



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LOS
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA
REGIÓN DEL URABÁ ANTIOQUEÑO A CARGO DE LA EMPRESA
AGUAS REGIONALES GRUPO EPM, MEDIANTE LA
EVALUACIÓN DE SUS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.**

Autor:

Wilmer Steeven Mosquera Mosquera.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental,

Ingeniería Sanitaria

Medellín, Colombia

2021



**DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO
DE AGUA POTABLE DE LA REGIÓN DEL URABÁ ANTIOQUEÑO A CARGO DE LA
EMPRESA AGUAS REGIONALES GRUPO EPM MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE SUS
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.**

Wilmer Steeven Mosquera Mosquera

Informe de práctica como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Sanitario

Asesores (a):

Leidy Catalina Vélez Monsalve

Ingeniera ambiental

Línea de Investigación:

Tratamiento de agua potable

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Medellín, Colombia

2021.

Agradecimientos

Quiero agradecer a las personas que hicieron posible que se realizara este trabajo de grado, a los integrantes de mi familia que me apoyaron, a la Universidad de Antioquia que con su diversidad y pluriculturalidad, me cambió totalmente en lo humano y académico, a mis amigos quienes fueron compañeros y socios en esta aventura y a la empresa Aguas Regionales y todo su equipo de trabajo que cada día tuvo la mejor disposición para compartir su conocimiento y su ambiente humano de calidad y calidez, todos fundamentales durante mi camino en mi proceso profesional y en mi culminación de este con las prácticas profesionales.

También agradecerme y dejarlo escrito por que nunca se deben bajar los brazos y siempre se debe luchar por cada sueño, anhelo, meta y logro que tengamos como personas y profesionales.

Tabla de Contenido

Resumen.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS:.....	12
GENERAL:.....	12
ESPECÍFICOS:.....	12
MARCO TEÓRICO.....	13
METODOLOGÍA.....	17
Lugar de estudio:.....	17
Diagnostico.....	19
Recopilación de información:.....	19
Depuración de la información:.....	19
Análisis de datos:.....	20
PREDIAGNÓSTICO.....	20
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE TURBO:.....	20
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE APARTADÓ:.....	23
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE EL REPOSO:.....	27
VERIFICACIÓN DE DOTACIONES Y CAUDALES.....	29
Proyección de población municipio de Apartadó:.....	30
Proyecciones de población para el municipio de Turbo:.....	33
Proyecciones de población para el corregimiento de El Reposo:.....	36
Nivel de complejidad y dotación neta máxima y dotación bruta para los municipios de Apartadó, Turbo y el corregimiento del El Reposo.	40
Dotación bruta para el municipio de Apartadó, Turbo y el corregimiento de El Reposo:.....	41
Caudal promedio, máximo diario y horario para los años 2020 y 2035 para el municipio de Apartadó:.....	42
Caudal promedio, máximo diario y horario para los años 2020 y 2035 para el municipio de Turbo:.....	44
Caudal promedio, máximo diario y horario para los años 2020 y 2035 para el corregimiento de El Reposo:.....	45
Análisis y Resultados:.....	46
Municipio de Apartadó:.....	47
Municipio de Turbo:.....	49

Corregimiento El Reposo:	51
Caudales:	53
Municipio de Apartadó:	53
Municipio de Turbo:	54
Corregimiento de El Reposo:	55
Eficiencias de remoción:	55
Turbiedad:	56
Eficiencia de remoción de color:	61
Recomendaciones:	66
Ensayo polímeros aniónicos planta de tratamiento de agua potable El Reposo: ..	67
Conclusiones:	69
Referencias:	70

Contenido de tablas:

Tabla 1. proceso y propósito de cada unidad en el sistema de tratamiento, tomada y adaptada de Potabilización del agua Lozano Rivas y Lozano Bravo. ..	15
Tabla 2. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Apartadó, Censos DANE.	30
Tabla 3. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Apartadó	30
Tabla 4. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Apartadó.	31
Tabla 5. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Apartadó, Censos DANE.	31
Tabla 6. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Apartadó	31
Tabla 7. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Apartadó.	32
Tabla 8. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Apartadó, Censos DANE.	32
Tabla 9. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Apartadó	32
Tabla 10. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Apartadó.	33
Tabla 11. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Turbo, Censos DANE.	33
Tabla 12. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Turbo.	34
Tabla 13. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Turbo.	34
Tabla 14. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Turbo, Censos DANE.	34
Tabla 15. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Turbo.	35
Tabla 16. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Turbo.	35
Tabla 17. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Turbo, Censos DANE.	35
Tabla 18. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Turbo.	36
Tabla 19. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Turbo.	36
Tabla 20. Proyección de población para el año 2020 para el corregimiento de El Reposo, Censos DANE.	37
Tabla 21. Tasa de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el corregimiento de El Reposo.	37

Tabla 22. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el corregimiento de El Reposo.	37
Tabla 23. Proyección de población para el año 2020 para el corregimiento de El Reposo, Censos DANE.	38
Tabla 24. Tasa de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el corregimiento de El Reposo.	38
Tabla 25. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el corregimiento de El Reposo.	38
Tabla 26. Proyección de población para el año 2020 para el corregimiento de El Reposo, Censos DANE.	39
Tabla 27. Tasa de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el corregimiento de El Reposo.	39
Tabla 28. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el corregimiento de El Reposo.	39
Tabla 29. Método seleccionado para los municipios de Turbo, Apartadó y para el corregimiento de El Reposo.	40
Tabla 30. Asignación del nivel de complejidad, Resolución 1096 del año 2000. Tomado de documento Ministerio de desarrollo.	40
Tabla 31. Dotación neta máxima según la altura sobre el nivel del mar, Resolución 0330 del año 2017. Tomado de Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio.	40
Tabla 32. Nivel de complejidad y dotación neta máxima para los municipios de Apartadó, Turbo y el corregimiento de El Reposo.	41
Tabla 33. Resumen de resultados de caudales promedio, máximos diarios, máximos horarios y proyección de población para el municipio de Apartadó.	53
Tabla 34. Resumen de resultados de caudales promedio, máximos diarios, máximos horarios y proyección de población para el municipio de Turbo.	54
Tabla 35. Resumen de resultados de caudales promedio, máximos diarios, máximos horarios y proyección de población para el corregimiento de El Reposo.	55
Tabla 36. Resultados de eficiencias para la remoción de turbiedad promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Apartadó.	57
Tabla 37. Resultados de eficiencias para la remoción de turbiedad promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Turbo.	59
Tabla 38. Resultados de eficiencias para la remoción de turbiedad promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable El Reposo.	60
Tabla 39. Resultados de eficiencias para la remoción de color promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Apartadó.	62
Tabla 40. Resultados de eficiencias para la remoción de color promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Turbo.	64
Tabla 41. Resultados de eficiencias para la remoción de color promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable El Reposo.	65
Tabla 42. Caracterización inicial ensayos con polímeros aniónicos.	67
Tabla 43. Resultados polímero LT 27 Solenis.	67
Tabla 44. Resultados polímero LT 30 Solenis.	67

Tabla 45. Resultados polímero SNF 926.....	67
--	----

Contenido de gráficas:

Gráfica 1. Turbiedad Vs. Número de semanas. Contraste entre las turbiedades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	47
Gráfica 2. Color Vs. Número de semanas. Contraste entre los colores semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.	47
Gráfica 3. Dureza Vs. Número de semanas. Contraste entre las durezas semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.	48
Gráfica 4. Alcalinidad Vs. Número de semanas. Contraste entre las alcalinidades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	49
Gráfica 5. Turbiedad Vs. Número de semanas. Contraste entre las turbiedades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	49
Gráfica 6. Color Vs. Número de semanas. Contraste entre los colores semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.	50
Gráfica 7. Dureza Vs. Número de semanas. Contraste entre las durezas semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.	50
Gráfica 8. Alcalinidad Vs. Número de semanas. Contraste entre las alcalinidades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	51
Gráfica 9. Turbiedad Vs. Número de semanas. Contraste entre las turbiedades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	51
Gráfica 10. Color Vs. Número de semanas. Contraste entre los colores semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.	52
Gráfica 11. Dureza Vs. Número de semanas. Contraste entre las durezas semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	52
Gráfica 12. Alcalinidad Vs. Número de semanas. Contraste entre las alcalinidades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.....	53
Gráfica 13. Turbiedad Vs. Número de semanas. Turbiedad semanal promedio en el agua cruda reportada en el sistema AntSOFT.	56
Gráfica 14. Turbiedad Vs. Número de semanas. Turbiedad semanal promedio en el agua cruda reportada en el sistema AntSOFT.	58

Gráfica 15. Color Vs Número de semana. Color promedio en el agua cruda planta de tratamiento municipio de Apartadó.....	61
Gráfica 16. Color Vs Número de semana. Color promedio en el agua cruda planta de tratamiento municipio de Turbo.	63
Gráfica 17. Registro de mediciones de color en ensayo de polímeros aniónicos planta de tratamiento de El Reposo.	68
Gráfica 18. Registro de mediciones de turbiedad en ensayo de polímeros aniónicos planta de tratamiento de El Reposo.....	68

Resumen

Los procedimientos, métodos, instrumentos y técnicas para la evaluación de las plantas de tratamiento de agua potable objeto de este trabajo de grado (Turbo, Apartadó, Reposo), están basados en los conceptos y técnicas (básicas y avanzadas) utilizados en el proceso de la potabilización del agua, todo lo anterior con un enfoque preciso de mejorar la calidad del agua para el consumo humano para estas localidades.

Teniendo en cuenta lo anterior el objetivo general es “ Diagnosticar el funcionamiento general de los sistemas de tratamiento de agua potable de la región del Urabá antioqueño mediante la evaluación de sus parámetros fisicoquímicos para dar recomendaciones que permitan mejorar la eficiencia de algunas de ellas, aportando así al conocimiento teórico práctico de la empresa Aguas Regionales grupo EPM.” Analizando y dando un concepto concreto de cómo se encuentran las plantas de tratamiento en un lapso que comprende el año 2020 en la normativa legal vigente para el agua potable.

Las proyecciones de población, cálculos de dotación neta y caudales de diseño mostraron que las plantas hasta 2020 cumplen con los requerimientos del RAS, pero se debe tener especial cuidado en la planeación de las ampliaciones u optimizaciones durante los 15 años siguientes. En cuanto a la resolución 2115 de 2017 los parámetros fisicoquímicos analizados cumplen, a excepción de las mediciones de Alcalinidad y Dureza, por ausencia de unidades de tratamiento para estos parámetros.

Se realizaron una serie de recomendaciones puntuales para mejorar la eficiencia de los sistemas y priorizando el ahorro de sustancias, pero en general las plantas de tratamiento se encuentran en buen estado de funcionamiento, dotación y calidad.

Palabras clave: Agua para consumo humano, procesos fisicoquímicos, calidad de agua.

INTRODUCCIÓN

Los servicios públicos básicos son fundamentales y desempeñan un papel esencial en el desarrollo económico y social. Dentro de estos recursos el agua supone una base fundamental para la vida y los ecosistemas y hoy en día, por diferentes vicisitudes, se ha tornado como un privilegio para algunos a nivel mundial. Según cifras de la organización de las naciones unidas (ONU) casi 900 millones de personas viven sin agua potable en el mundo y según Susanne Weber-Mosdorf (asesora del director general de la organización mundial de la salud -OMS), para el año 2006 en promedio 4500 niños menores de 5 años morían a falta de agua potable o saneamiento básico, 2000 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura (OMS/UNICEF 2019), más de la mitad de la población 4200 millones de personas carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura (OMS/UNICEF 2019), 297000 niños menores de cinco años mueren cada año debido a enfermedades diarreicas causadas por las malas condiciones sanitarias o agua no potable (OMS/UNICEF 2019), 2000 millones de personas viven en países que sufren escasez de agua (ONU 2019), en Colombia la situación también es crítica, según la defensoría del pueblo en Colombia 6.5 millones de personas no tiene acceso a agua potable (Defensoría del pueblo, 2014).

Dado que el agua es un elemento esencial para el consumo del ser humano y de todos los seres vivos del planeta, tiene una estrecha relación con la salud pública y con el desarrollo de las comunidades; por ende, se relaciona con la pobreza de algunas localidades como por ejemplo Chocó, Guajira, Guainía, Guaviare, Nariño, Vichada entre otros (Defensoría del pueblo). En este sentido, en zonas de bajos recursos el servicio de agua potable es escaso debido a que es difícil brindar el servicio ya que no son sistemas fáciles de solventar en el tiempo económicamente hablando (Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico).

Tomando declaraciones de la ONU en 2010, el agua es un derecho básico fundamental, que para ser consumido por las poblaciones debe ser garantizado tanto en cantidad como en calidad; dando prioridad a su calidad, dado que está directamente relacionada con enfermedades gastrointestinales asociadas a la

falta de higiene. Un agua en estado no aceptable afecta al individuo, por consiguiente, a la comunidad, al departamento, al país y al mundo. Lo que hace de este recurso un factor social ambiental y económico fundamental para los esquemas de desarrollo de un país.

Desde el acontecimiento de la peste negra la calidad del agua ha sido un aspecto de preocupación, de hecho, a partir de allí (la identificación del agua como medio de propagación de la enfermedad) y hasta la fecha se ha avanzado en los estándares de calidad de agua a nivel global, como en todas unas regiones más adelantadas que otras, pero sin perder la sensación de preocupación por brindar un buen servicio, la salud y bienestar humano. En este sentido, se han implementado sistemas como las plantas de tratamiento de agua potable, estos sistemas buscan cumplir estándares que garanticen la seguridad de su consumo, por lo que se han adoptado normas para agua potable establecidas a nivel mundial y que contemplan más de 100 parámetros para determinar su calidad, pasando por parámetros organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos. (GUIAS OMS, 2006)

Para el caso colombiano, la norma de calidad del agua adoptada es la Resolución 2115 de 2007 por la cual se *“señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”*. Dada la importancia del recurso hídrico y de garantizar su calidad, el objetivo de este proyecto de práctica académica es diagnosticar el funcionamiento general de los sistemas de tratamiento de agua potable a cargo de la empresa Aguas regionales grupo EPM, empresa prestadora de servicios públicos de acueducto y alcantarillado inicialmente en 5 municipios y dos corregimientos en la subregión de Urabá y 4 municipios y un corregimiento en la subregión de Occidente. (<https://www.grupo-epm.com/site/aguasregionales/>)

OBJETIVOS:

GENERAL: Diagnosticar el funcionamiento general de los sistemas de tratamiento de agua potable de la región del Urabá Antioqueños mediante la evaluación de sus parámetros fisicoquímicos para dar recomendaciones que permitan mejorar la eficiencia de algunas de ellas, aportando así al conocimiento teórico práctico de la empresa Aguas Regionales grupo EPM.

ESPECÍFICOS:

- Realizar un prediagnóstico de los sistemas a analizar para detectar problemas puntuales que puedan estar asociados a la eficiencia de operación de las plantas.
- Realizar un análisis general de los valores reportados para los parámetros fisicoquímicos de cada una de las plantas.
- Determinar la eficiencia de operación de los sistemas analizados en función del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos evaluados.
- Establecer relaciones entre las eficiencias de operación determinadas y otros factores como la temporada seca y/o lluviosa, condiciones de operación, entre otros.
- Sugerir recomendaciones basadas en el diagnóstico obtenido para ofrecer opciones de mejora de los sistemas de tratamiento.

MARCO TEÓRICO

Los sistemas de potabilización de agua se denominan como Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAPs), nomenclatura que será utilizada en este proyecto de grado, algunas de las plantas de tratamiento de agua potable son de estructura física diferente a otras, las cuales se diferencian por el caudal con el que trabajan y por consiguiente con la población a la que dotan con el servicio, las hay de manera compacta (unidades en un mismo tren de tratamiento continuo), y convencionales (unidades de tratamiento en segmentos separados) (Resolución 0330 de 2017). Dada la importancia de estos sistemas es necesario realizar un diagnóstico de su funcionamiento que consiste en la identificación de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de las plantas de producción de agua potable. En general para las PPAPs este diagnóstico se realiza mediante el estudio del comportamiento de parámetros que inciden en la eficiencia del proceso de potabilización

Para resolver teóricamente la pregunta para qué sirven estos sistemas, requiere se definir los siguientes conceptos, procedimientos y parámetros pertinentes para este proyecto:

Al agua de origen natural que no ha sido sometida a ningún tipo de proceso de potabilización ni tratamiento, se le denomina agua cruda (Lozano 2015), esta influye directamente en el tipo de tratamiento de potabilización que se va a construir para las comunidades. El proceso de potabilización del agua cruda es el conjunto de operaciones y procesos en los cuales se somete al agua para modificar sus características organolépticas (sabor, color y olor, fisicoquímicas y microbiológicas con el fin de cumplir la norma nacional vigente en el momento. (Lozano 2015).

Dada la importancia de garantizar la calidad y continuidad de los servicios públicos domiciliarios para satisfacer necesidades básicas como el acceso a agua potable; existen reglamentaciones como lo es la ley 142 de 1994 (en la cual se implanta el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones), en la que se establece que las entidades prestadoras de servicios públicos deben asegurar su continuidad, eficiencia, evitar acciones restrictivas de competencia, proteger el medio ambiente, hacerse responsable de los perjuicios que una mala prestación puede causar a los usuarios; además de capacitar a los usuarios de la responsabilidad en el uso de estos recursos.

Para la regulación de las actividades enfocadas a la producción de agua potable se establece el Decreto 1575 de 2007 por el cual se establecen el sistema de Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que permite monitorear, prevenir y controlar riesgos que puedan deteriorar la salud. El control y vigilancia lo ejercen los Ministerios de Salud y Protección Social, Ministerio de

Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el Instituto Nacional de Salud, las Direcciones Departamentales Distritales y Municipales de Salud, las personas prestadoras que suministran o distribuyen agua potable y los usuarios. (resolución 2115/07), la calidad de agua se asocia con las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas con que debe contar el agua, para otorgarle un uso determinado. Para el caso del agua con fines de consumo (agua potable), es necesario que cumpla con las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas que indica la normativa nacional, cumpliendo con que no presente un riesgo para la salud de los seres humanos, ni cause inconformidades por parte de los suscriptores del servicio en sus quehaceres diarios.

En el caso de las Plantas de Producción de Agua Potable operadas por Aguas Regionales Grupo EPM S.A.S cuentan con una estructura o procesos de tratamiento teóricamente similares, este tren de tratamiento está subdividido en los siguientes procesos:

- ❖ Coagulación.
- ❖ Floculación.
- ❖ Sedimentación.
- ❖ Filtración.
- ❖ Desinfección.

