten con operarios y fontaneros capacitados y adiestrados para el manejo del sistema de suministro y su tratamiento. A corte de junio de 2021, los 13 municipios que ofrecen agua potable a sus habitantes son: Campo Hermoso, Cerinza,

Gámeza, Guacamayas, Jenesano, La Victoria, Nobsa, Oicatá, Chivatá, Pajarito, Paya, Pisba, Sativasur, los otros 110 carecen de agua apta para el consumo humano, la vocera manifestó que es recomendable que las comunidades busquen apoyo en las administraciones de sus municipios y también a nivel departamental, para que les brinden asesoría y asistencia técnica que permita implementar sistemas de tratamientos de agua, económicos y funcionales, de acuerdo con la calidad del agua cruda que tengan en sus regiones.

Invitó a la población de la zona rural del departamento para que se organice en asociaciones de suscriptores o juntas administradoras de sus propios acueductos y recordó que la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible, le brinda apoyo técnico para el mejoramiento de la infraestructura sanitaria de cada sistema de suministro de agua. La Secretaría de Salud de Boyacá, como autoridad sanitaria y en el marco de Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), busca reducir a la mitad, el porcentaje de población sin acceso a agua potable, como responsable de la medición de tal indicado (Carrasco Mantilla, W,2016).

Calidad del agua

El agua procedente de las precipitaciones, en su recorrido sobre la superficie va arrastrando con una amplia gama de materiales inorgánicos como minerales, orgánicos como restos de animales o plantas y también microorganismos, que le confieren características que no son aptas para el consumo directo por el hombre. Por otra parte, las diversas actividades del ser humano, sean estas agrícolas, ganaderas, industriales, recreacionales, entre otras, han traído como consecuencia la alteración de las aguas superficiales, debido al uso constante de sustancias químicas (Moreno Méndez, J. O,2020). Algunas de estas características presentes en el agua son: el color, la turbiedad, el sabor, el olor, la temperatura, sólidos suspendidos, presencia de minerales, metales y presencia bacteriológica. La característica del agua para ser considerada apta para el consumo humano deben mantenerse dentro de los límites establecidos en la resolución 2115 de 20071 en la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

y el decreto 1575 de 20072 por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Tabla 1 Calidad de Fuente

Parámetro	Análisis según		Nivel de Calidad de acuerdo al grado de Polución			
	Norma Técnico NTC	Standar Method ASTM	1. Fuente Aceptable	2. Fuente Regular	3. Fuente Deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			<1.5	1.5-2.5	2.5-4	>4
Máximo Diario mg/L			1-3	3-4	4-6	>6
Coliformes Totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual mg/L		D-3870	0-50	50-500	500-5000	>5000
Oxígeno Disuelto mg/L	4705	D-888	> 4	>4	>4	>4
pH Promedio	3651	D-1293	6,0-8,5	3.8-10.5	3.8-10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D-1889	<2	40-150	40-150	>150
Color Verdadero (UPC)			<10	20-40	20-40	>40
Guto y Olor		D-1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L-Cl)		D-512	<50	150-200	150-200	300
Fluoruros (mg/L-F)		D-1179	<1.2	< 1.2	< 1.2	>1.7
Grado de Tratamiento						
Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	si, hay veces (ver requisitos para uso FLDE: Literal C.7.4.3.3)	SI

Necesita unos tratamientos específicos	NO	NO	NO	SI
Procesos de Tratamiento utilizados	(1)=Desinfección + Estabilización	(2)=Filtración lenta o Filtración Directa + (1)	(3)=Pretratamiento + (coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida) o (Filtración lenta Diversas Etapas) + (1)	(4)=(3)+ Tratamiento específico

Fuente: Resolución 2115, Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2007).

Norma de calidad del agua para consumo humano

La Norma Vigente en Colombia, es la Resolución 2115 del 20075 en la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano la cual presenta las condiciones mínimas que deben cumplirse para obtener la calidad de agua potable; los límites presentados en dicha Norma establecen los valores máximos permisibles establecidos para el control de la calidad de agua suministrada a la población.

El proyecto de investigación se desarrolla en la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa, Boyacá, la cual está ubicada a 6,5 Kilómetros del casco urbano del Municipio, se contará con el apoyo de entes de control, vigilancia y prestadores del servicio de acueducto, tales como: Acueducto veredal regional Toibita, empresa de servicios públicos Red Vital Paipa S.A. E.S.P., secretaria de salud municipal, secretaria de infraestructura y secretaria de salud departamental, además de lo determinado bajo normatividad vigente de acuerdo a sistemas de tratamiento de agua potable en áreas rurales que permitan generar propuestas de optimización para la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, en el municipio de Paipa.

Planta de Tratamiento de agua potable de la Vereda Toibita

El proyecto de investigación se desarrolló en la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa, Boyacá, la cual está ubicada a 6,5 Kilómetros del casco urbano del Municipio, la PTAP de la vereda cuenta con un sistema de tratamiento compacto el cual incluye los siguientes procesos unitarios: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Figura 1 PTAP Vereda Toibita



Fuente: (Autores, 2021)

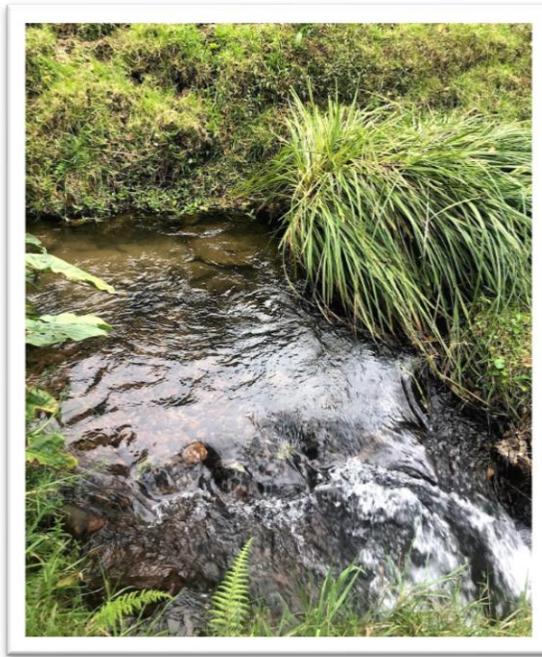
Fuente abastecedora

Es una fuente de tipo superficial llamada Quebrada Toibita la cual se ubica en la vereda del mismo nombre, los terrenos pertenecen al municipio. La administración municipal posee alrededor de 700 hectáreas de tierra cerca al nacimiento de la quebrada Toibita, en la reserva Ranchería, para garantizar con esto que la cuenca y la microcuenca tenga un manejo sostenible en el tiempo, sin embargo, para el acceso del sitio donde se ubica el sistema de captación es necesario transitar por predios de carácter privado, el municipio de Paipa en cumplimiento a la Resolución No. 2706 del 28 de septiembre 2012: “ Por medio de la cual se reglamenta el uso del recurso hídrico de la fuente denominada «Quebrada Toibita»” y se estipulan las obligaciones de los usuarios a lo cuales se le otorga concesión de aguas superficiales por parte de la

corporación autónoma regional CORPOBOYACÁ se establece en el marco del Plan de Establecimiento y Manejo Forestal realizo la siembra de 6622 árboles que corresponden a (6) hectáreas de especies nativas de fácil adaptación a la zona, la cual debe desarrollarse en la zona de recarga hídrica como medida de protección y conservación de la zona de recarga de la fuente hídrica Quebrada Toibita del municipio de Paipa, a la fecha se ha adelantado la siembra de 7.000 árboles con el fin de proteger y conservar los predios aledaños a la fuente abastecedora.

El acueducto veredal cuenta con concesión de aguas emitida por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá CORPOBOYACÁ, según la resolución N° 2706 del 28 de septiembre de 2012, con un caudal otorgado de 1,97 L/s.

Figura 2 *Fuente Abastecedora*



Fuente: (Autores, 2021)

Calidad del agua de la fuente abastecedora

De acuerdo a la tabla 1, la calidad de la fuente según lo definido en el RAS 2000 Título C, es Aceptable, la cual requiere unidades de potabilización que incluyan: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Rivera Contreras, Á. L. (2018).

Tabla 2 Resultados Análisis físico Químico Quebrada Toibita

MUNICIPIO DE PAIPA				
LABORATORIO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS RED VITAL PAIPA S.A E.S.P				
USUARIO:	RED VITAL S.A E.S.P			
	PAIPA	FECHA DE TOMA	HORA DE TOMA:	
TOMADA POR	DAYANNA CAMARGO			
SITIO DE TOMA	QUEBRADA TOIBITA	10/07/2021	11:00 A.M	
DIRECCIÓN	QUEBRADA TOIBITA	FECHA DE RECEPCIÓN	HORA DE RECEPCIÓN:	
CLASE DE MUESTRA:	CRUDA	10/07/2021	11:40 A.M	
TIPO DE MUESTRA	SIMPLE	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	AA11-999	
DATOS DE LA MUESTRA				
DESINFECTANTE	N.A	ORIGEN	SUPERFICIAL	
ALCALINIZANTE	N.A	FUENTE	QUEBRADA TOIBITA	
COAGULANTE	N.A	DESTINACIÓN	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	
INFORME DE RESULTADOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	VALOR PERMITIDO*	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	0	<=15	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	1,74	<=2,00	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		7,3	>=6,5 Y <= 9,0	ELECTROLÍTICO
COLOR RESIDUAL	MG/L CL ⁻	0,0	>=0,3 Y <= 2,0	8021 HACH: DPD METHOD

ALCALINIDAD	MG/L	42	<= 200	HACH
TOTAL	CaCO ₃			8203:PHENOLPHTHALEIN AND TOTAL METHOD
CONDUCTIVIDAD	μS/CM	59,9	<= 1000	ELECTROLÍTICO
FOSFATOS	MG/L DE PO ₆	0,04	<=0,50	8048 HACH: PHOSVER 3 ACIDO ASCÓRBICO
MANGANESO	MG/L DE Mn	0,033	<=0,1	8149 HACH: METODO PAN1-(2-PYRIDILAZO)-2- NAPHTHOL
SÓLIDOS DISUELTOS	MG/L	32,2	<=500	ELECTROLÍTICO
DUREZA TOTAL	MG/L CaCO ₃	43	<=300	HACH 8213:EDTA
SULFATOS	MG/L SO ₄	3	<=250	8051 HACH:SULFAVER 4
HIERRO TOTAL	MG/L Fe	0,30	<=0,30	8080 HACH: FERROVER
CLORUROS	MG/L DE CL ⁻	0,5	<=250	HACH 8113:TIOCIANATO DE MERCURIO
N-NITRATOS	MG/L NO ₃	0,6	<=10	8171 HACH: REDUCCIÓN DE CADMIO MR
N-NITRITOS	MG/L DE NO ₂	0,003	<=0,100	8507 HACH:DIAZONIZACION LR
ALUMINIO	MG/L AL	0,042	<=0,200	8012 HACH: ALUMINON

*VALORES DE ACUERDO A LA RESOLUCIÓN 2115 DE 2007.

Fuente: (Empresa de servicio públicos Red Vital Paipa S.A. E..P., 2021)

Identificación Sistema de Acueducto de la vereda Toibita

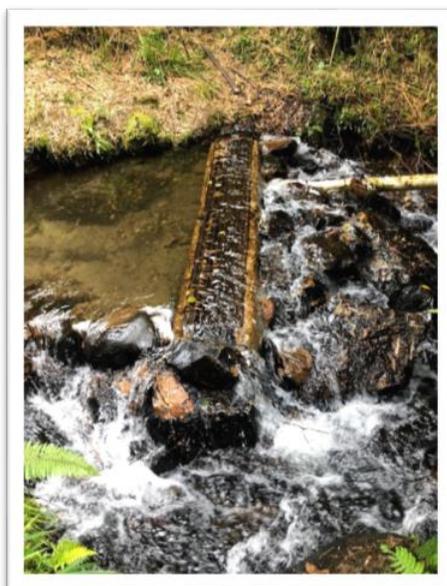
Con el fin de dar cumplimiento a la etapa I de la estructura metodológica planteada para el desarrollo del proyecto, la cual consiste en la determinación de las condiciones de operación de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita se realiza una verificación preliminar de la infraestructura, en esta etapa se tiene en cuenta el funcionamiento de todos los sistemas, así como la dosificación de productos químicos tales como: coagulantes, floculantes y desinfectantes. El sistema de acueducto de la vereda Toibita cuenta con bocatoma lateral, desarenador, planta de tratamiento de agua potable y tanque de almacenamiento.

Bocatoma

La Captación es el conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente

de abastecimiento incluye todas las actividades necesarias para captar el agua de forma superficial (ríos, arroyos, canales, lagos, lagunas, embalses), subterránea (profundas o subsuperficiales), el sistema de acueducto de la vereda Toibita cuenta con una bocatoma lateral la cual permite captar el flujo a través de un canal lateral en el cual el agua ingresa de forma directa a una caja para posteriormente derivarla a través de una tubería de 6", el canal de desviación está ubicado en las coordenadas N 5° 48,517'; W 73° 06,230'. El canal presenta colmatación por sedimento, por lo tanto, requiere limpieza y mantenimiento, en la visita se evidencia que además de mantenimientos preventivos y correctivos, la estructura requiere que se adecue los alrededores, debido a que se presente alta vegetación que contribuye al estancamiento de sedimentos en épocas de lluvia.

