

**SEGUIMIENTO Y EVALUACION DE LA EFICIENCIA TOTAL EN  
TERMINOS DE REMOCION DE CARGA CONTAMINANTE EN LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EMPOPAMPLONA  
S.A.E.SP.**

**NAYARY STEFANI JAIMES RAMON**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, Julio -- de 2021**

**SEGUIMIENTO Y EVALUACION DE LA EFICIENCIA TOTAL EN  
TERMINOS DE REMOCION DE CARGA CONTAMINANTE EN LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EMPOPAMPLONA  
S.A.E.SP.**

**NAYARY STEFANI JAIMES RAMON**

**Trabajo de práctica empresarial presentado como requisito para optar por el  
título de**

**INGENIERA QUÍMICA**

**Directora: DAISSY LORENA RESTREPO SERNA**

**Ingeniera Química, Magister en Ingeniería - Ingeniería Química**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, Junio -- de 2021**

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis familiares por su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera profesional, a los docentes por el acompañamiento en este proceso de aprendizaje, especialmente a mi tutora Daissy Restrepo por guiarme y apoyarme en este proyecto, a la Universidad de Pamplona por la formación adquirida durante toda mi carrera, también agradezco a la empresa de Empopamplona por permitirme realizar la práctica profesional.

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
2. Planteamiento Del Problema y Justificación.....	2
3. Objetivos.....	2
3.1    Objetivo General .....	2
3.2    Objetivos Específicos.....	2
4. Marco Teórico .....	3
4.1    Estado Del Arte .....	3
4.2    Marco Teórico.....	5
4.2.1 Planta de tratamiento .....	5
4.2.2 Sistema de potabilización. ....	5
4.3    Marco Geográfico .....	6
4.4    Marco Conceptual .....	7
4.4.1 Turbiedad.....	7
4.4.2 Color .....	7
4.4.3 pH. ....	8
4.4.4 Temperatura.....	8
4.4.5 Alcalinidad.....	8
4.4.6 dureza.....	8
4.4.7 cloruros .....	8
4.4.8 Coliformes totales.....	8
4.4.9 Escherichia coli.....	8
5. Metodología.....	9
5.1    Diagnóstico De La PTAP.....	9
5.2    Determinación De La Eficiencia De Las Estructuras Del Proceso .....	9
5.2.1 Turbiedad.....	10
5.2.2 Color .....	10
5.2.3 pH y Temperatura. ....	10
5.2.4 Coliformes totales y Escherichia coli. ....	10
5.2.5 Prueba de jarras .....	11
5.2.6 Verificación del proceso de floculación- coagulación. ....	11

5.3	Determinación de la eficiencia total.....	12
5.3.1	Alcalinidad.....	13
5.3.2	Dureza.....	13
5.3.3	Cloruros.....	13
5.4	Alternativas de mejoramiento .....	13
6.	Resultados y discusión.....	14
6.1	Diagnostico Del Proceso.....	14
6.1.1	Rejillas .....	14
6.1.2	Canal De Aducción.....	15
6.1.3	Desarenado.....	16
6.1.4	Canal de conducción.....	18
6.1.5	Cámara de empalme.....	19
6.1.6	válvula de entrada .....	19
6.1.7	Canaleta parshall.....	20
6.1.8	Coagulación .....	20
6.1.9	Floculación.....	22
6.1.10	Sedimentación.....	24
6.1.11	Filtración.....	26
6.1.12	Desinfección .....	27
6.2	Actualización Del Manual De Proceso .....	28
6.3	Determinación De La Eficiencia De Cada Proceso .....	29
6.3.1	Desarenado.....	29
6.3.2	Coagulación-Floculación .....	32
6.3.3	Sedimentación-Convencional .....	37
6.3.4	Sedimentación-Alta taza.....	41
6.3.5	Filtración.....	44
6.3.6	Desinfección .....	47
6.4	Determinación De La Eficiencia Total.....	47
6.5	Alternativa De Mejoramiento.....	52
6.5.1	Diseño actual del proceso de sedimentación .....	53
6.5.2	Diseño de la optimización del proceso de sedimentación.....	57

6	Conclusiones.....	61
7	Referencias .....	63
8	Apéndice .....	65

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de las estructuras de la captación. ....	15
Tabla 2. Dimensiones de las estructuras de los desarenadores. ....	17
Tabla 3. Descripción de las zonas que conforman el desarenador. ....	17
Tabla 4. Dimensiones de las secciones de los floculadores. ....	23
Tabla 5. Descripción de las zonas que conforman los sedimentadores. ....	25
Tabla 6. Promedio obtenido de pH y temperatura en los desarenadores. ....	32
Tabla 7. Datos de la prueba de jarras. ....	33
Tabla 8. Porcentaje de remoción en los sedimentadores convencionales. ....	39
Tabla 9. Porcentaje de remoción en los sedimentadores de alta taza. ....	43
Tabla 10. Porcentaje de remoción en la filtración. ....	46
Tabla 11. Comparación de los resultados de la salida del proceso de potabilización con la resolución 2115. ....	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema de potabilización convencional. ....	5
Figura 2. Localización geográfica de Pamplona. ....	6
Figura 3 Localización geográfica de la PTAP. ....	7
Figura 4. Estructura de la captación. ....	14
Figura 5. Canal de aducción Cariongo. ....	16
Figura 6. Estructura de desarenado. ....	16
Figura 7. Canal de conducción-Cariongo. ....	18
Figura 8. Cámara de empalme. ....	19
Figura 9. Válvula de entrada. ....	19
Figura 10. Canaleta parshall. ....	20
Figura 11. Equipo de dosificación de coagulante. ....	21
Figura 12. Unidad de floculación. ....	22
Figura 13. Proceso de formación del floc. ....	23
Figura 14. Unidad de sedimentación. ....	24
Figura 15. Material que conforman los filtros. ....	26
Figura 16. Unidad de desinfección. ....	27
Figura 17. Unidad de dosificación que anteriormente se utilizaba. ....	29
Figura 18. Porcentaje de remoción de color y turbiedad en el desarenado 1. ....	30
Figura 19. Porcentaje de remoción de color y turbiedad en el desarenado 2. ....	31
Figura 20. Porcentaje de remoción de los desarenadores. ....	31
Figura 21. Procedimiento de la prueba de jarras. ....	33
Figura 22. Tiempo óptimo de mezcla rápida. ....	34

Figura 23. Gradiente de velocidad optimo en la mezcla rápida.....	34
Figura 24. Influencia del tiempo de retención y el gradiente de velocidad en la mezcla lenta. ...	35
Figura 25. Porcentaje de remoción de turbiedad en los sedimentadores convencionales. ....	37
Figura 26. Porcentaje de remoción de color en los sedimentadores convencionales. ....	38
Figura 27. Porcentaje de remoción microbiología en los sedimentadores convencionales.....	40
Figura 28. Porcentaje de remoción de turbiedad en los sedimentadores de alta taza. ....	41
Figura 29. Porcentaje de remoción de color en los sedimentadores de alta taza. ....	42
Figura 30. Porcentaje de remoción microbiológica en los sedimentadores de alta taza. ....	43
Figura 31. Porcentaje de remoción de propiedades físicas en la filtración.....	45
Figura 32. Cantidad de entrada de microorganismos en la unidad de filtración.....	46
Figura 33. Muestras de entrada y salida del proceso de potabilización.....	48
Figura 35. Remoción fisicoquímica y microbiológica global.....	48
Figura 36. Remoción de parámetros físicos y microbiológicos de cada estructura.....	50
Figura 37. Porcentaje de remoción de Coliformes totales en cada estructura. ....	51
Figura 38. Porcentaje de remoción de Escherichia coli en cada estructura. ....	52
Figura 39. Diseño actual de la sección de los sedimentadores en SketchUp.....	53
Figura 40. Salida del agua sedimentada de la sección 1. ....	54
Figura 41. Mezcla del agua de salida de la sección 1 y el agua de Monteadentro. ....	55
Figura 42. Salida de la sección 2 de sedimentación.....	56
Figura 43. Estructura interna de las secciones de los sedimentadores.....	57
Figura 44. Alternativa de diseño de la sección de los sedimentadores.....	57
Figura 45. Estructura interna optimizada.....	58
Figura 46. Tanque de almacenamiento de agua cruda.....	59
Figura 47. Consumo de agua durante el día.....	60

## 1. Introducción

El agua es un recurso de vital importancia, por lo tanto, es necesario realizar un proceso de potabilización para garantizar un servicio de calidad, para que esto ocurra se debe tener un sistema de potabilización eficiente, el cual es un conjunto de procesos unitarios para purificar el agua, su objetivo es hacerla apta para el consumo humano(Z. Perez 2016). Una planta de tratamiento convencional cuenta con coagulación, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección, para que la planta opere en las mejores condiciones se debe llevar un seguimiento del proceso y de las condiciones del agua, en este caso se estudia las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas para verificar que los requisitos de las normas de calidad de agua se cumplan.

El presente proyecto tiene como finalidad la evaluación y diagnóstico de la planta de tratamiento de agua potable EMPOPAMPLONA Cariongo, la cual suministra a la zona céntrica y media de la ciudad de Pamplona, la planta es abastecida por dos fuentes hídricas el Rosal y Monte dentro. Para evaluar la eficiencia de la planta se realizará un seguimiento a cada etapa del proceso, se estudiará la remoción de carga contaminante presente en el agua por medio de un análisis fisicoquímicos (turbiedad y color) y microbiológico (coliformes totales y *Escherichia coli*)de esta manera se tomarán muestras en la entrada y salida de cada proceso, obteniendo así la eficiencia de cada una de ellos y posteriormente se analizará la eficiencia total de la planta de tratamiento, con el fin de determinar si la planta está operando adecuadamente y de esta manera plantear estrategias de mejoramiento.

## **2. Planteamiento Del Problema y Justificación**

En un tratamiento de potabilización es necesario un proceso que garantice que cada etapa esté operando adecuadamente, por lo que es indispensable un seguimiento del proceso para controlar que se lleve a cabo en las mejores condiciones. Se puede determinar la eficiencia en términos de remoción de carga contaminante en cada etapa del proceso para conocer el estado actual de cada uno y de esta manera determinar la eficiencia total de la planta de tratamiento. Este estudio es útil para confirmar que la planta si está funcionando adecuadamente o identificar si se presentan falencias en alguna de las etapas y de esta forma poder determinar cuáles son sus causas y dar una posible solución, también es útil para buscar alternativas de mejoramiento del proceso. Con base en lo anterior, el presente trabajo de investigación se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿El tratamiento brindado por EMPOPAMPLONA Cariongo cumple con los estándares mínimos contemplados en las diferentes normas que rigen el tratamiento de agua potable?

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo General**

- Evaluar la eficiencia total en términos de remoción de carga contaminante en planta de tratamiento de agua potable EMPOPAMPLONA S.A. E.SP.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de agua potable EMPOPAMPLONA S.A. E.SP.
- Determinar las eficiencias parciales, la cuales se realiza a cada proceso unitario para

obtener un control de la remoción de contaminación en el agua.

- Actualizar el manual del proceso de potabilización que se lleva a cabo en la planta de tratamiento.
- Evaluar alternativas de mejora para garantizar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Estado Del Arte**

Una planta de tratamiento convencional cuenta con los procesos de coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección, para que la planta opere en las mejores condiciones se debe llevar un seguimiento del proceso, una de los análisis es la eficiencia de remoción de carga contaminante en cada estructura, en el cual se toman las muestras en la unidad de entrada de la planta, para conocer las condiciones del recurso hídrico a tratar y muestras a la salida de la planta (Fonseca 2018).

En la investigación “EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA PARA LA CIUDAD DE SAN MARCOS” tuvo como objetivo estimar la eficiencia en la planta de tratamiento de agua cruda de la ciudad de San Marcos, el cual uno de los análisis fue determinar la remoción de carga contaminante en cada unidad de tratamiento, para obtener un valor de turbidez aceptable en la salida de la planta, por lo que analizaron la eficiencia total de la planta de tratamiento en función de las eficiencias parciales donde lo calcularon por medio de un promedio ponderado, para ello utilizaron la turbiedad promedio correspondiente a la entrada de cada una de las estructuras en estudio y se multiplicó por la eficiencia de la estructura correspondiente y con ello determinaron la eficiencia total. En este estudio se obtuvo una

eficiencia total de la planta de 45.12%, el cual indico una deficiencia en cuanto a la remoción de partículas en suspensión, por lo que dieron como recomendación levantar la cota de entrada de agua a la planta con el objetivo de generar un resalto hidráulico que cumpla con los requisitos para una mezcla rápida, el cual permite mejorar la eficiencia coagulación–floculación y con ello optimizar insumos de coagulantes (PUENTE 2018)

En otro estudio realizado en el municipio de Abrego Norte de Santander, se realizó una evaluación a los procesos y la calidad de agua en las dos plantas de tratamiento de agua potable, en el cual analizaron el funcionamiento de la PTAP por medio de listas de chequeo, unas de las actividades a realizar fue revisar y validar cada uno de los procesos de tratamiento actual e identificar aquellos que requieren medida de mejoramiento y como resultados formularon alternativas de solución en las etapas de dosificación del coagulante, filtración y manejo de lodos una de las plantas se recomienda construir un lecho de secado de lodos para tratados y la segunda planta cuenta con una unidad de tratamiento de lodos pero se deberá realizar mantenimiento y adecuación de infraestructura, ya que se encuentra abandonado(Palacio 2019).

En el estudio “MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO Y TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE” tuvo como objetivo principal la realización de un manual que sirva como un documento de consulta para las personas que operan y brindan mantenimiento al sistema de abastecimiento de agua en el sector urbano en el municipio de Valledupar, la planta cuenta con desarenadores, unidades de mezcla rápida, floculación, filtración, desinfección, estabilización, tanque de compensación del agua tratada, dispositivos de control de las unidades de la planta e instrumentación, laboratorio, y por último, sala de dosificación y almacenamiento de los productos, las actividades que realizaron fueron la verificación de la eficiencia de los desarenadores y la capacidad de remoción de los

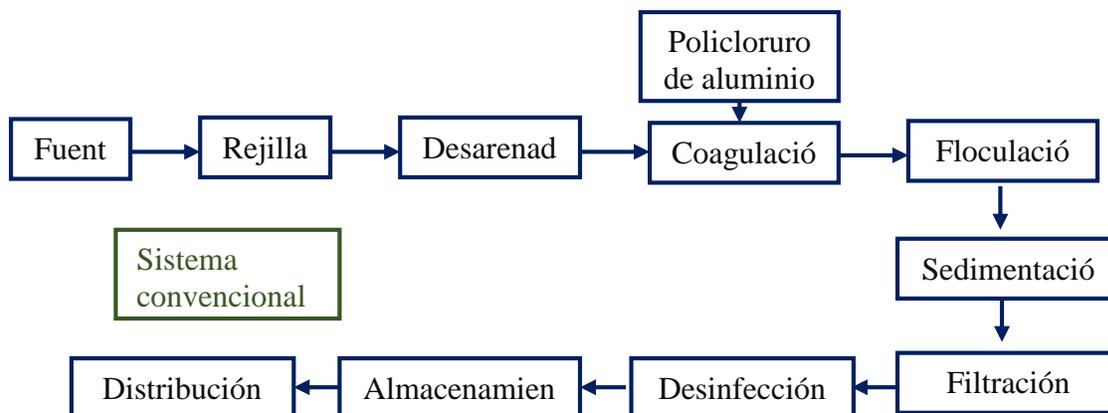
sedimentadores retenidos, la disposición de medios de limpieza, verificación para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños, medición y control de caudales en forma continua, limpieza de mallas y llenar formatos (Jacome 2018).