Es importante mencionar que en algunas plantas de tratamiento debido a las características del agua de su fuente de captación es necesario implementar

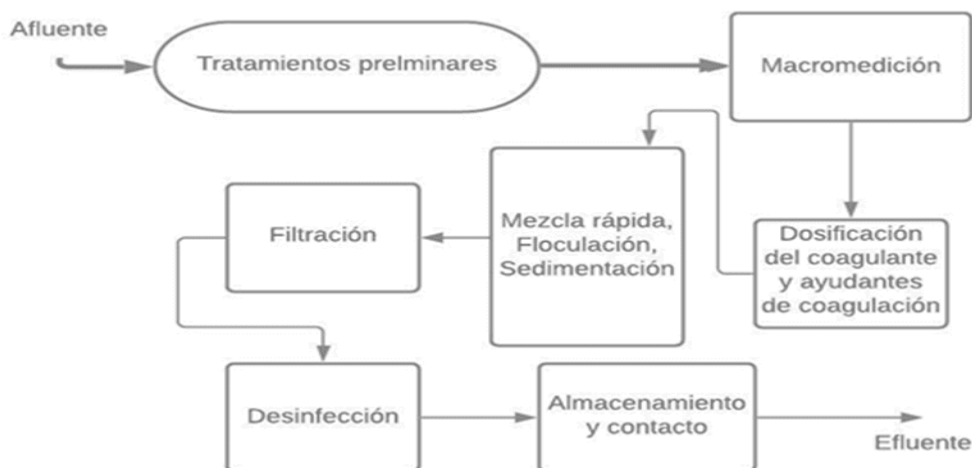


Ilustración 1. Tren de tratamiento plantas de producción de agua potable operadas por Aguas Regionales grupo EPM en los municipios de Turbo, Apartadó y El Reposo, ilustración propia del autor.

procesos de precloración y precoagulación con el fin de mantener y aumentar dado el caso la eficiencia de remoción de contaminantes en el agua.

A continuación, se describe brevemente el proceso de potabilización de manera puntual y además cuál es su propósito:

Tabla 1. proceso y propósito de cada unidad en el sistema de tratamiento, tomada y adaptada de Potabilización del agua Lozano Rivas y Lozano Bravo.

Proceso	Propósito
Desbaste y remoción de flotantes	Eliminación de material grueso (residuos sólidos, animales muertos entre otros), esto con el fin de resguardar la seguridad de los equipos de la PPAP
Desarenador	Eliminación de material granular de gran tamaño y parte de la materia orgánica, estos son limos arcillas y arenas, esto con el fin de eliminar este material abrasivo que puede influir en la eficiencia de la planta
Oxidación química y aireación	Remoción de sustancias que generan olor y sabor en el agua pueden ser orgánicas e inorgánicas, además de generar los subproductos de desinfección como los THM's, también hay transferencia de oxígeno y eliminación de Hierro, Manganeso, Dióxido de Carbono y compuestos orgánicos volátiles.
Aforo	Medición de caudal para calculos posteriores de sustancias químicas.
Caoagulación y floculación	Aglomeración de partículas coloides y otras sustancias no sedimentables, hasta la formación de floculos .
Sedimentación	Eliminación de floculos de coloides aglomerados en suspensión, eliminando sustancias que interfieren la medición de color y turbiedad del agua.
Filtración	Pulimiento de la eliminación de material suspendido, además de la eliminación de microorganismos como bacterias y protozoos.
Desinfección	Eliminación de virus y bacterias que no se eliminan en procesos anteriores, además de efecto residual que impida las contaminaciones posteriores en la red de conducción y distribución.

Definición de indicadores de calidad del agua para consumo humano:

El potencial de Hidrogeniones en el agua (H^+), es un importante parámetro operativo de la calidad del agua. Las aguas demasiado ácidas disuelven los metales empleados en las conducciones (plomo, cobre, zinc), los cuales, al ser ingeridos, afectan negativamente la salud. El pH aceptable para agua potable varía entre 6.5 a 8.5 como valor guía (Jiménez, 2001).

La capacidad que tiene el agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina se conoce como alcalinidad, corresponde principalmente a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4 ; los más comunes son los de calcio y magnesio. La alcalinidad se determina mediante la titulación con un ácido y el resultado se expresa como mg $CaCO_3/L$. El principal

efecto de la alcalinidad es su reacción con ciertos cationes en el agua, lo que conduce a la formación de precipitados (Jiménez, 2001).

En el agua se pueden encontrar sales de calcio o magnesio lo que generan cloruros y eso reduce el sabor salado, pero de igual manera esta se debe acoplar al rango establecido, ya que un alto contenido de cloruros puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras (Arnedo, Azofra, Usón & Zapata, 2009).

De la presencia de calcio y magnesio se deriva la dureza, generalmente se pone de manifiesto por la precipitación de restos de jabón y la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada. La aceptabilidad por la población del grado de dureza del agua puede variar en gran medida de una comunidad a otra, en función de las condiciones locales. Los consumidores, en particular, notarán probablemente los cambios de la dureza del agua. (OMS, 2006)

El nitrato y el nitrito son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el nitrito sódico como conservante alimentario, especialmente para las carnes curadas. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. Las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito. (OMS)

Los sulfatos son sales provenientes del ácido sulfúrico, La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados (OMS).

En el agua de consumo la turbidez está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución.

Las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias. Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz.

Además, la turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación y sedimentación y en la filtración. (OMS)

El agua de consumo no debe tener niNGÚN color apreciable, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia de hierro manganeso y otros metales, bien como impurezas naturales

o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. (OMS).

El aluminio es el elemento metálico más abundante y constituye alrededor del 8% de la corteza terrestre. Es frecuente la utilización de sales de aluminio en el tratamiento del agua como coagulantes para reducir el color, la turbidez, y el contenido de materia orgánica y de microorganismos, en el caso de las PPAPs que opera Aguas Regionales grupo EPM, se utiliza como coagulante el Policloruro de Aluminio (PAC), este uso puede incrementar la concentración de aluminio en el agua tratada. Una concentración residual alta puede conferir al agua color y turbidez no deseables. La concentración de aluminio que da lugar a estos problemas es, en gran medida, función de varios parámetros de calidad del agua y factores relativos al funcionamiento de la planta de tratamiento del agua. (OMS) Tradicionalmente se los ha considerado a los coliformes como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

El hierro y el manganeso son elementos comunes en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo y las piedras puede disolver estos minerales y conducirlos hacia el agua subterránea. Además, los tubos de hierro pueden corroerse y lixiviar (disolver) hierro dentro del abastecimiento de agua residencial.

La dotación es la cantidad de agua que le corresponde a una población o a un individuo en cierto tiempo, expresado en litros por habitante por día.

El caudal de diseño es la capacidad que tiene la planta de tratamiento para tratar cierta cantidad de agua durante cierto tiempo, es importante validar que este caudal actualmente si supla la demanda de la población creciente año a año.

METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar los objetivos y metas propuestas para este, se definió el siguiente plan de trabajo o metodología, con la cual se define los pasos a seguir de los estudios primordiales y secundarios para el inicio, el transcurso y finalización de este proyecto:

Lugar de estudio:

Es importante analizar la región de estudio debido a la zona de influencia que tienen los usos del suelo (Comercio, Agricultura, ganadera, caza, silvicultura, actividades pecuarias, Cámara de comercio Medellín) con las fuentes de captación para las plantas de agua potable, identificando así algunos contaminantes que pueden estar presentes ya sea en la fuente lítica o en la fuente

lenítica de captación, especificando que algunas de las plantas hacen uso de pozos en época de verano para cumplir con el caudal requerido por la población.

La región de desarrollo del proyecto es la región de Urabá, que es una subregión de las nueve con las que cuenta la división político-administrativa departamental, cuenta la condición de ser la única región costera del departamento y por ende se convierte en la salida de Antioquia al mar. Se encuentra localizada en la parte noroccidental del departamento, limita al noroeste y norte con el Océano Atlántico, donde se encuentra el Golfo de Urabá, al oriente con el departamento de Córdoba y con la subregión de occidente, al sur con el departamento del Chocó, las subregiones del Suroeste y del Occidente antioqueño y al occidente con el departamento del Chocó.

Cuenta con una extensión de 11.664 Km², cuenta con alturas sobre el nivel del mar que oscilan entre 0 y 3200 metros (en su punto más alto), pero predominan las de 0 a 200 metros, tiene una temperatura promedio de 28°C.

Por su posición geográfica es de mucha importancia para el departamento de Antioquia y para el país, en esta región predomina la pesca, la ganadería, la agroindustria, la explotación maderera, la agricultura y el turismo.

Se divide en tres zonas, la zona norte que incluye a Arboletes, Necoclí, San Juan de Urabá y San Pedro de Urabá, la zona centro a la que corresponden Apartadó, Carepa, Chigorodó, Mutatá y Turbo, cabe anotar que en esta zona entra el Municipio de Belén de Bajirá por efectos del contrato de prestación de servicios entre Aguas Regionales y la administración de ese municipio, y la última zona es la zona del Atrato Medio, que incluye a Murindó, Vigía del Fuerte, constituyen el eje bananero, que es la principal fuente de explotación de la agroindustria.

Sus actividades económicas y usos del suelo están relacionados con la actividad pecuaria y agrícola (maíz, yuca cacao, arroz y carne bovina).

Con respecto a las redes de servicios públicos, el 70,4% de las viviendas poseen redes de acueducto, el 52,3% poseen redes de alcantarillado.

Condiciones de temperatura y precipitaciones:

Los promedios mensuales de temperaturas máximas en la zona superan los 31°C, principalmente durante los meses de junio a agosto. Por otra parte, se observa que los promedios de temperatura media y de temperatura mínima se incrementan entre los meses de enero a abril, y luego disminuyen levemente hasta el mes de noviembre. (IDEAM)

Los promedios multianuales de precipitación sobrepasan los 60mm/mes, siendo esta una de las características que clasifica esta zona dentro de un clima cálido Húmedo. Los promedios de precipitación por encima de 150mm/mes, se presentan desde el mes de abril extendiéndose hasta el mes de diciembre, la época seca se presenta de enero hasta el mes de marzo, donde los promedios mensuales de

precipitación se encuentran por debajo de los 80mm/mes, teóricamente el mes más lluvioso es octubre con 350 mm/mes de promedio multianual. (IDEAM)

Con esta información en cuanto a las épocas climáticas se estudiará la fluctuación de medidas de los parámetros a estudiar, buscando contrastar el comportamiento del parámetro en una época de verano con una época de invierno.

Diagnostico

Se analizó el estudio de agua cruda hecho por la empresa Aguas Regionales grupo EPM, con el que se supo qué tipo de agua es tratada en cada planta, que características fisicoquímicas y microbiológicas están presentes en la fuente de captación y como esto influye en el proceso de potabilización del agua dentro de la planta de producción de agua potable (PPAP), identificando parámetros de interés sanitario para cada una de las plantas, estudiando su comportamiento en el tren de tratamiento, se medirán de manera independiente en cada unidad los parámetros base como color, pH, turbiedad y en caso de que la planta implemente una fuente alterna en estos casos subterránea (pozo), se miden también los metales Hierro y Manganeso.

Se realizaran visitas de campo guiadas por el operador de turno a cada una de las plantas de producción de agua potable operadas por la empresa Aguas Regionales grupo EPM, en las cuales se revisarán cada una de las unidades de potabilización y se registrarán fallas en ellas que puedan interferir en el incremento de la eficiencia de la planta, además se conformará una matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) en cuanto a los parámetros problema de cada una de las plantas y las fallas de la unidad que están al alcance de la vista. Aquí se decidirá la pertinencia de estudio para cada una de las plantas y cuáles serán sus parámetros estudiados y analizados.

Para cada planta de tratamiento se verificarán los tiempos de retención hidráulicos de las unidades para así si es necesario corregir la simulación en el test de jarras, prueba importante para tomar la dosis óptima más adecuada.

Recopilación de información:

Se revisará la información pertinente a analizar en el software de la empresa Aguas Regionales grupo EPM (AntSOFT), definiendo el rango de fechas para el que se realizará el estudio, además de identificar dentro de ese rango la época de invierno y la época de verano, esto con el fin de analizar las fluctuaciones de medidas y para calcular las eficiencias de remoción de los parámetros, además, para la comparación entre las medidas en época lluviosa y época seca y las características del agua cruda en estas dos condiciones climáticas.

Depuración de la información:

La base de datos cuenta con mucha información al momento de hacer su descarga, motivo por el cual es necesario realizar una depuración de la información además de reorganizar la información pertinente en un programa que

permita un manejo más fácil y práctico de esta para mostrar fluctuaciones y contrastes de ilustrados gráficamente.

Análisis de datos:

Con la información obtenida se realizarán análisis de comportamiento, contrastes de épocas climáticas por medio de gráficas que evidenciarán dichas mediciones, se calcularán también las eficiencias de remoción y se hará el análisis si esa eficiencia está relacionada con el diagnóstico de la planta.

Estos resultados serán comparados primero con la resolución 2115 de 2017 que es la que rige la norma de calidad de agua potable a nivel nacional, y se compararán las épocas climáticas para saber de qué manera fluctuaron los parámetros dentro del rango de tiempo escogido para el análisis.

PREDIAGNÓSTICO

DESCRIPCIÓN DE UNIDADES, PROCESOS DE TRATAMIENTO Y ESTADO ACTUAL:

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE TURBO:

La planta de tratamiento de producción de agua potable del municipio de Turbo capta agua del río Turbo como fuente principal y tiene como fuentes alternas de abastecimiento las captaciones denominadas como pozo Salazar, pozo Nueva Esperanza, pozo Maná y pozo Villa María, el caudal promedio de tratamiento requerido es de 160 L/seg.

Esta planta de producción de agua potable trabaja con un tipo de operación convencional, por lo que existen etapas secuenciales de precloración, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, y desinfección, en el proceso de producción de agua potable, el agua cruda pasa a través de diferentes procesos que se generan en las instalaciones o unidades de tratamiento como se verá.

ETAPA 1. CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA:

La primera etapa se genera en la captación del agua a partir de desarenadores diseñados para decantar la arena y los sólidos más pesados que trae la corriente del río con el fin de que no pasen a través del canal de aducción que conduce el agua hacia la cámara de quietamiento, en estos desarenadores se debe conservar la diferencia entre el nivel del flujo de agua en la entrada y en la salida, para lograr retener mayor cantidad de sólidos arrastrados por la corriente. Cuando sea necesario, la válvula que da entrada de agua a la planta se debe graduar a la hora de modificar el caudal para encontrar el deseado.

ETAPA 2. PROCESO DE QUIETAMIENTO Y FLOCULACIÓN:

Luego de la unidad de desarenado el agua llega a la cámara de quietamiento donde se hace precloración y se disminuye la velocidad del flujo de agua, lo que permite la aireación para eliminar olores a través de la oxidación de minerales como el Hierro, Manganeso o la materia orgánica presente en el agua. Esta estación permite ver el comportamiento del caudal a partir de un sensor (macromedidor) que mide la altura del nivel del agua y el caudal en litros por segundo, esta, es la primera estación de control y monitoreo del agua pues aquí se toman muestras para analizar el estado de ingreso del agua cruda y establecer las dosificaciones de los químicos como coagulantes, polímeros y desinfectantes.

El agua continúa su flujo hacia la canaleta Parshall (estructura hidráulica compuesta por secciones que facilitan el quietamiento del flujo de agua: una sección convergente que da paso a una garganta estrecha con pendiente pronunciada, esta produce el aumento de la velocidad para generar la turbulencia del agua en la estructura; además de una sección divergente con pendiente baja para normalizar el flujo de agua). A partir de aquí se adiciona el coagulante generando el proceso de mezcla rápida (unión del coagulante con el agua en la canaleta), donde se genera mayor turbulencia en la canaleta para producir una mezcla uniforme que genere la correcta remoción de sólidos suspendidos en el agua.

La adición de coagulantes se hace con la ayuda de una bomba dosificadora (en caso de no haber energía se dosifica con la acción de la gravedad a través de una manguera), a una distancia de 3 m se adiciona el polímero, que funciona como un imán para mantener unidas partículas de floc que se producen en el proceso de floculación con el fin de generar una precipitación más rápida. En los floculadores hidráulicos se mantienen constantemente mantos de lodo, que permiten retener mayor cantidad de sólidos debido a la atracción de cargas. El tiempo de paso por estos floculadores es en promedio de 12 minutos, es importante que se mantenga constante el caudal en la planta ya que si este es muy variable en corto tiempo se afecta la formación del floc lo que provoca la destrucción de los floc que se formaron.

Esta planta tiene 4 floculadores, cada tanque con la capacidad de contener 123.9 m³ de agua, están diseñados para funcionar independientes, así, al momento de hacer lavados se realiza por módulos, permitiendo el funcionamiento continuo de la planta. En este punto se produce la mezcla lenta donde las partículas suspendidas en el agua que se aglomeran y forman núcleos o microfloc. Las compuertas de estas estructuras están distribuidas en toda la unidad, así: 4 compuertas en la entrada de cada unidad, 4 válvulas que permiten la purga o lavado de agua de las unidades, 4 a la salida del floculador que se conectan con el canal del agua floculada que dan paso a los tanques sedimentadores.

ETAPA 3. SEDIMENTACIÓN:

Los sedimentadores son estructuras rectangulares que retienen la mayor cantidad de sólidos suspendidos en el agua, ya que en este punto el peso de las partículas de floc es mayor; la gravedad hace que queden retenidos entre los paneles tipo colmena, que al aumentar el área de contacto aumentan la eficiencia de sedimentación de partículas están dispuestos de forma que completan el área superficial del sedimentador (vista en planta) inclinados a 60° con respecto a la horizontal. La capacidad de estos 4 sedimentadores es de 286.4m³. Cada sedimentador tiene una válvula por la cual se da el ingreso del agua a la unidad y una válvula para purgar, que permite evacuar los lodos cada vez que el operador lo crea necesario.

ETAPA 4, 5 y 6. FILTRACIÓN, DESINFECCIÓN Y ALMACENAMIENTO:

El agua luego de pasar por los sedimentadores y dejar la mayor parte de sólidos llega a la unidad de filtros que está constituida por 6 filtros rápidos con flujo descendente, el fondo está compuesto por un falso fondo, el drenaje o lecho de sostén, el lecho filtrante (constituido de grava, arena y antracita) y un borde libre que permite la expansión del lecho filtrante durante el retrolavado, cada filtro tiene 2 válvulas que permiten controlar la entrada y salida del agua a través de la canaleta del agua sedimentada y evacuar el agua para el retrolavado. Este medio poroso clarifica el agua disminuyendo la turbidez y la carga orgánica que haya traído de la etapa de sedimentación y eliminando el color. Luego se entrega a la canaleta final de desinfección.

Al llegar a la etapa de desinfección, se aplica al agua el hipoclorito de sodio generado en la planta, el cual debe ser dosificado por el operador. Este proceso necesita un tiempo de contacto que en promedio es de 30 a 40 minutos que se da en los tanques de almacenamiento, para eliminar todo tipo de microorganismos nocivos para la salud humana.

DESINFECCIÓN:

GENERACIÓN DE HIPOCLORITO EN SITIO:

El Generador de Hipoclorito de Sodio es un equipo que consta de dos entradas, una para la sal y una para el agua, en la cámara de la sal se aplica agua para formar una salmuera con la intención de generar la solución de la sal y poder mezclarla de manera uniforme con el agua, a partir de bombas que llevan el agua y la salmuera a otra cámara se genera la mezcla de estas. Posteriormente, la mezcla pasa por un proceso de electrólisis donde se forma el Hipoclorito que es trasladado a un tanque de almacenamiento dotado con ventilador y un extractor para sacar el gas de hidrógeno que se forma en el proceso.

ALMACENAMIENTO:

Los tanques de almacenamiento tienen una capacidad de 78 m³, 1500m³ y 3000 m³ en esta etapa se da el tiempo de contacto para eliminar todo tipo de microorganismos nocivos para la salud humana.