Figura 3 *Bocatoma*



Fuente: (Autores, 2021)

Desarenador

El desarenador es una estructura diseñada para la remoción de arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, el sistema de acueducto de la vereda Toibita cuenta con un desarenador de flujo horizontal, el cual está ubicado en las coordenadas N 5° 48,505' W 73°06,224' se evidencia deterioro en la estructura, así como colmatación de algas y sedimentos. Los

funcionarios del acueducto reportan que no se cuenta con programa de mantenimientos periódico, por tanto, la limpieza se realiza a partir de diagnóstico visual realizado por el fontanero.

Figura 4 *Desarenador*



Fuente: (Autores, 2021)

Planta de Tratamiento de Agua Potable

La planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita cuenta con una capacidad máxima de 2 L/s está compuesta por 1 floculador que cuenta con 2.90 metros de alto y 1.54 metros de diámetro al igual que el sedimentador, 1 tren de filtros a presión de flujo descendente conectado en paralelo para permitir el lavado de los mismos con agua ya filtrada. Cada filtro está dotado de un par de válvulas tipo mariposa wafer de acción manual para realizar el lavado de estos cada vez que se requiera el lecho es de tipo múltiple de arenas gradadas y antracita sobre un colector de fondo tipo flauta ranurada, cada filtro cuenta con un acceso de tipo manhole para permitir la inspección y el mantenimiento del mismo, la planta de tratamiento cuenta con un tanque de contacto y un tanque de almacenamiento de 7,5 metros de largo, 3.5 metros de ancho: y 2,2 metros de alto. La entrada del agua a la planta de tratamiento se realiza a través

de tubería de 3" en PVC, en donde se ubica una válvula tipo bola, la cual permite suspender y/o controlar la entrada del flujo al sistema.

Figura 5 PTAP Toibita



Fuente: (Autores, 2021)

Tanque de contacto

En el tanque de contacto se dosifica el hipoclorito de sodio, este está ubicado en las coordenadas N 5° 69,505' W 73°26,224'. Al realizar la inspección visual se evidencia que actualmente no se realiza desinfección del agua que ingresa a la PTAP, por cuanto el agua es almacenada en el tanque de contacto para después ser distribuida al tanque de almacenamiento por una tubería de 4" en PVC.

Figura 6 *Tanque de Contacto*



Fuente: (Autores, 2021)

Tanque de Almacenamiento

El tanque de almacenamiento se ubica a aproximadamente 500 metros después de la PTAP, sus dimensiones son largo: 7,5 metros, ancho: 3,5 metros y alto: 2,2 metros, este tanque era la estructura utilizada por el acueducto del municipio para realizar el proceso de remoción de arenas. De la inspección se puede evidenciar que el tanque de almacenamiento no cuenta con las condiciones establecidas bajo normatividad.

Figura 7 *Tanque de Almacenamiento*



Fuente: (Autores, 2021)

Dosificación productos Químicos

El fontanero del acueducto manifiesta que realiza dosificación de dos productos químicos: sulfato de aluminio tipo A como coagulante e hipoclorito de calcio a una concentración de 70% como desinfectante. La dosificación de estos productos químicos se realiza mediante caracterización visual realizada por el Fontanero, el cual no realiza prueba de jarra ni prueba de demanda de cloro, por lo tanto, existe incertidumbre frente a la concentración suministrada y su incidencia en el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según lo requerido en la resolución 2115 de 2007 artículo 9 numeral 2, respectivamente: *“El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro”*.

Descripción de los sistemas de tratamiento de agua potable que requieren cambios para su correcto funcionamiento

Criterios de diseño para sistema de agua para consumo humano y domestico

Según lo determinado en el artículo 24 de la resolución 0844 de 2018 para la selección de una fuente abastecedora deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- La cantidad de agua en la fuente debe ser suficiente para la atención de la demanda del proyecto, adicional al caudal ambiental.
- Debe tenerse en cuenta las actividades desarrolladas aguas arriba del sitio de toma de agua y su impacto en la calidad de agua.
- El sitio de toma de agua debe ser susceptible de medidas de protección para preservar la cantidad y la calidad de agua, buscando disminuir la vulnerabilidad de la fuente y simplificar el tratamiento.
- Deberá procurarse el funcionamiento del sistema por gravedad.

Se realiza análisis de la oferta hídrica de la quebrada Toibita por el método matemático: método de la razón normal, el caudal máximo según esta metodología se obtiene a partir de la siguiente expresión, con el fin de establecer si el agua en la fuente abastecedora es suficiente para la atención de la demanda de los habitantes de la vereda Toibita:

$$Q_{max} = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Donde:

$$Q_{max} = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

C = Coeficiente de escorrentía

$$I = \text{Intensidad de precipitación} \left(\frac{mm}{hora} \right)$$

A = Superficie de precipitación (km^2)

De acuerdo al uso del suelo, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal se tiene el coeficiente de escorrentía de aproximadamente 3, entonces:

$$Q_{max} = \frac{C * I * A}{3.6}$$

$$Q_{max} = \frac{0.3 + 0.15 \frac{mm}{hora} * 20.31 km^2}{3.6}$$

$$Q_{max} = 0.2549 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{max} = 254.9 \frac{L}{s}$$

La oferta hídrica de la microcuenca de la quebrada Toibita es 254,9 L/s

A la fecha de ejecución del presente proyecto la quebrada Toibita cuenta con reglamentación emitida por la Corporación Regional de Boyacá- CORPOBOYACÁ de aproximadamente 67, 6 L/s, teniendo en cuenta que el caudal ecológico de una fuente superficial es el 25% del total de su demanda, se determina que la quebrada cuenta con la oferta necesaria para satisfacer la demanda requerida por el acueducto de la vereda Toibita cual es de 2L/s, respecto al sistema de captación de agua cruda el acueducto cuenta con una bocatoma lateral la cual se encuentra en buen estado, sin embargo es necesario la implementación de un programa de mantenimientos correctivos que permita garantizar la nula obstrucción por rocas y ramas de los arboles aledaños a la quebrada.

Calidad de agua suministrada a los usuarios

El artículo 27 de la resolución 0844 de 2007 establece que los sistemas de acueducto deberán diseñarse u optimizarse para el suministro de agua potable de acuerdo a lo determinado bajo normatividad decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007. Con el fin de establecer si la calidad de agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita es apta para consumo humano. Se realiza análisis físico químicos y microbiológicos en los sistemas que componen la planta de tratamiento de agua potable PTAP de la vereda Toibita, respectivamente: Floculador, sedimentador, tren de filtración, tanque de contacto y tanque de almacenamiento.

Bajo el desarrollo del proyecto se realizaron 4 ciclos, los cuales consisten individualmente en analizar en cada componente de la PTAP los siguientes parámetros físico químicos: Color aparente, turbiedad, pH, cloro residual libre, alcalinidad total, fosfatos, manganeso, dureza total,

sulfatos, hierro total, cloruros, nitratos, nitritos y aluminio, al terminar cada ciclo se realiza análisis de la eficiencia de los componentes y se determinan las posibles acciones a realizar.

Ciclo I

El día 10 de agosto de 2021 se realizó toma de muestras para análisis físico químicos y microbiológicos en los componentes del sistema de acueducto de la vereda Toibita , dichas muestras fueron analizadas el día 11 de agosto de 2021 en las instalaciones del laboratorio de la empresa de servicios públicos Red Vital Paipa S.A E.S.P., dicho laboratorio cuenta con autorización para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos de agua para consumo humano emitida a través de la resolución 2625 del 27 de septiembre de 2019 por el Ministerio de Salud y Protección Social, los resultados obtenidos se plasmas a continuación:

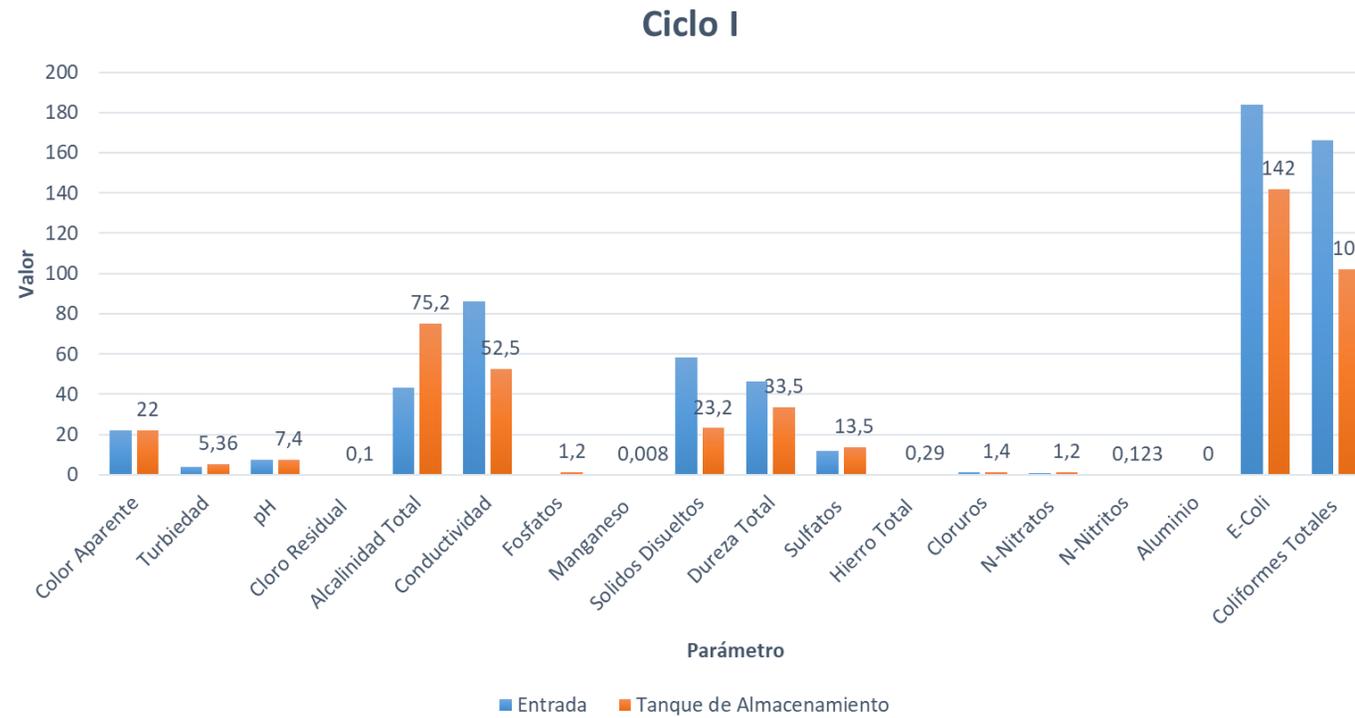
Tabla 3 Resultados ciclo I

Componente			Entrada	Floculador	Sedimentador	Tren Filtros	Tanque Contacto	Tanque Almacenamiento
Parámetro	Unidades	Método						
Color Aparente	UPC	HACH 8025: PLATINO COBALTO	22	18	26	29	28	22
Turbiedad	NTU	TURBIDIMETRICO EPA 180.1	3.96	3.76	3.54	5.10	5.05	5.36
pH		ELECTROLÍTICO	7.4	7.4	7.4	7.5	7.4	7.4
Cloro Residual	mg/L CL-	8021 HACH: DPD METHOD	0	0	0	0	0	0,1
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	HACH 8203: PHENOLPHTHALEIN AND TOTAL METHOD	43.3	132.5	121.3	186.4	89.	75.2
Conductividad	µS/cm	ELECTROLÍTICO	86.2	86.2	88.6	45.3	52.3	52.5
Fosfatos de PO6	mg/L	8048 HACH: PHOSVER 3 ACIDO ASCÓRBICO	0,09	0,49	1.6	1.6	1.3	1.2
Manganeso de Mn	mg/L	8149 HACH: METODO PAN1-(2-PYRIDYLAZO)-2- NAPHTHOL	0,022	0,139	0.005	0.008	0.009	0.008
Solidos Disueltos	mg/L	ELECTROLÍTICO	58.2	96.3	36.2	38.2	29.3	23.2
Dureza Total	mg/L CaCO3	HACH 8213: EDTA	46.3	136.8	35.6	63.2	52.3	33.5
Sulfatos	mg/LS O4	8051 HACH: SULFAVER 4	12	12	26	30	12.1	13.5
Hierro Total	mg/LF e	8080 HACH: FERROVER	0,09	0,36	0,46	0,46	0,23	0,29
Cloruros de CL-	mg/L	HACH 8113: TIOCIANATO DE MERCURIO	1.4	2.1	3.6	3.6	2.2	1.4
N-Nitratos	mg/L NO3	8171 HACH: REDUCCIÓN DE CADMIO MR	0,9	0,8	2.1	2.1	1.2	1.2
N-Nitritos de NO2	mg/L	8507 HACH: DIAZONIZACION LR	0,012	0,023	0,029	0,029	0,009	0,123

Aluminio	mg/L AL	8012 HACH: ALUMINON	0,008	0,005	0,019	0.26	0.03	0.183
E-Coli	UFC/1 00 cm ³	NMP	184	-	-	-	-	142
Coliformes Totales	UFC/1 00 cm ³	NMP	166-	-	-	-	-	102