## 4.2 Marco Teórico

**4.2.1 Planta de tratamiento.** EMPOPAMPLONA S.A-ESP es una empresa de servicios públicos, la cual presta los servicios de agua potable, alcantarillado y aseo, la planta de tratamiento de agua potable fue puesta en marcha en el año de 1945, con una capacidad de 120 litros/seg. En el año de 1985 se realizó una optimización del proceso el cual se implementó una nueva sección de floculación y el proceso de sedimentación se dividió en dos secciones y se instalaron sedimentadores de alta taza para mejorar el proceso de clarificación del agua, por lo que permitió ampliar la capacidad de tratamiento a 200 litros/seg.

**4.2.2 Sistema de potabilización.** La planta de tratamiento cuenta con un sistema de potabilización convencional, en la figura 1 se observa los procesos que se llevan a cabo en la planta de tratamiento.

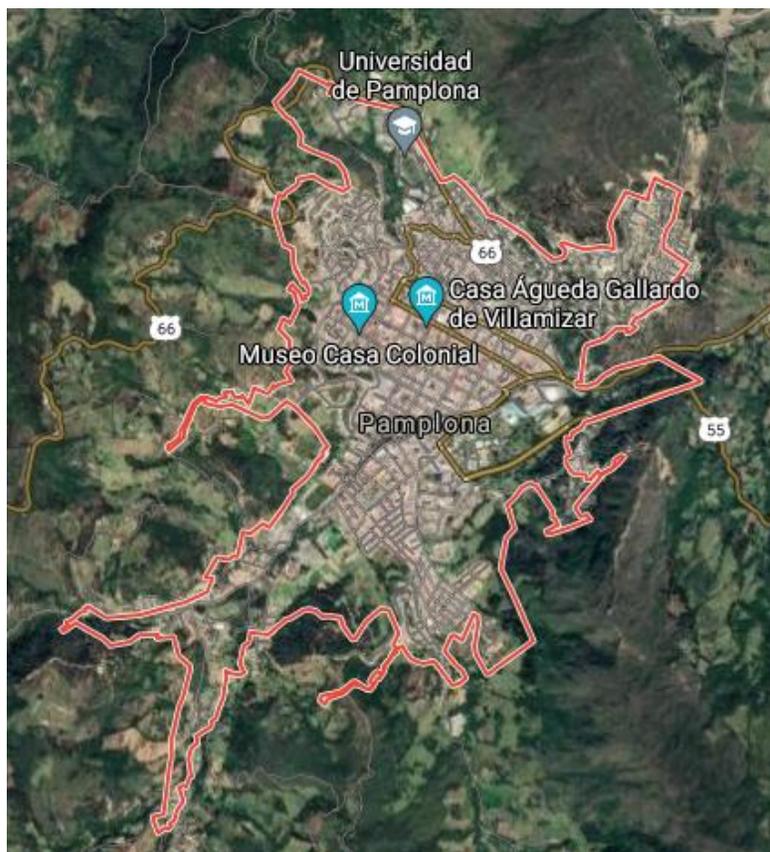
**Figura 1.** *Sistema de potabilización convencional.*



### 4.3 Marco Geográfico

La localidad de Pamplona se encuentra junto a los municipios de Pamplonita, Chitagá, Silos, Cacota y Mutiscua, su localización geográfica hacia el suroccidente del departamento es de  $07^{\circ}22'41''$  de latitud norte y  $72^{\circ}39'09''$  de longitud oeste, se encuentra ubicado sobre la cordillera central al Nororiente de Colombia y es uno de los 40 municipios del departamento de Norte de Santander. El municipio cuenta hasta con alturas de 3800 m (msnm) sobre el nivel del mar y su extensión total es de 318Km y una temperatura promedio de  $15,4^{\circ}\text{C}$  (Hacienda 2018).

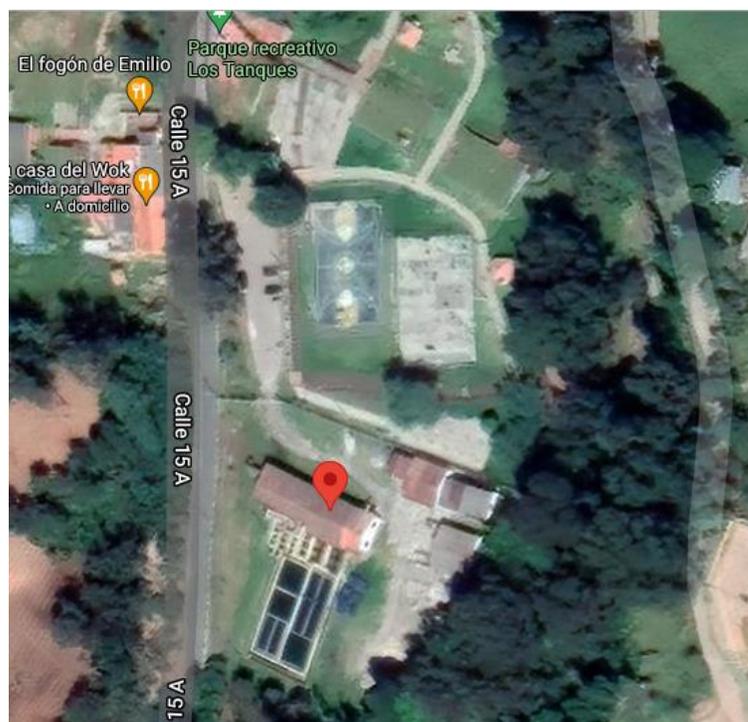
*Figura 2. Localización geográfica de Pamplona.*



Fuente: tomada de Google Maps.

La planta de tratamiento está ubicada en el Barrio Cariongo, al sur de la ciudad, en el sector conocido como Los Tanques (Parque Recreacional), a una altura de 2430 m.s.n.m. Cuenta con una vía de acceso principal que comunica la parte céntrica del Municipio con el sur del Municipio, totalmente pavimentada.

*Figura 3 Localización geográfica de la PTAP.*



Fuente. Tomada de Google Maps.

#### 4.4 Marco Conceptual

**4.4.1 Turbiedad.** Propiedad óptica que posee una muestra de agua de absorber o reflejar un haz de luz, se presenta cuando el agua contiene partículas en suspensión o coloidales que pueden ser arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, bacterias y otros microorganismos (J. Perez 2010).

**4.4.2 Color.** La causa de la presencia de color en el agua se debe a sustancias orgánicas, iones metálicos como hierro y magnesio, plancton y hierba, el color natural existe en el agua

principalmente en forma de partículas coloidales, se pueden definir dos clases de color; el color verdadero el cual es cuando la turbidez de esta se ha eliminado, por lo contrario, el color aparente incluye no solo el color de la solución sino el de la materia suspendida(Carballo 2018).

**4.4.3 pH.** Expresa la magnitud de acidez o alcalinidad de una solución, es una forma de expresar la concentración de los iones hidrógeno la escala va de 0 a 14, donde 7 representa la neutralidad(J. Perez 2010).

**4.4.4 Temperatura.** Es un parámetro importante en el agua ya que por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica y en los procesos de tratamiento(J. Perez 2010).

**4.4.5 Alcalinidad.** Se define como la capacidad que tiene el agua de neutralizar ácidos, se debe primordialmente a las sales de ácidos débiles, los bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad(J. Perez 2010).

**4.4.6 dureza.** Hace referencia a la concentración de compuestos minerales de cationes polivalentes que se presenta en una determinada cantidad de agua, principalmente iones de calcio y magnesio ambas expresadas como mg/l  $\text{CaCO}_3$ (PUENTE 2018).

**4.4.7 cloruros.** Se forma como ion cloruro  $\text{Cl}^-$  produce un sabor salado en el agua esto depende de la concentración que presente y al catión que este asociado(J. Perez 2010).

**4.4.8 Coliformes totales.** Bacterias gram negativas no esporoformadoras, se caracterizan por la enzima B-galactosidasa, en presencia de sales biliares son capaces de crecimiento aeróbico y facultativo(Navarro Roa 2007).

**4.4.9 Escherichia coli.** Según la resolución 2115 del 2007 la definición es la siguiente “Bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas

como la *b* galactosidasa y *b* glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano” (p.2).

**4.4.10 Gradiente de velocidad.** La velocidad de mezcla influye en la fuerza de partículas para permanecer unidas, si es muy alta los floc se pueden romper, por lo que es necesario un gradiente de velocidad óptimo para el buen funcionamiento del proceso.(Dominguez A 2010)

## 5. Metodología

### 5.1 Diagnóstico De La PTAP

- Revisión de la planta de tratamiento EMPOMPAMPLONA-Cariongo.
- Recolectar información de los procesos que se llevan a cabo en el sistema de potabilización.

### 5.2 Determinación De La Eficiencia De Las Estructuras Del Proceso

Se toman muestras a cada estructura, para los procesos desarenado, sedimentación, filtración, se analiza la entrada y salida para llevar un control de la remoción de carga contaminantes en cada estructura, por lo que se tomaran 2 parámetros fisicoquímicos turbiedad y color y 2 microbiológicos *coliformes totales* y *Escherichia coli*, también se seguirá un seguimiento de la temperatura y pH para estudiar si estos parámetros influyen en la remoción de carga contaminante.

Para la recolección de todas las muestras se utilizará recipientes de vidrios previamente lavados y al tomar la muestra se realizará una purga con la misma agua a analizar, este procedimiento también se realiza para los instrumentos de medición y las celdas que se utilizaran para realizar la lectura de los parámetros.

**5.2.1 Turbiedad.** se agrega aproximadamente 15mL de muestra en una celda la cual se introduce en el turbidímetro HACH 2100 Q para realizar la lectura.

**5.2.2 Color.** primeramente, se ingresa la celda con agua destilada, la cual es una muestra de referencia se toma lectura en cero y luego se coloca la muestra a analizar y se toma lectura en el colorímetro HACH.

**5.2.3 pH y Temperatura.** para la lectura de estos dos parámetros se realiza en un mismo equipo pHmetro HACH Y HANNAy se toma lectura.

**5.2.4 Coliformes totales y Escherichia coli.** Se inicia preparando el medio el cual es cromocult y se sirve en las cajas Petri previamente esterilizadas, posteriormente se toman 100ml de muestra, al ser agua cruda se requiere solución para que pueda ser visible y tomar lectura, por lo tanto, se toma 1ml o 5ml de agua cruda dependiendo de las condiciones del agua y 99ml o 95ml respectivamente de agua esterificada. La solución se filtra a vacío y por ultimo las cajas se ingresan a la incubadora durante 24 horas a una temperatura de 37°C, al transcurrir este tiempo se realiza la respectiva lectura y el resultado se tendrá que multiplicar acorde la dilución preparada.

*5.2.4.1 Material a esterilizar.* Se envuelve el material a utilizar en el proceso con papel kraft y se coloca cinta indicadora, en el caso de agua se agrega en frasco shock de 500ml, posteriormente se ingresa a la autoclave a 121°C por 20 minutos para material y para el medio por 15 minutos.

*5.2.4.2 Preparación de material para la toma de agua con presencia de cloro.*

Para la muestra tomada a la salida del proceso debido a que el agua tiene cloro, se debe

suministrar una solución de tiosulfato al 2%, la cantidad requerida es 0,1ml de esta solución por cada 100ml de muestra recolectada para neutralizar el cloro, en este caso se tomara un frasco shock de 250ml, por lo tanto, se agrega 0.25ml de esta solución.

En el caso del proceso coagulación-floculación la eficiencia se determina es con respecto a la implementación de coagulante óptimo, el cual es indispensable para que la planta opere adecuadamente, por lo que se realiza el siguiente procedimiento.

### **5.2.5 Prueba de jarras**

- Se recolecta el agua en la entrada de la planta.
- Se agrega 1000mL de agua cruda a cada uno de los 6 vaso de precipitación.
- Se añade la solución de coagulante la cual es preparada por 8 mL de policloruro de aluminio y aforado a 1000mL con agua destilada, posteriormente para la prueba de jarras se suministran diferentes concentraciones para determinar cuál es la concentración óptima.
- Inicialmente se coloca a 120 rpm durante 2 minutos, al transcurrir este tiempo se reduce a 90rpm por 1 minuto y posteriormente se coloca a 40 rpm durante 5mint, por último, se suspende la agitación y se deja sedimentar por otros 5mint.
- Se toma registro de turbiedad y color.
- Se selecciona la concentración optima, donde es la muestra que obtiene menor valor de los parámetros.

### **5.2.6 Verificación del proceso de floculación- coagulación.**

- Para la prueba se toma el agua a la entrada de la planta, posteriormente se realizan los ensayos de jarra, a diferencia del procedimiento anterior, en esta prueba se analizará el

comportamiento del gradiente de velocidad y el tiempo con respecto la disminución de turbiedad.

- Inicialmente se realiza el ensayo de jarra simulando el proceso de mezcla rápida con tiempo de 30 seg, 60seg, 90seg y 120seg, obteniendo el tiempo óptimo de mezcla se prosigue a cambiar el gradiente de velocidad 100 rpm, 110 rpm y 120 rpm, para cada una de las muestras se realiza todo el procedimiento de simulación de floculación y sedimentación y se toma lectura de la turbiedad final, para determinar las condiciones óptimas.
- Para la mezcla lenta se realizarán 4 ensayos con gradientes de velocidad diferentes 15rpm, 30rpm, 40rpm y 50rpm, se determinarán los gradientes de velocidad en  $s^{-1}$ , para cada uno de ellos se varia el tiempo (15min, 25min, 30min, 35min, 40min y 45min), de esta manera determinar tiempos de detención óptimos y realizar una comparación con los resultados reales obtenido en las 16 muestras a analizar en este estudio.

### **5.3 Determinación de la eficiencia total**

Se toman muestras en la cámara de empalme, debido que es la intersección donde se mezclan las dos fuentes hídricas con las que cuenta la planta de tratamiento, también se toma una segunda muestra al finalizar el proceso de potabilización.

Se realiza los procedimientos descritos en la sección 5.2.1 al 5.2.4 adicionalmente se realiza los siguientes análisis.

**5.3.1 Alcalinidad.** se agregan 100ml de agua cruda a un vaso precipitado posteriormente se agregan tres gotas de verde de bromocresol como indicador y se titula con ácido sulfúrico al 0.02N.

**5.3.2 Dureza.** se agregan 100ml de agua cruda a un vaso precipitado posteriormente se agrega una pequeña cantidad de negro ericromo como indicador y se titulación con EDTA.

**5.3.3 Cloruros.** se agregan 20ml de gua cruda a un vaso precipitado posteriormente se agrega cromato de potasio como indicador y se titula con nitrato de plata.