FALLAS EVIDENCIADAS: Sistema de floculación mecanizado presenta fallas en su motor.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE APARTADÓ:

DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO GENERAL:

La planta de producción de agua potable del Municipio de Apartadó capta agua del río Apartadó y del pozo Apartadó. Es de tipo convencional con una capacidad máxima de 400L/s de los cuales el caudal promedio de tratamiento actualmente es hasta 340L/s por disposición de la autoridad ambiental Corpourabá. En la planta de producción del municipio de Apartadó se realizan de forma secuencial los procesos de presedimentación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, dando paso a la distribución secundaria. En el proceso de producción de agua potable, el agua cruda pasa a través de diferentes procesos que se generan en las instalaciones o unidades de tratamiento como veremos.

ETAPA 1. CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA:

La primera etapa se genera en la captación del agua a partir de desarenadores diseñados para retener la arena y los sólidos más pesados que puede traer la corriente del río con el fin de que no pasen a través del canal de aducción que conduce el agua hacia la cámara de quietamiento, en estos desarenadores se debe conservar la diferencia entre el nivel del flujo de agua en la entrada y en la salida, para lograr retener mayor cantidad de sólidos. Cuando sea necesario, la válvula que da entrada de agua a la planta se debe graduar a la hora de modificar el caudal para encontrar el deseado y dar paso a la estructura de cámara de quietamiento, esta estructura ubicada en la entrada del sistema de tratamiento en la planta, está construida con una altura de 5.40m, un área de 7m² y un volumen de agua de 37.8m³, cumpliendo las siguientes funciones: reducir la velocidad que trae el agua a través de la conducción, oxidar algunos elementos como el hierro, manganeso y materia orgánica, en aumento de turbiedades actúa como zona de turbulencia para la aplicación de coagulante.

Para la realización de purgas, la cámara posee dos válvulas de 6" cada una, localizadas en la base de la estructura y se accede a ellas por la parte externa de la planta, con un tiempo estimado de veinte (20) minutos para obtener un resultado eficiente.

ETAPA 2. PROCESO DE QUIETAMIENTO Y FLOCULACIÓN:

Luego de los desarenadores el agua llega a una cámara de quietamiento que disminuye la velocidad del flujo de agua, lo que permite la aireación para eliminar olores a través de la oxidación de minerales como el Hierro, Manganeso o la materia orgánica presente en el agua, esta estación permite ver el comportamiento del caudal a partir de un sensor que mide la altura del nivel del agua y el caudal en litros por segundo (en esta estación solo se hace pre cloración en caso de turbiedades de 20NTU y en casos en los que se trabaje con agua del pozo, para oxidar el hierro y el manganeso), esta, es la primera estación de control y monitoreo del agua pues aquí se toman muestras para analizar el estado de ingreso del agua cruda y establecer la dosificación de los químicos como coagulantes, polímeros y desinfectantes.

El flujo de agua sigue su recorrido hacia los presedimentadores que están constituidos por 4 unidades cada una equipada con paneles tipo colmena o con placas de asbesto cemento inclinadas a 60° para generar la precipitación de los sólidos presentes en el agua. Estas unidades actúan como sedimentadores de alta tasa de flujo ascendente y tienen una capacidad de 240 m³. Los presedimentadores están diseñados para: Reducir la cantidad de sólidos que ingresan a la planta, eliminar interferencias en el proceso de coagulación y reducir la turbiedad del agua para iniciar con los procesos de producción de agua potable.

Nota: A partir de Turbiedades de 700NTU en adelante se hace pre-Coagulación, en estos casos, las unidades de presedimentación favorecen la formación de flocs que se producen en el agua cuando se dosifica coagulante en la cámara de quietamiento.

Luego del paso por los presedimentadores el agua fluye hacia la canaleta Parshall (estructura hidráulica compuesta por secciones que facilitan el quietamiento del flujo de agua: una sección convergente que da paso a una garganta estrecha con pendiente pronunciada, esta produce el aumento de la velocidad para generar la turbulencia del agua en la estructura; además de una sección divergente con pendiente baja para normalizar el flujo de agua). A partir de aquí se adiciona el coagulante generando el proceso de mezcla rápida (unión del coagulante con el agua en la canaleta), donde se genera mayor turbulencia en la canaleta para producir una mezcla uniforme que genere la correcta remoción de sólidos suspendidos en el agua.

La adición de coagulantes se hace con la ayuda de una bomba dosificadora (en caso de no haber energía se dosifica con la acción de la gravedad a través de una manguera), luego del paso por la canaleta el agua llega a los floculadores, en estos se mantienen constantemente mantos de lodo, que permiten retener mayor cantidad de sólidos debido a la atracción de cargas. El tiempo de paso por estos floculadores es en promedio de 12 minutos, es importante que se mantenga el caudal en la planta ya que si este es muy variable en corto tiempo se afecta la formación del floc lo que provoca la destrucción de los floc que se formaron.

La estructura de floculación tiene un área total de 184m², una altura promedio de 2.5m y un volumen de agua total de 435m³ esta estructura la forman cuatro floculadores, dos de flujo horizontal con una capacidad de 145m³ y tiempo de retención aproximado de 15 minutos y dos de flujo vertical con capacidad de 145m³ y tiempo de retención aproximado de 15 minutos. La estructura cuenta con 27 válvulas para el lavado, mantenimiento y purgas de los floculadores.

ETAPA 3. SEDIMENTACIÓN:

Los sedimentadores son estructuras rectangulares de fondo cónico diseñados así para facilitar la evacuación de lodos a partir de la retención de sólidos, ya que en este punto el peso de las partículas de floc es mayor y la gravedad hace que queden retenidos entre placas de asbesto cemento o paneles tipo colmena ambos actúan como sedimentadores de alta tasa. La estructura de sedimentación tiene una altura promedio de 5m, área de 177m² y volumen de agua total de 1240m³ esta estructura está compuesta por cinco sedimentadores, cada uno con capacidad de 248m³. Cada sedimentador cuenta con una válvula de purga de 6" en el nivel más bajo de las tolvas de sedimentación.

ETAPA 4, 5 y 6. FILTRACIÓN, DESINFECCIÓN Y ALMACENAMIENTO:

El agua luego de pasar por los sedimentadores y dejar la mayor parte de sólidos llega a la unidad de filtros que está constituida por 8 filtros rápidos con flujo descendente, el fondo está compuesto por un falso fondo, el drenaje o lecho de sostén, el lecho filtrante (constituido de piedra, arena y antracita) y un borde libre que permite la expansión del lecho filtrante durante el retro lavado, a partir de las válvulas se controla la entrada y salida del agua a través de la canaleta del agua sedimentada y evacuar el agua para el retro lavado. Los filtros tienen una altura promedio de 5m, un área de 26 m² y un volumen de 130m³. Este medio poroso clarifica el agua disminuyendo la turbiedad que haya traído de la etapa de sedimentación y eliminando el color. Cada filtro está constituido por los siguientes elementos:

Falso fondo: Formadas por viguetas prefabricadas de concreto.

Lecho de sostén: Tiene un espesor de 0.6m y está constituido por grava gradada en 3 capas.

Lecho filtrante: Constituido por una capa inferior de arena de 0.5m de espesor; y una capa superior de antracita de 0.6m de espesor.

Borde libre: Con unas medidas de 0.5m, para permitir la expansión del lecho filtrante durante el retro lavado.

Cada filtro cuenta con una compuerta manual ubicada en el centro de la pasarela de acceso a los filtros para controlar la entrada del agua a través de la canaleta del agua sedimentada, una compuerta de evacuación o purga ubicada sobre la pasarela de acceso a los filtros y un par de compuertas manuales para poner el

filtro fuera de servicio, ubicada en la parte exterior sobre la canaleta del efluente de los filtros. Adicionalmente los filtros cuentan con una cámara de entrega de agua filtrada a la canaleta final de desinfección

El otro tipo de filtro que maneja la planta se diferencia dado que el lavado se hace con inyección de aire, lo cual ayuda a mayor remoción de partículas finas, brindando la facilidad que el material filtrante sea más duradero y eficiente en su labor.

Falso fondo: Formadas por viguetas prefabricadas de concreto.

Lecho filtrante: Constituido por una capa inferior de arena de 0.5m de espesor; y una capa superior de antracita de 0.6m de espesor.

Borde libre: Con unas medidas de 0.5m, para permitir la expansión del lecho filtrante durante el retro lavado.

Al llegar a la etapa de desinfección, se aplica al agua el cloro gaseoso proveniente de un cilindro a presión, el cual debe ser dosificado por el operador para permitir que el gas pase a través de una tubería en la que se genera el efecto de mezcla óptima entre el cloro y el agua potable, este proceso necesita un tiempo de contacto que en promedio es de 30 a 40 minutos que se da en los tanques de almacenamiento, para eliminar todo tipo de microorganismos dañinos para la salud humana.

DESINFECCIÓN:

GENERACIÓN DE HIPOCLORITO EN SITIO

El Generador de Hipoclorito de Sodio es un equipo que consta de dos entradas, una para la sal y una para el agua, en la cámara de la sal se aplica agua para formar una salmuera con la intención de generar la solución de la sal y poder mezclarla de manera uniforme con el agua, a partir de bombas que llevan el agua y la salmuera a otra cámara se genera la mezcla de estas, luego la mezcla pasa por un proceso de electrolisis donde se forma el Hipoclorito que es trasladado a un tanque de almacenamiento dotado con ventilador y un extractor para sacar el gas de hidrogeno que se forma en el proceso.

ALMACENAMIENTO:

El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 1800 m³, en esta etapa se da el tiempo de contacto para eliminar todo tipo de microorganismos dañinos para la salud humana.

FALLAS EVIDENCIADAS: Filtro número 8 presenta fallas en las placas del falso fondo lo que genera perdida de material filtrante.

Pérdida de carga en algunas compuertas.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE EL REPOSO: DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO GENERAL:

La planta de producción de agua potable del corregimiento del reposo capta agua del Pozo planta y del pozo El Colegio, es de tipo convencional con una capacidad máxima de 18 L/s por disposición de la autoridad ambiental Corpourabá. En la planta de producción del corregimiento de El Reposo se realizan de forma secuencial los procesos de aireación, precloración, coagulación, floculación, sedimentación, inyección de alcalinizante, filtración y desinfección, dando paso a la distribución secundaria, en el proceso de producción de agua potable, el agua cruda pasa a través de diferentes procesos que se generan en las instalaciones o unidades de tratamiento como veremos.

ETAPA 1. CAPTACIÓN DEL AGUA CRUDA: POZO COLEGIO Y POZO PLANTA, PROCESO DE AIREACIÓN, PRECLORACIÓN.

La primera etapa se genera en la captación del agua, a partir, de un sistema de bombeo que impulsa el agua de los pozos hacia la planta, una vez en la sección de la tubería de entrada el agua es conducida hacia las bandejas de aireación de la planta, donde se busca oxidar el hierro proveniente del pozo, el cual se hace presente por la escorrentía generada por las lluvias y por la humedad del suelo, lo que conlleva un arrastre de material soluble donde está presente el hierro, en estas bandejas por la interacción con el aire el hierro se oxida y es liberado como gas hacia la atmosfera, este proceso no es 100% eficiente pero si presenta grandes resultados en las mediciones, esto permite mantenerlo dentro de la norma, seguidamente el agua ingresa a la tubería de nuevo y mediante un sistema de precloración, esta precloración permite que el hierro y el manganeso que aún no fue tratado esté menos soluble debido a los compuestos oxidados que el cloro permite formar con estos metales, por lo tanto más biodisponible y por la acción de barrido del coagulante arrastren las partículas de estos elementos junto con el material particulado y el restante sea removido en la unidad de filtración y así se logre un porcentaje de remoción de estos metales en el agua y pasen a estar en los lodos y el agua del retro lavado de los filtro que obviamente no pasa a desinfección ni al tanque de almacenamiento.

ETAPA 2. PROCESO FLOCULACIÓN: .

A partir de aquí se adiciona el coagulante generando el proceso de mezcla rápida (unión del coagulante con el agua en la canaletta), donde se genera mayor turbulencia en la canaletta para producir una mezcla uniforme que genere la correcta remoción de sólidos suspendidos en el agua.

La adición de coagulantes se hace con la ayuda de una bomba dosificadora (en caso de no haber energía se dosifica con la acción de la gravedad a través de una manguera), el agua llega a los floculadores, en estos se mantienen constantemente mantos de lodo, que permiten retener mayor cantidad de sólidos debido a la atracción de cargas. El tiempo de paso por estos floculadores es en

promedio de 12 minutos, es importante que se mantenga el caudal en la planta ya que si este es muy variable en corto tiempo se afecta la formación del floc lo que provoca la destrucción de los floc que se formaron.

La estructura de floculación tiene un volumen de agua total de 28m³ esta estructura la forman dos floculadores, dos de flujo horizontal con una capacidad de 10m³ y 18 m³, el tiempo de retención aproximado de 15 minutos.

ETAPA 3. SEDIMENTACIÓN:

Los sedimentadores son estructuras rectangulares de fondo cónico (tolva) diseñados así para facilitar la evacuación de lodos a partir de la retención de sólidos, ya que en este punto el peso de las partículas de floc es mayor y la gravedad hace que queden retenidos entre placas de asbesto cemento o paneles tipo colmena ambos actúan como sedimentadores de alta tasa. La estructura de sedimentación volumen de agua total de 23m³.

ETAPA 4, 5 y 6. FILTRACIÓN, DESINFECCIÓN Y ALMACENAMIENTO:

El agua luego de pasar por los sedimentadores y dejar la mayor parte de sólidos llega a la unidad de filtros que está constituida por 4 filtros rápidos con flujo descendente, el fondo está compuesto por un falso fondo, el drenaje o lecho de sostén, el lecho filtrante (constituido de grava, arena y antracita) y un borde libre que permite la expansión del lecho filtrante durante el retro lavado, a partir de las válvulas se controla la entrada y salida del agua a través de la canaleta del agua sedimentada (clarificada) y evacuar el agua para el retro lavado. Los filtros tienen una altura promedio de 5m,

Falso fondo: Formadas por viguetas prefabricadas de concreto.

Al llegar a la etapa de desinfección, se aplica al agua el cloro gaseoso proveniente de un cilindro a presión, el cual debe ser dosificado por el operador para permitir que el gas pase a través de una tubería en la que se genera el efecto de mezcla óptima entre el cloro y el agua potable, este proceso necesita un tiempo de contacto que en promedio es de 30 a 40 minutos que se da en los tanques de almacenamiento, para eliminar todo tipo de microorganismos dañinos para la salud humana.

DESINFECCIÓN:

COLORO GASEOSO:

La desinfección cuenta con una instalación de tuberías con agua a presión mezclada con el cloro gaseoso, esta mezcla es dosificada antes de que el agua llegue al tanque de almacenamiento.

ALMACENAMIENTO:

El tanque de almacenamiento tiene una capacidad de 154m³, tanque elevado 300 m³ en esta etapa se da el tiempo de contacto para eliminar todo tipo de microorganismos dañinos para la salud humana.

FALLAS EVIDENCIADAS: Pérdida de carga en el nivel de agua por fallas en el concreto.

VERIFICACIÓN DE DOTACIONES Y CAUDALES

Para la verificación de la dotación se deben realizar cálculos de proyección de población, en los cuales se descargaron bases de datos del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) de censos de años anteriores para cada municipio en cuestión, se realizará el cálculo para tres métodos de proyección diferentes y se tomará el que más se ajuste a las características del municipio, estos tres métodos son:

- **Método aritmético:**

$$m = (P_u - P_c)/(T_u - T_c) \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$P = P_u + r_{prom} * (T - T_u) \quad \text{Ecuación 2.}$$

- **Método geométrico:**

$$r = (P_u/P_c)^{\frac{1}{T_u-T_c}} - 1 \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$P = P_u * (1 + r_{prom})^{(T-T_u)} \quad \text{Ecuación 4.}$$

- **Método logarítmico (Wappaus):**

$$k = (200 * (P_u - P_c))/((T_u - T_c) * (P_u + P_c)) \quad \text{Ecuación 5.}$$

$$P = P_u * (200 + r_{prom} * (T - T_u))/(200 - r_{prom}(T - T_u)) \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde (para cada ecuación es válido):

Tu: Año correspondiente al último año censado.

Tc: Año correspondiente a cualquiera año censado.

Pu: Población correspondiente al último año censado. (habitantes)

Pc: Población correspondiente a cualquiera año censado. (habitantes)

m, k, r: Tasa de crecimiento anual (habitantes/año)

Proyección de población municipio de Apartadó:

Con las ecuaciones anteriores y con los datos consultados en el DANE, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Método aritmético:**

Tabla 2. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Apartadó, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1985	28526	
1993	45790	
2005	71208	
2018	98454	
2020	102668	Proyectada

Tabla 3. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Apartadó .

Tasa (m) CRECIMIENTO		
1985-2018	2119	hab/año
1993-2018	2107	hab/año
2005-2018	2096	hab/año
Promedio	2107	hab/año

Tabla 4. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Apartadó.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (m) PROMEDIO DE CRECIMIENTO	
2020	102668
2021	104775
2022	106883
2023	108990
2024	111097
2025	113204
2026	115311
2027	117418
2028	119525
2029	121633
2030	123740
2031	125847
2032	127954
2033	130061
2034	132168
2035	134275

- **Método geométrico:**

Tabla 5. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Apartadó, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1985	28526	
1993	45790	
2005	71208	
2018	98454	
2020	104760	Proyectada

Tabla 6. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Apartadó.

Tasa (r) CRECIMIENTO		
1985-2018	0.038	hab/año
1993-2018	0.031	hab/año
2005-2018	0.025	hab/año
Promedio	0.032	hab/año

Tabla 7. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Apartadó.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (r) PROMEDIO DE CRECIMIENTO	
2020	104760
2021	108063
2022	111470
2023	114984
2024	118609
2025	122348
2026	126206
2027	130185
2028	134289
2029	138523
2030	142890
2031	147395
2032	152042
2033	156835
2034	161780
2035	166880

Proyectada

- **Método de Wappaus:**

Tabla 8. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Apartadó, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA
1985	28526
1993	45790
2005	71208
2018	98454
2020	104355

Proyectada

Tabla 9. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Apartadó.

TASA (k) CRECIMIENTO		
1985-2018	3.338	hab/año
1993-2018	2.921	hab/año
2005-2018	2.471	hab/año
Promedio	2.910	hab/año

Tabla 10. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Apartadó.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (k) PROMEDIO	
2020	104355
2021	107436
2022	110610
2023	113880
2024	117251
2025	120728
2026	124316
2027	128020
2028	131846
2029	135800
2030	139889
2031	144119
2032	148498
2033	153035
2034	157737
2035	162615

Proyecciones de población para el municipio de Turbo:

Con las ecuaciones anteriores y con los datos consultados en el DANE, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Método aritmético:**

Tabla 11. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Turbo, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1985	25415	
1993	31308	
2005	39770	
2018	48787	
2020	49927	Proyectada

Tabla 12. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Turbo.