Fuente: (Autores,2021)

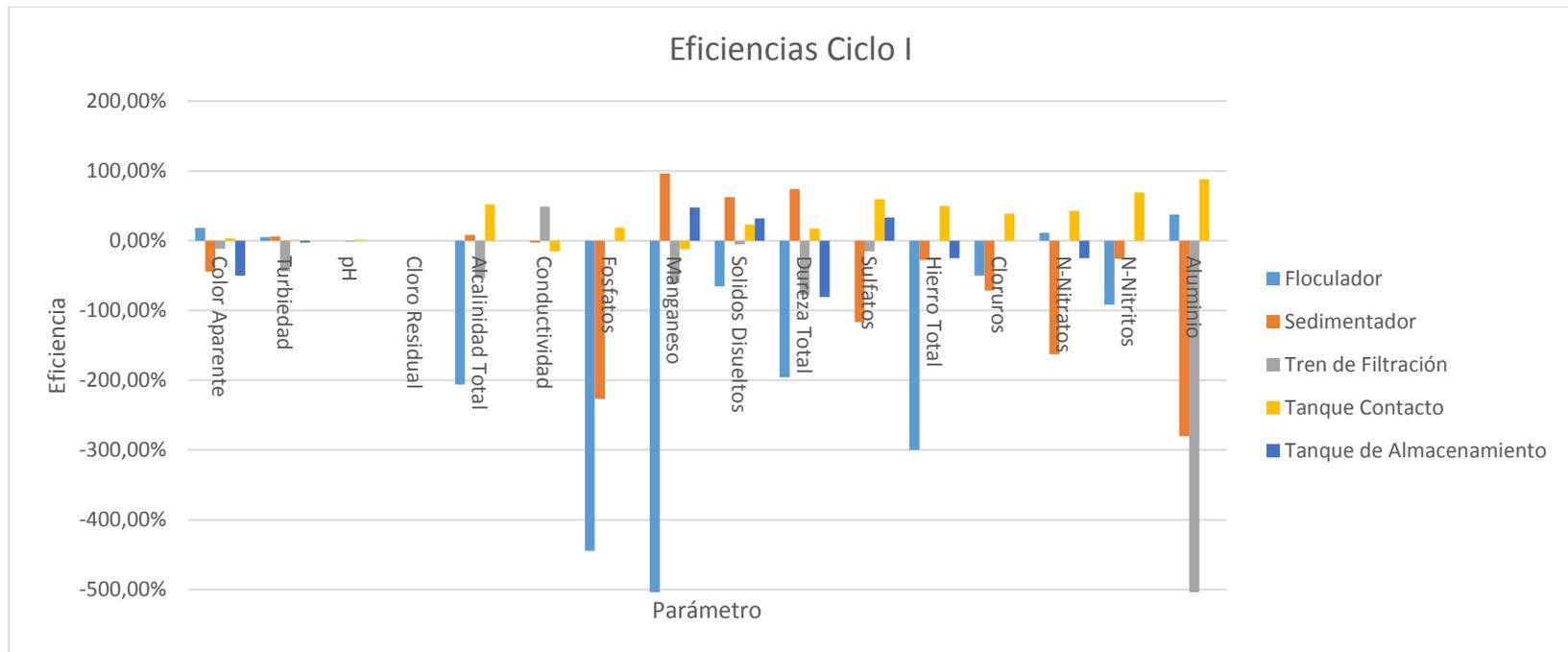
Figura 8 *Entrada Vs Tanque de Almacenamiento*



Fuente: (Autores,2021)

Según los resultados presentados en la Grafica 1, se realizan análisis físico químicos con el fin de establecer la eficiencia de los componentes del sistema de tratamiento y así establecer las alternativas de optimización, los resultados obtenidos se presentan en la siguientes gráfica:

Figura 9 Eficiencia Ciclo I



Fuente: (Autores,2021)

Según los resultados del ciclo I se evidencia que en el proceso de floculación el agua sometida a potabilización presenta remoción de los siguientes parámetros: color aparente, turbiedad, Nitratos y aluminio, sin embargo, se presenta aumento en parámetros tales como: alcalinidad total, fosfatos, dureza total, hierro total, cloruros y nitritos, en el sedimentador presenta remoción de: turbiedad, alcalinidad total, manganeso, solidos totales dureza total, y aumento en parámetros tales como: color aparente, conductividad, fosfatos, sulfatos, hierro total, cloruros, nitratos, nitritos y aluminio, en el proceso de filtración presenta remoción de los siguientes parámetros: color aparente y nitratos, sin embargo, se presenta aumento en parámetros tales como: alcalinidad total, fosfatos, manganeso, hierro total, cloruros y nitritos, finalmente en el proceso de cloración se evidencia que presenta remoción de los siguientes parámetros: color aparente, turbiedad, pH, alcalinidad total, fosfatos, solidos disueltos, dureza total, sulfatos, hierro total, cloruros, nitratos, nitritos y aluminio, sin embargo, se presenta aumento en parámetros tales como: manganeso, en este punto es importante destacar que el agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita no presenta concentraciones de cloro residual, por lo tanto no es apta para consumo humano.

Figura 10 Toma y Análisis Ciclo I





Fuente: (Autores,2021)

Ciclo II

El día 18 de agosto de 2021 se realizó toma de muestras para análisis físico químicos en los componentes del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, dichas muestras fueron analizadas el día 19 de agosto de 2021 en las instalaciones del laboratorio de la empresa de servicios públicos Red Vital Paipa S.A E.S.P. El laboratorio cuenta con autorización para la

realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos de agua para consumo humano emitida a través de la resolución 2625 del 27 de septiembre de 2019 por el ministerio de salud y protección social, los resultados obtenidos se plasmas a continuación:

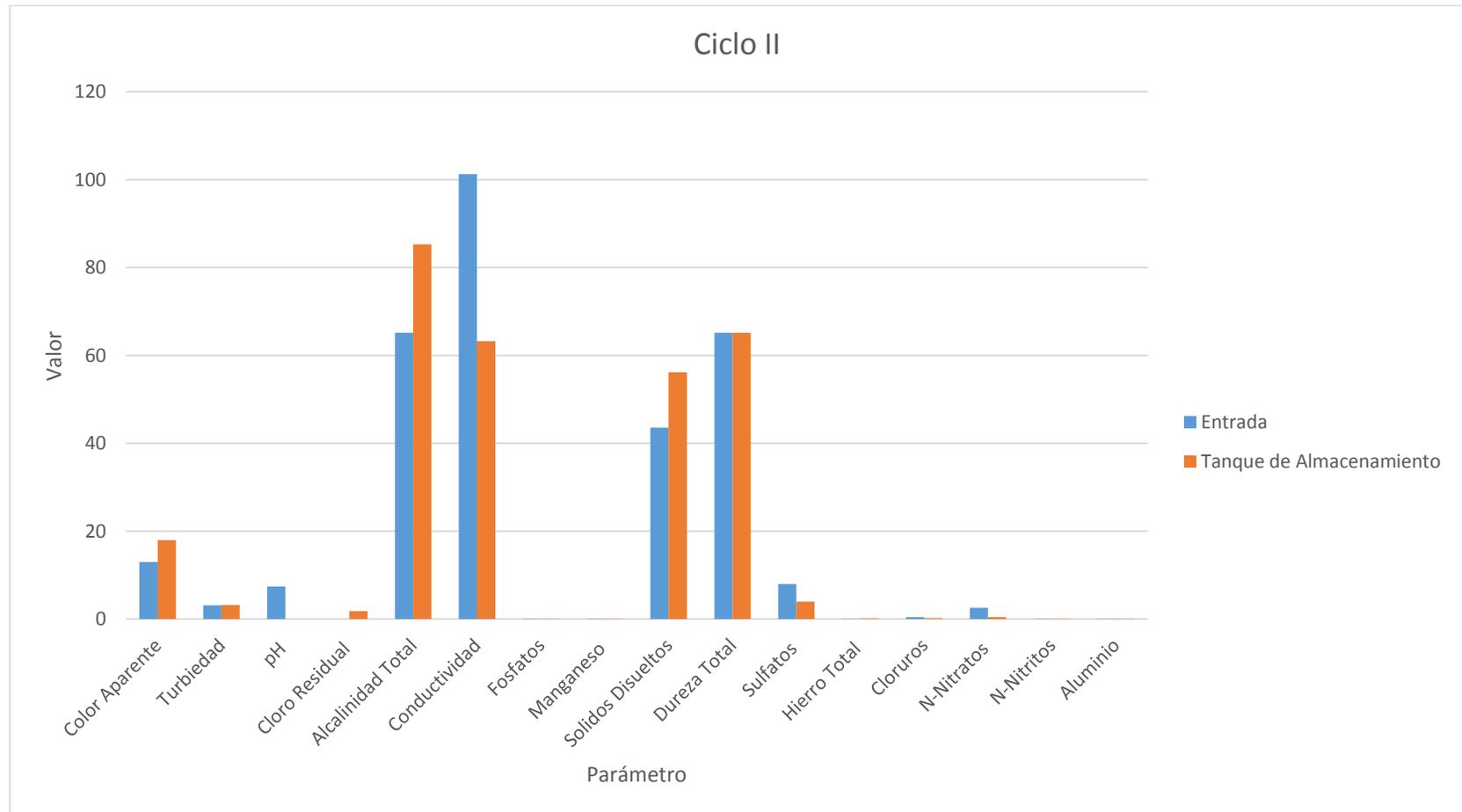
Tabla 4 *Análisis Ciclo II*

Componente			Entrada	Floculador	Sedimentador	Tren Filtros	Tanque Contacto	Tanque Almacenamiento
Parámetro	Unidades	Método						
Color	UPC	HACH 8025: PLATINO	13	10	10	16	12	18
Aparente		COBALTO						
Turbiedad	UNT	TURBIDIMETRICO EPA 180.1	3,1	2,68	2,85	4,12	3,12	3,21
			5					
pH		ELECTROLÍTICO	7,4	7,3	7,4	7,4	7,4	7,4
Cloro	mg/L CL-	8021 HACH: DPD METHOD	0	0	0	0	0	1,8
Residual								
Alcalinidad	mg/L	HACH 8203:	65,	91,3	91,3	90,3	85,3	85,3
Total	CaCO3	PHENOLPHTHALEIN AND TOTAL METHOD	2					
Conductividad	μS/cm	ELECTROLÍTICO	10	88,3	88,4	78,3	63,3	63,3
			1,3					
Fosfatos	mg/L de PO6	8048 HACH: PHOSVER 3 ACIDO ASCÓRBICO	0,0	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
Manganeso	mg/L de Mn	8149 HACH: METODO PAN1- (2-PYRIDYLAZO)-2-NAPHTHOL	0,0	0,012	0,012	0,011	0,023	0,012
			08					
Solidos	mg/L	ELECTROLÍTICO	43,	36,2	36,2	56,2	82,3	56,2
Disueltos			6					
Dureza	mg/L	HACH 8213: EDTA	65,	38,6	38,6	65,2	36,1	65,2
Total	CaCO3		2					
Sulfatos	mg/LSO4	8051 HACH: SULFAVER 4	8	8	8	12	6	4
Hierro	mg/LFe	8080 HACH: FERROVER	0,1	0,12	0,12	0,15	0,12	0,15
Total			2					

Cloruros	mg/L de CL-	HACH 8113: TIOCIANATO DE MERCURIO	0,4 5	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2
N-Nitratos	mg/L NO3	8171 HACH: REDUCCIÓN DE CADMIO MR	2,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5
N-Nitritos	mg/L de NO2	8507 HACH: DIAZONIZACION LR	0,0 19	0	0	0,002	0,003	0,003
Aluminio	mg/L AL	8012 HACH: ALUMINON	0,0 08	0,008	0,008	0,008	0,005	0,005

Fuente: (Autores,2021)