#### **5.4 Alternativas de mejoramiento**

Para la alternativa de diseño se realizará en la sección de sedimentadores, para ilustrar el proceso se utilizará el programa SketchUp, donde se elaborará el diseño actual y la posible alternativa de mejoramiento.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 Diagnostico Del Proceso

La planta de tratamiento de agua potable EMPOPAMPLONA-Cariongo cuenta con dos fuentes hídricas que suministran la planta, las cuales son la quebrada Monte dentro y la quebrada el Rosal, la PTAP opera con un sistema convencional, constituido por rejillas, desarenado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, cada proceso se describe a continuación.

#### 6.1.1 Rejillas

Esta sección tiene como función remover material grueso, basura, ramas, hojas entre otros como se observa en la imagen 4. La planta está constituida por dos bocatoma principales, la bocatoma 1 y 2 ingresa el agua proveniente de la quebrada Monte dentro, y a la tercera estructura ingresa el agua proveniente de la quebrada Rosal, en caso de que la bocatoma 1 no funcione adecuadamente se cuenta con una operación alterna que es la bocatoma 2 que se encuentra ubicado a 30 m aguas abajo de la bocatoma 1.

*Figura 4. Estructura de la captación.*



Las dimensiones de las estructuras de las captaciones se encuentran en la tabla 1, en el caso de la captación 1 y 3 cuenta con divisiones de varillas, mientras que la estructura 2 tiene secciones rectangulares.

*Tabla 1. Dimensiones de las estructuras de la captación.*

Captación	Dimensión total de la estructura				Cada sección		
	Ancho (m)	Largo (m)	Sección	Profundidad (m)	divisores	Grosor (cm)	Separación (cm)
1	4,45	1,30	4	0,8	17	2,5	2
2	2,8	1.4	1	1,4	36	6	2
3	1	2,5	1	0,8	30	2,5	2

#### *6.1.1.1 actividades a realizar*

- Inspección visual de las rejillas.
- Retirar el material grueso de las rejillas que interrumpen el paso del agua.
- Manipulación de compuertas para regular el caudal de entrada al sistema de tratamiento.
- Las rejillas deben ser limpiadas para la captación 1 y 2 diariamente y para la 3 semanalmente esto se realiza con rastrillos, palas o cualquier otra herramienta que permita el retiro de elementos que se deposite en la estructura.
- Anualmente se revisarán las estructuras por si se presentan daños como fisuras, dobles de rejillas u otro daño que afecte el buen funcionamiento del sistema.

#### **6.1.2 Canal De Aducción.**

El agua cruda recolectada en la captación es enviada a la unidad de desarenado por medio de canales o tuberías, el agua captada por la quebrada Cariongo cuenta con un canal de concreto

libre como se observa en la imagen 5 y el agua proveniente del Rosal es enviada por una tubería de asbesto-cemento.

*Figura 5. Canal de aducción Cariongo*



#### *6.1.2.1 actividades a realizar*

- Manejo de válvulas para desagüe y operación de lavado del desarenador.
- Inspección visual y si es el caso retirar materiales extraños.

#### **6.1.3 Desarenado**

Este proceso tiene como finalidad eliminar el exceso de material suspendido presente en el agua, por medio de la acción de gravedad se remueve arena, gravilla y partículas no tan finas.

*Figura 6. Estructura de desarenado.*



La planta cuenta con tres estructuras dos principales y un tercero de reserva cuando el desarenado 1 se esté lavando o tenga algún problema, este operara durante el tiempo que se vuelva a reestablecer la unidad principal, las dimensiones de estas estructuras se encuentran en la tabla 2.

*Tabla 2. Dimensiones de las estructuras de los desarenadores.*

Unidad	Ancho(m)	Largo(m)	Profundidad(m)
Desarenado 1	3,45	12,8	1,9
Desarenado 2	3	4,35	2,4
Desarenado 3	3,5	12	2

Estas estructuras cuentan con cuatro zonas: zona de aquietamiento, zona de sedimentación, zona de lodos y zona de salida del agua. Las descripciones se encuentran en la tabla 4.

*Tabla 3. Descripción de las zonas que conforman el desarenador.*

Zona	Descripción
aquietamiento	Esta etapa tiene como finalidad reducir la velocidad del agua proveniente de la aducción.
sedimentación	En esta etapa los sólidos más pesados se sedimentan por acción de la gravedad y son depositados en el fondo del desarenador.
Lodos	Esta etapa almacena los lodos y posteriormente son evacuados al rio.
salida de agua	En esta etapa el agua sale de cada estructura y es enviada por conducción a la cámara de empalme.

#### *6.1.3.1 actividades a realizar*

- Inspección visual de la unidad y controlar el nivel del depósito de arena en el fondo.
- Manipulación de las válvulas para desagüe para realizar lavado de la unidad.

- Para el mantenimiento se utiliza cepillos y una manguera de alta presión, en épocas de lluvia se realiza cada 15 días y en épocas de verana cada 30 días.
- Cada año se realiza una revisión general.

#### **6.1.4 Canal de conducción**

Es la trayectoria que conduce el agua que sale del desarenado hasta la cámara de empalme, para el caso del agua proveniente de la quebrada Monte dentro está constituida con un canal de concreto con una longitud de 82,71m como se observa en la imagen 7 y para la quebrada el Rosal es transportada por una tubería de asbesto-cemento con una longitud de 2,5Km.

*Figura 7. Canal de conducción-Cariongo.*



##### *6.1.4.1 actividades a realizar*

- Manejo de compuertas para el desagüe.
- Inspección visual.
- El mantenimiento para el canal Cariongo se debe limpiar mensualmente especialmente en su alrededor para retirar maleza y vegetación que crece alrededor, en el caso del canal del Rosal se realiza purgas de red y recorrido por la línea para determinar daño, fugas o filtraciones de agua.

### 6.1.5 Cámara de empalme

En esta unidad se mezclan las dos fuentes hídricas provenientes de los desarenadores Cariongo y Rosal, el agua excedente que llega a la cámara de empalme es evacuada hacia el río como se observa en la imagen 8.

*Figura 8. Cámara de empalme.*



#### 6.1.5.1 actividades a realizar

- Manejo de válvulas para el control de entrada del agua proveniente de las dos fuentes hídricas, esto se realiza abriendo y cerrando las válvulas.

### 6.1.6 válvula de entrada

Permite regular la entrada del caudal que ingresa a la planta de tratamiento según la demanda requerida por los usuarios.

*Figura 9. Válvula de entrada.*



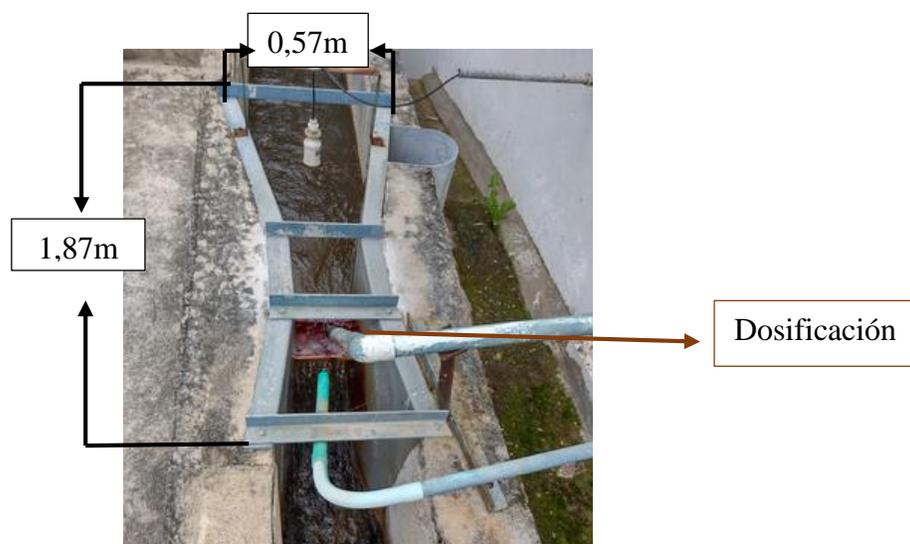
### 6.1.6.1 actividades a realizar

- Regular el caudal acorde a la demanda requerida manipulando las válvulas.
- En caso de que las condiciones del agua sean difíciles de controlar se cierra la válvula para que no ingrese el agua al proceso, también se cierra cuando se va a lavar la planta.

### 6.1.7 Canaleta parshall.

Para que el proceso funcione adecuadamente se debe ajustarse la operación al caudal de entrada, por lo tanto, la planta de tratamiento cuenta con una canaleta parshall para la medición del caudal, en la imagen 10 se observan las descripciones de la estructura.

Figura 10. Canaleta parshall.



### 6.1.7.1 actividades a realizar

- Verificar las condiciones del agua y leer cada hora el caudal de entrada en L/s.

### 6.1.8 Coagulación

La operación de este proceso es mezclar el coagulante con el caudal de entrada, para esto se requiere una mezcla rápida del agua y la turbulencia en el flujo para lograr el efecto esperado, el coagulante reacciona inmediatamente cuando hace contacto con el agua, produciendo así la

desestabilización de las partículas coloidales, este proceso involucra el manejo y dosificación de las sustancias químicas, además de la operación de los equipos dosificadores, en el cual se agrega al agua cruda las cantidades exactas de coagulante óptimo halladas en la prueba de jarras, para lograr una total desestabilización eléctrica de las partículas coloidales del agua para su posterior aglomeración y eliminación.

**6.1.8.1 Bomba dosificadora:** instrumento utilizado para graduar la cantidad necesaria de coagulante que debe suministrarse en el proceso, la descarga se realiza en ml/min.

**6.1.8.2 Dosificación de coagulante:** actualmente se utiliza policloruro de aluminio líquido, se debe analizar las condiciones del agua que entra a la planta y por medio del ensayo de jarras se obtiene el coagulante óptimo, posteriormente se gradúa la bomba dosificadora con la cantidad requerida en el proceso.

En la imagen 11 se observa los equipos necesarios para la dosificación requerida en el proceso, el cual consiste en graduar la bomba para suministrar por medio de una manguera el dosificante al proceso.

*Figura 11. Equipo de dosificación de coagulante.*



### 6.1.8.3 actividades a realizar

- Chequear el suministro de coagulante y determinar la dosis óptima para el proceso.
- Verificar el funcionamiento del dosificador y graduar la bomba dosificadora para la descarga en ml/min.
- Cada hora realizar análisis fisicoquímico para determinar las condiciones del agua, si estas cambian realizar prueba de jarras para calcular dosis óptima.
- Verificar que la tubería de suministro del policloruro de aluminio no este obstruida.
- Llevar un control de las condiciones del agua cada hora

### 6.1.9 Floculación

*Figura 12. Unidad de floculación.*



Este proceso tiene como finalidad la aglomeración de los microflocuros mediante condiciones óptimas de velocidad y tiempo, esto aumenta el peso de las partículas y facilitar la sedimentación, esto se logra a partir de una mezcla lenta, en la figura 13 se observa el proceso de la formación de los floc.

Figura 13. Proceso de formación del floc.



Fuente: imagen tomada de (Quiliche 2016).

La planta de tratamiento cuenta con dos secciones de floculares los cuales están conformados por una serie de cámaras interconectadas entre sí por orificios rectangulares, la sección 1 está conformada por 10 cámaras y la sección 2 con 6 cámaras, estos floculadores son de tipo hidráulico y flujo vertical, el agua transita con una velocidad fija, donde el flujo sube y baja alrededor de los tabiques haciendo un giro de 180° al final de cada uno, las descripciones de cada sección se evidencian en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones de las secciones de los floculadores.

Sección 1				Sección 2			
Cámara	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad (m)	Cámara	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad (m)
1	1,0	1,80	3,2	1	1,76	2,55	3,00
2,3,4,5	1,3	1,80	3,2	2	2,15	2,06	3,00
6	1,4	1,55	3,2	3	1,82	1,76	3,00
7,8	1,3	2,55	3,2	4	2,72	2,15	3,80
9,10	1,3	2,06	3,2	5	2,72	1,82	3,40
				6	2,72	2,21	3,04

#### 6.1.9.1 actividades a realizar

- Observar el estado de las cámaras y la formación de floc, si es el caso retirar material flotante producido por los químicos.

- Para el mantenimiento se utiliza cepillos de fibras y agua a presión se debe manipular las valvular de desagüe en la operación de las cámaras de floculación.

#### **6.1.10 Sedimentación**

Proceso unitario encargado de sedimentar las partículas que adquirieron un tamaño y peso mayor en el proceso de floculación, la remoción del material en suspensión se obtiene al disminuir la velocidad del agua por lo que las partículas se almacenaran en el fondo del tanque y el agua clarificada que sale de la unidad por medio de rebose es enviada al proceso de filtración.

La planta cuenta con dos secciones de sedimentación y cada una está constituida con dos tipos uno convencional y uno de alta taza como se aprecia en la imagen 14.

*Figura 14. Unidad de sedimentación.*



Los sedimentadores están constituidos por las siguientes zonas: zona de entrada, zona de lodos, zona de sedimentación, zona de clarificación y zona de salida, las descripciones se encuentran en la tabla 5.

*Tabla 5. Descripción de las zonas que conforman los sedimentadores.*

Zona	Descripción
Entrada	El agua ingresa de la secciones de los flocladores y se da un tránsito suave entre el flujo de agua y el que se necesita en la zona de sedimentación.
Sedimentación	En esta zona las partículas que adquirieron mayor peso se sedimentan por acción de la gravedad.
Lodos	En esta zona se almacena el material sedimentado que debe ser expulsado posteriormente.
Clarificación	Esta zona se encuentra al final del proceso en los sedimentadores de placas de asbesto-cemento ya que estas retienen algunas partículas final que no se logran sedimentar, por lo tanto por medio de las canaletas rectangulares se recolecta el agua clarificada.
Salida	Constituye el tránsito suave que se presenta entre la zona clarificada y el flujo de salida.

#### *6.1.10.1 actividades a realizar*

- Observar el estado y buen funcionamiento de los sedimentadores.
- Verificar del agua clarificada.
- Observar si se presenta burbujeo de aire, esto es indicativo de fermentación de los lodos.
- Para el mantenimiento primeramente se cierran las válvulas para el ingreso del agua y se utilizan cepillos para remover material en las paredes y canaletas, posteriormente se suministra agua a presión y se evacua los lodos, por último, se cierra la válvula de desagüe y se llena la estructura nuevamente.

### 6.1.11 Filtración

Esta unidad constituye el proceso de remoción de las partículas, uno de los de mayor importancia sanitaria son los microorganismos patógenos, por lo que es indispensable que los filtros tengan altos niveles de eficiencia constante, esta unidad tiene como finalidad la eliminación de partículas en suspensión y microorganismos que no es posible remover en el proceso de sedimentación.

La planta cuenta con dos secciones de filtración los cuales ingresan por medio de compuertas y el agua ingresa a los filtros (cada sección tiene 6 filtros) estos están formados por Antracita y Arena, soportados por un lecho de grava de diferentes tamaños, en la imagen 15 se aprecia el material de estos filtros, además para la protección y conservación del material los filtros tienen una malla.

*Figura 15. Material que conforman los filtros.*



#### 6.1.11.1 actividades a realizar

- Realizar inspección general de compuertas, manipulación de las valvulas para regular la entrada de agua a la unidad.
- Determinar perdida de carga.