Tasa (m) CRECIMIENTO		
1985-2018	708	hab/año
1993-2018	699	hab/año
2005-2018	694	hab/año
Promedio	700	hab/año

Tabla 13. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Turbo.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (m) PROMEDIO DE CRECIMIENTO	
2020	49927
2021	50627
2022	51328
2023	52028
2024	52728
2025	53429
2026	54129
2027	54829
2028	55530
2029	56230
2030	56930
2031	57631
2032	58331
2033	59031
2034	59732
2035	60432

- **Método geométrico:**

Tabla 14. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Turbo, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1985	25415	
1993	31308	
2005	39770	
2018	48787	
2020	50549	Proyectada

Tabla 15. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Turbo.

Tasa (r) CRECIMIENTO		
1985-2018	0.020	hab/año
1993-2018	0.018	hab/año
2005-2018	0.016	hab/año
Promedio	0.018	hab/año

Tabla 16. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Turbo.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (r) PROMEDIO DE CRECIMIENTO	
2020	50549
2021	51454
2022	52375
2023	53313
2024	54267
2025	55239
2026	56228
2027	57234
2028	58259
2029	59301
2030	60363
2031	61444
2032	62544
2033	63663
2034	64803
2035	65963

- **Método Wappaus:**

Tabla 17. Proyección de población para el año 2020 para el municipio de Turbo, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1985	25415	
1993	31308	
2005	39770	
2018	48787	
2020	50515	Proyectada

Tabla 18. Tasas de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el municipio de Turbo.

TASA (k) CRECIMIENTO		
1964-1993	1.909	hab/año
1973-1993	1.746	hab/año
1985-1993	1.566	hab/año
Promedio	1.740	hab/año

Tabla 19. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el municipio de Turbo.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (k) PROMEDIO DE CRECIMIENTO	
2020	50515
2021	51402
2022	52305
2023	53224
2024	54159
2025	55111
2026	56081
2027	57069
2028	58075
2029	59100
2030	60145
2031	61210
2032	62296
2033	63403
2034	64531
2035	65683

Proyecciones de población para el corregimiento de El Reposo:

Con las ecuaciones anteriores y con los datos consultados en el DANE, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Método aritmético:**

Tabla 20. Proyección de población para el año 2020 para el corregimiento de El Reposo, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1999	3304	
2016	8115	
2020	9247	Proyectada

Tabla 21. Tasa de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el corregimiento de El Reposo.

Tasa (m) CRECIMIENTO		
1985-2018	283	hab/año

Tabla 22. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el corregimiento de El Reposo.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUENTA TASA (m) DE CRECIMIENTO	
2020	9247
2021	9530
2022	9813
2023	10096
2024	10379
2025	10662
2026	10945
2027	11228
2028	11511
2029	11794
2030	12077
2031	12360
2032	12643
2033	12926
2034	13209
2035	13492

- **Método Geométrico:**

Tabla 23. Proyección de población para el año 2020 para el corregimiento de El Reposo, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1999	3304	
2016	8115	
2020	10026	Proyectada

Tabla 24. Tasa de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el corregimiento de El Reposo.

Tasa (r) CRECIMIENTO		
1985-2018	0.054	hab/año

Tabla 25. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el corregimiento de El Reposo.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTA TASA (r) DE CRECIMIENTO	
2020	10026
2021	10570
2022	11144
2023	11748
2024	12386
2025	13058
2026	13767
2027	14515
2028	15302
2029	16133
2030	17009
2031	17932
2032	18905
2033	19931
2034	21013
2035	22154

- **Método Wappaus:**

Tabla 26. Proyección de población para el año 2020 para el corregimiento de El Reposo, Censos DANE.

AÑO CENSO	POBLACIÓN CABECERA	
1999	3304	
2016	8115	
2020	9901	Proyectada

Tabla 27. Tasa de crecimiento correspondiente al lapso calculado para el corregimiento de El Reposo.

Tasa (k) CRECIMIENTO		
1964-1993	4.957	hab/año

Tabla 28. Proyecciones de población hasta el año 2035 para el corregimiento de El Reposo.

PROYECCIONES TENIENDO ENCUESTAS TASA (k) DE CRECIMIENTO	
2020	9901
2021	10404
2022	10933
2023	11489
2024	12073
2025	12686
2026	13331
2027	14009
2028	14721
2029	15469
2030	16255
2031	17081
2032	17949
2033	18862
2034	19820
2035	20828

Con el fin de tener un rango de seguridad en la dotación para la población a futuro se toma el método que da como resultado la población con mayor cantidad de habitantes, a continuación, la tabla con el método seleccionado y la población proyectada resultante para el 2020 y el 2035 para los municipios de Apartadó y Turbo y para el corregimiento de El Reposo:

Tabla 29. Método seleccionado para los municipios de Turbo, Apartadó y para el corregimiento de El Reposo.

Municipios y Corregimiento	Apartadó	Turbo	El Reposo
Método seleccionado	Geométrico	Geométrico	Geométrico
Población 2020 (habitantes)	104760	50549	10026
Población 2035 (habitantes)	166880	65963	22154

Nivel de complejidad y dotación neta máxima y dotación bruta para los municipios de Apartadó, Turbo y el corregimiento del El Reposo.

La clasificación del proyecto en un nivel de complejidad depende del número de habitantes de la zona urbana del municipio, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto (RAS 2000).

Tabla 30. Asignación del nivel de complejidad, Resolución 1096 del año 2000. Tomado de documento Ministerio de desarrollo.

Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Tabla 31. Dotación neta máxima según la altura sobre el nivel del mar, Resolución 0330 del año 2017. Tomado de Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Los datos de nivel de complejidad y dotación neta máxima para los municipios de Apartadó, Turbo y el corregimiento del El Reposo son:

Tabla 32. Nivel de complejidad y dotación neta máxima para los municipios de Apartadó, Turbo y el corregimiento de El Reposo.

Municipios y Corregimiento	Apartadó	Turbo	El Reposo
Nivel de Complejidad año 2020	Alto	Medio Alto	Medio
Nivel de Complejidad año 2035	Alto	Alto	Medio alto
Dotación neta máx (L/HAB*DÍA)	140	140	140

Por efectos de temperatura se mayor la dotación neta máxima en un 15% ya que la temperatura de la zona está entre 20°C y 28°C, por lo que la dotación neta es de **161 L/Hab*día**

Ahora para el cálculo de la dotación neta para cada municipio y el corregimiento:

$$d_{bruta} = d_{neta} / (1 - \%p) \text{ Ecuación 7.}$$

Donde:

d_{bruta} : Dotación bruta (L/Hab*día)

d_{neta} : Dotación neta se toma de la resolución 0330 de 2017 dependiendo de la altura sobre el nivel de mar de los municipios y el corregimiento en cuestión. (L/Hab*día)

$\%p$: Porcentaje de pérdidas se toma el 25% , máximo permitido en la resolución 0330 de 2017.

Dotación bruta para el municipio de Apartadó, Turbo y el corregimiento de El Reposo:

$$d_{bruta} = d_{neta} / (1 - \%p) = 161 / (1 - 0.25) = 215 \text{ L/Hab} * \text{ dia}$$

1.1. Cálculo de caudales medios, máximos horarios y diarios teóricos para los municipios de Apartadó, Turbo y el corregimiento del reposo:

- Caudal promedio:

$$Q_{prom} = d_{neta} * P / 86400 \text{ Ecuación 8.}$$

Donde:

Q_{prom} : Caudal promedio (L/s)

d_{neta} : Dotación neta (L/Hab*día)

P: Población atendida en el casco urbano.

- **Caudal máximo diario:**

$$Q_{md} = Q_{prom} * K_1 \text{ Ecuación 9.}$$

Donde:

Q_{md} : Caudal máximo diario (L/s)

Q_{prom} : Caudal promedio (L/s)

K_1 : Coeficiente de consumo diario, para este caso se toma el valor de 1,2 recomendado por la resolución 0330 de 2017.

- **Caudal máximo horario:**

$$Q_{md} = Q_{prom} * K_2 \text{ Ecuación 10.}$$

Donde:

Q_{mh} : Caudal máximo horario (L/s)

Q_{prom} : Caudal promedio (L/s)

K_2 : Coeficiente de consumo máximo horario, para este caso se toma el valor de 1,5 recomendado por la resolución 0330 de 2017.

Caudal promedio, máximo diario y horario para los años 2020 y 2035 para el municipio de Apartadó:

- **Caudal promedio:**

2020:

$$Q_{prom2020} = d_{neta} * P_{2020} / 86400 = 161 * 104760 / 86400 = 234 \text{ L/s}$$

El caudal teórico promedio para el año 2020 es de 195,213 L/s, más un 20% de corrección por temperatura el caudal promedio será de 234 L/s.

2035:

$$Q_{prom2035} = d_{neta} * P_{2035} / 86400 = 161 * 166880 / 86400 = 373,2 \text{ L/s}$$

El caudal teórico promedio para el año 2035 es de 310,918 L/s, más un 20% de corrección por temperatura el caudal promedio de 2035 será de 373,2 L/s

- **Caudal máximo diario:**

2020:

$$Q_{md2020} = Q_{prom2020} * K_1 = 234 * 1,2 = 281 \text{ L/s}$$

El caudal máximo diario para el año 2020 es de 281 L/s

2035:

$$Q_{md2035} = Q_{prom2035} * K_1 = 373 * 1,2 = 448 \text{ L/s}$$

El caudal máximo diario para el año 2035 es de 448 L/s

- **Caudal máximo horario:**

2020:

$$Q_{mh2020} = Q_{prom2020} * K_2 = 234 * 1,5 = 351 \text{ L/s}$$

El caudal máximo horario para el año 2020 es de 351 L/s

2035:

$$Q_{mh2035} = Q_{prom2035} * K_2 = 373 * 1,5 = 560 \text{ L/s}$$

El caudal máximo horario para el año 2020 es de 560 L/s

Caudal promedio, máximo diario y horario para los años 2020 y 2035 para el municipio de Turbo:

- **Caudal promedio:**

2020:

$$Q_{prom2020} = d_{neta} * P_{2020} / 86400 = 161 * 50549 / 86400 = 94,194 \text{ L/s}$$

El caudal teórico promedio para el año 2020 es de 94,194 L/s, más un 20% de corrección por temperatura el caudal promedio de 2020 será de 113 L/s

2035:

$$Q_{prom2035} = d_{neta} * P_{2035} / 86400 = 161 * 65963 / 86400 = 122,917 \text{ L/s}$$

El caudal teórico promedio para el año 2035 es de 122,917 L/s, más un 20% de corrección por temperatura el caudal promedio de 2035 será de 148 L/s.

- **Caudal máximo diario:**

2020:

$$Q_{md2020} = Q_{prom2020} * K_1 = 113 * 1,2 = 136 \text{ L/s}$$

El caudal máximo diario teórico para el año 2020 es de 136 L/s

2035:

$$Q_{md2035} = Q_{prom2035} * K_1 = 148 * 1,2 = 178 \text{ L/s}$$

El caudal máximo diario teórico para el año 2035 es de 178 L/s

- **Caudal máximo horario:**

2020:

$$Q_{mh2020} = Q_{prom2020} * K_2 = 113 * 1,5 = 170 \text{ L/s}$$

El caudal máximo horario teórico para el año 2020 es de 170 L/s

2035:

$$Q_{mh2035} = Q_{prom2035} * K_1 = 148 * 1,5 = 222 \text{ L/s}$$

El caudal máximo horario teórico para el año 2035 es de 222 L/s.

Caudal promedio, máximo diario y horario para los años 2020 y 2035 para el corregimiento de El Reposo:

- **Caudal promedio:**

2020:

$$Q_{prom2020} = \frac{d_{neta} * P_{2020}}{86400} = \frac{161 * 10026}{86400} = 18,683 \text{ L/s}$$

El caudal teórico promedio para el año 2020 es de 18,683 L/s, más un 20% de corrección por temperatura el caudal promedio de 2020 fue 23L/s.

2035:

$$Q_{prom2035} = \frac{d_{neta} * P_{2035}}{86400} = \frac{161 * 22154}{86400} = 41,282 \text{ L/s}$$

El caudal teórico promedio para el año 2035 es de 41,282 L/s, más 20 % de corrección por temperatura el caudal promedio del año de 2035 será de 50L/s

- **Caudal máximo diario:**

2020:

$$Q_{md2020} = Q_{prom2020} * K_1 = 23 * 1,3 = 30 \text{ L/s}$$

El caudal máximo diario teórico para el año 2020 es de 30 L/s

2035:

$$Q_{md2035} = Q_{prom2035} * K_1 = 50 * 1,2 = 60 \text{ L/s}$$

El caudal máximo diario teórico para el año 2035 es de 60 L/s

- **Caudal máximo horario:**

2020:

$$Q_{mh2020} = Q_{prom2020} * K_2 = 23 * 1,6 = 37 \text{ L/s}$$

El caudal máximo horario teórico para el año 2020 es de 37 L/s

2035:

$$Q_{mh2035} = Q_{prom2035} * K_1 = 50 * 1,5 = 75 \text{ L/s}$$

El caudal máximo horario teórico para el año 2035 es de 75 L/s

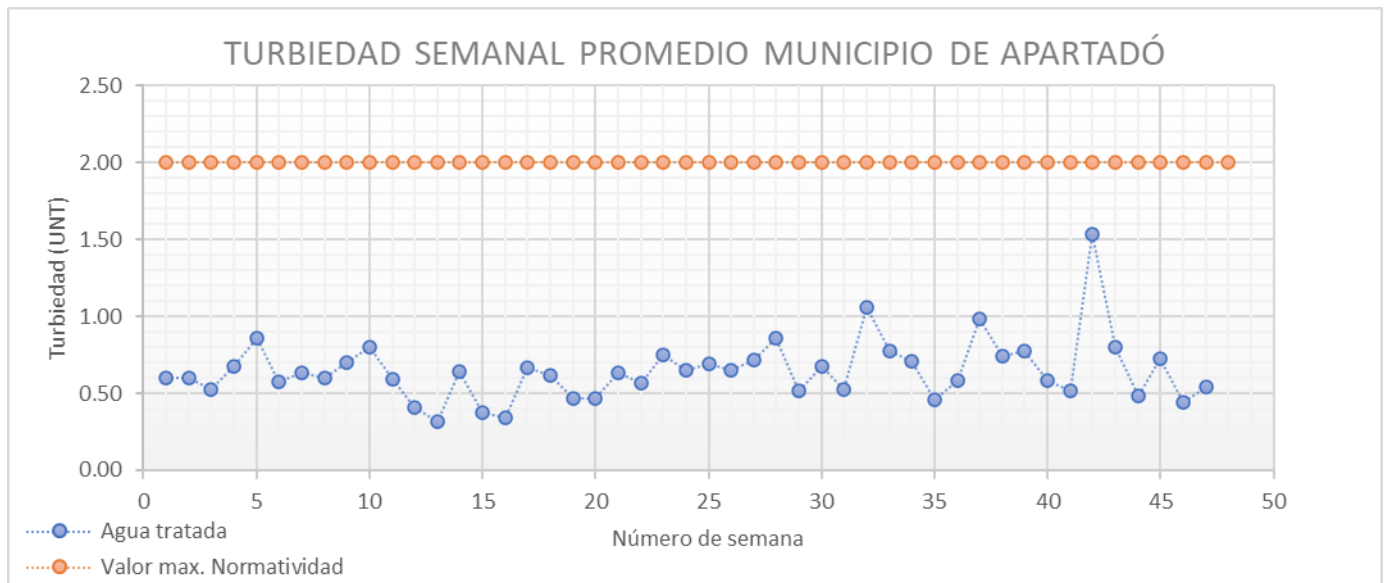
Análisis y Resultados:

Contraste parámetros fisicoquímicos en el efluente de las plantas y normatividad legal vigente

A continuación, se ilustra la información recopilada del sistema de información AntSOFT de la empresa Aguas Regionales grupo EPM SA ESP, en el cual se reportan las mediciones de los equipos para cada parámetro analizado con la frecuencia determinada por la empresa. Se realizó el promedio semanal de cada dato con el fin de acortar la cantidad de gráficas que resultarían al hacerlo por día.

Municipio de Apartadó:

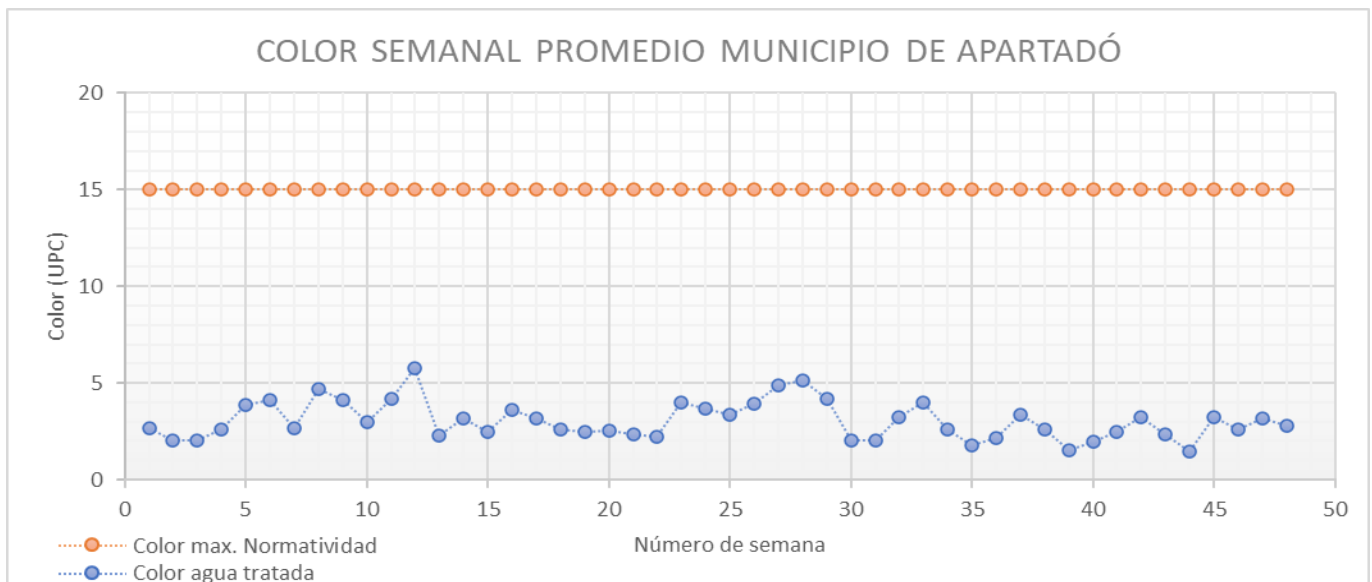
- **Turbiedad:**



Gráfica 1. Turbiedad Vs. Número de semanas. Contraste entre las turbiedades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

Durante todo el año se cumplió con la normal en el efluente de la planta, esto por la óptima dosificación y el método de pre coagular en la presedimentación del sistema, que permite empezar a remover material desde el inicio del proceso de potabilización.