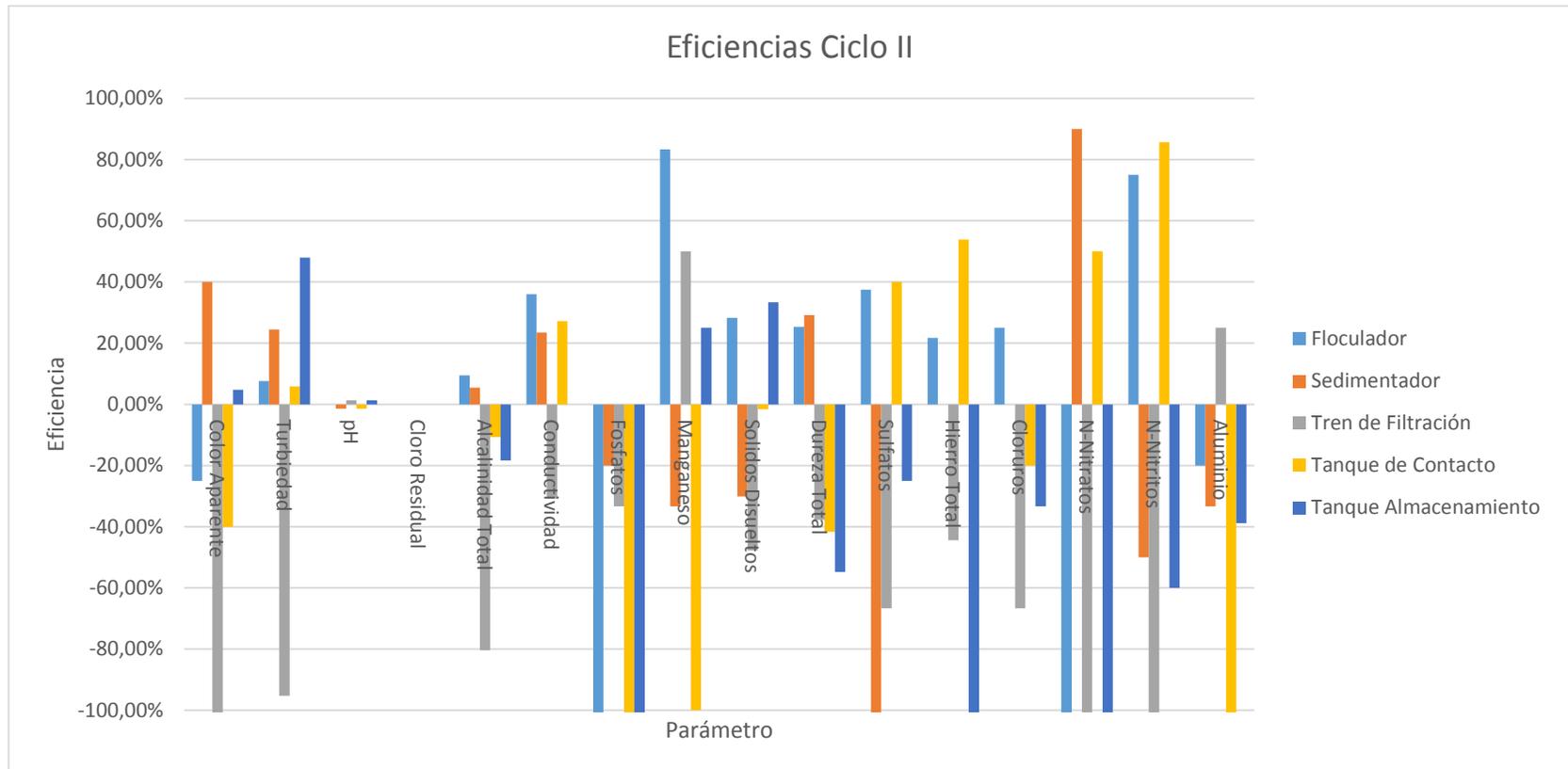
Figura 11 Entrada Vs Tanque de Almacenamiento Ciclo II



Fuente: (Autores,2021)

Según los resultados presentados en la Grafica I, se realizan análisis físico químicos con el fin de establecer la eficiencia de los componentes de la PTAP y así establecer las alternativas de optimización.

Figura 12 Eficiencia Ciclo II



Fuente: (Autores,2021)

Según los resultados del ciclo II se evidencia que en el proceso de floculación el agua sometida a potabilización presenta remoción de los siguientes parámetros: Color aparente, turbiedad, pH, conductividad, solidos disueltos, dureza total, nitratos y nitritos, sin embargo, se presenta aumento en parámetros tales como: alcalinidad total, cloruros y fosfatos, en el proceso de sedimentación se presenta remoción en la gran mayoría de parámetros y aumento en parámetros tales como: turbiedad y pH, en el tren de filtración presenta remoción en los siguientes parámetros: alcalinidad total, nitratos, manganeso y se presenta aumento en parámetros tales como: color aparente, turbiedad, solidos disueltos, dureza total, sulfatos y hierro total. Según los resultados obtenidos se evidencia que el agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita no es apta para consumo humano

Figura 13 Toma y Análisis Ciclo II





Fuente: (Autores,2021)

Ciclo III

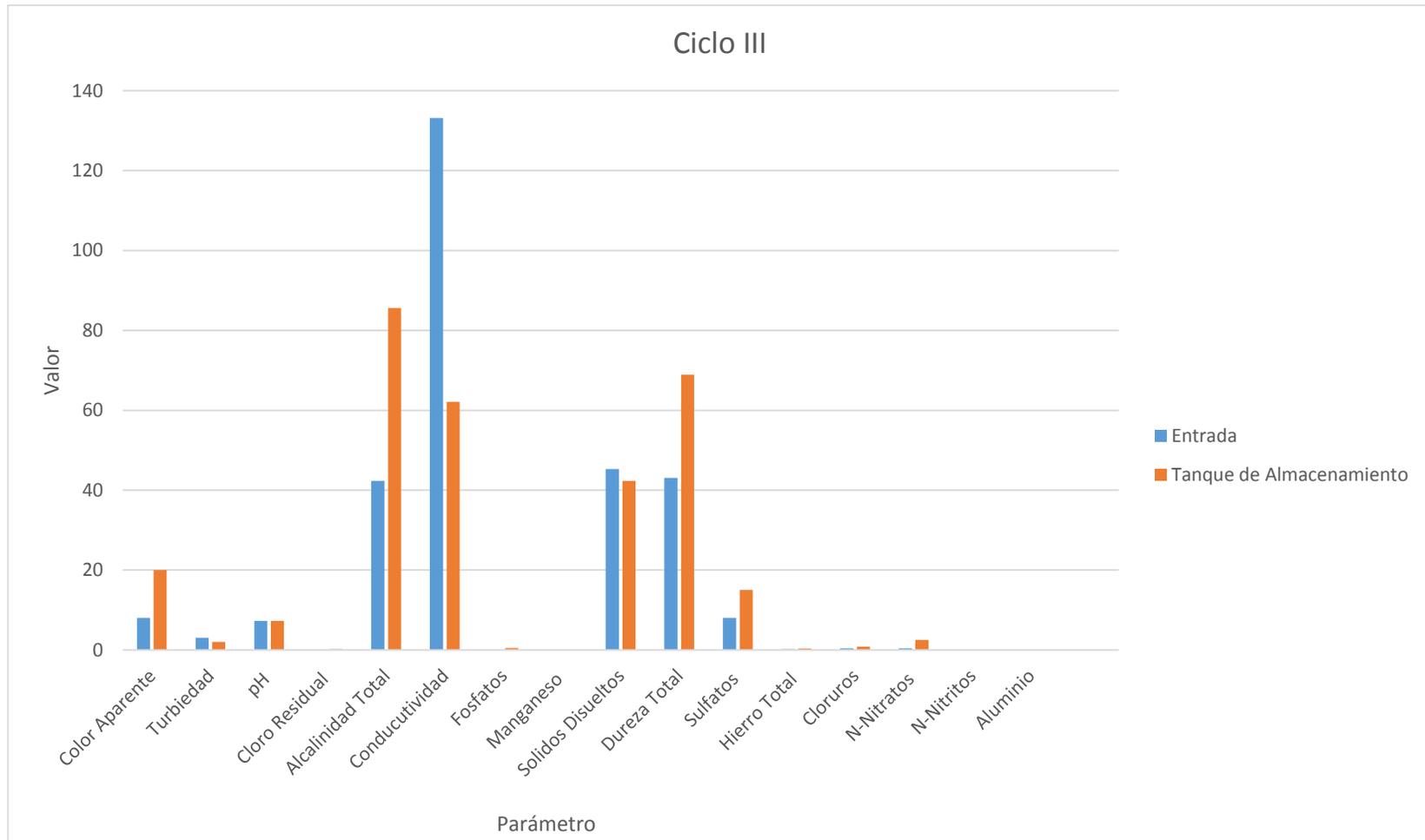
El día 31 de agosto de 2021 se realizo toma de muestras para análisis físico químicos en los componentes del sistema de tratamiento de la vereda Toibita , dichas muestras fueron analizadas el día 30 de agosto de 2021 en las instalaciones del laboratorio de la empresa de servicios públicos Red Vital Paipa S.A E.S.P, dicho laboratorio cuenta con autorización para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos de agua para consumo humano emitida a través de la resolución 2625 del 27 de septiembre de 2019 por el ministerio de salud y protección social, los resultados obtenidos se plasmas a continuación:

Tabla 5 Resultados Ciclo III

Componente			Entrada	Floculador	Sedimentador	Tren Filtros	Tanque Contacto	Tanque Almacenamiento
Parámetro	Unidades	Método						
Color Aparente	UPC	HACH 8025: PLATINO COBALTO	8	10	6	15	21	20
Turbiedad	UNT	TURBIDIMETRICO EPA 180.1	3.01	2.78	2.10	4.10	3.86	2.01
pH		ELECTROLÍTICO	7.3	7.3	7.4	7.3	7.4	7.3
Cloro Residual	mg/L CL-	8021 HACH: DPD METHOD	0	0	0	0	0	0,2
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	HACH 8203: PHENOLPHTHALEIN AND TOTAL METHOD	42.3	38.3	36.2	65.3	72.3	85.6
Conductividad	µS/cm	ELECTROLÍTICO	133.2	85.2	65.2	85.3	62.1	62.1
Fosfatos	mg/L de PO6	8048 HACH: PHOSVER 3 ACIDO ASCÓRBICO	0,02	0,05	0,06	0,08	0,18	0,45
Manganeso	mg/L de Mn	8149 HACH: METODO PAN1-(2- PYRIDYLAZO)-2-NAPHTHOL	0,036	0,006	0,008	0,00 4	0,008	0,006
Solidos Disueltos	mg/L	ELECTROLÍTICO	45.3	32.5	42.3	62.5	63.5	42.3
Dureza Total	mg/L CaCO3	HACH 8213: EDTA	43.1	32.2	22.8	31.4	44.5	68.9
Sulfatos	mg/LS O4	8051 HACH: SULFAVER 4	8	5	12	20	12	15
Hierro Total	mg/L Fe	8080 HACH: FERROVER	0,23	0,18	0,18	0,26	0,12	0,32

Cloruros	mg/L	HACH 8113: TIOCIANATO DE	0,4	0,3	0,3	0,5	0,6	0,8
	de CL-	MERCURIO						
N-Nitratos	mg/L	8171 HACH: REDUCCIÓN DE	0,4	2	0,2	1,2	0,6	2,5
	NO3	CADMIO MR						
N-Nitritos	mg/L	8507 HACH: DIAZONIZACION LR	0,008	0,002	0,003	0,03	0,005	0,008
	de NO2					5		
Aluminio	mg/L	8012 HACH: ALUMINON	0,005	0,006	0,008	0,00	0,018	0,025
	AL					6		

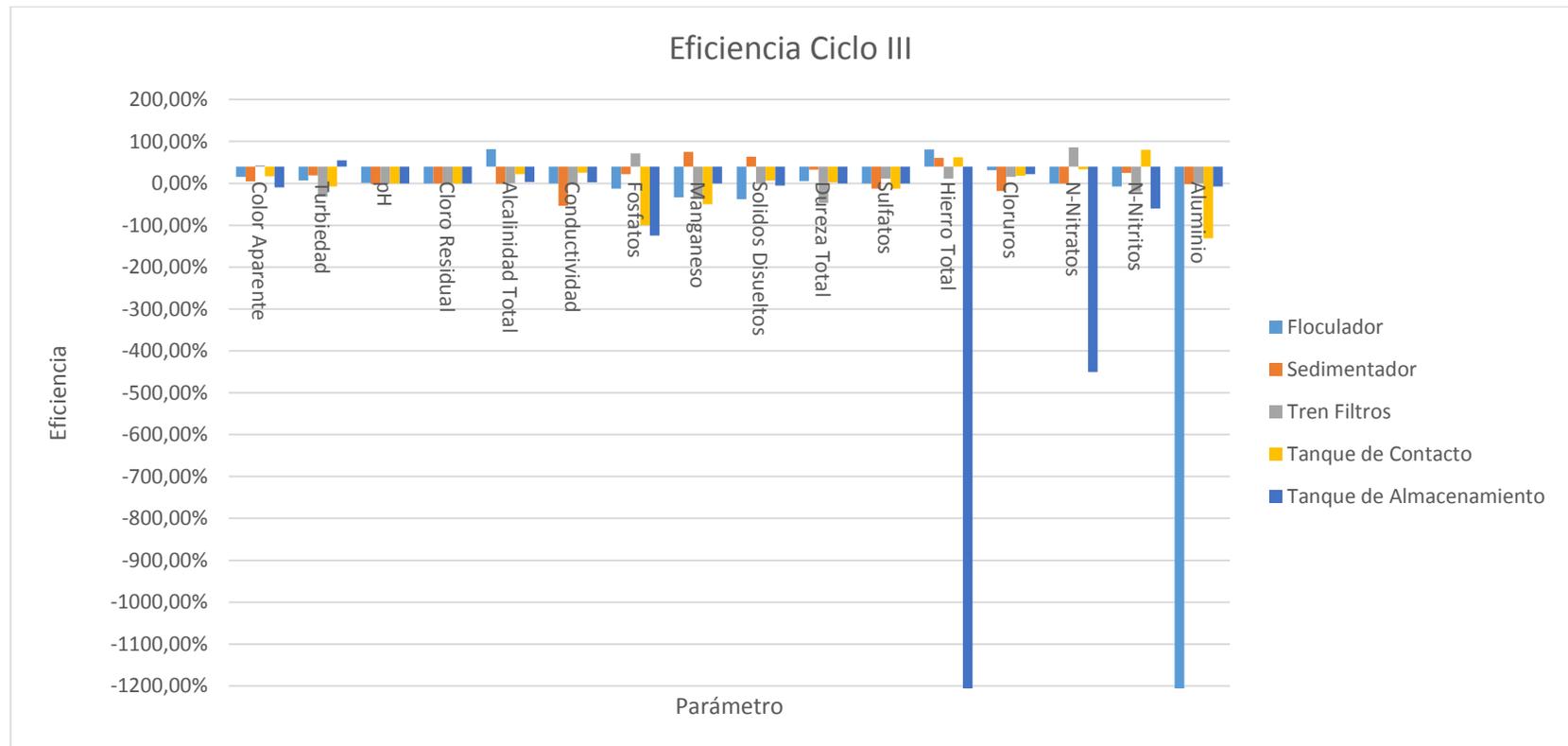
Figura 14 *Entrada Vs Tanque de Almacenamiento Ciclo III*



Fuente: (Autores,2021)

Según los resultados presentados en la Grafica 5, se realizan análisis físico químicos con el fin de establecer la eficiencia de los componentes de la PTAP y así establecer las alternativas de optimización.