- El lavado de filtros se realiza por aproximadamente 10 minutos, el cual se abre la válvula para que ingrese el agua, la carrera de filtración no puede exceder las 72 horas, este tiempo va a variar dependiendo de si es época de lluvia o época de verano.
- Para el lavado se utiliza cepillos de fibra y agua del canal central, igualmente se deben limpiar las mallas de protección.

### **6.1.12 Desinfección**

Esta unidad tiene como finalidad la eliminación de agentes patógenos que pueden causar enfermedades en el organismo del ser humano, por medio de la aplicación de cloro gaseoso se logra la eliminación o desactivación de los organismos dañinos.

La planta realiza esta operación en un tanque de desinfección proveniente de los cilindros de cloro gaseoso, se debe regular acorde la dosis de cloro requerido, en la imagen 16 se observa esta unidad.

*Figura 16. Unidad de desinfección.*



En este proceso es necesario un excedente de cloro, denominado cloro residual, esto se realiza para garantizar a los usuarios que en el transcurso de toda la distribución no se contamine con agentes patógenos y así entregar un servicio de calidad.

#### *6.1.12.1 actividades a realizar*

- Instalación adecuada de los cilindros de cloro.
- Chequear cada hora la dosificación y suministrar la dosis requerida en el proceso.
- Verificar que no se presenten fugas en la conducción de la aplicación de cloro, si se presenta este caso se debe determinar donde se encuentra la fuga para su debido arreglo.

### **6.2 Actualización Del Manual De Proceso**

Los conceptos anteriormente mencionados en la sección 6.1 constituyen las descripciones de los procesos que se llevan a cabo en la planta de tratamiento de Empopamplona-Cariongo y que se describen en el manual de operación.

También una de las actualizaciones que se realizó fue la modificación de la unidad de dosificación, ya que anteriormente se utilizaba sulfato de aluminio sólido, por esta razón se tenía una unidad de dosificación de cal, este proceso se realizaba para reestablecer el pH del agua, debido a que uno de los efectos de este coagulante es que presenta un deceso en este parámetro, contrario al policloruro de aluminio el cual se suministra actualmente en la planta de tratamiento, este coagulante no tiene efecto en el pH del agua y a partir de los controles que se llevan en el proceso, las dos fuentes hídricas la quebrada Moteadentro y El Rosal y en cada proceso que se lleva a cabo en la planta el pH es estable y se encuentra en el rango establecido por la resolución 2115 de 2007, por lo tanto no es necesario el proceso de dosificación de cal para la estabilización del pH, otra ventaja del policloruro de aluminio es que se suministra directamente ya que es líquido, contrario al sulfato de aluminio que era necesario realizar una solución, por lo tanto tiene mejor manejo del producto.

en la imagen 17 se observa la unidad de dosificación que se utilizaba anteriormente para el suministro de los químicos.

*Figura 17. Unidad de dosificación que anteriormente se utilizaba*



Fuente: Manual de operación, EMPOPAMPLONA

### **6.3 Determinación De La Eficiencia De Cada Proceso**

A continuación, para analizar la eficiencia de remoción en cada estructura se utilizó la siguiente fórmula descrita en el RAS 2000 título C (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2010), donde  $N_0$  representa la concentración de partículas en la entrada y  $N_1$  la concentración de partículas a la salida.

$$\%Remocion = 1 - \frac{N_1}{N_0} * 100 \quad Ecn 1$$

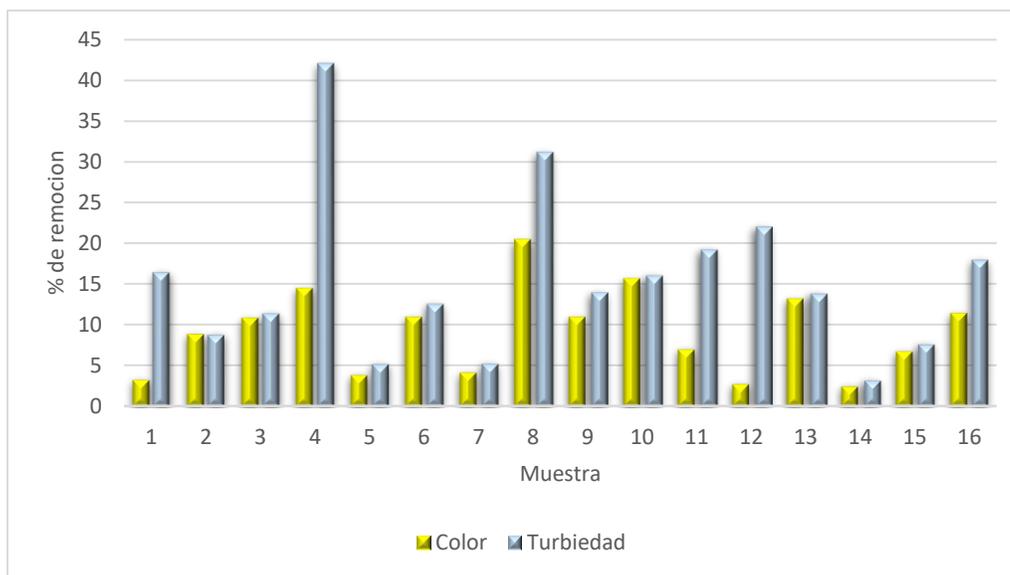
**6.3.1 Desarenado.** A continuación, se observa los resultados de remoción en las dos unidades principales.

Para la determinación del porcentaje de remoción se analizaron los parámetros de color y turbiedad, estos resultados se observan en la figura 18.

La muestra con mayor remoción de turbiedad fue la numero 4 con un valor de 42.06%, este aumento se debe que la muestra se tomó después de que se realizó lavado de unidad, en el caso del color el porcentaje de remoción es de tan solo 10.84%, en todas las muestras se obtuvo una mayor remoción de turbiedad a comparación del color.

En promedio el ingreso de color a la unidad fue de 456.08 UPC disminuyendo a 401.62UPC y el ingreso promedio de turbiedad fue de 72.38UNT disminuyendo hasta 49.6UNT.

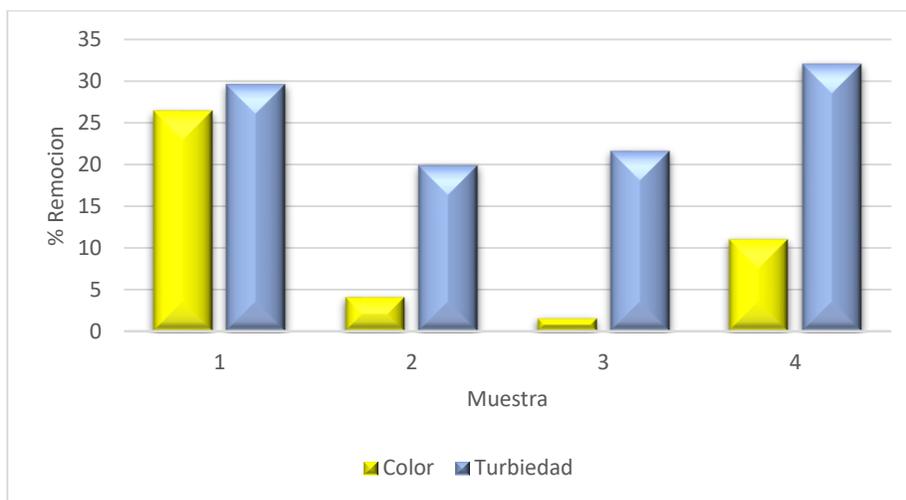
*Figura 18. Porcentaje de remoción de color y turbiedad en el desarenado 1.*



En el caso del desarenador 2 solo se analizaron 4 muestras debido a la ubicación de la planta, en promedio se obtuvo un ingreso de color a la estructura de 387.7UPC disminuyendo a 339.9 UPC, para la turbiedad se obtuvo un valor de ingreso de 33.2 UNT disminuyendo a 24.76 UNT, las condiciones de entrada son inferiores a la unidad 1.

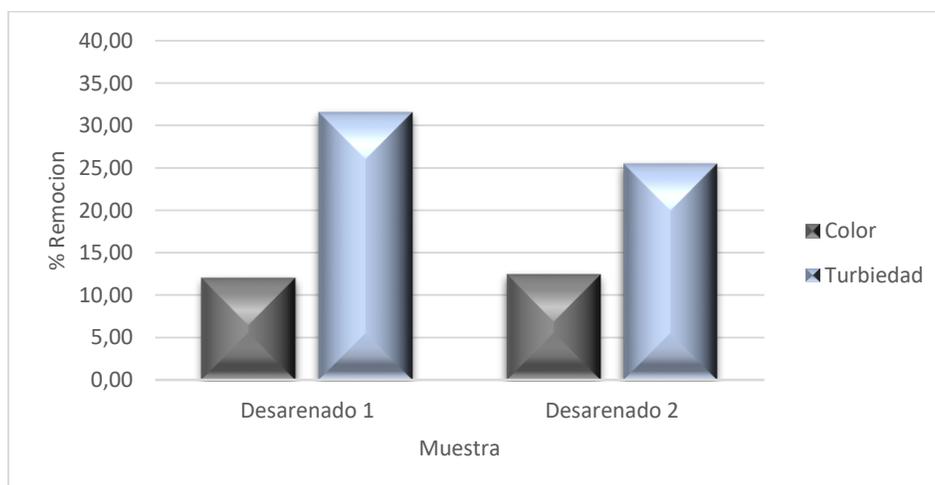
Como se observa en la figura 19 el porcentaje de remoción presenta la misma tendencia que la unidad 1, en el cual la remoción de turbiedad es mayor al color, esto sucede ya que en esta unidad su función es la remoción de arena, gravilla u otra partícula con tamaño suficiente para su sedimentación por gravedad, el color principalmente se remueve en el proceso de sedimentación y filtración. Por lo tanto, en esta unidad los porcentajes de remoción son bajos.

*Figura 19. Porcentaje de remoción de color y turbiedad en el desarenado 2.*



En la figura 20 se obtuvo en promedio una remoción de color de 11.94% en la unidad 1 y 12.33% en la unidad 2, para la turbiedad se obtuvo 31.47% y 25.44%.

*Figura 20. Porcentaje de remoción de los desarenadores.*



En la tabla 6 se obtuvo que la temperatura y el pH en la entrada y salida en cada unidad son muy estable, por lo tanto, no presentaron una variación en el cual afecte las condiciones del agua, los valores obtenidos en cada muestra se encuentran en el apéndice A.1.1 Y A.1.2

*Tabla 6. Promedio obtenido de pH y temperatura en los desarenadores.*

Parámetro	Unidad 1		Unidad 2	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Temperatura(°C)	15.94	15.9	16.45	16.33
pH	7.41	7.42	7.36	7.38

**6.3.2 Coagulación-Floculación.** Para la determinación del coagulante optimo se utilizó la siguiente formula.

$$\frac{mL}{min} coagultante = \frac{[test]_{optima} * Q * 60}{1000 * \rho} \quad Ecn 2$$

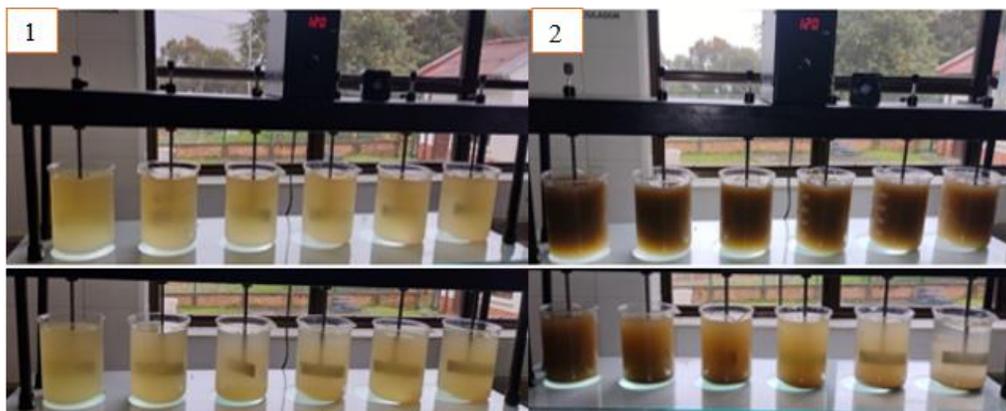
En la tabla 7 se observa los resultados que se obtuvieron en la prueba de jarras, la muestra 2 tuvo el ingreso de valores más altos con 1400UNT para la turbiedad y 9426.9 UPC para el color reduciéndolo hasta 14UNT y 149,4UPC respectivamente. En climas soleados los valores de los parámetros son más bajos, como se observa en la muestra 4 y 5, en esta prueba se obtuvo en promedio una remoción de color de 82.52% y para la turbiedad de 98.24%, los cuales se espera que los valores reales de remoción en la planta de tratamiento sean similares, esto corrobora el buen funcionamiento de la unidad, dicha verificación se explicara más adelante.

Tabla 7. Datos de la prueba de jarras

Muestra	Condiciones de entrada del agua			Condiciones salida del agua		caudal L/seg	Coagulante	
	Turbiedad	Color	Optimo	Turbiedad	Color		gr/min	mL/min
1	208	750	30	3,66	131,1	90	162	129,6
2	1400	9426,9	80	14	149,4	90	432	345,6
3	481	4685,1	55	21	97,8	90	297	237,6
4	23	356,8	45	1,93	33	80	216	172,8
5	25,4	380	55	2,91	27,3	80	264	211,2

En la figura 21 se ilustra dos procesos que se realizaron a diferentes condiciones, el primero representa la muestra 4 y la segunda la muestra 2, la segunda muestra empezó a ser más notorio el agua clarificada en el recipiente 6, en el caso 1 no era posible a vista determinar cuál era el recipiente con el agua más clarificada, en este caso se toma lectura de turbiedad y color a todos los recipientes y el que obtuviera menor valor se seleccionó como la concentración optima, esto ocurre cuando el color es alto y la turbiedad baja ya que en esta unidad se simula hasta el proceso de sedimentación, por lo que el color puede quedar presente para ser removido finalmente en el proceso de filtración.

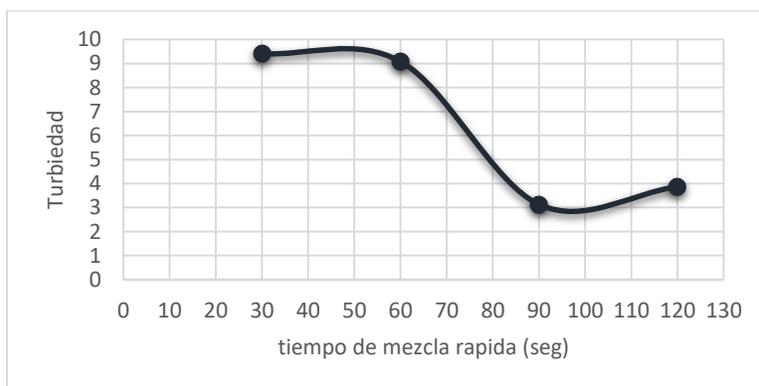
Figura 21. Procedimiento de la prueba de jarras



**6.3.2.1 Verificación del proceso de coagulación- floculación.** Se realizó un análisis para observar la relación entre tiempos de mezcla con respecto la remoción de turbiedad.