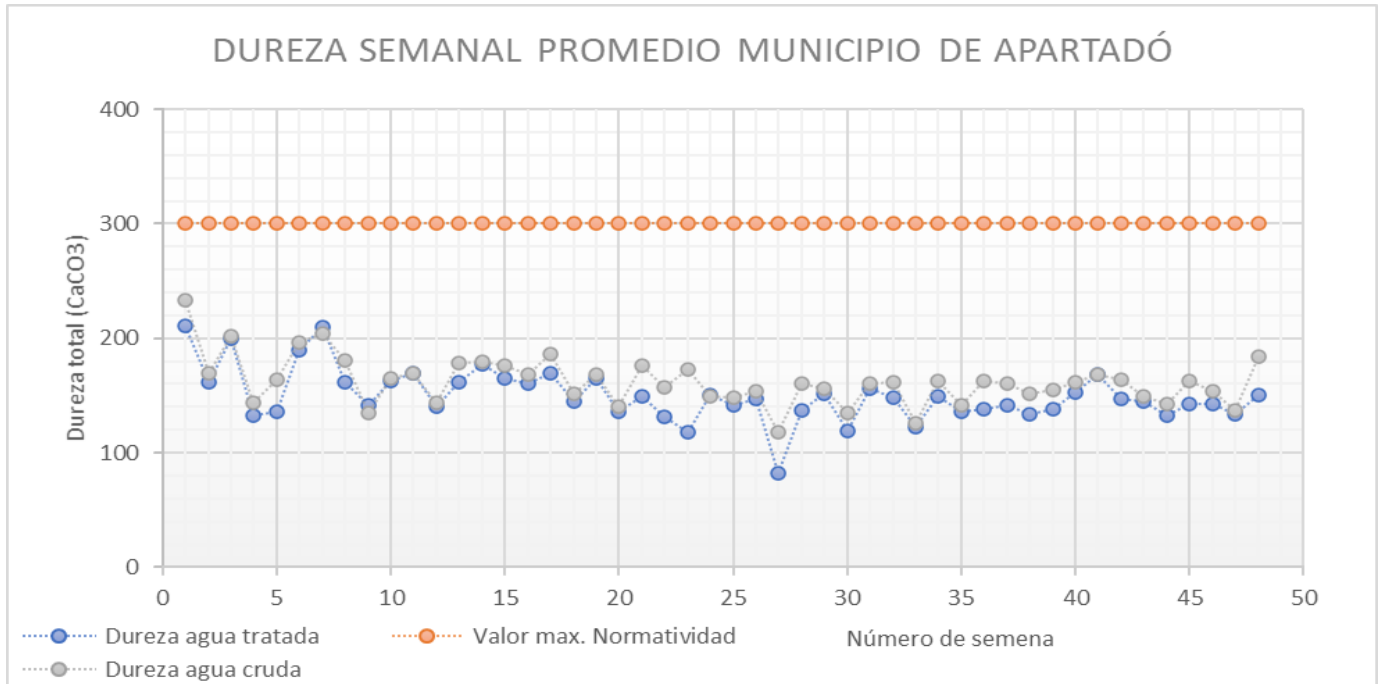
- **Color:**



Gráfica 2. Color Vs. Número de semanas. Contraste entre los colores semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

Al igual que la turbiedad, todo el año se presentó un agua de calidad dentro de la normatividad legal vigente en cuanto a este parámetro.

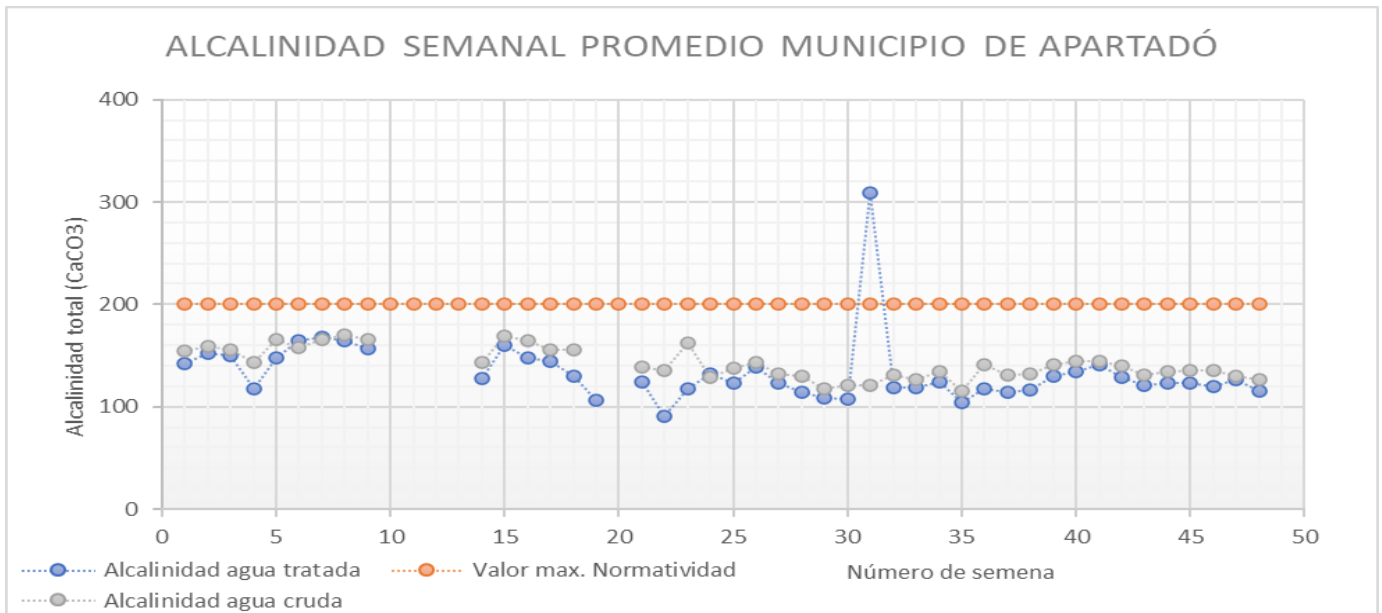
- **Dureza:**



Gráfica 3. Dureza Vs. Número de semanas. Contraste entre las durezas semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

Para el sistema de tratamiento de Apartadó también se tiene un cumplimiento durante todo el año en el parámetro de dureza, a pesar de no contar con un proceso para remoción.

- **Alcalinidad:**

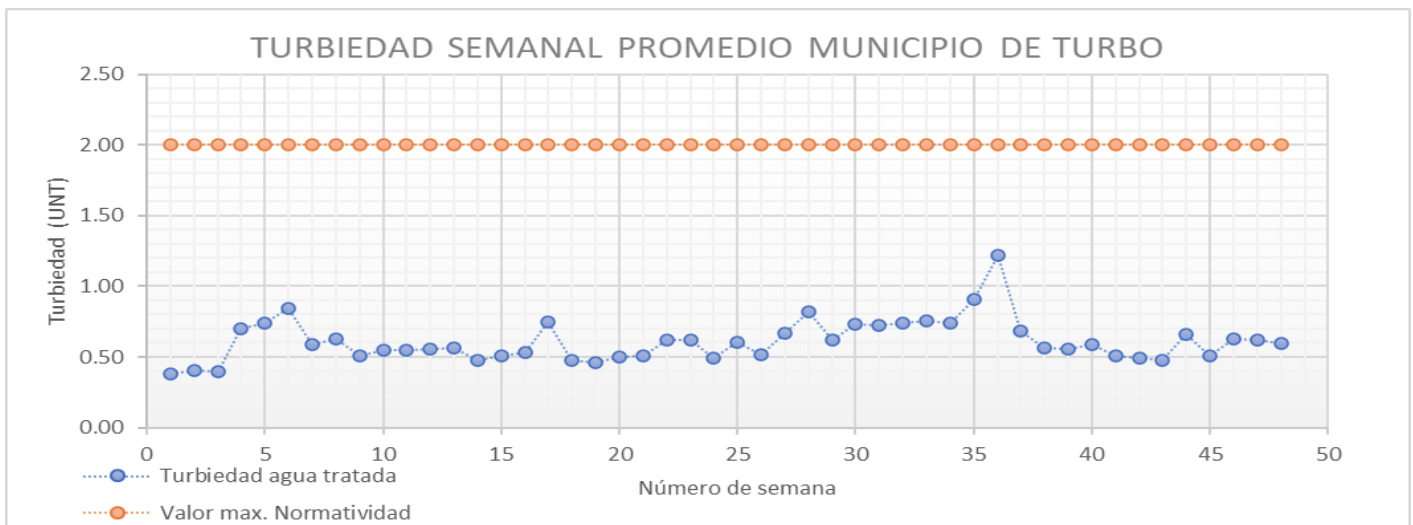


Gráfica 4. Alcalinidad Vs. Número de semanas. Contraste entre las alcalinidades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

Al igual que la dureza también este parámetro cumple con la norma a pesar de no contar con un proceso de tratamiento, a excepción de la semana 31 que sí infringió la norma.

Municipio de Turbo:

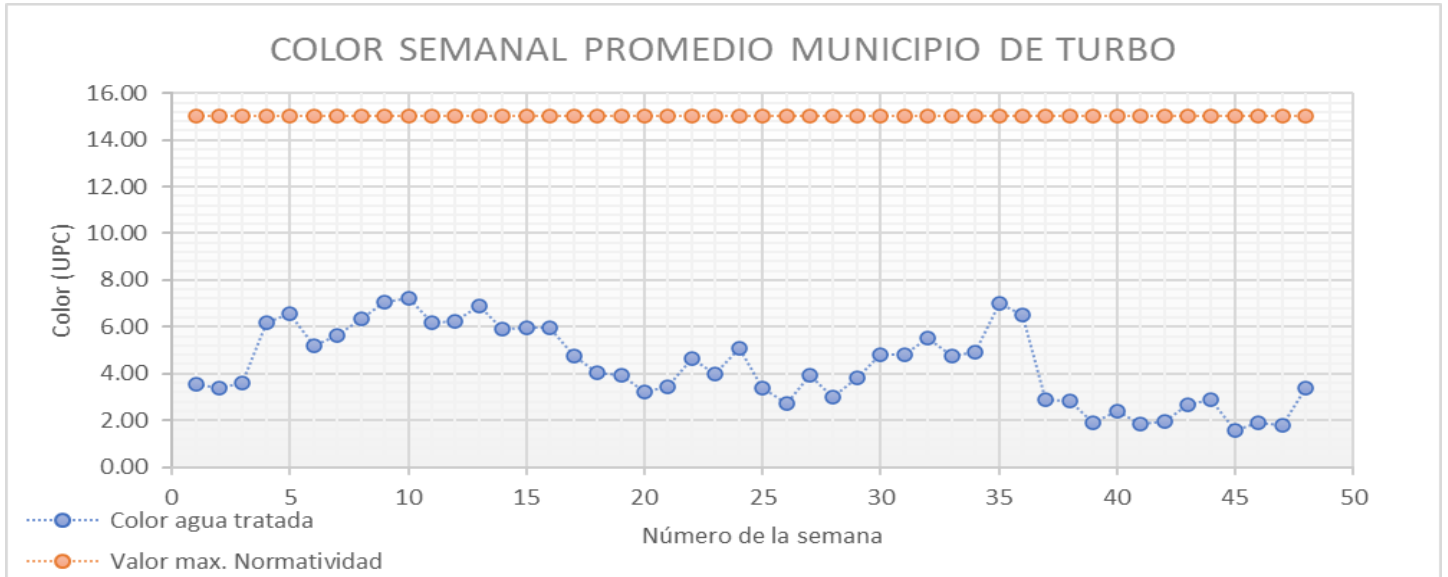
- **Turbiedad:**



Gráfica 5. Turbiedad Vs. Número de semanas. Contraste entre las turbiedades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

A pesar de ser un sistema muy complejo esta planta de tratamiento cumple con la turbiedad exigida en la normatividad legal vigente.

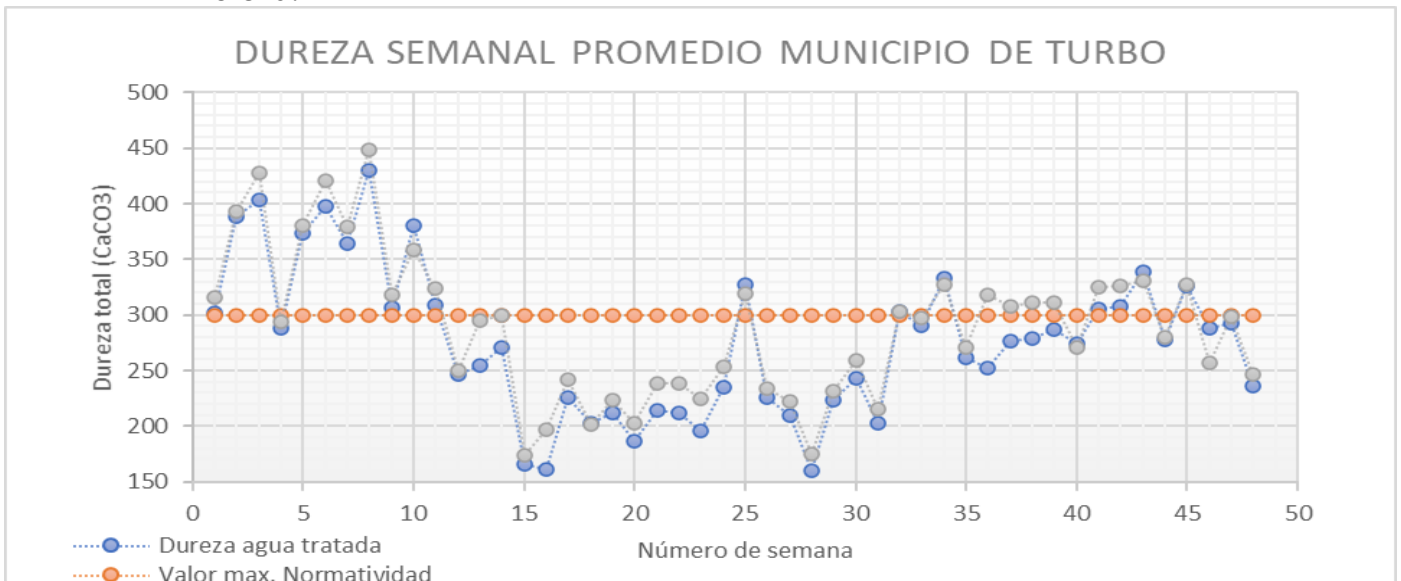
- **Color**



Gráfica 6. Color Vs. Número de semanas. Contraste entre los colores semanales promedios reportados en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

Al igual que la turbiedad el parámetro de color también cumple con los estándares exigidos en la normatividad legal vigente.

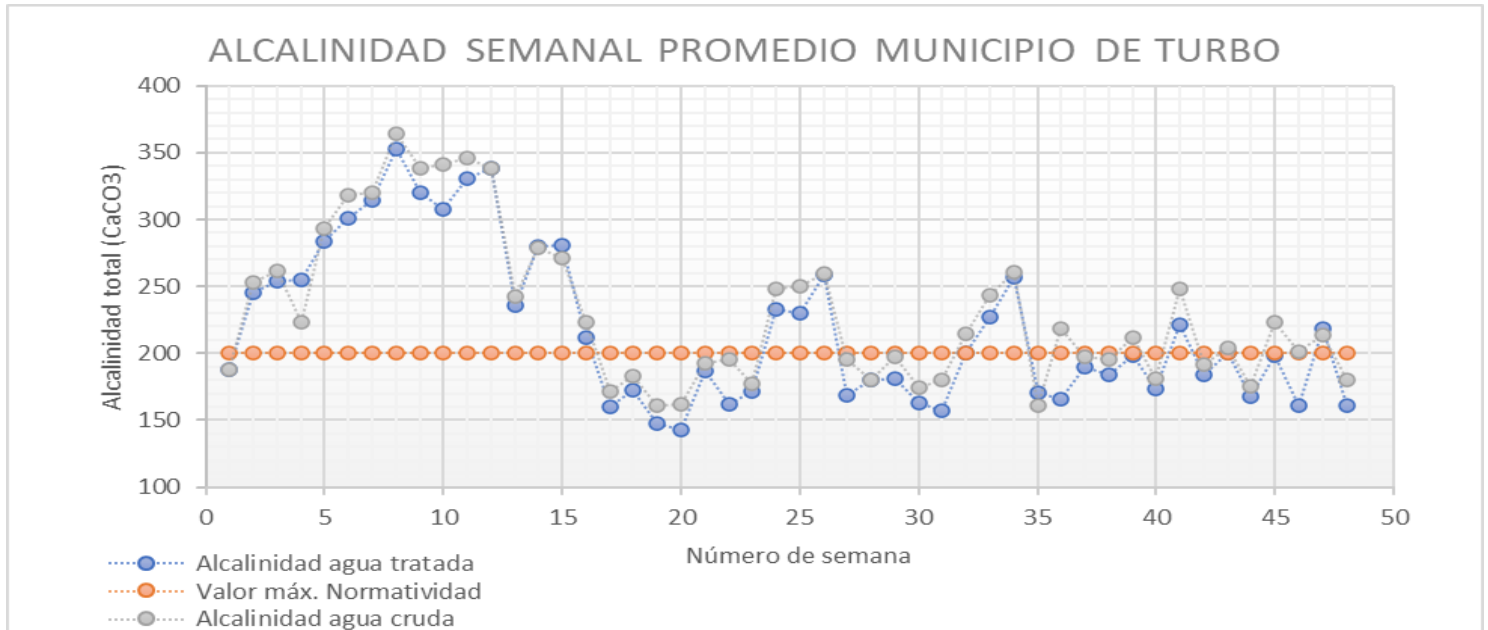
- **Dureza:**



Gráfica 7. Dureza Vs. Número de semanas. Contraste entre las durezas semanales promedios reportados en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

El sistema de Turbo en cuando a este parámetro es muy fluctuante por el uso de la fuente de captación y por la ausencia de un proceso para tratar tanto la dureza como la alcalinidad, por lo que depende de las condiciones puntuales con las que llegue el agua al afluente, comentario válido también para la alcalinidad.