Figura 15 Eficiencia Ciclo III



Fuente: (Autores,2021)

Según los resultados obtenidos en el ciclo III se evidencia que los componentes de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita presentan deficiencias de remoción, en el Floculador se puede determinar que presenta remoción en los siguientes parámetros: turbiedad, manganeso, sólidos totales, dureza total, sulfatos y nitritos, sin embargo, se presenta aumento en parámetros tales como: color aparente, fosfatos, nitratos y aluminio, en el sedimentador presenta remoción en los siguientes parámetros: turbiedad, color aparente, alcalinidad total, y nitratos, y aumento en fosfatos, manganeso, nitritos y aluminio. Se evidencia que pese a las alternativas presentadas el agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita no es apta para consumo humano.

Figura 16 Toma y análisis muestras Ciclo III





Fuente: (Autoras,2021)

Ciclo IV

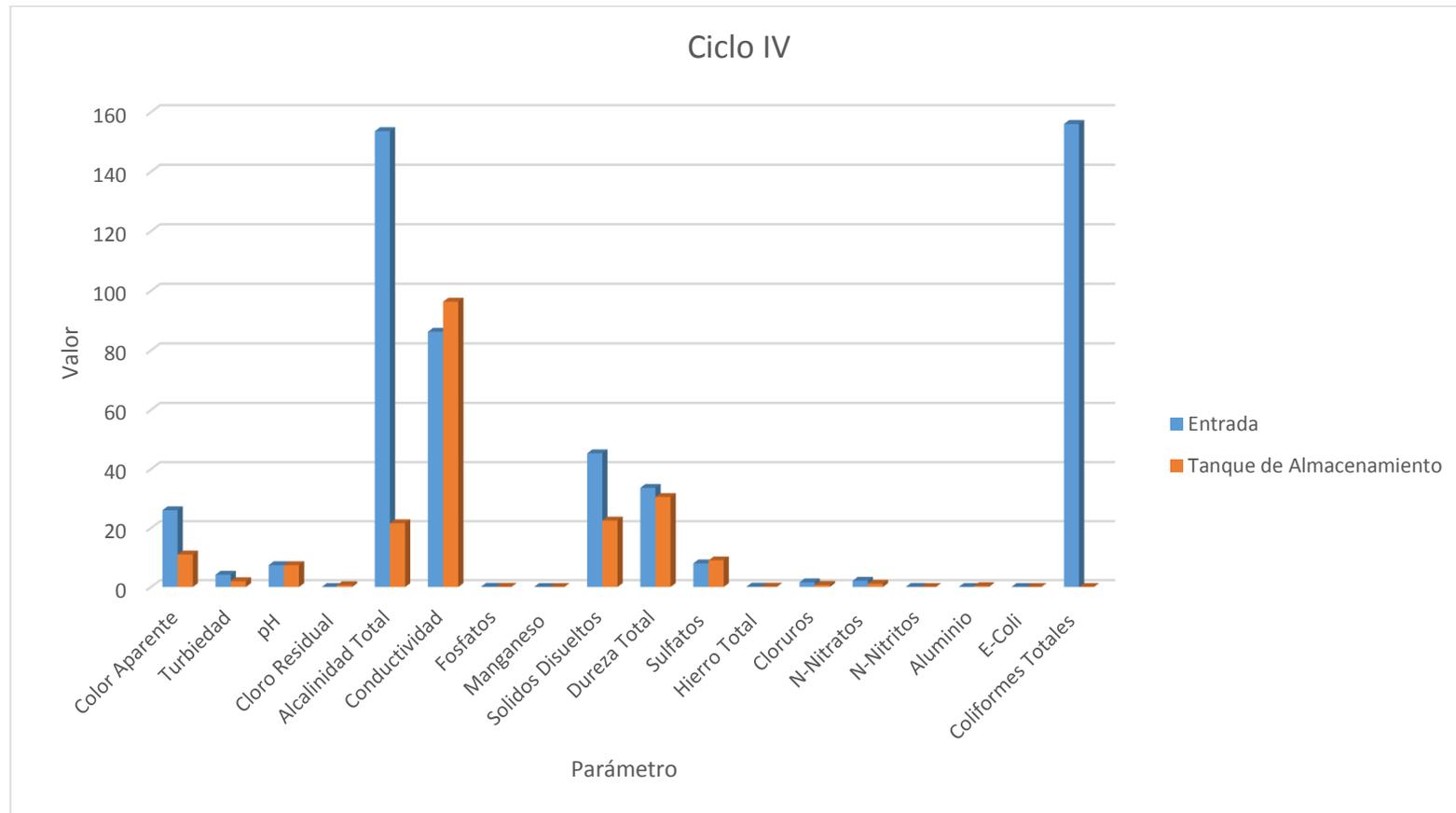
El día 27 de septiembre de septiembre de 2021 se realizo toma de muestras para análisis físico químicos y microbiológicos en los componentes del sistema de acueducto de la vereda Toibita , dichas muestras fueron analizadas el día 01 de octubre de agosto de 2021 en las instalaciones del laboratorio de la empresa de servicios públicos Red Vital Paipa S.A E.S.P, dicho laboratorio cuenta con autorización para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos de agua para consumo humano emitida a través de la resolución 2625 del 27 de septiembre de 2019 por el ministerio de salud y protección social, los resultados obtenidos se plasmas a continuación

Tabla 6 *Análisis Ciclo IV*

		Componente	Entra da	Flocula dor	Sediment ador	Tren Filtros	Tanque de Contacto	Tanque de Almacenamiento
Parámetro	Unidades	Método						
Color Aparente	UPC	HACH 8025: PLATINO COBALTO	26	22	21	36	25	11
Turbiedad	UNT	TURBIDIMETRICO EPA 180.1	4. 16	3.8 6	3.12	4.12	4.42	1,97
pH		ELECTROLÍTICO	7. 4	7.3	7.4	7.4	7.4	7,4
Cloro Residual	mg/L CL-	8021 HACH: DPD METHOD	0	0	0	0	0	0,6
Alcalinida d Total	mg/L CaCO3	HACH 8203: PHENOLPHTHALEIN AND TOTAL METHOD	15 3.6	28. 3	28.6	28.5	22.3	21,6
Conductivi dad	μS/cm	ELECTROLÍTICO	86 .2	86. 2	132.2	132. 6	98.6	96,3
Fosfatos	mg/L de PO6	8048 HACH: PHOSVER 3 ACIDO ASCÓRBICO	0, 08	0,0 9	0,07	0,02	0,04	0,09
Manganes o	mg/L de Mn	8149 HACH: METODO PAN1-(2- PYRIDYLAZO)-2-NAPHTHOL	0, 009	0,0 12	0,003	0,00 4	0,006	0,006
Solidos Disueltos	mg/L	ELECTROLÍTICO	45 .3	62. 3	22.6	22.8	21.3	22,5
Dureza Total	mg/L CaCO3	HACH 8213: EDTA	33 .6	31. 8	21.3	31.3	30.5	30,5

Sulfatos	mg/LSO4	8051 HACH: SULFAVER 4	8	8	9	8	9	9
Hierro Total	mg/LFe	8080 HACH: FERROVER	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,13
				3	9	8	3	2
Cloruros	mg/L de CL-	HACH 8113: TIOCIANATO DE MERCURIO	1.6	1.1	1.3	1.1	0.9	0,7
N-Nitratos	mg/L NO3	8171 HACH: REDUCCIÓN DE CADMIO	2.1	2.1	2.1	0.3	0.2	1,1
MR								
N-Nitritos	mg/L de	8507 HACH: DIAZONIZACION LR	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
	NO2		6	8	1	5	5	8
Aluminio	mg/L AL	8012 HACH: ALUMINON	0,00	0,12	0,12	0,12	0,28	0,31
			9	3	5	5	9	
E-Coli	UFC/100	NMP	0	-	-	-	-	0
	cm ³							
Coliformes	UFC/100	NMP	166	-	-	-	-	0
Totales	cm ³							

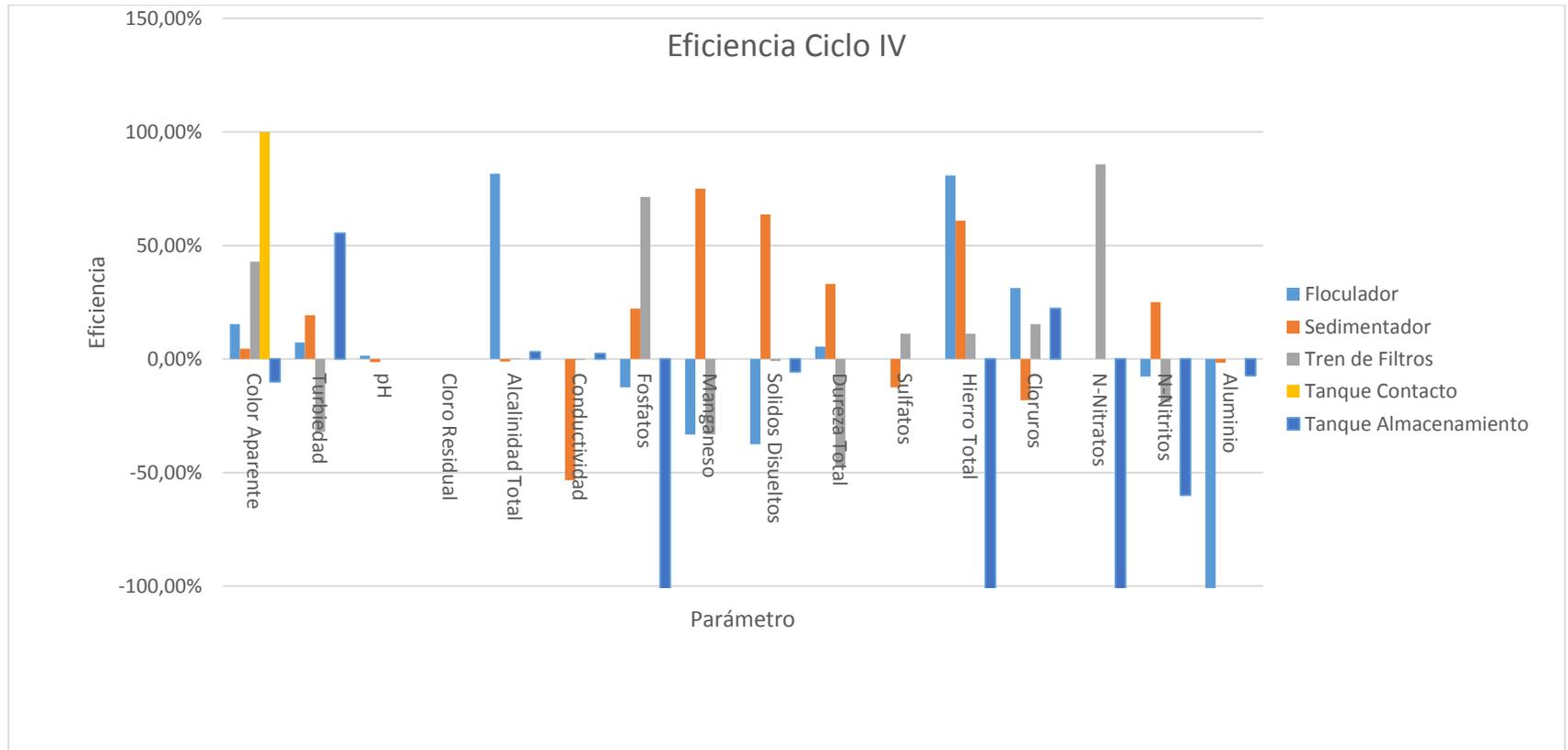
Figura 17 Entrada Vs tanque de almacenamiento Ciclo IV



Fuente: (Autoras,2021)

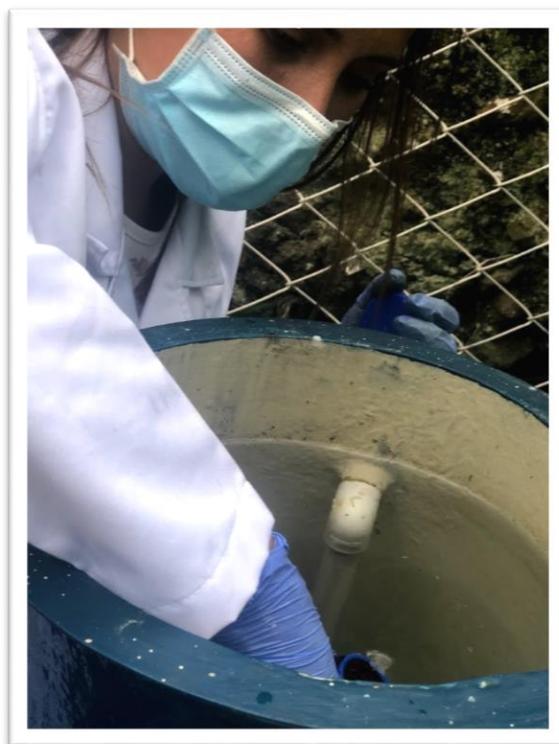
Según los resultados presentados en la Grafica 7, se realizan análisis físico químicos con el fin de establecer la eficiencia de los componentes de la PTAP y así establecer las alternativas de optimización.