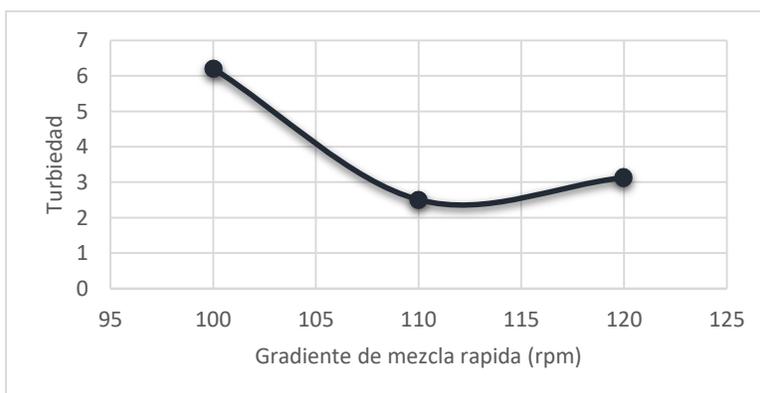
En la figura 22 se observa que al tener tiempos de mezcla rápida mayores a 50 seg se obtuvo una disminución de turbiedad final hasta los 100 seg, después de este tiempo comienzo a aumentar la turbiedad, esto demostró que tiempos muy cortos de 30 seg y largos mayores de 90seg no es eficiente el proceso de mezcla rápida, por lo tanto, se obtuvo que el tiempo óptimo de mezcla rápida es de 90 seg.

*Figura 22. Tiempo óptimo de mezcla rápida.*



En la figura 23 se observa la influencia que tiene el gradiente de velocidad con respecto la remoción de turbiedad, se obtuvo un valor óptimo de 110 rpm.

*Figura 23. Gradiente de velocidad optimo en la mezcla rápida.*

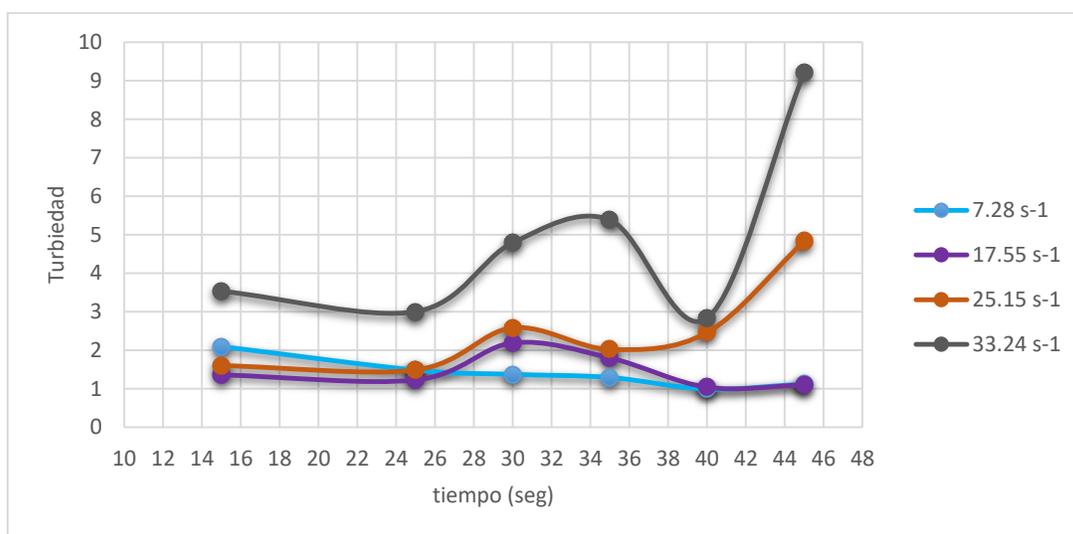


Para la simulación del proceso de floculación en las pruebas se realizó con una velocidad de agitación lenta, esta prueba se realizó para gradientes de agitación de 15 rpm, 30 rpm, 40 rpm y 50 rpm para la determinar el gradiente de velocidad en  $s^{-1}$  de cada prueba se utilizó la ecuación 1, obteniendo  $7.28 s^{-1}$ ,  $17.55 s^{-1}$ ,  $25.15 s^{-1}$ ,  $33.24 s^{-1}$  respectivamente.

$$0.25 * rpm^{1.25} \quad Ecn 3$$

En la figura 24 se observa cómo influye el tiempo de retención y el gradiente de velocidad con respecto a la eficiencia de remoción de turbiedad.

Figura 24. Influencia del tiempo de retención y el gradiente de velocidad en la mezcla lenta.



Si se opera a un gradiente de velocidad de  $33.24 s^{-1}$  la eliminación de turbiedad no es tan eficiente, esto ocurre debido a que al tener una agitación más fuerte lo que ocasiona es el rompimiento de los floc, el tiempo de retención también es importante se obtuvo que para los cuatro gradientes un tiempo mayor de 40min no hay una formación óptima de los floc, obteniendo así una turbiedad final mayor.

Para corroborar estos resultados con el comportamiento real se realizó la siguiente comparación,

para estas pruebas se operó la planta con un caudal de 90L/s, por lo tanto, en la siguiente tabla se observan las descripciones de cada sección

Sección	Caudal (L/s)	Volumen (L)	Tiempo de retención teórico
1	45	81011.2	30
2	45	93688.41	34

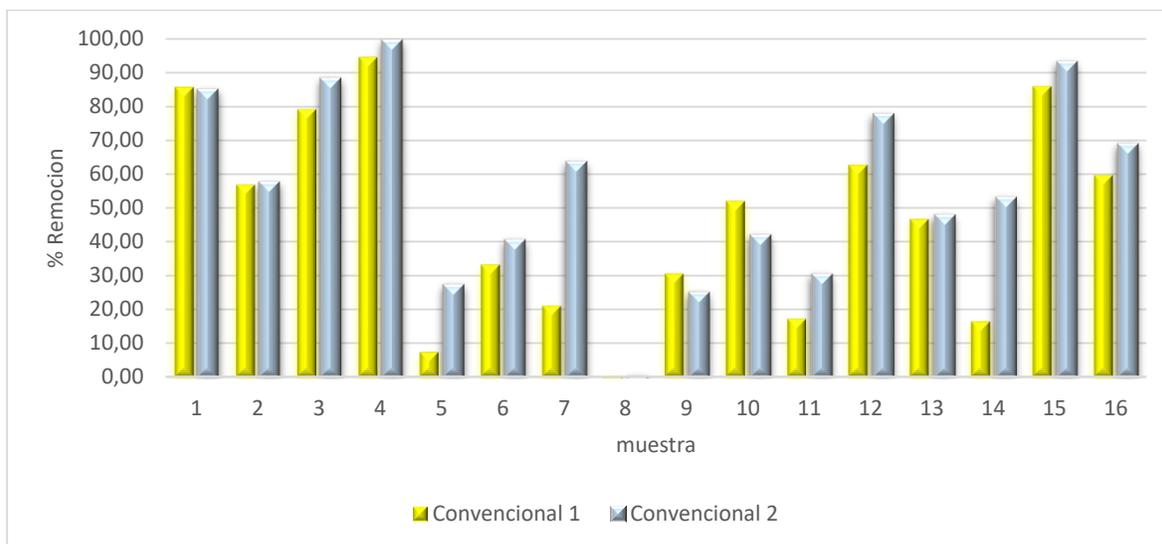
Con respecto a la tendencia de la figura 24 un tiempo de retención 30 min tendrá una turbiedad final un poco mayor a comparación de un tiempo de 34min, estos resultados se pueden comparar con el promedio de turbiedad final real obtenidos en este estudio, se tomaron los valores de las 16 muestras a la salida de los sedimentadores y los valores obtenidos en promedio fueron 1.64 UNT para la sección 1 y 1.46 UNT para la sección 2, lo cual corrobora los resultados de la tendencia de la prueba realizada, en el cual la sección 2 se obtiene una turbiedad final menor que la sección 1.

Otra forma para analizar la eficiencia de la unidad, fue comparando el porcentaje de remoción de la prueba de jarras la cual se obtuvo 98.24% para turbiedad y 82.52% para color, en el caso de la remoción promedio de las muestras analizadas en este estudio se obtuvo para la sección 1 95.65% de turbiedad y 93.78% de color, en la sección 2 se obtuvo 96.66% y 96.32% respectivamente.

La remoción real del proceso es un poco mayor al porcentaje esperado en el test de jarras, esto verifica el buen funcionamiento de la unidad, por lo tanto, el proceso de coagulación- floculación opera eficientemente.

**6.3.3 Sedimentación-Convencional.** En el proceso se analizó la remoción de carga contaminante, en las dos estructuras con las que cuenta la planta.

*Figura 25. Porcentaje de remoción de turbiedad en los sedimentadores convencionales.*



En la figura 25 se observa el porcentaje de remoción de turbiedad en cada muestra en los sedimentadores convencionales, antes de realizar la muestra 4 se realizó lavado de planta, lo cual es un factor que influye en la eficiencia de remoción, por lo que se obtuvo un mayor porcentaje en este caso 90.3% para la sección 1 y 99.28% para la sección 2, al transcurrir el tiempo el porcentaje de remoción va disminuyendo en esta unidad, para la muestra 15 igualmente se realizó al día siguiente de lavado de la unidad y también se presentó un aumento en el porcentaje de remoción de 85.84% y 92.95% respectivamente.

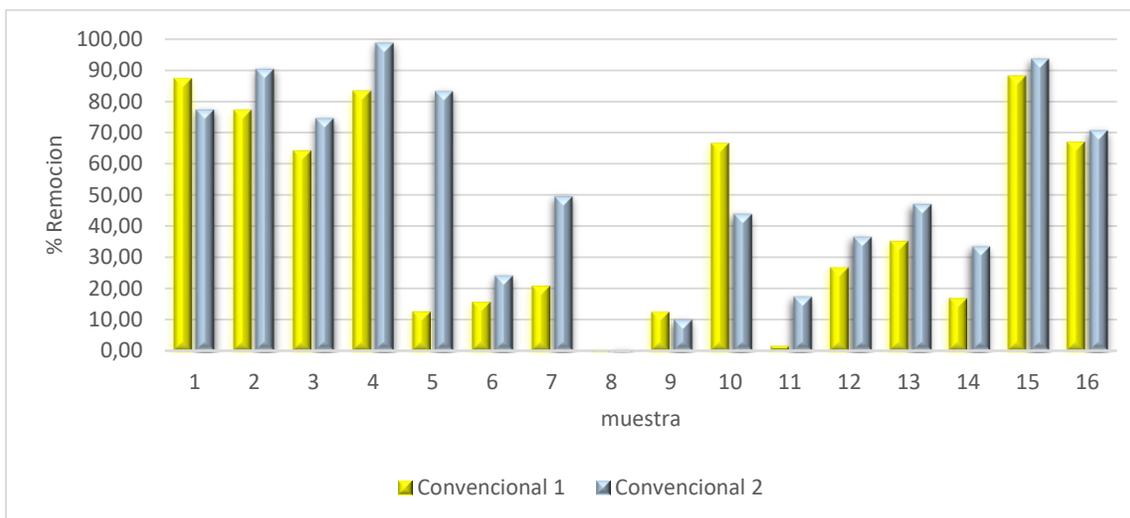
La disminución de la remoción se debe a que al transcurrir el tiempo el floc se va almacenando hasta el fondo de la estructura y las partículas coloidales se van reteniendo, para la muestra 8 se vio afectada por este fenómeno y como la salida de estas unidades se encuentra aproximadamente a 2 metros se sumergió una botella y esto ocasiono que el floc se dispersara un

poco y se recogió más partículas coloidales, por lo tanto, no se presentó una remoción en esta muestra sino un aumento, los datos se encuentran en la apéndice B1.1 y B1.2.

Las características del agua con respecto a la turbiedad en promedio ingresan 37.59 UNT para la sección 1 y 43.79 UNT para la sección 2 y a la salida se obtuvo en promedio una disminución hasta 15.72 UNT y 13.08 UNT respectivamente, los valores de ingreso bajos corresponden en días soleados y los valores más altos se obtuvieron en días lluviosos, la muestra con mayor turbiedad es la numero 4 la cual ingreso 233 UNT y 303 UNT y disminuyo hasta un valor de 12.9 UNT y 2.19 UNT respectivamente(apéndice B1.1 y B1.2). El porcentaje de remoción en esta unidad cumple para turbiedades bajas y altas, ya que la muestra con mayor valor tuvo un porcentaje de remoción alta, por otra parte, la estructura depende es del almacenamiento de la formación de lodos, es decir a mayor tiempo después de lavado de unidad los floc se van almacenando y reteniendo, por lo tanto, va disminuyendo la remoción.

En el caso del color también presenta la misma tendencia, al transcurrir el tiempo la remoción va disminuyendo debido a la retención de las partículas coloidales.

*Figura 26. Porcentaje de remoción de color en los sedimentadores convencionales.*



Los rangos que se obtuvieron de entrada a esta unidad con respecto al color corresponden entre 96 hasta 1086.50 UPC con un promedio de 262.14UPC para la sección 1 y 97.60 hasta 1800.30 UPC con un promedio total de 298.71 UPC (apéndice A1.1 Y A1.2) los valores más altos corresponden a la muestra 4 y se obtuvo una buena remoción, como se mencionó anteriormente en los resultados de turbiedad, también influyo el transcurso del tiempo, debido al almacenamiento de la formación de lodos.

Los porcentajes de remoción total de cada estructura se encuentran en la tabla 8

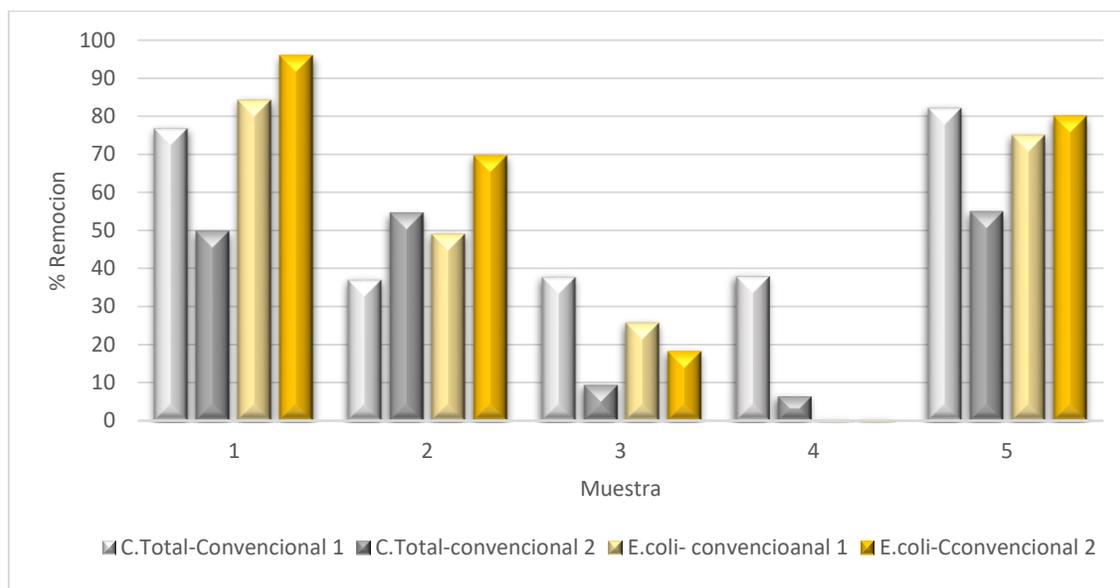
*Tabla 8. Porcentaje de remoción en los sedimentadores convencionales.*

Estructura	Color	Turbiedad	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>
Convencional 1	51,19	58,20	51,19	58,20
Convencional 2	69,89	70,13	69,89	70,13

Se obtuvo que la sección 2 tiene mayor porcentaje de remoción, esto se puede deber a la conformación de la estructura, ya que la inclinación para el almacenamiento de lodos va hasta el desagüe en el caso la unidad 1 se encuentra en el sedimentador convencional, mientras que la en la unidad 2 se encuentra es en el sedimentador de alta taza, por lo que el floc acumulado se va desplazando a esta zona, por esta razón en la sección 1 al encontrarse en esta unidad el desagüe presenta mayor cantidad de floc y la remoción es menor a comparación de la sección 2.