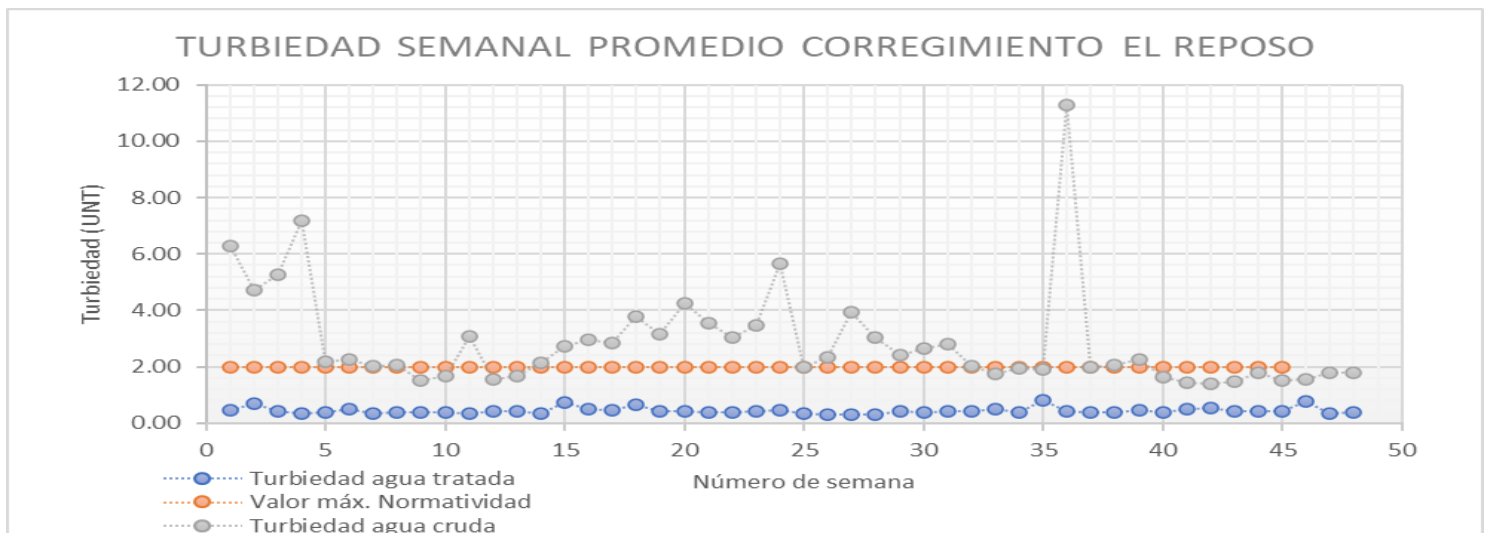
- **Alcalinidad:**



Gráfica 8. Alcalinidad Vs. Número de semanas. Contraste entre las alcalinidades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

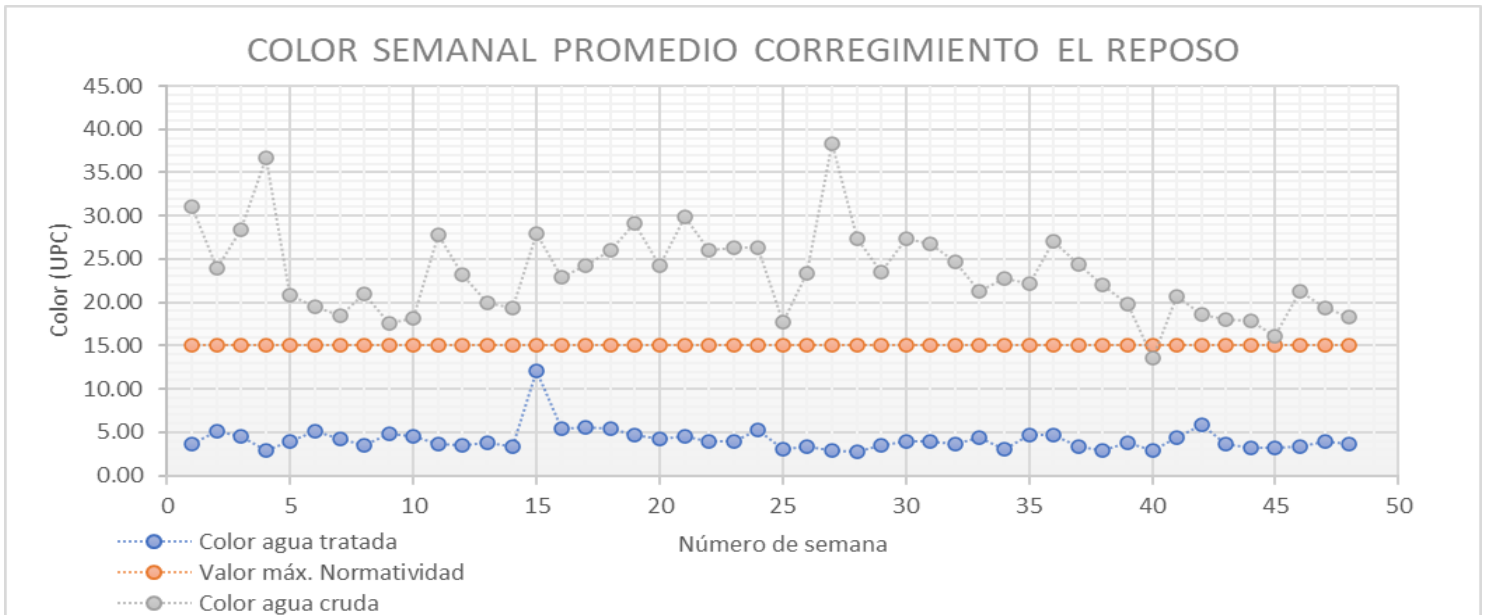
Corregimiento El Reposo:

- **Turbiedad:**



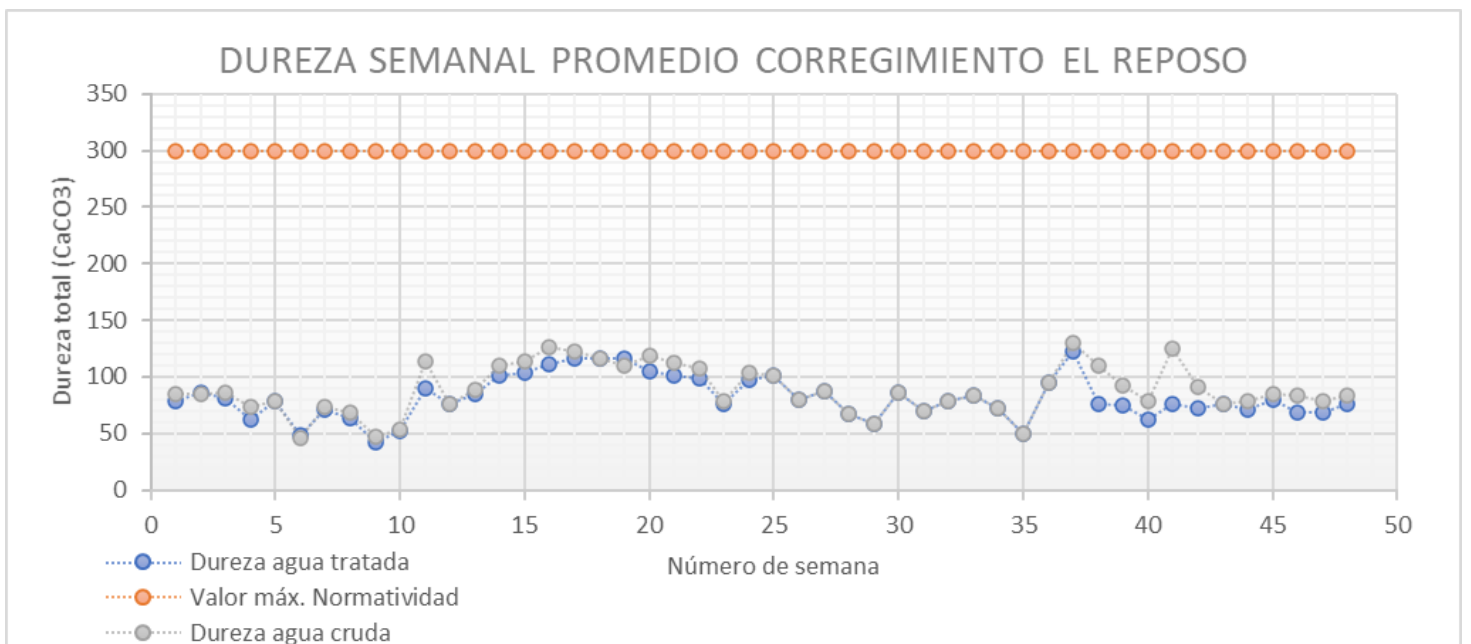
Gráfica 9. Turbiedad Vs. Número de semanas. Contraste entre las turbiedades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

- **Color:**



Gráfica 10. Color Vs. Número de semanas. Contraste entre los colores semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

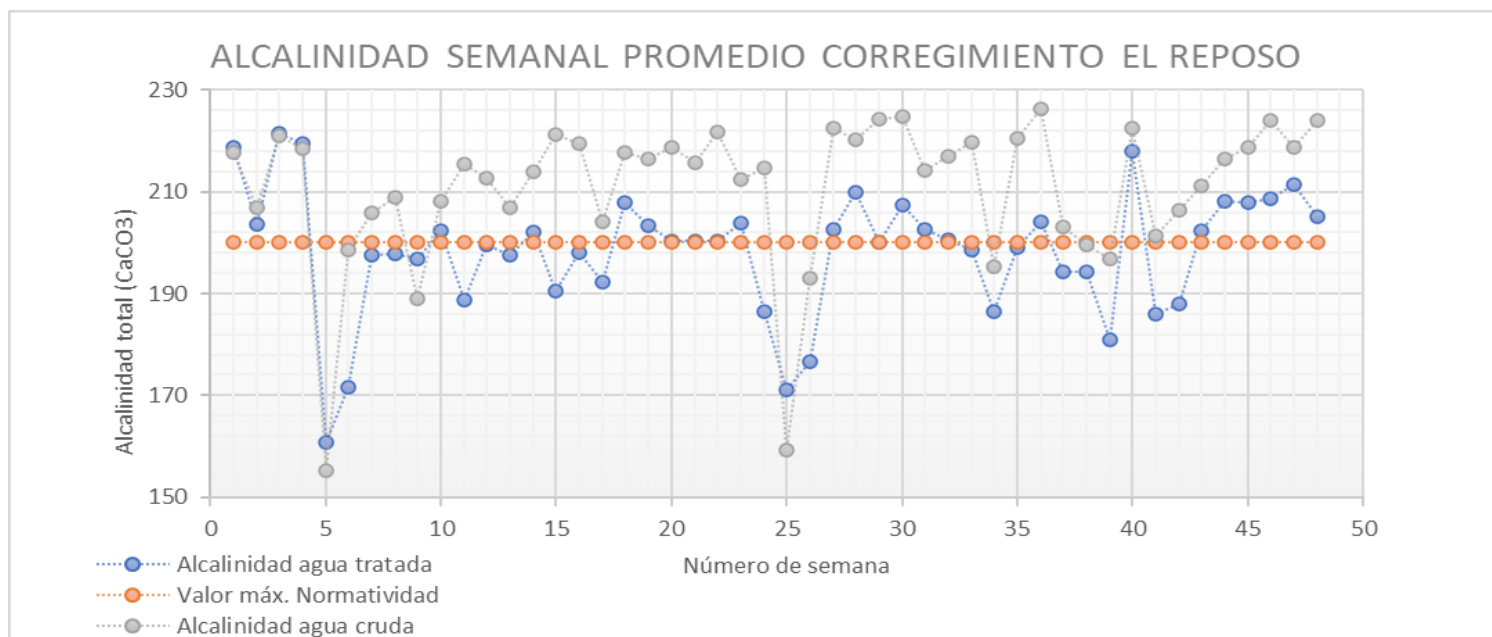
- **Dureza:**



Gráfica 11. Dureza Vs. Número de semanas. Contraste entre las durezas semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente.

Los parámetros de Turbiedad, Color y Dureza cumplen con la normatividad legal vigente.

- **Alcalinidad:**



Gráfica 12. Alcalinidad Vs. Número de semanas. Contraste entre las alcalinidades semanales promedios reportadas en el efluente de la planta y la normatividad legal vigente

Este parámetro tiene un comportamiento muy fluctuante ya que depende de las condiciones puntuales que aporte la fuente de captación en este caso para el año 2020 se evidenció que tiene un gran aporte de alcalinidad disminuyendo muy pocas veces en el año y la planta no cuenta con un tratamiento para la remoción de este parámetro.

Caudales:

Municipio de Apartadó:

Tabla 33. Resumen de resultados de caudales promedio, máximos diarios, máximos horarios y proyección de población para el municipio de Apartadó.

Caudal (L/s)	Apartadó 2020	Apartadó 2035
Promedio	234	373,2
Máximo diario	281	448
Máximo horario	351	560
Población (Habitantes)	104760	166880

El caudal promedio para 2020 calculado con una proyección de población y la dotación neta según la altura del municipio sobre el nivel del mar fue de 234 L/s, el valor del caudal promedio para el año 2020 fue de 289 L/s, cumpliendo con el valor de dotación de caudal promedio para el municipio, este valor es reportado en la plataforma de la empresa (AntSOFT) y se toma del macromedidor de caudal de la planta. El valor máximo de caudal promedio fue de 350 L/s y el mínimo 254 L/s.

Para futuras optimizaciones o expansiones del sistema hasta 2035, los caudales de diseño para la estructura de captación será hasta dos veces el caudal máximo diario o sea 896 L/s hasta 2035, para captación subterránea, desarenador, tubería de aducción, tubería de conducción y tanque de almacenamiento tendrán un caudal de diseño de 448 L/S, y la red de distribución tendrá un caudal de diseño de 560 L/s, teniendo en cuenta que esta planta fue construida en la década de los 80 y ampliada en la década de 2010, lo que concuerda con el periodo de diseño hasta 2035.

Municipio de Turbo:

Tabla 34. Resumen de resultados de caudales promedio, máximos diarios, máximos horarios y proyección de población para el municipio de Turbo.

Caudal (L/s)	Turbo 2020	Turbo 2035
Promedio	113	148
Máximo diario	136	178
Máximo horario	170	222
Población (Habitantes)	50549	65963

El caudal promedio para 2020 calculado con una proyección de población y la dotación neta según la altura del municipio sobre el nivel del mar fue de 113 L/s, el valor del caudal promedio para el año 2020 fue de 134 L/s, cumpliendo con el valor de caudal promedio de dotación para el municipio, este valor es reportado en la plataforma de la empresa (AntSOFT) y se toma del macromedidor de caudal de la planta. El valor máximo de caudal promedio fue de 165 L/s y el mínimo 46 L/s, este bajo valor lo días de época seca en los cuales el río se seca casi en su totalidad y se debe operar con las fuentes de captación subterráneas.

Para futuras optimizaciones o expansiones del sistema hasta 2035, los caudales de diseño para la estructura de captación será hasta dos veces el caudal máximo diario o sea 296 L/s hasta 2035, para captación subterránea, desarenador, tubería de aducción, tubería de conducción y tanque de almacenamiento tendrán un caudal de diseño de 178 L/S, y la red de distribución tendrá un caudal de diseño de 222 L/s, teniendo en cuenta que esta planta fue construida en la década de los 60 y no cuenta aún con un proceso de ampliación.

Corregimiento de El Reposo:

Tabla 35. Resumen de resultados de caudales promedio, máximos diarios, máximos horarios y proyección de población para el corregimiento de El Reposo.

Caudal (L/s)	El Reposo 2020	El Reposo 2035
Promedio	23	50
Máximo diario	30	60
Máximo horario	37	75
Población (Habitantes)	10026	22154

El caudal promedio para 2020 calculado con una proyección de población y la dotación neta según la altura del municipio sobre el nivel del mar fue de 23 L/s, el valor del caudal promedio para el año 2020 fue de 17 L/s, incumpliendo con el valor de caudal promedio de dotación para el municipio, este valor es reportado en la plataforma de la empresa (AntSOFT) y se toma del macromedidor de caudal de la planta, este valor puede presentar fallas debido a los censos, ya que es un corregimiento que tiende a variar su población y ese dato dependió del Sisbén nacional, El valor máximo de caudal promedio fue de 18 L/s y el mínimo 13 L/s.

Para futuras optimizaciones o expansiones del sistema hasta 2035, los caudales de diseño para la estructura de captación será hasta dos veces el caudal máximo diario o sea 120 L/s hasta 2035, para captación subterránea, desarenador, tubería de aducción, tubería de conducción y tanque de almacenamiento tendrán un caudal de diseño de 60 L/S, y la red de distribución tendrá un caudal de diseño de 75 L/s, teniendo en cuenta estos datos de caudales, se puede predecir que la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de El Reposo para 2035 ya debe contar con una ampliación o una optimización en cuanto a caudal.

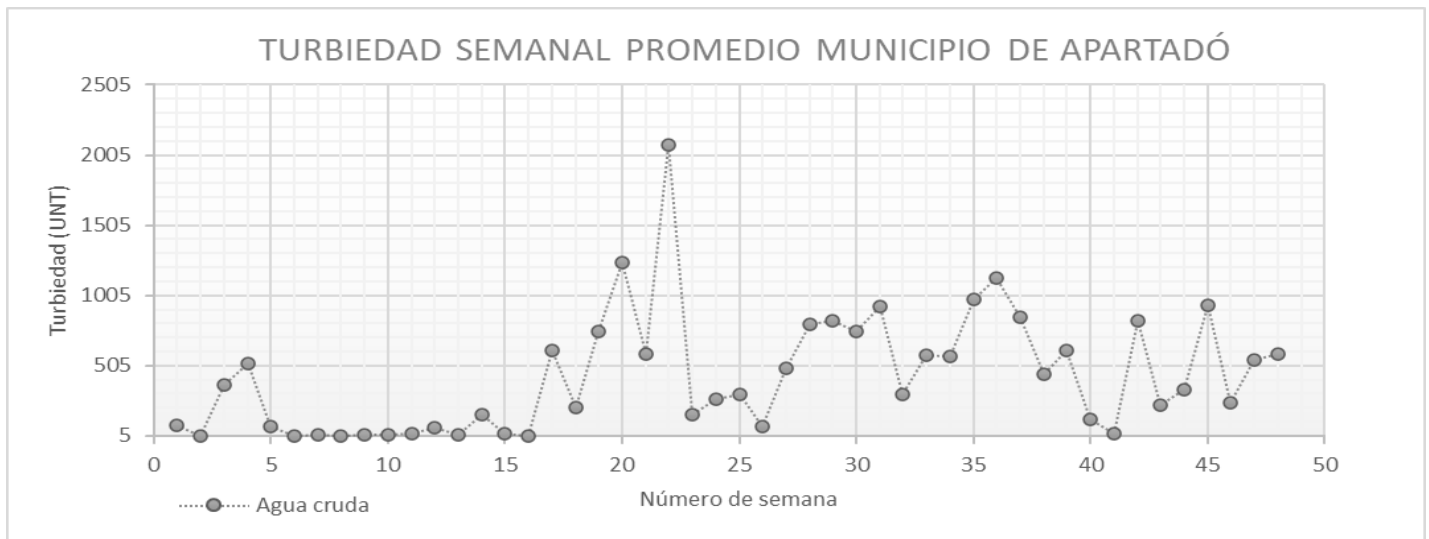
Eficiencias de remoción:

Para el tratamiento de la turbiedad, la empresa aguas regionales durante el año 2020 hizo uso del coagulante Policloruro de Aluminio 19% en las tres plantas escogidas para este estudio, además de Sulfato de Aluminio también para la planta de tratamiento de Turbo, es importante mencionar esta sustancia química ya que la eficiencia de remoción está relacionada directamente con el funcionamiento de este en el tipo de agua que llega a estos sistemas de tratamiento. La turbiedad que llega a las plantas depende de comportamientos físicos, químicos y ambientales a los cuales está sometida la fuente de captación en su área de influencia destinado a la labor de potabilización, factores como descargas aguas arriba de la bocatoma, recreación en la fuente de captación o como es lo más normal, las precipitaciones que se presentan en el área de influencia que son las que permiten un mayor arrastre de material y resuspensión

del material sedimentado en la fuente de captación, todas las anteriores son razones por las cuales la turbiedad puede aumentar requiriendo así dosis más altas para el tratamiento óptimo y así cumplir con la normatividad legal vigente en el país.

Turbiedad:

- **Municipio de Apartadó:** Para el caso de este municipio se tienen turbiedades en el agua cruda muy altas, por lo cual no se adjuntó en la gráfica en el numeral 7.1. por esta razón se muestra a continuación, para efectos de cálculos de eficiencias de remoción de turbiedad.



Gráfica 13. Turbiedad Vs. Número de semanas. Turbiedad semanal promedio en el agua cruda reportada en el sistema AntSOFT.