Figura 18 Eficiencia Ciclo IV



Fuente: (Autoras,2021)

Figura 19 Toma de muestras y análisis ciclo IV



Fuente: (Autores,2021)

Análisis resultados Ciclos

Ciclo I

Según los resultados obtenidos en el primer ciclo se evidenció la necesidad de realizar prueba de jarras con el fin de optimizar el sistema de tratamiento, el fontanero del acueducto manifiesta que la dosificación de sulfato de aluminio es realizada según caracterización visual realizada en la fuente de abastecimiento: Quebrada Toibita, los resultados obtenidos al realizar la prueba de jarras se presentan a continuación:

El test de jarras fue realizado con una solución patrón con una concentración de sulfato de aluminio tipo A de 0,01 g/mL de agua destilada, a cada jarra se le añadió una cantidad creciente de coagulante en vasos sucesivos 0,5 ml en el vaso #1, 1 ml en el vaso #2, 1,5 ml en el vaso #3, 2 ml en el vaso #4 así continuamente.

Tabla 7 Resultados Prueba de Jarras

INFORME DE RESULTADOS JARRA 1

0.5 ml

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	11	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	16,6	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		6,71	ELECTROLÍTICO

INFORME DE RESULTADOS JARRA 2

1.0 ml

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	6	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	1,86	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		7,2	ELECTROLÍTICO

INFORME DE RESULTADOS JARRA 3

1.5 mL

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	10	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	12,7	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		7,00	ELECTROLÍTICO

INFORME DE RESULTADOS JARRA 4**2.0 mL**

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	9	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	6,77	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		6,90	ELECTROLÍTICO

INFORME DE RESULTADOS JARRA 5**2.5 mL**

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	5	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	2,70	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		6,92	ELECTROLÍTICO

INFORME DE RESULTADOS JARRA 6**0 mL**

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR REPORTADO	MÉTODO
COLOR APARENTE	UPC	21	HACH 8025:PLATINO COBALTO
TURBIEDAD	UNT	15,2	TURBIDIMETRICO EPA 180.1
pH		6,61	ELECTROLÍTICO

Fuente:(Autores,2021)

Dosificación Optima

Solución Patrón

$$\text{Solución Patrón} = \frac{2.5 \text{ g Sulfato de Aluminio Tipo A}}{250 \text{ mL agua}}$$

$$\text{Concentración en el laboratorio} = 0.01 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

Concentración Optima

$$\text{Concentración optima de coagulante} = \frac{C_{\text{laboratorio}} * V_{\text{aliquota}}}{V_{\text{jarra}}}$$

$$C_{\text{optima}} = \frac{(0.01 \frac{\text{g}}{\text{mL}})(1 \text{ mL})}{1 \text{ Lt}}$$

$$C_{\text{optima}} = 0,01 \text{ g/Lt}$$

Teniendo en cuenta que la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita trata un caudal máximo de 2 L/s, y la mezcla de sulfato de aluminio se realiza en un tanque de 500 Litros con 2,5 Kilos de sulfato, se procede con el cálculo de dosis optima de coagulante

$$\text{Concentración patrón} = \frac{2,5 \text{ Kg}}{500 \text{ Lt}} = 0.005 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} = 16 \frac{\text{g}}{\text{Lt}}$$

$$\text{Dosis optima} = \frac{Q * C_{\text{optima}}}{C_{\text{patrón}}}$$

$$\text{Dosis optima} = \frac{2 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 0.01 \frac{\text{g}}{\text{Lt}}}{16 \frac{\text{g}}{\text{Lt}}}$$

$$\text{Dosis Optima} = 0.00125 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 75 \text{ mL/min}$$

Según los resultados obtenidos la dosis optima de coagulante para el acueducto de la vereda Toibita es de 75 ml/minuto, valor que contrasta de manera significativa con la dosis establecida

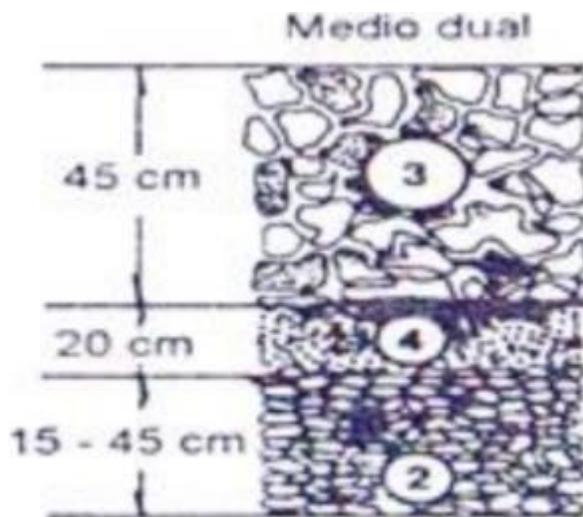
por el fontanero la cual oscila entre 120ml/minuto mínimo a 750ml/minuto como valor máximo por determinación de los representantes del acueducto se procede a aplicar lo determinado en la prueba de jarras con el fin de establecer una optimización técnica de la planta, lo resultado se evidencian en el análisis del ciclo II.

Ciclo II

Al realizar los análisis del segundo ciclo se puede evidenciar que la dosificación adecuada de sulfato de aluminio repercutió en la disminución de parámetro tales como: color aparente, turbiedad, aluminio y sulfatos, sin embargo gracias a los resultados emitidos por parte del laboratorio se puede identificar que el Sistema de filtración no presenta eficiencia en remoción de solidos totales y el parámetro de turbiedad aumenta al pasar por este componente del sistema de tratamiento, por lo cual se planteó realizar un cambio de lechos filtrantes a lo que la empresa de servicios públicos red vital Paipa S.A E.S.P. brinda el acompañamiento necesario y realizan el respectivo cambio. Los lechos utilizados fueron: arena, gravilla y grava, los resultados de este proceso de optimización se analizan en el ciclo III, la distribución de lo lecho se relaciona a continuación:

- **Medio de filtración:** Medio dual
- **Lechos utilizados**
- Antracita: N° 1.5
- Arena Fina: N° 2.6
- Grava
- **Filtro:** A presión

Figura 20 *Cambio de lechos filtrantes*



Los resultados obtenidos se evidencian en el ciclo III.

Ciclo III

En el tercer ciclo se evidencia que las alternativas de optimización planteados e implementados han repercutido en la mejora de la calidad de agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita, sin embargo según los resultados emitidos por parte del laboratorio se evidencia deficiencia en los sistemas de cloración y almacenamiento, se determina que se debe a las condiciones del tanque de almacenamiento ya que este no cuenta con infraestructura óptima, es un tanque abierto como se evidencia en la descripción grafica del mismo, sumado a esto no se cuenta con una demanda de cloro por tanto se realiza con el fin de optimizar el sistema de cloración

Demanda de Cloro

Teniendo en cuenta la importancia de determinar la dosificación de cloro óptima para la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita se implementó el método prueba DPD hach por comparacion visual , este consiste en la aplicación de una concentración de cloro

conocida a un determinado volumen de muestras de agua y darle un tiempo de contacto establecido, posteriormente se lee el cloro residual libre disponible el cual es un agente desinfectante muy activo.

- **Preparación de la solución de cloro para usarse en la demanda de Cloro**

$$\text{Solución de cloro} = \frac{65 \text{ mg cl}}{1.3 \text{ L}}$$

Se disolvió 0.1g de hipoclorito de calcio en 1300 mL de agua destilada o, en un recipiente de plástico a temperatura ambiente.

$$C_1 = \frac{V_2 \cdot C_2}{V_1} = \frac{2.73 \text{ mg cl/L} \cdot 0.13 \text{ L}}{0.0052 \text{ L}} = 68.25 \text{ mg / L}$$

- **Estandarización del cloro**

De la solución prepara de cloro se tomó 5.2 ml y se agregó a un balón de 130 ml, donde se aforo hasta la marca con agua destilada libre de cloro, se dejó un tiempo de 2 minutos y con agitación continua, hecho esto se analizó el cloro residual libre con un valor de 2,73 mg/L. Con el valor de cloro residual libre se calculó la concentración de la solución de cloro preparada, con la siguiente formula:

- **Análisis De La Muestra**

En 7 frascos de 1000ml se agregó a cada uno 500 ml de muestra (agua de entrada) y concentraciones ascendentes de 0.5, 1.0, 1.5 ,2.0, 2.5, 3.0 y 3.5 de la solución de cloro. Para encontrar los volúmenes de cloro de acuerdo a la concentración deseada se aplicó la siguiente formula:

$$V_1 = \frac{V_2 \cdot C_2}{C_1}$$

Donde:

C_1 = Concentración de la solución de cloro estandarizada

V_1 = Volumen de cloro a aplicar a la muestra

C_2 = Concentración de Cloro requerido en el frasco.

V_2 = Volumen de la muestra

La aplicación de cloro fue cada 5 minutos a cada frasco y agregando el volumen correspondiente de cloro de acuerdo a la concentración deseada. El tiempo de contacto fue entre 20 y 30 minutos, después del tiempo de contacto se determinó el cloro residual al primer frasco y así sucesivamente hasta el último frasco.

Resultados

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos para determinar la demanda de cloro para cada dosis de concentración agregada a la muestra:

Tabla 8 Dosis de Cloro

Dosis de cloro mg/L	Volumen de cloro a aplicar ml	Cloro residual libre mg/L	Demanda de cloro mg/L
0,5	3,7	0,2	0,3
1	7,33	0,6	0,4
1,5	11,0	0,8	0,7
2	14,7	1	1
2,5	18,3	1,5	1
3,0	22,0	2,3	0,7
3,5	25,6	3,4	0,1

Fuente: (Autores,2021)

Con estos datos se estableció la siguiente curva de demanda para la muestra de agua:

Figura 21 *Curva demanda de Cloro*



Fuente: (Autores,2021)

El agua captada de la quebrada Toibita presenta buenas características físicas (turbiedad y color) como pequeñas cantidades de agentes reductores de hierro y manganeso. Lo que se evidencia en el proceso de potabilización de la planta en el cual se realiza floculación, sedimentación, filtración, desinfección y almacenamiento. Esto permite deducir que la demanda de cloro sea baja.

En la curva de demanda, el cloro empieza oxidando los agentes reductores, después se observa un incremento debido a que el cloro reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado. Al terminar esta reacción se empieza a producir residual de cloro libre el cual oxida las cloraminas generando un descenso en la curva, a partir de este momento todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre presentando otro incremento. Este punto se conoce como punto de quiebre siendo el punto en el cual la oxidación de los productos del amoníaco es completa, es decir, es el punto donde se determina la demanda de cloro.

En la gráfica 9 la curva de demanda de cloro tiende a un comportamiento lineal, diferente al comportamiento ideal descrito anteriormente, esto pudo ser ocasionado por los bajos niveles de hierro, manganeso, amoníaco, aminas orgánicas y materia orgánica presentes en el agua lo que genera poco cloro combinado y por lo tanto no se observe el incremento característico en la curva y no se pueda determinar el punto de quiebre que permite obtener la demanda de cloro. Por lo cual, esta se obtuvo realizando el promedio de las demandas obtenidas en la tabla 1 teniendo en cuenta que los datos no están muy alejados entre ellos. Con la herramienta de Excel se calculó el promedio y algunas otras variables estadísticas involucradas en el método.

Tabla 9 Demanda de Cloro

DEMANDA DE CLORO	
Media	0,600
Mediana	0,700
Moda	1,00
Desviacion estandar	0,346
Nivel de confianza (95%)	0,320375965
Minimo	0,280
Maximo	0,920

Fuente: (Autores,2021)

De acuerdo a esto el valor estimado de demanda de cloro es de 0.6 mg/L. Con el valor de la desviación estándar se puede analizar qué tan dispersos están los datos, dicho valor fue de 0,3203, este valor se puede ver afectado por las diferentes condiciones del agua y en la interpretación del valor de cloro residual libre por comparación visual, esto influye en la viabilidad de los datos.