A las unidades ingreso un promedio de 18156 Coliformes totales y 5780 *Escherichia coli* y disminuyo hasta 10488 y 3228 respectivamente para la sección 1, en el caso de la sección dos se obtuvo un ingreso de 19798 Coliformes totales y 15006 *Escherichia coli* y disminuyo hasta 14300 y 7320 respectivamente.

Figura 27. Porcentaje de remoción microbiológica en los sedimentadores convencionales.

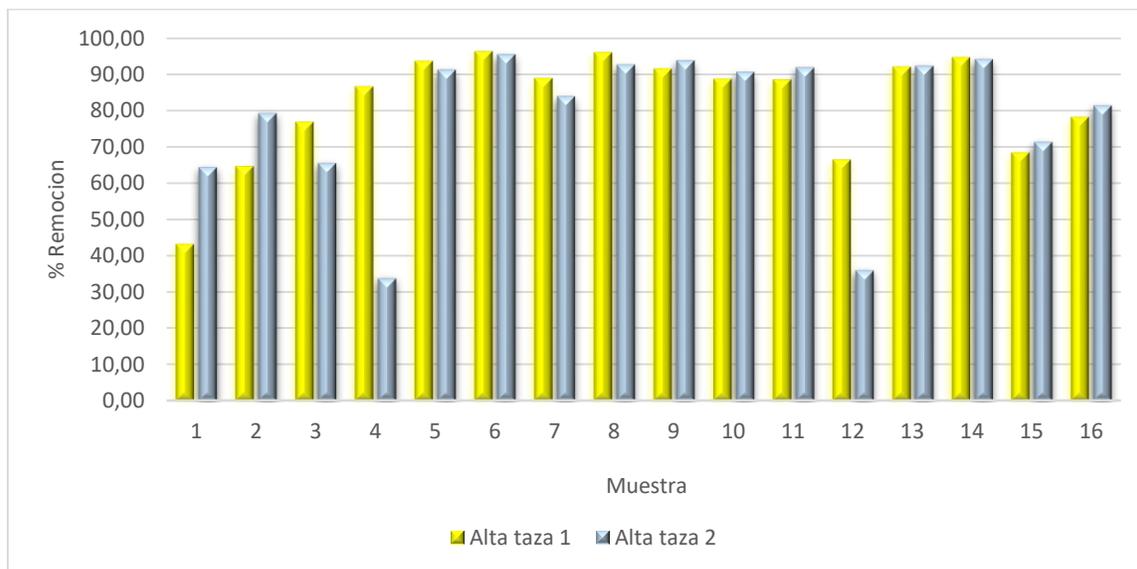


Para la parte microbiológica en la figura 27 se puede evidenciar una disminución de la remoción de la unidad hasta el punto 4 en el cual aquí ya no presento remoción de E.coli esto se debe a varios aspectos, el primero debido a la retención que se va formando de floc al transcurrir el tiempo después de lavado de unidad, segundo el manejo de recipientes, debido a la recolección por medio del hundimiento de una botella y traspasarlo al envase, en esta muestra debido a la dispersión del floc se recogió más partículas coloidales, también al momento de realizar la dilución, por lo general en esta unidad era necesario diluir 1ml de agua cruda en 99ml de agua esterificada, por lo que principalmente para estos microorganismos si tiene un gran impacto debido a que presenta una gran facilidad y rapidez de dividirse y crecer en el medio, también el tiempo de espera antes de realizar la filtración, esto ocasiona un pequeño cambio de temperatura para la muestra se obtuvo en la entrada 15.8°C y aumento 16.1°C, estos microorganismos se dividen con mayor facilidad, por lo que ocasiono un aumento en esta muestra, por otra parte si presento una disminución de coliformes totales esto debido a que su crecimiento no se vio tan afectado por un pequeño cambio de temperatura como *Escherichia coli*.

Para la última muestra se observó un aumento de remoción, debido a que se tomó el día siguiente de lavado de planta, obteniendo un porcentaje de remoción en la sección 1 de 82.09% de Coliformes Totales y 75% *Escherichia coli* y para la sección 2 de 54.76% y 80% respectivamente.

**6.3.4 Sedimentación-Alta taza.** La planta cuenta con dos secciones a continuación se encuentra los resultados obtenidos.

*Figura 28. Porcentaje de remoción de turbiedad en los sedimentadores de alta taza.*



El porcentaje de remoción de turbiedad en esta unidad a comparación de los convencionales presentaron una mayor remoción, en promedio se obtuvo un ingreso de 15.72 UNT y disminuyo hasta 1.64 UNT en la sección 1 y para la sección 2 se obtuvo un promedio de ingreso de 13.08 UNT hasta una disminución de 1.46 UNT, lo cual indica que en promedio el agua que sale de esta unidad se encuentra dentro de la resolución 2115 el cual tiene un valor máximo de 2 UNT, aun así en el siguiente proceso se remueven partículas más finas lo cual va a disminuir aún más este parámetro.

En el caso del color en promedio se obtuvo un ingreso de 127.95 UPC y disminuyo hasta 16.31 UNT en la sección 1 y para la sección 2 se obtuvo un ingreso promedio de 89.94 UNT hasta una disminución de 10.98 UNT.

*Figura 29. Porcentaje de remoción de color en los sedimentadores de alta taza.*



En la figura 28 y 29 se observó un alto porcentaje de remoción a diferencia de los sedimentadores convencionales al transcurrir el tiempo de operación después de lavado no se presenta una disminución tan pronunciada, debido a dos factores, el primero gran parte de particular coloidales se sedimentaron en la unidad convencional, segundo el agua ingresa por debajo de las placas y los flocs se van reteniendo en esta zona, obteniendo así un agua más clarificada.

En esta unidad se removieron las partículas que no se sedimentaron en la sección convencional, por lo tanto, esta eficiencia si dependió de la cantidad de remoción que se presente en la unidad anterior, esto se pudo evidenciar en las primeras muestras y las dos últimas ya que tuvieron un porcentaje de remoción un poco menor esto debido a que se realizaron después de lavado de planta, la disminución se da porque la mayor cantidad de partículas coloidales se

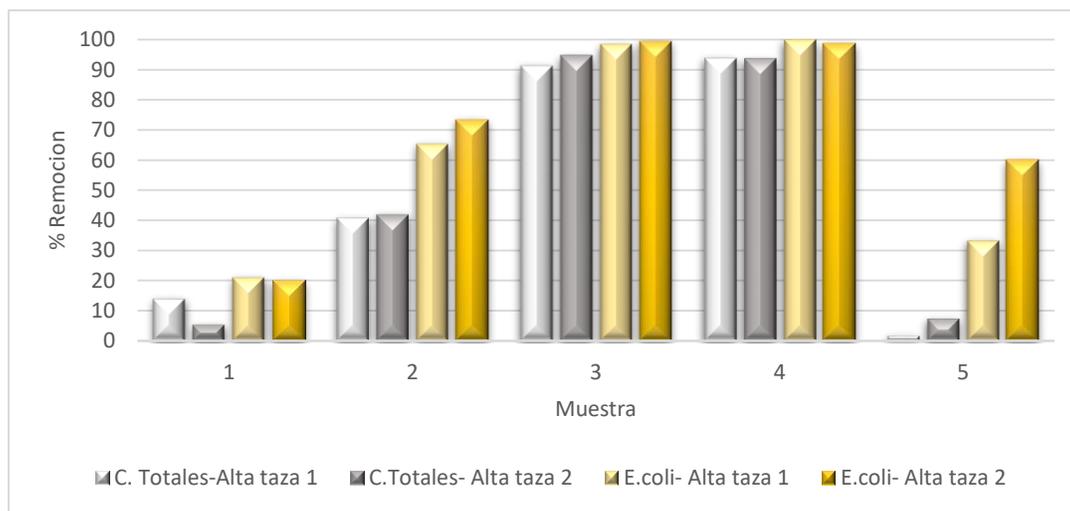
removieron en los sedimentadores convencionales, al transcurrir el tiempo después de lavado como los sedimentadores convencionales empiezan a disminuir la cantidad removida, estos sedimentadores de alta taza empiezan a remover más cantidad de partículas, por lo tanto se evidencia un porcentaje de remoción alto, estos valores se encuentra en la siguiente tabla.

*Tabla 9. Porcentaje de remoción en los sedimentadores de alta taza.*

Estructura	Color	Turbiedad	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>
Alta taza 1	87,25	89,59	70,98	74,66
Alta taza 2	87,80	88,83	78,70	88,35

En la tabla 9 se pudo observar que los parámetros color y turbiedad presento porcentaje de remoción similares, en el caso de los microorganismos esta remoción es poco mayor en la sección 2 a comparación de la sección 1.

*Figura 30. Porcentaje de remoción microbiológica en los sedimentadores de alta taza.*



En la figura 30 se obtuvo una remoción creciente en las muestra esto se debe a que está relacionado con la remoción de microorganismo en los sedimentadores convencionales, es decir

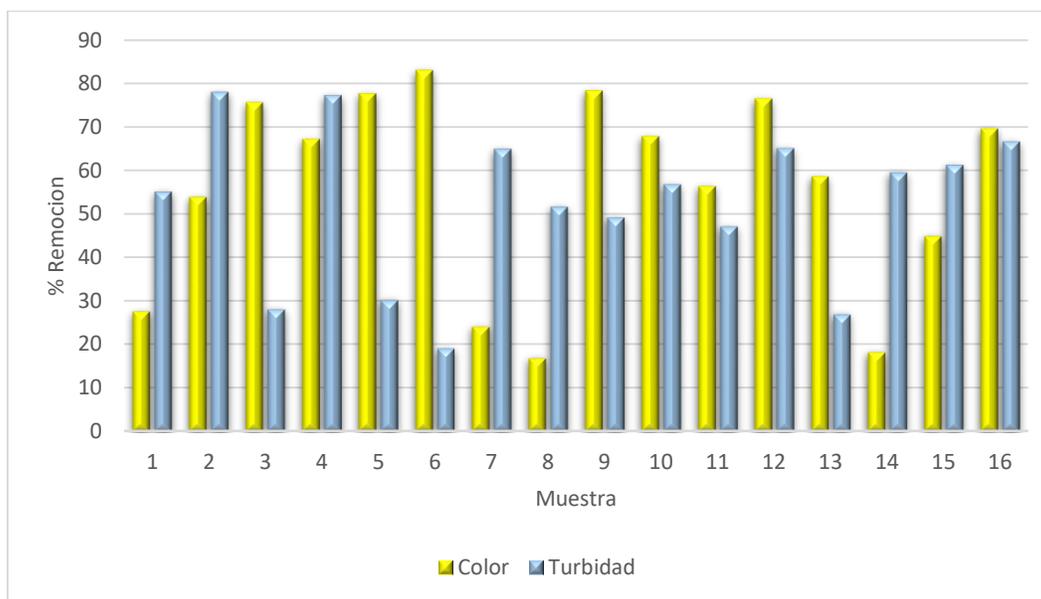
si se removió mayor cantidad en esa unidad, entonces para los sedimentadores de alta taza su remoción es menor, por lo contrario cuando en los convencionales empezó a aglomerarse el floc y su remoción disminuyo, esta unidad tuvo la capacidad de remover estos microorganismos que no se pudieron sedimentar anteriormente.

Para la muestra 1 en los sedimentadores convencionales 1 y 2 se obtuvo un porcentaje de remoción de Coliformes totales del 76.73% y 49.66% y *Escherichia coli* de 84.16% y 95.93% respectivamente, al removerse la mayor cantidad de microorganismos en estas unidades, en los sedimentadores de alta taza se eliminó menor cantidad, donde se obtuvo una remoción de Coliformes totales de tan solo 5.33% y 13.95% y *Escherichia coli* de 20% y 21.05% respectivamente, por otra parte cuando la sección convencional se removió pequeñas cantidades como la muestra 3 para Coliformes totales se obtuvo 37.80% y 9.31% y *Escherichia coli* de 25% y 18% , por lo tanto al ingresar mayor cantidad de microorganismos los sedimentadores de alta taza eliminaron gran cantidad de ellos, donde se obtuvo una remoción de coliformes totales de 94.65% y 91.17% y *Escherichia coli* de 99.55% y 98.46%.

**6.3.5 Filtración.** En esta unidad se realizó un promedio de las dos entradas para determinar el porcentaje de remoción, ya que esta unidad cuenta con una sola salida.

Para la determinación de la remoción los valores de las dos entradas se encuentran en el apéndice C1.1

Figura 31. Porcentaje de remoción de propiedades físicas en la filtración.



En la imagen 31 se observa el porcentaje de remoción de color y turbiedad, en el cual la muestra 8 se obtuvo menor remoción de color esto se debe a que depende del mantenimiento de la unidad y la remoción de la unidad anterior, es decir si ingresa menor o mayor cantidad a la unidad, para esta muestra ingreso con tan solo un valor de 5,65 UPC el cual es bajo, por ende disminuyo hasta 4.7 UPC, ahora en el caso opuesto, la muestra con el valor más alto de ingreso es la muestra 5 de 26.85 UPC disminuyendo hasta 0.76 UPC, por lo que se obtuvo un porcentaje de remoción de 77.65%.

Para el caso de la remoción de turbiedad presento una tendencia similar, el porcentaje de remoción menor correspondió a la muestra 6 con una remoción de 19.17%, para esta muestra la entrada promedio fue de 0.73 el cual es un valor bajo y se encuentra dentro de la norma y disminuyo a 0.53, ahora en el caso de la muestra dos con mayor porcentaje de remoción, se ingresó 2.14 y disminuyo hasta 0.47.