Para la planta de tratamiento de agua potable de Apartadó, durante el año 2020 se tuvo un consumo (aproximado) de coagulante de 215 Toneladas de Policloruro de Aluminio 19%, para la segunda parte del año tuvo turbiedades promedio semanal entre 500 y 1000 UNT lo que es un valor muy alto de turbiedad, lo que también conlleva un gran gasto de coagulante para lograr llevar el agua a una condición acorde a la normatividad legal vigente, en el caso de las turbiedades más altas hay casos en los que se llega a tratar el agua con mas de 5000 UNT inclusive llegando a turbiedades mayores a 10000 UNT, es importante mencionarlas porque son estas turbiedades las que permiten que se tengan promedios tan altos inclusive como el promedio de 2000 UNT.

Eficiencias de remoción planta de tratamiento agua potable Apartadó:

$$Eficiencia = \left(\frac{t.e - t.s}{t.e} \right) * 100\% \text{ Ecuación 11.}$$

Donde:

Eficiencia: Porcentaje de remoción entre la medición de turbiedad en el afluente y la medición de turbiedad en el efluente de la planta.

t. e: Turbiedad de entrada.

t. s: Turbiedad de salida.

Eficiencia planta de tratamiento Apartadó:

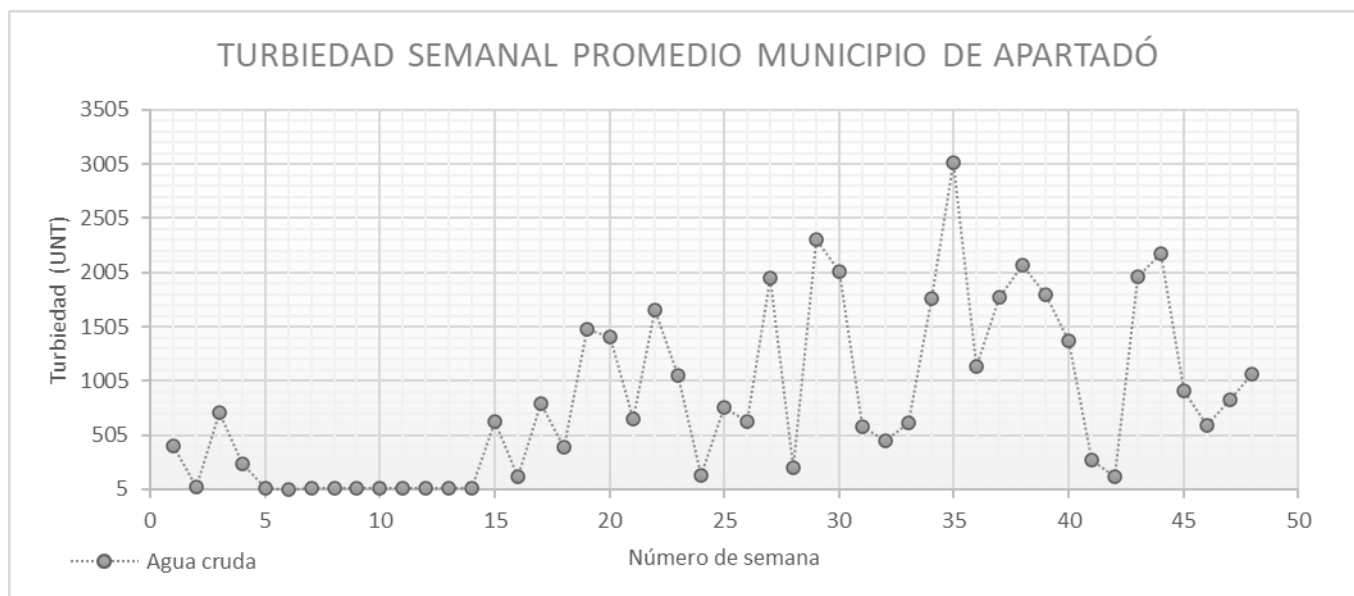
Tabla 36. Resultados de eficiencias para la remoción de turbiedad (UNT) promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Apartadó.

Planta de tratamiento de agua potable Apartadó			
Semana	Turbiedad Afluente	Turbiedad Efluente	Eficiencia
1	84	0.60	99.29%
2	7	0.60	91.70%
3	367	0.53	99.86%
4	518	0.67	99.87%
5	70	0.86	98.77%
6	6	0.57	90.87%
7	10	0.64	93.84%
8	6	0.60	90.66%
9	10	0.70	93.12%
10	10	0.80	91.63%
11	17	0.59	96.53%
12	59	0.41	99.32%
13	9	0.32	96.64%
14	153	0.64	99.58%
15	19	0.38	97.98%
16	7	0.35	95.31%
17	611	0.67	99.89%
18	205	0.62	99.70%
19	749	0.47	99.94%
20	1238	0.47	99.96%
21	584	0.63	99.89%
22	2078	0.57	99.97%
23	160	0.75	99.53%
24	264	0.65	99.75%
25	301	0.69	99.77%
26	68	0.65	99.04%
27	486	0.72	99.85%
28	802	0.86	99.89%
29	822	0.52	99.94%
30	748	0.67	99.91%
31	924	0.53	99.94%
32	297	1.06	99.64%
33	576	0.77	99.87%
34	569	0.71	99.88%
35	981	0.46	99.95%
36	1128	0.58	99.95%
37	854	0.99	99.88%
38	447	0.74	99.83%
39	617	0.78	99.87%
40	126	0.58	99.54%
41	21	0.52	97.52%
42	824	1.53	99.81%
43	222	0.80	99.64%
44	337	0.49	99.86%
45	932	0.73	99.92%
46	242	0.44	99.82%
47	548	0.54	99.90%
48	587	0.58	99.90%

Las eficiencias de remoción de turbiedad para la planta de tratamiento del municipio de Apartadó son excelentes, esto debido a que a turbiedades altas la interacción y funcionamiento del coagulante es óptimo y se acerca a las condiciones ideales en las cuales químicamente presenta sus mejores resultados, las eficiencias de remoción están por encima del 90%, lo que indica que las dosificaciones son óptimas por parte de los operadores y además se cumple con la política interna de que en el efluente de la planta la turbiedad sea menor a 1 UNT.

Esta planta presenta tan buenos resultados debido a que en su proceso de presedimentación se pre coagula también lo que permite una remoción desde el principio del proceso de potabilización por lo que se permite trabajar con turbiedades de más de 10000 UNT y en el efluente tener agua dentro de la normatividad.

- **Municipio de Turbo:** Para el caso de este municipio se tienen turbiedades en el agua cruda muy altas, por lo cual no se adjuntó en la gráfica en el numeral 7.2. por esta razón se muestra a continuación, para efectos de cálculos de eficiencias de remoción de turbiedad.



Gráfica 14. Turbiedad Vs. Número de semanas. Turbiedad semanal promedio en el agua cruda reportada en el sistema AntSOFT.

Para la planta de tratamiento de agua potable de Apartadó, durante el año 2020 se tuvo un consumo (aproximado) de coagulante de 192 Toneladas de Policloruro de Aluminio 19%, para la semana 15 del año tuvo turbiedades promedio semanal entre 500 y 2000 UNT lo que es un valor muy alto de turbiedad, lo que también conlleva un gran gasto de coagulante para lograr llevar el agua a una condición acorde a la normatividad legal vigente, en el caso de las turbiedades más altas hay casos en los que se llega a tratar el agua con más de 5000 UNT i, es importante mencionarlás porque son estas turbiedades las que permiten que se tengan promedios tan altos inclusive como el promedio de 3000 UNT.

Eficiencia planta de tratamiento Turbo:

Tabla 37. Resultados de eficiencias para la remoción de turbiedad promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Turbo.

Planta de tratamiento de agua potable Turbo			
Semana	Turbiedad Afluente	Turbiedad Efluente	Eficiencia
1	406	0.38	99.91%
2	28	0.40	98.58%
3	709	0.40	99.94%
4	236	0.70	99.70%
5	19	0.74	96.18%
6	8	0.85	88.79%
7	11	0.59	94.59%
8	11	0.63	94.19%
9	11	0.51	95.48%
10	12	0.54	95.55%
11	12	0.55	95.46%
12	12	0.56	95.19%
13	10	0.57	94.52%
14	11	0.48	95.77%
15	636	0.50	99.92%
16	125	0.53	99.57%
17	798	0.75	99.91%
18	390	0.48	99.88%
19	1481	0.46	99.97%
20	1406	0.50	99.96%
21	655	0.51	99.92%
22	1656	0.62	99.96%
23	1055	0.62	99.94%
24	139	0.50	99.64%
25	761	0.60	99.92%
26	627	0.52	99.92%
27	1958	0.67	99.97%
28	203	0.82	99.60%
29	2304	0.62	99.97%
30	2019	0.74	99.96%
31	580	0.73	99.87%
32	457	0.74	99.84%
33	623	0.76	99.88%
34	1771	0.74	99.96%
35	3015	0.91	99.97%
36	1142	1.22	99.89%
37	1782	0.68	99.96%
38	2073	0.56	99.97%
39	1796	0.56	99.97%
40	1379	0.58	99.96%
41	281	0.51	99.82%
42	121	0.49	99.59%
43	1973	0.47	99.98%
44	2185	0.66	99.97%
45	909	0.51	99.94%
46	596	0.63	99.89%
47	835	0.62	99.93%
48	1073	0.60	99.94%

Las eficiencias de remoción de turbiedad para la planta de tratamiento del municipio de Turbo son excelentes, esto debido a que a turbiedades altas la interacción y funcionamiento del coagulante es óptimo y se acerca a las condiciones ideales en las cuales químicamente presenta sus mejores resultados, las eficiencias de remoción están por encima del 90%.

- **Corregimiento de El Reposo:**

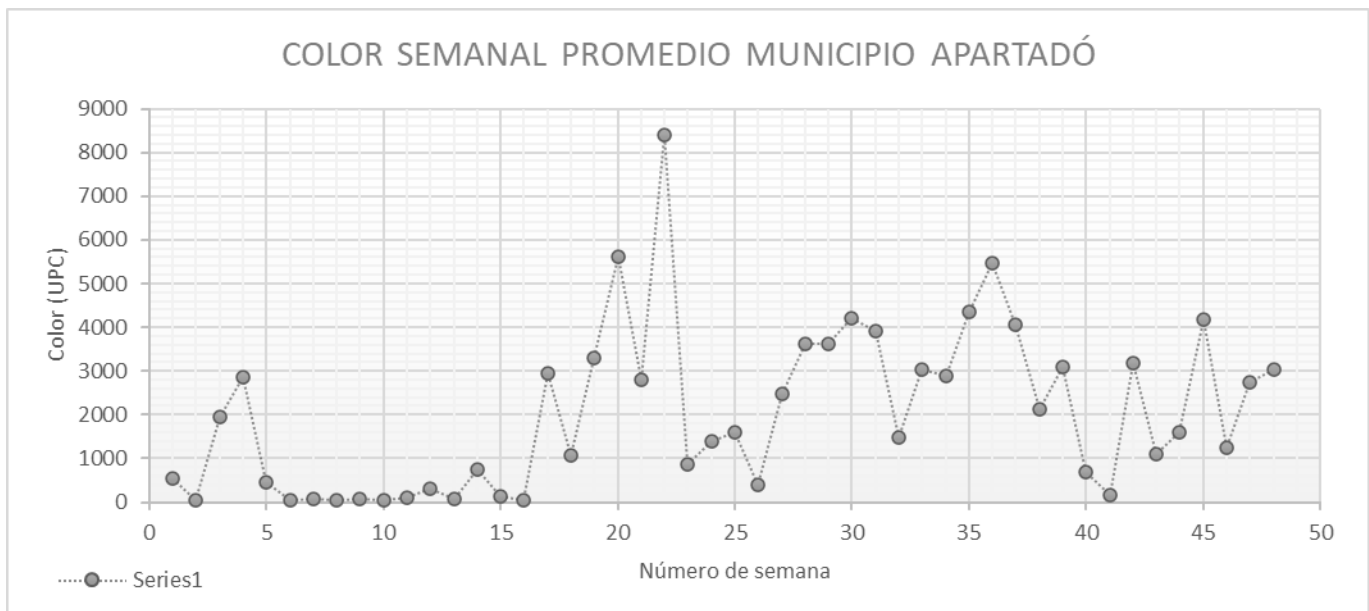
Tabla 38. Resultados de eficiencias para la remoción de turbiedad promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable El Reposo.

Planta de tratamiento de agua potable El Reposo			
Semana	Turbiedad Afluente (UNT)	Turbiedad Efluente (UNT)	Eficiencia
1	6.27	0.46	92.66%
2	4.72	0.68	85.54%
3	5.27	0.41	92.21%
4	7.19	0.34	95.29%
5	2.17	0.38	82.30%
6	2.24	0.49	78.36%
7	2.02	0.36	82.07%
8	2.05	0.39	80.76%
9	1.51	0.38	74.77%
10	1.69	0.39	77.01%
11	3.06	0.34	89.06%
12	1.56	0.41	73.94%
13	1.67	0.43	74.36%
14	2.16	0.36	83.56%
15	2.75	0.74	72.95%
16	2.97	0.49	83.54%
17	2.84	0.45	84.07%
18	3.79	0.65	82.86%
19	3.17	0.43	86.37%
20	4.24	0.41	90.39%
21	3.55	0.40	88.79%
22	3.04	0.39	87.06%
23	3.46	0.43	87.62%
24	5.65	0.47	91.72%
25	1.98	0.33	83.53%
26	2.32	0.31	86.87%
27	3.92	0.30	92.29%
28	3.06	0.30	90.11%
29	2.43	0.41	83.24%
30	2.65	0.37	86.21%
31	2.79	0.42	85.11%
32	2.03	0.42	79.55%
33	1.77	0.48	72.66%
34	1.97	0.39	79.96%
35	1.89	0.81	57.27%
36	11.30	0.44	96.14%
37	1.99	0.39	80.42%
38	2.08	0.37	82.00%
39	2.27	0.45	80.03%
40	1.61	0.40	75.22%
41	1.45	0.52	64.43%
42	1.40	0.55	61.14%
43	1.47	0.41	72.04%
44	1.78	0.40	77.34%
45	1.53	0.41	73.03%
46	1.57	0.79	50.04%
47	1.81	0.35	80.76%
48	1.80	0.38	78.79%

Las eficiencias de remoción de turbiedad para la planta de tratamiento del corregimiento de El Reposo son excelentes, quizá no son tan impactantes como las de las dos otras plantas ya que las turbiedades que aporta la fuente de captación subterránea son muy bajas, por lo que algunas eficiencias son bajas, pero si se analiza las turbiedades del efluente están por debajo de 1 UNT lo que es un valor excelente al compararlo con la normatividad legal vigente.

Eficiencia de remoción de color:

- Apartadó:



Gráfica 15. Color Vs Número de semana. Color promedio en el agua cruda planta de tratamiento municipio de Apartadó.

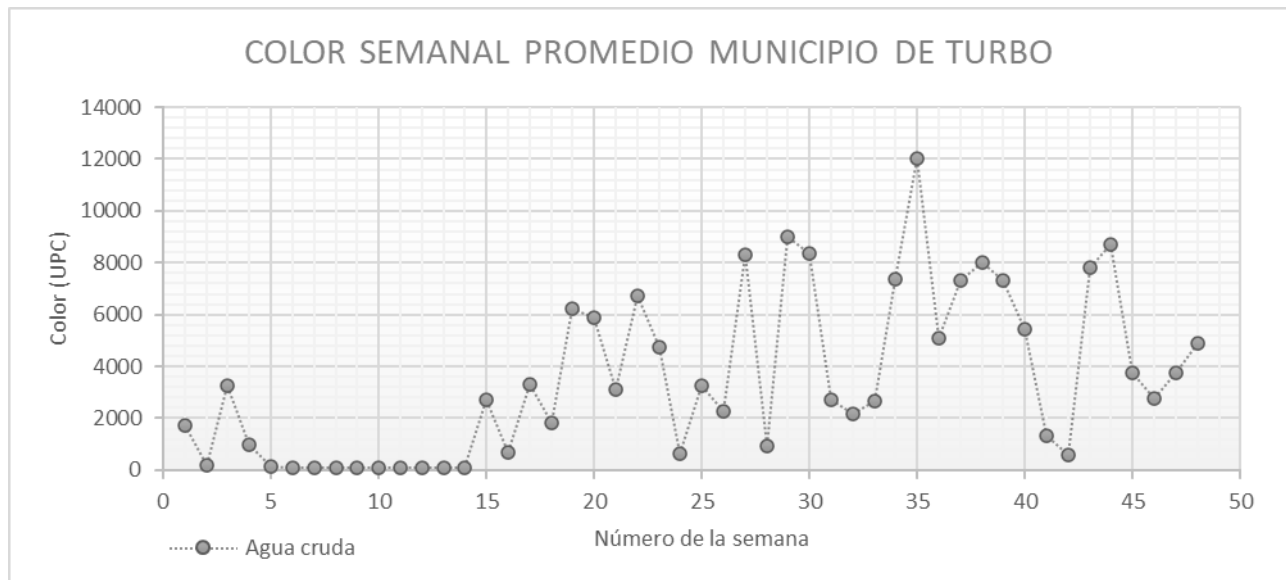
Se obtuvo mediciones promedio de color fluctuantes para el sistema, teniendo desde colores bajos a colores muy altos, a partir de mayo se evidenciaron los valores más altos indicando que la época seca en la zona terminó, razón del cambio de características del agua en la fuente de captación por las razones antrópicas y naturales ya explicadas, como las lluvias que permiten la resuspensión del material sedimentado y el arrastre de material en la fuente de captación, para este caso el color si se debe en su mayoría a las turbiedades tan altas presentadas en el sistema.

Tabla 39. Resultados de eficiencias para la remoción de color promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Apartadó.

Planta de tratamiento de agua potable Apartadó			
Semana	Color afluente	Color efluente	Eficiencia
1	529	2.67	99.50%
2	34	2.03	94.05%
3	1954	2.02	99.90%
4	2865	2.61	99.91%
5	462	3.90	99.16%
6	42	4.10	90.26%
7	63	2.64	95.83%
8	45	4.66	89.69%
9	64	4.11	93.60%
10	55	3.00	94.59%
11	91	4.19	95.41%
12	311	5.79	98.14%
13	66	2.31	96.51%
14	745	3.16	99.58%
15	134	2.50	98.14%
16	55	3.63	93.42%
17	2947	3.15	99.89%
18	1066	2.60	99.76%
19	3288	2.50	99.92%
20	5625	2.55	99.95%
21	2806	2.37	99.92%
22	8387	2.23	99.97%
23	873	3.96	99.55%
24	1387	3.66	99.74%
25	1588	3.34	99.79%
26	407	3.96	99.03%
27	2489	4.90	99.80%
28	3625	5.11	99.86%
29	3632	4.17	99.89%
30	4200	2.00	99.95%
31	3903	2.02	99.95%
32	1479	3.24	99.78%
33	3032	4.00	99.87%
34	2897	2.61	99.91%
35	4343	1.77	99.96%
36	5470	2.14	99.96%
37	4072	3.34	99.92%
38	2124	2.58	99.88%
39	3101	1.54	99.95%
40	700	1.99	99.72%
41	165	2.49	98.49%
42	3192	3.21	99.90%
43	1090	2.32	99.79%
44	1601	1.45	99.91%
45	4183	3.25	99.92%
46	1243	2.60	99.79%
47	2745	3.18	99.88%
48	3028	2.76	99.91%

Las eficiencias de remoción de color para la planta de tratamiento del municipio de Apartadó son excelentes, esto debido a que a turbiedades altas la interacción y funcionamiento del coagulante es óptimo y se acerca a las condiciones ideales en las cuales químicamente presenta sus mejores resultados, las eficiencias de remoción están por encima del 90%, además demostrando un buen funcionamiento del proceso de filtración que retiene los coloides causantes de que se produzca color en el agua en el efluente de la planta.