El valor de la demanda de cloro permite hallar la cantidad de cloro para diferentes caudales y residuales. La planta de tratamiento opera con una capacidad máxima de 2 l/s y un residual de 1.5 mg/L. la dosis de cloro se obtuvo de la siguiente manera:

Demanda de cloro = 0.6 mg/L

Cloro residual libre= 1.5 mg/L

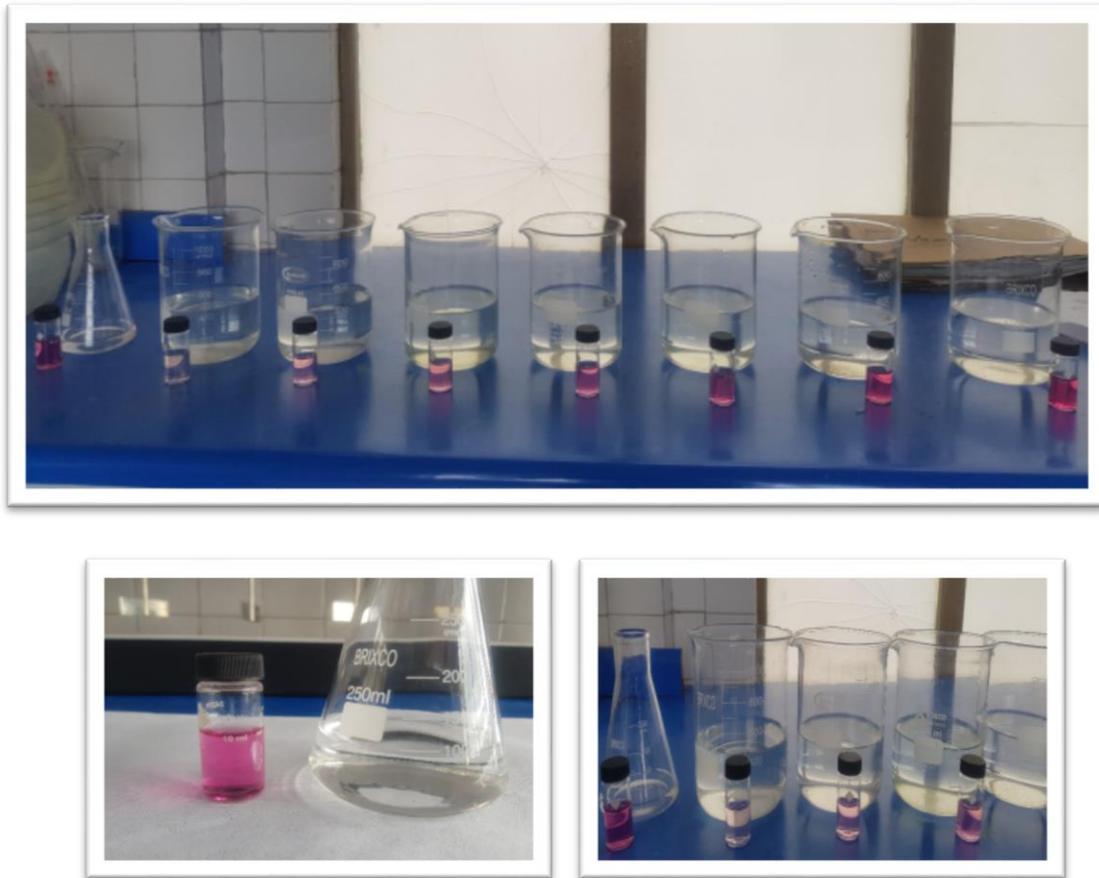
Dosis de cloro = 0.6mg/L + 1.5 mg/L =2.1 mg/L

Caudal = 2 L/s

Dosis de cloro en g/h = 15.2

Los resultados obtenidos se evidencian en los resultados del ciclo IV

Figura 22 *Demanda de Cloro*



Fuente: (Autores,2021)

Ciclo IV

En el cuarto ciclo se puede evidenciar que gracias a las propuestas planteadas en pro de la optimización del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita las cuales fueron: cambio de lechos filtrantes, demanda de cloro y prueba de jarras se cumplió con el objeto de mejorar el sistema de potabilización según los resultados de análisis físico químico emitido por parte del laboratorio de la empresa de servicios públicos Red vital Paipa S.A E.S.P. Se evidencia que el agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita no es apta para consumo humano conforme a lo determinado en la resolución 2115 de 2007, con un índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano IRCA 5.8% con un nivel de riesgo: riesgo bajo, con un alto nivel de aluminio, a pesar de que según los resultados el agua no es apta para consumo humano se destaca el contraste entre el IRCA obtenido en el ciclo I el cual fue:

Evaluación del sistema de tratamiento de agua potable acorde a la resolución 0622 de 2020.

Teniendo en cuenta lo determinado en la resolución 0622 de 2020: “**Por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para el consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural y se dictan otras disposiciones**” se realiza análisis de lo determinado en la resolución en paralelo con lo encontrado en el sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa, lo anterior con base al acta de inspección sanitaria a plantas de tratamiento de zona rural, el diligenciamiento del acta citada a continuación fue realizada en compañía del representante legal del acueducto de la vereda Toibita así como el técnico en saneamiento básico de la secretaria de salud de Boyacá (Anexo D).

Tabla 10 *Acta de Inspección*

Acta de Inspección Sanitaria	Acueducto de la vereda Toibita
<i>1. Aspectos Generales</i>	
a. Nombre de la persona prestadora del servicio de acueducto	Asociación de suscriptores del acueducto regional de la vereda Toibita
b. Caudal de Diseño de PTAP Toibita	2 L/s

1.3 Nombre y tipo e fuente de abastecimiento	Quebrada Toibita
1.4 Suscriptores residenciales atendidos	317
<ul style="list-style-type: none"> ○ Población atendida (Habitantes) 	1268
2. Índice de riesgo de abastecimiento de agua para consumo humano IRABA p.p	
c. Se realiza todo los procesos requeridos según las características del agua cruda y su tratamiento es continuo	El acueducto de la vereda Toibita cuenta con un planta compacta con capacidad de tratamiento de 2 L/s con los procesos de coagulación, floculación, filtración, sedimentación y filtración, para el momento de la inspección el fontanero manifiesta que la planta de tratamiento no está en funcionamiento por falta de conocimiento en la operación de la misma, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0 .
d. Se cuenta con la dotación básica de laboratorio para realizar los siguientes ensayos: Turbiedad, pH, color aparente, cloro residual libre o residual del coagulante utilizado.	La planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita no cuenta con equipos para la medición de parámetros tales como: Turbiedad, pH, color aparente, cloro residual libre o residual del coagulante utilizado, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.
e. Los operadores de la planta de abastecimiento de agua están certificado en las norma sectoriales de competencia laboral: manejan sistemas de captación de agua de acuerdo con normas técnicas y potabilizar agua de	El fontanero de la PTAP Toibita cuenta con certificado de fontanería emitido por el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, sin embargo, no cuenta con certificaciones en potabilización de agua y en toma de muestras, según lo

acuerdo con normas técnicas o la norma que las modifique , adicione o sustituya.	determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 5.
f. Cumplimiento en horas de suministro de servicio.	El acueducto de la vereda Toibita suministra servicio de agua potable todos lo días en las horas de servicio los cuales son informadas a la comunidad según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 20.
Índice de Tratamiento (\sum 1-2-3)	5
IRABAP.P=100-(IT+IC)	IRABA pp.= $100-(5+20)= 75\%$
3. Buenas practicas Sanitarias BPS	
<i>Buenas practicas sanitarias proceso de Potabilización-BPSPTAP</i>	
3.1 La planta de tratamiento de agua para consumo humano está en buenas condiciones <ul style="list-style-type: none"> • Condiciones higiénico locativas • Lo alrededores de las instalaciones se encuentran libre de obstáculos • La planta tiene encerramiento • Cuenta con unidades sanitarias e cantidad suficiente y en buen estado 	La planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita está en buenas condiciones higiénico locativas, alrededor de las instalaciones se encuentran libre de obstáculos, cuenta con encerramiento, sin embargo, no cuenta con unidades sanitarias, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 4.
3.2 La planta de tratamiento de agua para consumo humano cuenta con instrumentación para: <ul style="list-style-type: none"> • Medición de caudal de ingreso y caudal de salida • Niveles de Tanques de almacenamiento: control para determinar el momento de lavado de filtros. 	La planta de tratamiento de la vereda Toibita no cuenta con sistema de medición de caudal de ingreso y salida, el nivel de tanque de almacenamiento es medido por el fontanero de manera artesanal , no se realiza retro lavado de filtros, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 4

3.3 La planta de tratamiento de agua para consumo humano cuenta con:

- **Señalización y demarcación adecuada en las áreas de trabajo.**
- **Uniformes de trabajo para los operarios.**
- **Elemento de protección personal para los operarios.**
- **Elemento para el control de emergencias.**

Al realizar la visita se evidencia que la PTAP Toibita cuenta con deficiencias respecto a la señalización y demarcación, además de esto el fontanero no cuenta con uniforme y elemento de protección para su trabajo así como para el control de emergencias, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 4

3.4 La planta de tratamiento de agua potable cuenta con laboratorio para control de procesos de calidad de agua:

- **Se realizan los ensayos físicos, químicos y microbiológicos para el control de procesos (agua cruda u tratabilidad).**
- **Se realizan ensayos físicos, químicos y microbiológicos para el control de la calidad del agua para consumo distribuida.**
- **Los laboratorio propio o contratados están autorizados por el Ministerio de Salud y Protección Social o cumplen con los criterios técnicos definido para la medición in situ cuando las condicione particulares de ubicación geográfica y accesibilidad de las zonas rurales dificulten la toma,**

En la planta de tratamiento no se realiza ningún ensayo físico, químico o microbiológico para el control de la calidad de agua para consumo distribuida a los habitantes de la vereda Toibita en el Municipio de Paipa, lo anterior debido a que no cuentan con laboratorio ni subcontratan los ensayos requeridos bajo normatividad, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.

<p>conservación, transporte y análisis de las muestras.</p>	
<p>3.5 Existe en la planta de tratamiento de agua para consumo humano en un lugar visible al público mensaje adhesivo espacio libre de un y tienen medidas en el establecimiento para disuadir al fumador (Art. 118 Le 1335 de 2009).</p>	<p>La planta de tratamiento de la vereda Toibita no cuenta con mensaje adhesivo espacio libre de humo, por lo tanto no cuenta con medidas para disuadir al fumador, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.</p>
<p>Resultados Obtenido BPSPTAP</p>	<p>12</p>
<p>4. Buenas practicas Sanitarias en el sistema de distribución -BPSRED</p>	
<p>4.1 Evaluación del sistema de distribución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementa medidas para evitar contaminación. • Cuenta con válvulas puras e hidrante para drenar el agua de las tuberías en buen estado • Dotada con equipos mínimos para el control de la operación de la red. 	<p>La planta de tratamiento de la vereda Toibita no cuenta con medidas para evitar contaminación de agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita, no cuenta con válvulas de purga o hidrante que permitan drenar agua en caso de ser necesario , además de esto no está dotada con equipos mínimos de control de operación en la red de distribución , según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.</p>
<p>4.2 La red cuenta con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal de operación y mantenimiento de la red de distribución certificado por competencias laborales. • Equipos y materiales apropiado para mantenimiento. • Procedimientos para reparación de daño de tuberías y accesorios que eviten contaminación hacia el interior de estos. 	<p>El acueducto de la vereda Toibita no cuenta con personal de operación de mantenimiento a la red de distribución de agua potable , no cuenta con procedimientos para reparación de daño de tuberías y accesorios, , según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.</p>

<p>4.3 Para el control de la calidad de agua distribuida se cuenta con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos o puntos de muestreo concertados con la autoridad sanitaria cumpliendo con las especificaciones técnicas. • Equipo para medición in situ • Limpieza y desinfección periódica de tanques de almacenamiento otras estructuras del sistema de distribución. 	<p>La planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita no cuenta con puntos de muestreo para vigilancia y control por parte de la autoridad Sanitaria, no cuenta con equipos de medición in situ, respecto al lavado y desinfección del tanque de almacenamiento el fontanero manifiesta realizar este procedimiento con frecuencia quincenal. Según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 4.</p>
<p>Resultado Obtenido BPSRED</p>	<p>4</p>
<p>5. Buena practicas Sanitarias en Documentos y comunicación- BPSDYC</p>	
<p>5.1 Se realiza registro de la operación, mantenimiento continuo, preventivo y correctivo de la planta de tratamiento en la minuta o libro de bitácora de operación.</p>	<p>En la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita no se lleva un registro para la operación o mantenimiento en libro de bitácora de operación, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es .0.</p>
<p>5.2 Realizan todo lo ensayos físicos, químicos y microbiológicos de control en la red de distribución o dispositivo intradomiciliario para garantizar que la calidad de agua para consumo humano, por medio de laboratorio autorizado por el Ministerio de la protección social o cumplen con los criterio técnico definidos en medición in situ.</p>	<p>El fontanero de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita manifiesta que a través de la secretaria de infraestructura del municipio de Paipa se realiza medición de pH y turbiedad con frecuencia quincenal, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 2.</p>
<p>5.3 Existen procedimientos escrito para la operación mantenimiento de los diferentes procesos y equipos de la planta de</p>	<p>Se cuenta con instructivo de la operación de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, sin</p>

tratamiento de agua para consumo humano y están al alcance de los operadores para su consulta permanente y contener procedimiento para atender emergencias.

embargo no se evidencia manual de operación y mantenimiento con los procedimientos establecidos, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 3.