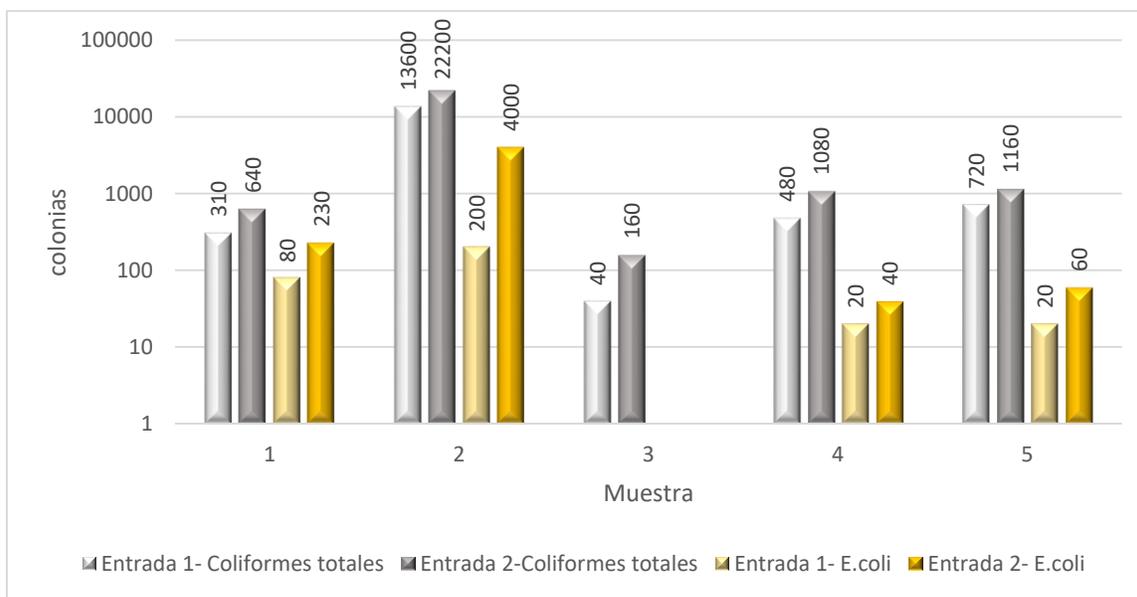
En la tabla 10 se observan los porcentajes de remoción de la filtración, se obtuvo como valores finales en promedio para el color un valor de 4.49 y para la turbiedad 0.65 y cumplen con los valores máximo establecidos en la resolución 2115, los cuales son 15 UPC y 2 UNT respectivamente.

Tabla 10. Porcentaje de remoción en la filtración.

Estructura	Color	Turbiedad	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración	61,51	56,84	65,20	82,62

En el caso de los microorganismos presento una remoción mayor, aun así, todavía hay presencia de ellos, en promedio salen 1406 colonias Coliformes Totales y 81 colonias de *Escherichia coli*, los cuales serán removidos en la siguiente unidad.

Figura 32. Cantidad de entrada de microorganismos en la unidad de filtración.



En la figura 32 para Coliformes Totales y *Escherichia coli* se observó que en todas las muestras ingresó menor cantidad de colonias en la entrada 1, esto se presentó ya que el agua proveniente del sedimentador de alta taza 1 se mezcla con un agua proveniente de la planta de

tratamiento Monteadentro la cual ya ha pasado por el proceso de desinfección, así que presenta una cantidad de cloro, al mezclarse estas dos aguas hay una disminución de microorganismos y por eso el ingreso a la unidad de la filtración 1 hay menor cantidad de colonias de los microorganismos a comparación de la unidad 2, ya que esta solo ingresa el agua proveniente de la salida del sedimentador de alta taza 2.

**6.3.6 Desinfección.** Esta es la última unidad del proceso de potabilización en el cual elimina por completo los microorganismos dañinos.

Se obtuvo que para Coliformes Totales todas las muestras presentan una remoción del **100%**, en el caso de *Escherichia coli* la muestra 3 y 5 no presentaron remoción debido a que en la salida de filtración ya se habían removido todos estos microorganismos, ***por lo tanto en esta unidad se removió el 100% de microorganismos.***

Estos resultados corroboran el cumplimiento de la resolución 2115 en el cual no debe haber presencia de estos microorganismos en el agua.

#### **6.4 Determinación De La Eficiencia Total**

En la figura 33 se observa dos muestras a condiciones climáticas diferentes, la primera se tomó en un día lluvioso y los valores de entrada de color y turbiedad fueron de 2057.40 UPC y 563 UNT, por otra parte, un día soleado las condiciones del agua son más bajas, para esta muestra se ingresó 141 UPC y 16.6 UNT respectivamente, los datos de las muestras analizadas se encuentran en el apéndice H.

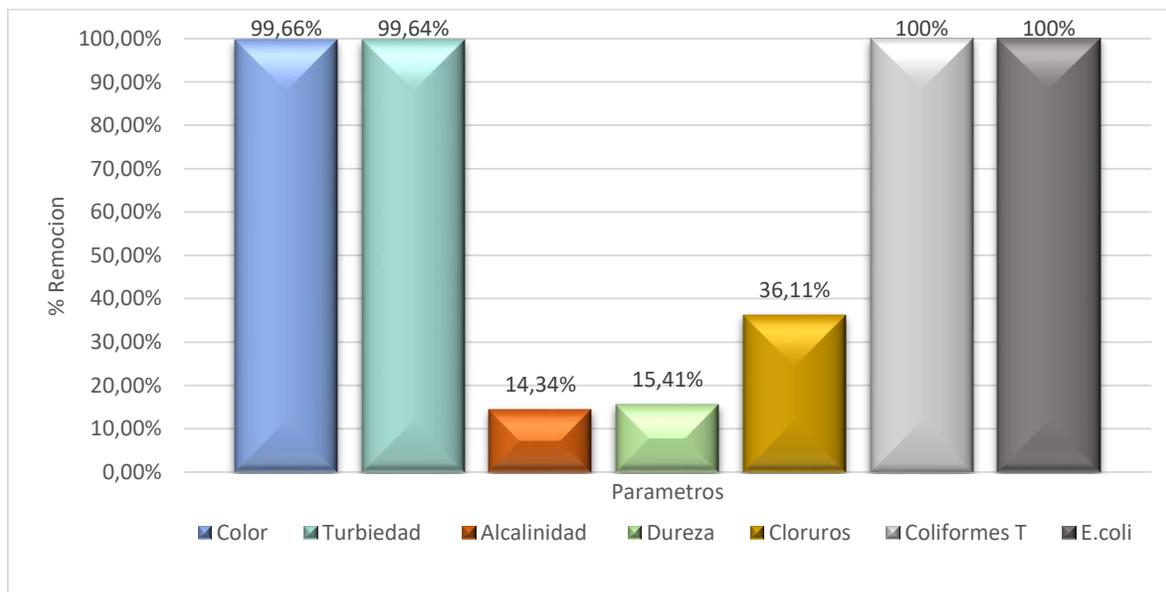
El agua después de ser tratada en los dos casos cumple con la resolución 2115 del 2007, los resultados de todos los parámetros analizados se encuentran en la tabla 11.

Figura 33. Muestras de entrada y salida del proceso de potabilización.



A continuación, se observa el porcentaje de remoción promedio de cada parámetro analizado en este estudio, los cuales son turbiedad, color, alcalinidad, cloruros, dureza, Coliformes Totales y *Escherichia coli*.

Figura 34. Remoción fisicoquímica y microbiológica global.



La remoción de color que se obtuvo es del 99.19%, en promedio ingreso 632.98 UPC y disminuyo hasta 2.18 UPC, para la turbiedad con 99.65% su entrada promedio fue de 157.33 UNT y disminuyo hasta 0.57 UNT.

Para la alcalinidad, dureza y cloruros se obtuvieron porcentajes de remoción de tan solo 14.4%, 14.41% y 36.11% esto es debida a las características del agua proveniente de las dos quebradas Monteadrento y El Rosal, el valor promedio de ingreso es de tan solo de 34 ppm, 28.55 ppm, 10.50 ppm respectivamente, los cual son bastante bajos, por ende no se tuvieron en cuenta en el análisis de cada estructura ya que lo valores de entrada son muy inferiores a los valores máximos permisible los cuales son 200 ppm ,300 ppm y 250 ppm, por lo tanto no es necesario un control tan riguroso en cada estructura del proceso de potabilización, sino un control en el análisis total.

Para el caso de Coliformes Totales y *Escherichia coli* se removieron todos los microorganismos presentes en el agua.

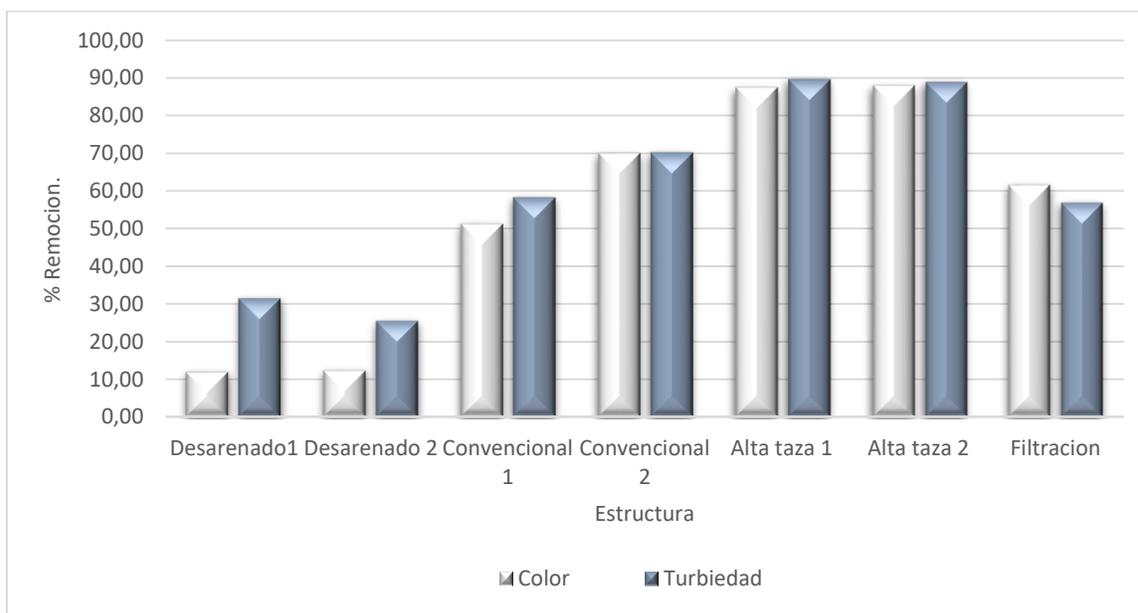
*Tabla 11. Comparación de los resultados de la salida del proceso de potabilización con la resolución 2115.*

Parámetro	Valor obtenido	Valor máximo	Unidad
Color	5.10	15	UPC
Turbiedad	0.57	2	UNT
pH	7.28	6.5-9	
Alcalinidad	29.13	200	ppm
Dureza	24.15	300	ppm
Cloruros	6.71	250	ppm
Coliformes Totales	0	0	UFC
<i>Escherichia coli</i>	0	0	UFC

Los valores obtenidos a la salida del tratamiento de potabilización como se observa en la tabla 11 cumplen con la (Resolucion 2115 de 2007 n.d.), garantizando ser apta para el consumo humano.

Como se mencionó anteriormente los porcentajes de remoción son altos, cada parámetro se va reduciendo al pasar por cada estructura, en la figura 35 se observan los porcentajes promedio que se obtuvieron de cada estructura.

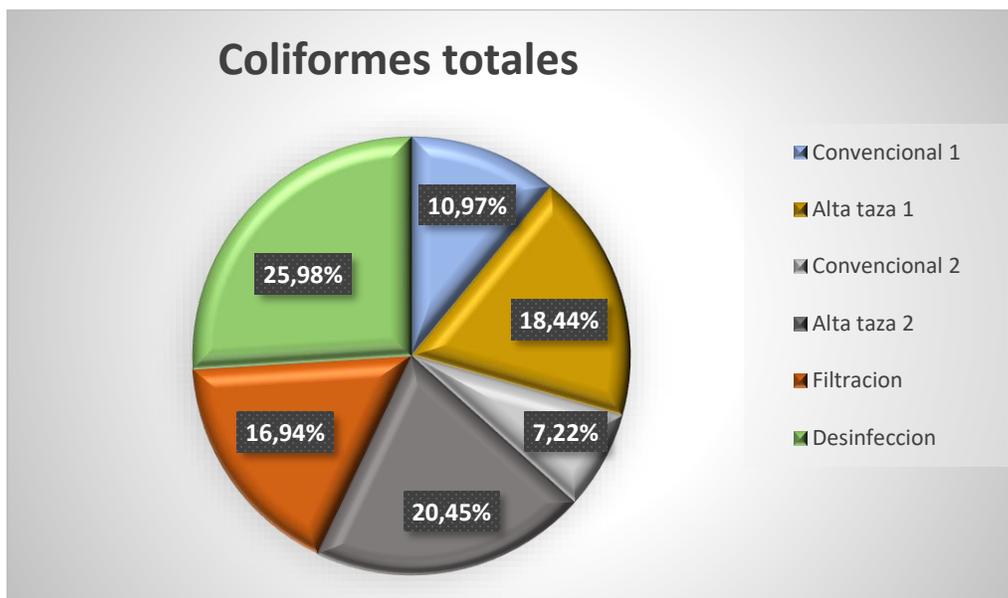
*Figura 35. Remoción de parámetros físicos y microbiológicos de cada estructura.*



Los desarenadores son las estructuras con menor remoción de color y turbiedad esto se debe a que las sustancias que remueve esta unidad son arena, gravilla, es decir partículas con el peso suficiente para sedimentarse solo con la acción de la gravedad, las demás partículas coloidales se removieron en los siguientes procesos, como se analizó anteriormente los sedimentadores de alta taza obtuvieron mayor porcentaje de remoción que los convencionales, por último se tiene la filtración que removi6 las partículas m6s finas y se obtuvo un porcentaje de remoci6n del 61.51% para el color y 56,84% para la turbiedad.

Para los microorganismos se obtuvo una remoción global del 100%, la entrada se tomó en la cámara de empalme donde se mezclan las dos fuentes por lo tanto en la figura 36 se ilustran las estructuras que conforman el sistema convencional con sus respectivos porcentajes de remoción, para los Coliformes Totales, la unidad de desinfección presentó mayor porcentaje de remoción, debido a que es el proceso final encargado de eliminar por completo los microorganismos, seguidamente se encuentran los sedimentadores de alta taza con porcentajes 18.44% y 20.45%, en tercer lugar está la filtración que removió el 16.94% de las partículas coloidales finas que no se pudieron eliminar por acción de gravedad en la unidad anterior, por último están los sedimentadores convencionales con una remoción del 10.97% y 7.22%.