- **Turbo:**



Gráfica 16. Color Vs Número de semana. Color promedio en el agua cruda planta de tratamiento municipio de Turbo.

Se obtuvo mediciones promedio de color fluctuantes para el sistema, teniendo desde colores bajos a colores muy altos, a partir de mayo se evidenciaron los valores más altos indicando que la época seca en la zona terminó, razón del cambio de características del agua en la fuente de captación por las razones antrópicas y naturales ya explicadas, como las lluvias que permiten la resuspensión del material sedimentado y el arrastre de material en la fuente de captación, para este caso el color si se debe en su mayoría a las turbiedades tan altas presentadas en el sistema.

Tabla 40. Resultados de eficiencias para la remoción de color promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable Turbo.

Planta de tratamiento de agua potable Turbo			
Semana	Color afluente	Color efluente	Eficiencia
1	1734	3.56	99.79%
2	176	3.40	98.07%
3	3266	3.62	99.89%
4	961	6.18	99.36%
5	128	6.59	94.85%
6	70	5.21	92.60%
7	82	5.62	93.18%
8	92	6.36	93.11%
9	90	7.07	92.18%
10	96	7.25	92.48%
11	96	6.16	93.60%
12	95	6.21	93.48%
13	89	6.89	92.27%
14	95	5.91	93.80%
15	2694	5.94	99.78%
16	669	5.95	99.11%
17	3305	4.77	99.86%
18	1836	4.06	99.78%
19	6232	3.96	99.94%
20	5891	3.20	99.95%
21	3123	3.43	99.89%
22	6740	4.62	99.93%
23	4729	4.01	99.92%
24	646	5.07	99.22%
25	3251	3.35	99.90%
26	2269	2.74	99.88%
27	8327	3.92	99.95%
28	936	2.97	99.68%
29	8999	3.84	99.96%
30	8357	4.78	99.94%
31	2719	4.81	99.82%
32	2180	5.53	99.75%
33	2648	4.77	99.82%
34	7351	4.93	99.93%
35	12033	6.99	99.94%
36	5081	6.53	99.87%
37	7332	2.90	99.96%
38	7989	2.82	99.96%
39	7307	1.89	99.97%
40	5440	2.38	99.96%
41	1349	1.87	99.86%
42	579	1.96	99.66%
43	7820	2.68	99.97%
44	8701	2.86	99.97%
45	3745	1.56	99.96%
46	2759	1.88	99.93%
47	3762	1.78	99.95%
48	4900	3.40	99.93%

Las eficiencias de remoción de color para la planta de tratamiento del municipio de Turbo son excelentes, esto debido a que a turbiedades altas la interacción y funcionamiento del coagulante es óptimo y se acerca a las condiciones ideales en las cuales químicamente presenta sus mejores resultados, las eficiencias de remoción están por encima del 90%, además demostrando un buen funcionamiento del proceso de filtración que retiene los coloides causantes de que se produzca color en el agua en el efluente de la planta, en esta planta cuando se habilitan las fuentes de captación subterránea también se dosifica soda cáustica en la sedimentación para aumentar el pH lo que hace que el manganeso no esté en solución en el agua y pueda ser retenido en el proceso de filtración.

- **El Reposo:**

Tabla 41. Resultados de eficiencias para la remoción de color promedio semanal en la planta de tratamiento de agua potable El Reposo.

Planta de tratamiento de agua potable El Reposo			
Semana	Color afluente (UPC)	Color efluente (UPC)	Eficiencia
1	31.07	3.66	88.22%
2	23.92	5.06	78.83%
3	28.43	4.49	84.20%
4	36.64	2.93	92.00%
5	20.78	3.90	81.22%
6	19.53	5.07	74.03%
7	18.47	4.25	77.00%
8	21.02	3.52	83.27%
9	17.55	4.87	72.27%
10	18.20	4.46	75.48%
11	27.75	3.63	86.91%
12	23.25	3.55	84.75%
13	19.95	3.74	81.25%
14	19.34	3.41	82.36%
15	27.93	12.04	56.90%
16	22.95	5.40	76.47%
17	24.32	5.54	77.21%
18	26.08	5.48	78.97%
19	29.19	4.62	84.19%
20	24.32	4.23	82.60%
21	29.82	4.53	84.82%
22	26.04	3.87	85.14%
23	26.36	4.00	84.82%
24	26.35	5.34	79.73%
25	17.67	3.01	82.95%
26	23.39	3.30	85.90%
27	38.29	2.83	92.60%
28	27.33	2.70	90.12%
29	23.46	3.48	85.15%
30	27.31	4.00	85.35%
31	26.77	4.00	85.05%
32	24.63	3.65	85.19%
33	21.30	4.36	79.55%
34	22.73	3.08	86.47%
35	22.14	4.63	79.11%
36	27.12	4.61	83.00%
37	24.47	3.38	86.21%
38	21.96	2.88	86.91%
39	19.74	3.72	81.15%
40	13.52	2.93	78.30%
41	20.66	4.43	78.57%
42	18.61	5.87	68.44%
43	18.01	3.61	79.97%
44	17.91	3.13	82.55%
45	16.12	3.18	80.25%
46	21.30	3.31	84.48%
47	19.36	3.87	80.02%
48	18.37	3.67	80.01%

Las eficiencias de remoción de color para la planta de tratamiento del corregimiento de El Reposo son excelentes, quizá no sean tan impactantes como las de las otras dos plantas, pero en este sistema de tratamiento cabe recordar que es una fuente de captación subterránea y su color está dado por la presencia de Manganeseo en el agua cruda, para tratarlo se hace una precloración antes de la coagulación y floculación, y en sedimentación se realiza un aumento de pH con Soda caustica para que la reacción química genere que el Manganeseo ya no este solubilizado y quede retenido en los filtros, teniendo en cuenta lo anterior estas eficiencias son muy buenas y en general el color se mantiene por debajo de 5 UPC un valor más que aceptable.

Recomendaciones:

- Realizar los chequeos para caudal promedio, caudal máximo diario y caudal máximo horario para los demás sistemas operados, esto ayudará a la planificación de optimizaciones y/o ampliaciones de las plantas en un orden correcto de necesidades.
- En el caso de la planta de tratamiento de agua potable de Turbo presenta excelentes eficiencias de remoción, pero se puede disminuir el consumo de químicos si se optimiza el proceso de floculación.
- Chequear los tiempos de retención hidráulicos de las unidades de las plantas, esto ayudará a que la simulación en el test de jarras sea más cercana a las condiciones actuales verdaderas de funcionamiento de las plantas de tratamiento, se realizó la medición con Sal muera y un conductímetro, los resultados para la **Planta de tratamiento Apartadó** fueron:

Mezcla rápida: 1 minuto

Floculación: 25 minutos

Sedimentación: 20 minutos

Para la planta de tratamiento El Reposo:

Mezcla rápida: 1 minuto

Floculación: 3 minutos

Sedimentación: 20 minutos

Ensayo polímeros aniónicos planta de tratamiento de agua potable El Reposo:

Con el fin de disminuir los costos en cuanto a químicos de la planta de tratamiento de agua potable del reposo se realizó un ensayo con polímeros aniónicos con el fin de analizar su comportamiento y comparándolo con el coagulante que actualmente se usa en las plantas, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 42. Caracterización inicial ensayos con polímeros aniónicos.

ENSAYO POLÍMEROS ANIÓNICOS		
Caracterización Inicial		Unidades
Color	164	UPC
Turbiedad	8.64	UNT
pH	7.4	Und. pH
Manganeso	0.484	mg/L Mn
Hierro	7.8	mg/L Fe

Tabla 43. Resultados polímero LT 27 Solenis.

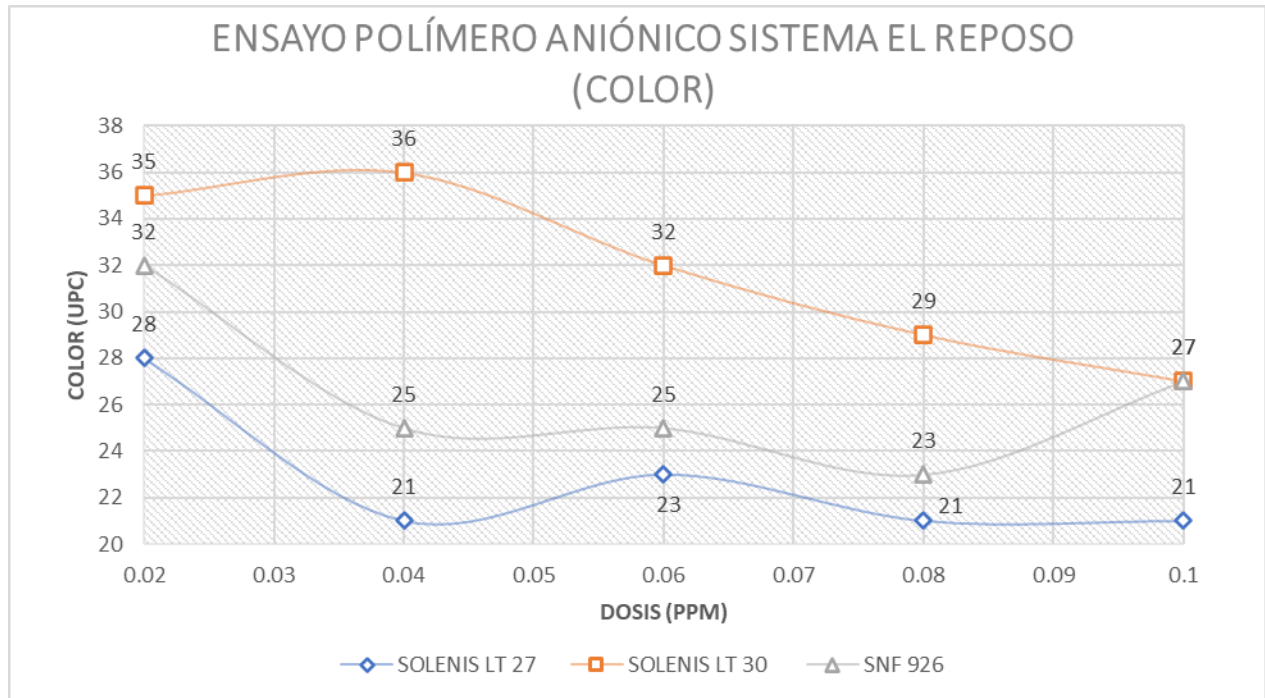
Polímero LT 27 SOLENIS	Unidades / Dosis PPM	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
Color	UPC	28	21	23	21	21
Turbiedad	UNT	0.83	0.34	0.58	0.4	0.41
pH	Und. pH					
Manganeso	mg/L Mn		0.312			
Hierro	mg/L Fe		0.3			

Tabla 44. Resultados polímero LT 30 Solenis.

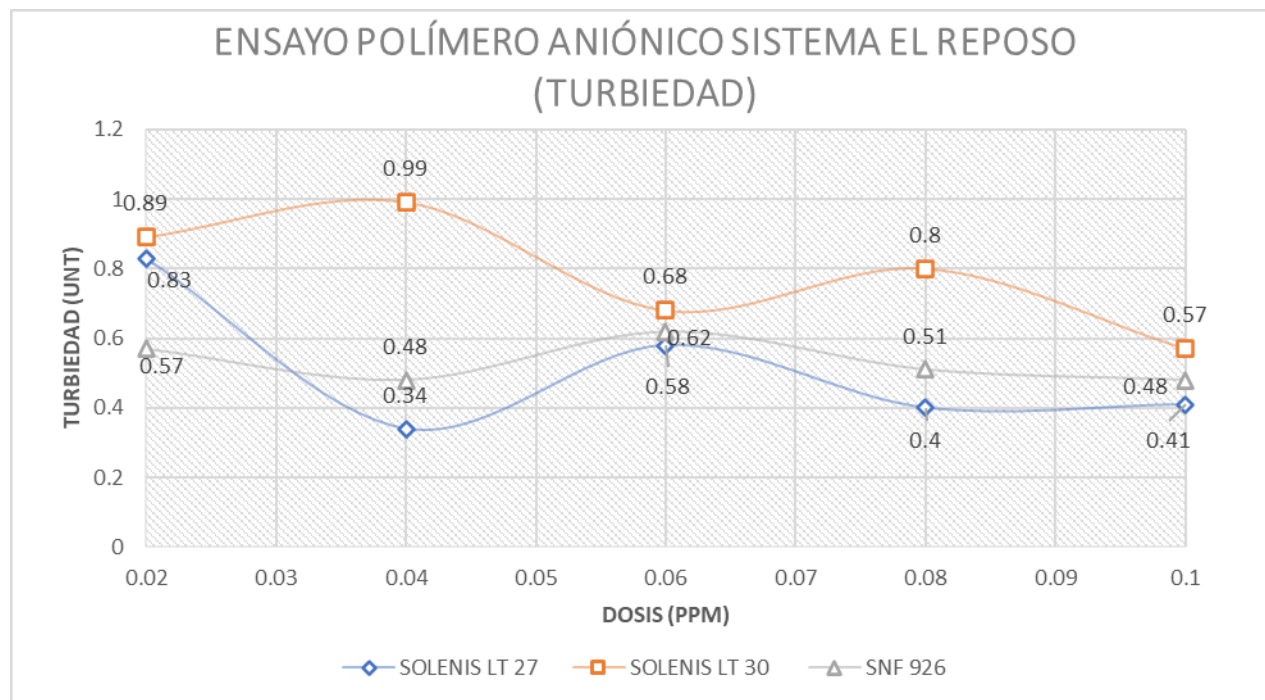
Polímero LT 30 SOLENIS	Unidades / Dosis PPM	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
Color	UPC	35	36	32	29	27
Turbiedad	UNT	0.89	0.99	0.68	0.8	0.57
pH	Und. pH					
Manganeso	mg/L Mn					0.324
Hierro	mg/L Fe					0.69

Tabla 45. Resultados polímero SNF 926.

Polímero SNF 926	Unidades / Dosis PPM	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
Color	UPC	32	25	25	23	27
Turbiedad	UNT	0.57	0.48	0.62	0.51	0.48
pH	Und. pH					
Manganeso	mg/L Mn		0.36			
Hierro	mg/L Fe		0.54			



Gráfica 17. Registro de mediciones de color en ensayo de polímeros aniónicos planta de tratamiento de El Reposo.



Gráfica 18. Registro de mediciones de turbiedad en ensayo de polímeros aniónicos planta de tratamiento de El Reposo.

Los resultados fueron satisfactorios en cuanto a remoción de color y turbiedad, inicialmente presenta una remoción de turbiedad excelente, dejando las turbiedades por debajo de 1 UNT utilizando dosis de 0.1 PPM una dosis baja si se piensa a futuro dosificar solo el polímero, por el momento puede ser un ayudante para el coagulante dosificado, siendo así un ayudante la dosis puede ser inclusive menor.

Conclusiones:

- En cuanto a caudales de demanda (promedio) y a caudales de diseño (máximo diario y máximo horario) las plantas se encuentran dentro de lo requerido por el reglamento interno de saneamiento básico (RAS) hasta el año 2020, en el caso de la planta de tratamiento de agua potable de Apartadó está dentro de los lineamientos hasta el 2035, el caso de la planta de Turbo es importante revisarlo ya que necesita una optimización o ampliación, al igual que la planta de tratamiento de agua potable del corregimiento del Reposo que presenta una tasa de crecimiento poblacional alta la cual debe ser ampliada antes de 2035 según los cálculos de este estudio, es importante realizar estos mismos cálculos para todas las plantas operadas para planear de forma coherente las optimizaciones y/o ampliaciones de los sistemas de acuerdo a las necesidades a futuro.
- En cuanto al cumplimiento de la resolución 2115 del 2017 en los parámetros de Turbiedad y Color los tres sistemas cumplen, sus mediciones están por debajo de los límites permitidos de 2 UNT para turbiedad 15 UPC para el color.
- En cuanto al cumplimiento de la resolución 2115 de 2017 en los parámetros de Dureza y Alcalinidad si se evidencian fallas en el cumplimiento, esto debido a las características naturales de las fuentes de captación y también en la relación costo-beneficio de planear un sistema o una unidad para el tratamiento de estos parámetros, ahí entran los costos de esto versus el castigo bajo al no cumplir con la resolución que se evidencia en el puntaje correspondiente del IRCA que es casi nulo para estos parámetros.

- Es importante ajustar los test de jarras a los tiempos de retención hidráulicos medidos y expuestos en este trabajo, esto permitirá un acercamiento a las condiciones actuales de la planta y así poder encontrar las dosis más acertadas encontrado así más eficiencia y menos gastos.
- En cuanto a la implementación de polímero en la planta de tratamiento de agua potable de El Reposo es viable, se debe dosificar primero como ayudante, la dosis puede estar por debajo de 0.1 PPM dentro de los polímeros probados en el ensayo, esto a futuro es un gran ahorro de costos debido a que secuencialmente se puede incrementar la dosis de polímero y de igual manera disminuir la dosis de coagulante hasta encontrar un punto de mayor dosificación de polímero que de coagulante.
- Los parámetros no expuestos en este trabajo como es el caso del pH, es muy estable en el tiempo y en la zona, en los datos revisados en la plataforma de información de la empresa se evidencia su estabilidad por lo cual no se consideró necesario hacerle un estudio a fondo.

Referencias:

- Organización de las naciones unidas (ONU). (2019). Agua. 11 de noviembre 2020 , de Naciones Unidas Sitio web: [https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html#:~:text=2%20000%20millones%20de%20personas,\(OMS%20FUNICEF%202019\)](https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html#:~:text=2%20000%20millones%20de%20personas,(OMS%20FUNICEF%202019)).
- Defensoría del Pueblo. (12 de diciembre de 2009). Setenta de cada 100 municipios colombianos no tienen agua potable: Defensoría del Pueblo. Obtenido de Caracol Radio: <http://www.caracol.com.co/noticias/actualidad/setenta-de-cada-100-municipios-colombianos-no-tienen-agua-potable-defensoria-delpueblo/20091212/nota/923566.aspx>
- Perfil subregional del Urabá antioqueño». Departamento Administrativo de Planeación. Archivado desde el original el 16 de febrero de 2015. Consultado el 12 de febrero de 2015.
- Arnedo, C., Azofra, J., Usón, C. & Zapata, M. (2009). III Semana de la ciencia y tecnología: El Agua. España: Secretaría General Técnica.

- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: UNAM y FEMISCA.
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrológicas de Colombia. (2019). Promedios multianuales de los principales parámetros meteorológicos . Noviembre 2020, de Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrológicas de Colombia Sitio web:
<https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ResumenGolfoDeUrabaca3.php>
- Lozano, W. Lozano, Guillermo. . (2015). Potabilización del agua, principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Ginebra, Suiza: OMS.