5.4 Las áreas donde se llevan a cabo los diferentes procesos de tratamiento de agua para consumo humano, están dotadas de un sistema de comunicación ya sea teléfono, radio entre otras, para enviar reportes al jefe de turno este a su vez debe tener comunicación con otras áreas de operación y administración de la entidad prestadora.

En la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita no se cuenta con ningún sistema de comunicación, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.

5.5 Se cuenta con plano de la red de distribución que facilita a operación y mantenimiento del sistema de distribución, permite establecer el recorrido del agua de acuerdo a la configuración de la red, orienta su funcionamiento hidráulico y facilita la identificación de problemas relacionado con la calidad de agua.

No se cuentan con planos de la red de distribución de agua potable a los habitantes de la vereda Toibita, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.

5.6 Se lleva registro detallado de los daños, según material de tubería y sus causas con el fin de establecer correctivos.

No se registra información detallada de los daños según material de tuberías y causas, no se cuenta con programa de mantenimientos preventivo y correctivos, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.

5.7 Se cuenta con archivo disponible de las actas de inspección y control sanitario realizada por la autoridad Sanitaria

El fontanero del acueducto manifiesta que no se cuenta con archivo de actas de inspección, según lo determinado en la

	clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 0.
5.8 Está documentado e implementado el programa de limpieza y desinfección.	En el acueducto de la vereda Toibita no se cuenta con los procedimientos de evaluación y control, según lo determinado en la clasificación del acta de inspección el puntaje obtenido es 2.
<ul style="list-style-type: none"> • Antes de poner en operación y cada vez que se efectúen reparaciones del tanque de almacenamiento, estructura de potabilización, tuberías de distribución de agua para consumo humano. • Se incluyen los procedimiento de evaluación y control 	
Resultados obtenido BPSDYC	7

Fuente: (Autores,2021)

Calculo del puntaje de las buenas practicas sanitarias

$$\mathbf{Puntaje = BPSPTAP + BPSDY + BPSRED}$$

$$\mathbf{Puntaje Total de BPS p.p.= 12+4+7= 23}$$

Propuesta de optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita en el municipio de Paipa.

A través del análisis de los resultados presentados mediante el desarrollo de las etapas I, II y III se realiza una propuesta de optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, en esta se tendrán en cuentas aspectos tales como: infraestructura, eficiencia de los componentes de la PTAP así como su operación y mantenimiento, a través de dicha propuesta se busca que el agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita en el municipio de Paipa cumpla por los requerimientos establecidos en la resolución 2115 de 2007: “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Análisis de resultados

- Según lo denotado en la resolución 2115 de 2007, el acueducto de la vereda Toibita tiene un ***Índice de riesgo de abastecimiento de agua para consumo humano IRABA p.p. en clasificación del 75 %, lo cual determina un nivel de riesgo para la salud de los habitantes de la vereda: Muy Alto, por lo tanto*** la formulación inmediata de un plan de cumplimiento a corto, mediano y largo plazo por parte de los operadores del sistema de acueducto, bajo la verificación de la secretaria de salud de Boyacá.
- Según los resultados obtenidos en las buenas practicas sanitaria BPS p.p. se evidencia que el fontanero no cuenta con certificaciones para el manejo de plantas de tratamiento de agua potable, además de lo anterior el acueducto no cuenta con equipos para la medición de parámetros tales como: Turbiedad, pH, color aparente, cloro residual libre o residual del coagulante utilizado, finalmente no se garantiza que el suministro de agua potable es continuo para los habitantes de la vereda.
- Al realizar el análisis de la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita se determina que esta no cuenta lo parámetros básicos de mantenimiento y operación que garanticen que el agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita es apta para consumo humano.
- Según los resultados obtenidos del análisis físico químico de los componentes del sistema de acueducto, se evidencia que en los procesos de coagulación, filtración y desinfección se presenta una deficiencia de remoción en varios parámetros, pero principalmente en: turbiedad, solidos totales, residual de aluminio, sulfatos, nitritos y nitratos.
- Según los resultados obtenidos en el primer ciclo se evidenció la necesidad de realizar prueba de jarras con el fin de optimizar el sistema de tratamiento, el fontanero del

acueducto manifiesta que la dosificación de sulfato de aluminio es realizada según caracterización visual realizada en la fuente de abastecimiento Quebrada Toibita.

- Al realizar los análisis del segundo ciclo se puede evidenciar que la dosificación adecuada de sulfato de aluminio repercutió en la disminución de parámetros tales como: color aparente, turbiedad, aluminio y sulfatos. Sin embargo, a partir de los resultados de laboratorio se identifica que el sistema de filtración no presenta la eficiencia esperada en remoción de sólidos totales y el parámetro de turbiedad aumenta al pasar por este componente del sistema de tratamiento, por lo cual se planteó realizar un cambio de lechos filtrantes, actividad realizada a través de la empresa de servicios públicos red vital Paipa S.A E.S.P. Los lechos reemplazados fueron: arena, gravilla y grava.
- En el tercer ciclo se evidencia que las alternativas de optimización planteadas e implementados han repercutido en la mejora de la calidad de agua suministrada a los habitantes de la vereda Toibita, sin embargo, según los resultados emitidos por parte del laboratorio se evidencia deficiencia en el sistema de cloración y se determina que se debe a las condiciones del tanque de almacenamiento ya que este no cuenta con infraestructura óptima y a la incorrecta dosificación de cloro
- En el cuarto ciclo de muestreo, y considerando la implementación de acciones de optimización del sistema de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, incluyendo cambio de lechos filtrantes, demanda de cloro y prueba de jarras, se logró cumplir con los parámetros fisicoquímicos requeridos en la resolución 2115 de 2007, con un índice de riesgo de calidad de agua para consumo humano IRCA 5.8% con un nivel de riesgo bajo, excepto la concentración de aluminio 0,3 mg/L AL, teniendo en cuenta que el valor máximo aceptable de residual de aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano es de 0,2 mg/L

Conclusiones

- Según la identificación de la infraestructura de la PTAP y teniendo en cuenta los resultados emitidos por parte del laboratorio, se observa que existe una deficiencia en el sistema de coagulación, filtración y cloración, por lo cual se concluye que son los componentes puntuales para ser sometidos a procesos de optimización, dando cumplimiento al objetivo específico N° 2.
- Se realizó evaluación de la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, a través de visitas con frecuencia quincenal, y en función a lo determinado en la resolución 0844 de 2018 y la resolución 0622 de 2020.
- Se describieron los procesos que tienen como fin el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, los cuales son: coagulación, filtración y cloración.
- Se Cumplió el objetivo específico N° 1 a través de la evaluación de la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita, lo anterior, mediante visitas con frecuencia quincenal, en las cuales se analizó lo descrito en la resolución 0844 de 2018 y la resolución 0622 de 2020, los resultados obtenidos, permitieron el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua para consumo humano IRABA p.p.
- Mediante el cumplimiento de las etapas metodológicas se determinó que la demanda de cloro para la PTAP de la vereda. Toibita e de 15.2 g/hora, y la dosificación de coagulante según nivel de turbidez promedio dela fuente de abastecimiento es de 75 mL/minuto.
- Se propuso la optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda Toibita municipio de Paipa.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar mantenimiento periódico en el sistema de acueducto de la Vereda Toibita , lo anterior teniendo en cuenta que este garantizara que los componentes del mismo funcionen correctamente.
-
- Se recomienda que en la Planta de tratamiento de la vereda Toibita se realicen ensayos periódicos de prueba de jarras con el fin de garantizar la correcta dosificación del coagulante utilizado.
- Se recomienda que el proyecto denominado optimización técnica del sistema de tratamiento de agua potable en la vereda “Toibita” Municipio de Paipa, sea implementado con el objeto de garantizar agua apta para consumo humano a la población residente en este sector rural del municipio de Paipa.
- Se recomienda que el fontanero cuente con las certificaciones de (toma de muestras y potabilizar agua) competencias laborales emitidas por parte del Sena,
- Se recomienda seguir implementando la demanda de cloro realizada, esto con el objeto de cumplir con el parámetro de cloro residual en la red de distribución según los valores establecidos por normatividad vigente, resolución 2115 de 2007: **“Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”**
- Se recomienda implementar el Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda Toibita.

Bibliografía

Acosta, C. P., Benavides, J. A., & Sierra, C. H. (2015). Análisis cualitativo del deterioro de la calidad del agua y la infección por *Helicobacter pylori* en una comunidad de alto riesgo de cáncer de estómago (Cauca, Colombia). *Salud colectiva*, *11*, 575-590.

Ávila de Navia, S. L., & Estupiñán Torres, S. M. (2012). Calidad bacteriológica del agua de consumo humano de la zona urbana y rural del municipio de Guatavita, Cundinamarca, Colombia. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *50*(2), 163-168.

Bedoya, M. L. M., & VILLADA, L. M. V. (2008). *Evaluacion de la gestión del servicio de los sistemas de acueductos rurales en la cuenca del Río La Vieja* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Administración Ambiental).

Belmonte Jiménez, J. (2015). Agua potable y manejo de aguas sanitarias en Colombia caso zona rural de Sasaima. *Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá*. Recuperado de <http://repository.ucc.edu.co/handle/ucc/10372>.

Camacho, N. C. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (29), 153-170.

Camberos, F. R., Girón, W. A., & Gutiérrez, N. P. (2017). La calidad del agua de los acueductos de las áreas urbanas del Departamento del Meta, Colombia. *Revista Investigaciones Andina*, *19*(35), 11-30.

Cánepa de Vargas, L. (1982). Filtros de arena en acueductos rurales. In *Filtros de arena en acueductos rurales* (pp. 93-93).

Carrasco Mantilla, W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (44), 46-54.

Ceballos Rosero, F. A., Chingaté, N., Olaya, R., & Arturo, J. E. (2016). Los acueductos comunitarios en Colombia. *Nuevas perspectivas de la investigación jurídica y sociojurídica en Nariño*, 150-171.

Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (029), 153-170.

Correa Assmus, G. (2017). Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de la Universidad de la Salle*, 2017(72), 27-46.

Delgado-García, S. M., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2017). Gestión del agua en comunidades rurales; caso de estudio Cuenca del río Guayuriba, Meta-Colombia. *Revista Luna Azul*, (45), 59-70.

Duque, M., Giraldo, E., Martínez, A. C., Gauthier, A., & Villa, J. L. (2000). El uso de la Lógica difusa para la potabilización del agua. *Revista de Ingeniería*, (12), 31-35.

Garro, A. N., Rodríguez, F. A., Murillo, D. P., Segura, C. M., & Ugalde, M. E. (2013). Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla. *Tecnología en Marcha*, 26(3), 62-73.

Gutiérrez-Rosero, J. A., Ramírez-Fajardo, Á. I., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13-27.

Mesa, J. M., Muñoz, C. P., & Agudelo, G. D. V. (2013). Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos de economía*, 17(37), 125-159.

Moreno Méndez, J. O. (2020). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (49), 28-37.

Ordóñez, J. I. (2020). EL AGUA Y EL SECTOR RURAL EN COLOMBIA. *Revista de Ingeniería*, (49), 10-17.

Ramírez, J. M. S. (2011). Retos a futuro en el sector de acueducto y alcantarillado en Colombia. *Comisión de Regulación de Agua Potable Y Saneamiento Básico CRA*.

Ramirez, L. F. H. (2017). *Evaluación del estado actual de los acueductos rurales del municipio de Guatica* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Administración Ambiental).

Rivera-Contreras, Á. L. (2018). Evaluación de los modelos de gestión de proyectos rurales de agua potable y saneamiento básico implementados en los llanos de Colombia. *Dyna*, 85(204), 289-295.

Rodríguez, J. P., Lugo, I. P., Rojas, A. V., & Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral científico*, (11), 8-16.

Romero, F. H. C. (2005). *Acueductos: teoría y diseño*. Universidad de Medellín.

Sánchez, L. Acueductos comunitarios, punto de partida para optimizar el suministro de agua potable.

Santamaría, M., Areiza, A., Matallana, C., Solano, C., & Galán, S. (2018). Estrategias complementarias de conservación en Colombia.

Segura Solis, A. E. (2018). *El acceso al agua potable y al saneamiento básico del derecho humano en la distribución, ausencia y deterioro de acueductos en las zonas rurales en el Valle del Cauca* (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).

Suaza Arboleda, U. A., García Álvarez, J. A., & Amaya Ospina, C. F. (2017). *Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia* (Doctoral dissertation, Posgrado).

Sutorius, M., & Rodríguez, S. (2015). La fundamentalidad del derecho al agua en Colombia. *Revista Derecho del Estado*, (35), 243-265.

Vargas, R. M. (2018). El derecho de la gestión comunitaria del agua en Colombia para garantizar el acceso al agua potable. *Misión Jurídica*, 11(15), 321-334.

Varon Palacio, L. M. (2014). Uso de las plantas de tratamiento de agua potable en acueductos rurales. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.

Villegas, J. D., Castaño, J. M., & Cuervo, D. P. (2005). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en Plantas de potabilización de agua. *Scientia et Technica*, 2(28).

Zabala Chavarría, F., & Betancur Bustamante, F. A. (2017). Sistema de administración de acueductos rurales SAAR.