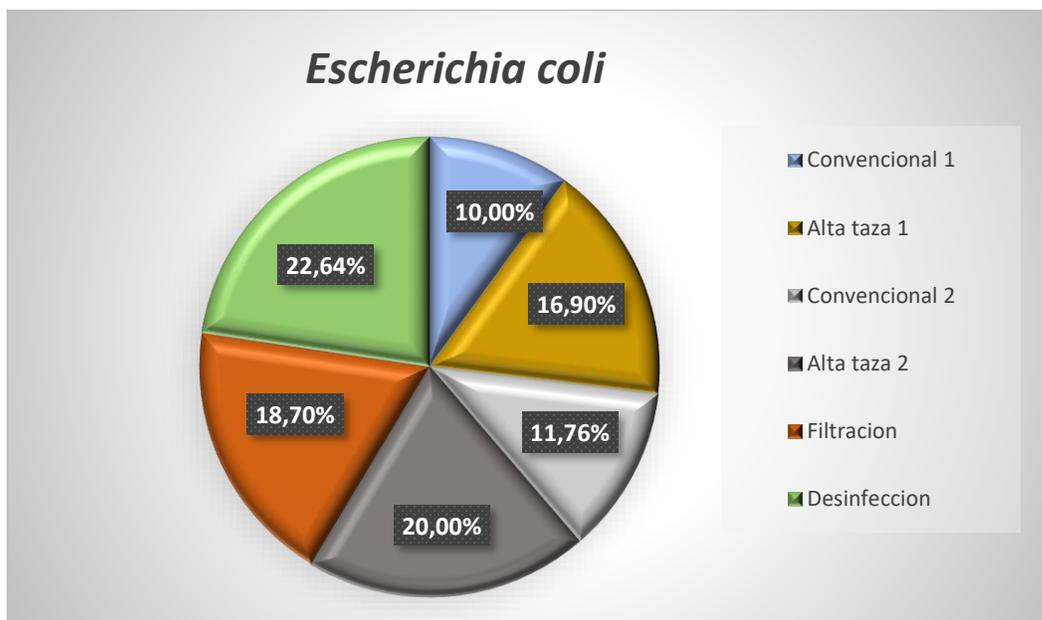
Figura 36. Porcentaje de remoción de Coliformes totales en cada estructura.



El porcentaje de remoción de *Escherichia coli* en el proceso de desinfección se removió el 22.64% , seguidamente de los sedimentadores de alta taza removiendo el 16.90% y 20%, en tercer lugar está la filtración que removió el 18.70%, en esa unidad se removió un porcentaje mayor a comparación de los Coliformes totales, esto es debido a que en dos muestra se obtuvo una

eliminación total *E.coli* a la salida de este proceso y por ultimo están los sedimentadores convencionales con una remoción del 10% y 11.76%.

*Figura 37. Porcentaje de remoción de Escherichia coli en cada estructura.*



## 6.5 Alternativa De Mejoramiento

La planta de tratamiento de Empopamplona-Cariongo cuenta 2 secciones de sedimentación cada una de estas secciones está constituida por dos tipos de sedimentadores uno convencional y el otro de alta taza, donde se obtuvo porcentajes de remoción altos.

Por lo tanto la propuesta está enfocada en el diseño del proceso de sedimentación, esta alternativa de mejoramiento consiste en que la planta opere solo con sedimentadores de alta taza y se implemente un tanque de almacenamiento para prever circunstancias de época de sequía, por lo que el propósito es que cuando la demanda de la población no es abastecida debido a bajos caudales, este tanque se llene en horas de poco consumo (noche principalmente) para que al día siguiente en las horas que se requiera más caudal del que ingrese a la planta, esta unidad conjunta

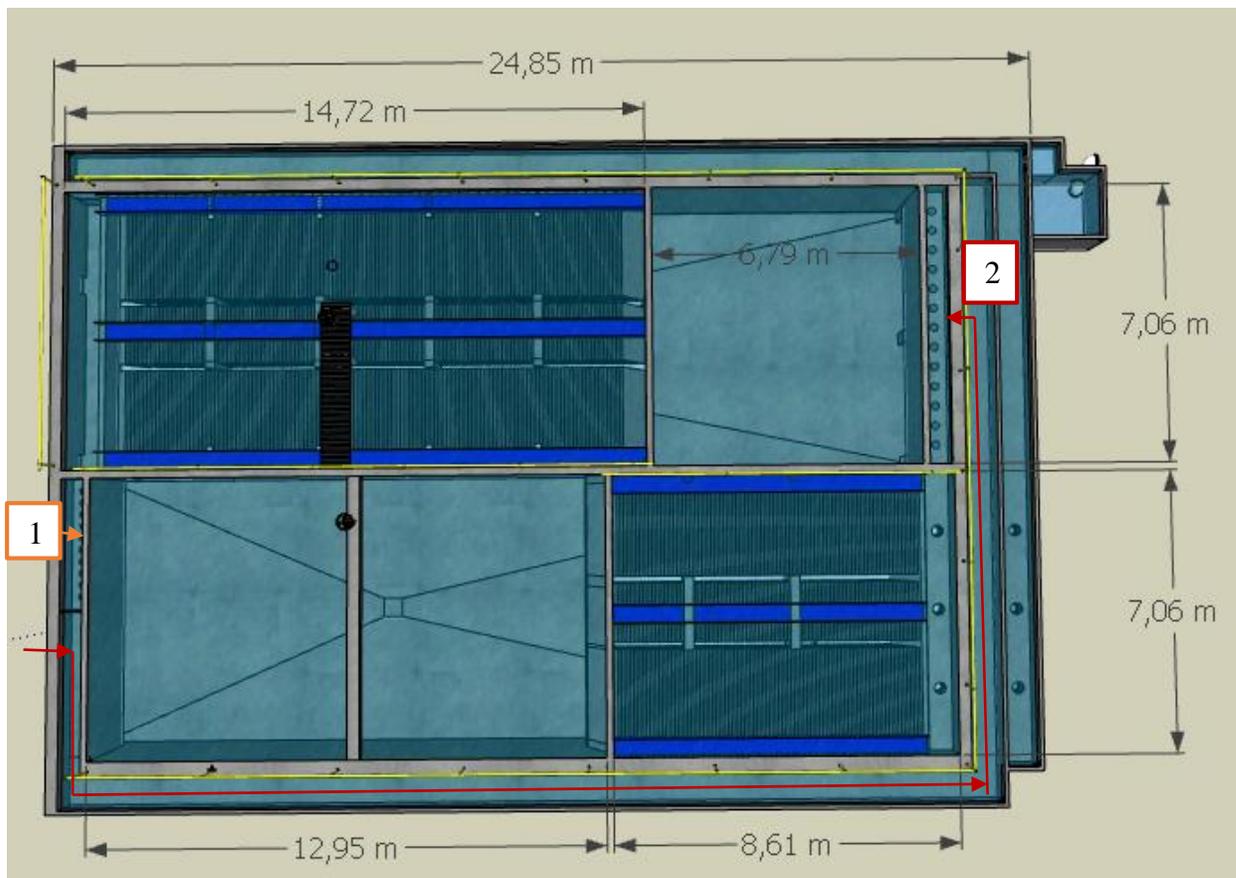
a los dos tanques de almacenamiento con los que opera la planta descarguen el agua necesaria para suplantar la demanda.

### 6.5.1 Diseño actual del proceso de sedimentación

El diseño se utilizó en el programa de sketchUp, a continuación, se ilustra el diseño actual de la sección de los sedimentadores.

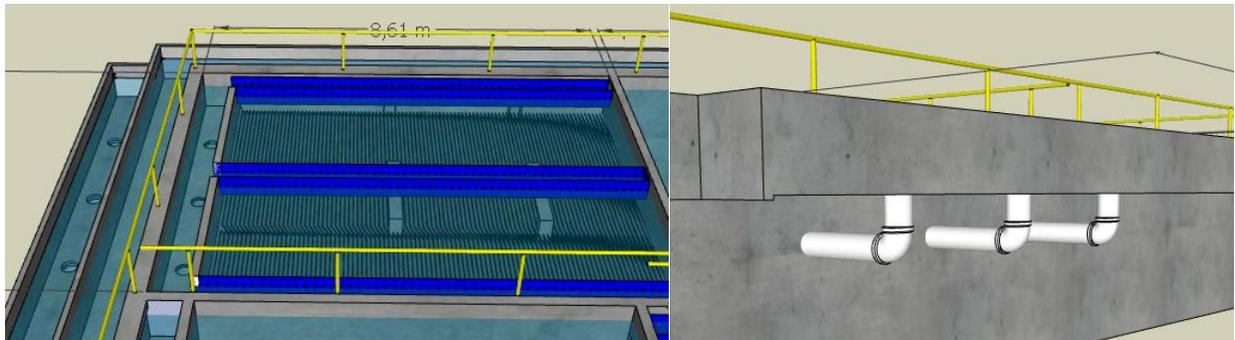
En la figura 38 los números 1 y 2 indican la entrada del agua proveniente del proceso de floculación a cada sección de los sedimentadores, la primera entrada cuenta con 10 orificios con un diámetro de 8 pulgadas(0.2032m) y en la segunda con 13 orificios con el mismo diámetro.

*Figura 38. Diseño actual de la sección de los sedimentadores en SketchUp.*



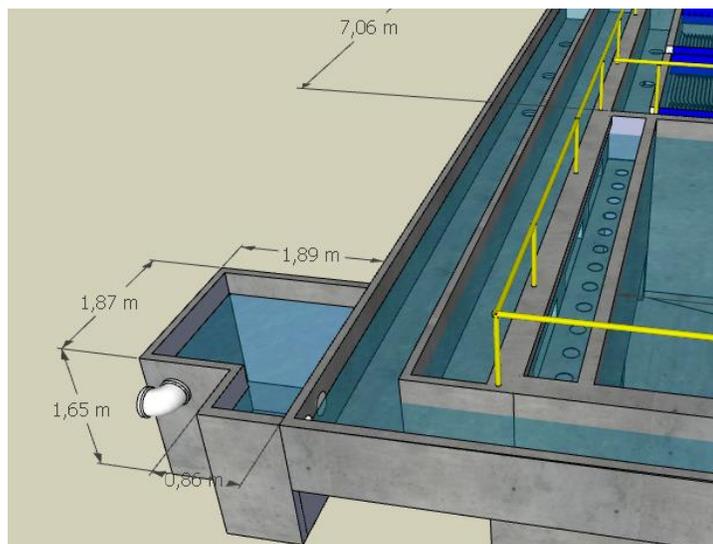
En la figura 39 el agua que sale del sedimentador de alta taza en la primera sección es transportada por una tubería al siguiente canal por la parte inferior, posteriormente esta agua se mezcla con la llegada del agua proveniente de la planta de tratamiento Monteadentro, esta agua ya ha pasado por el proceso de potabilización.

*Figura 39. Salida del agua sedimentada de la sección 1.*



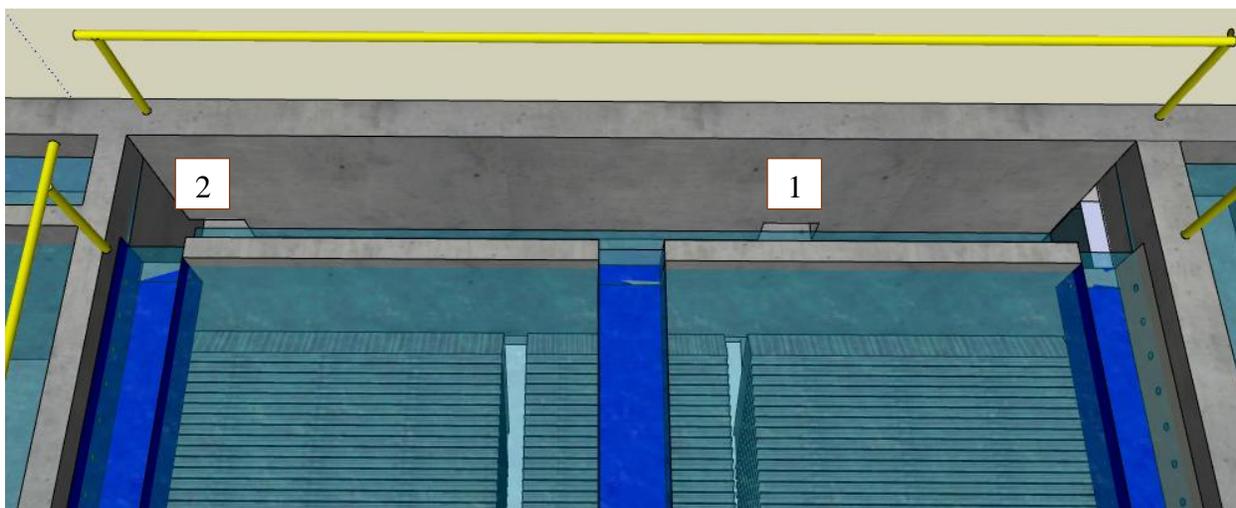
Las dimensiones de entrada proveniente de la planta Monteadentro se observan en la imagen 40 el cual ingresa cuando hay un excedente de caudal en esta planta, por lo tanto, es transportada por una tubería.

Figura 40. Mezcla del agua de salida de la sección 1 y el agua de Monteadentro.



la salida de la sección 2 comunica directamente con la entrada del proceso de filtración como se observa en la figura 41 cuenta con dos entradas a esta unidad, en el cual la entrada 1 ingresa la mezcla de la sección 1, la sección 2 y el agua proveniente de la planta Monteadentro, por otro lado, la segunda entrada ingresa solamente el agua proveniente de la sección 2.

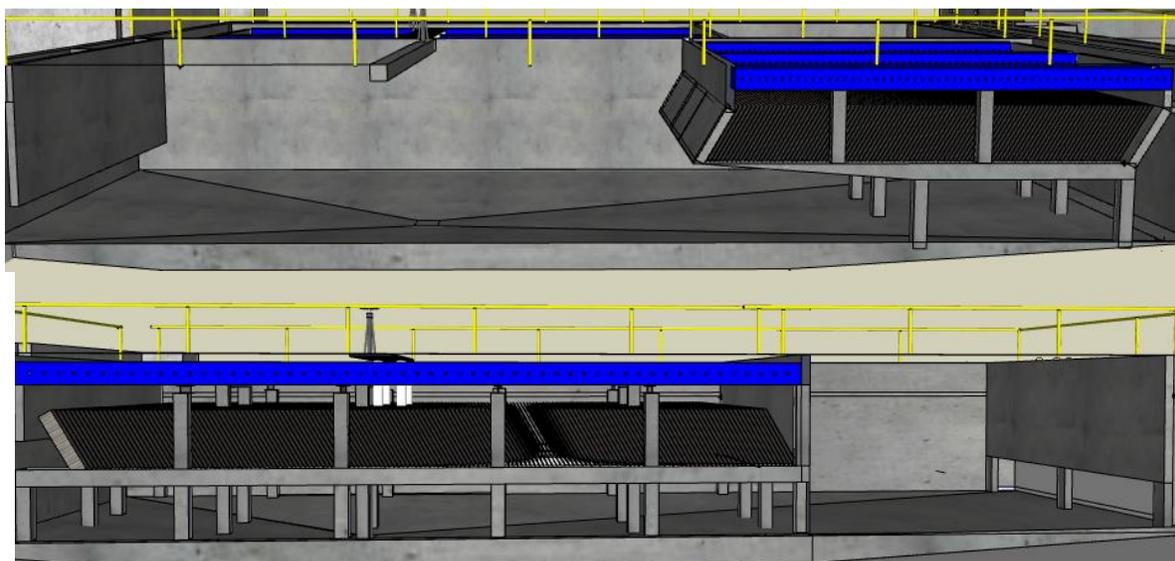
*Figura 41. Salida de la sección 2 de sedimentación.*



La profundidad de esta unidad es de 3,2 m, la parte interna de los sedimentadores está construida con una inclinación de 6,9% hasta el desagüe, esta inclinación tiene como finalidad el almacenamiento de los lodos que posteriormente son evacuado por el desagüe, la sesión 1 tiene menos columnas de soporte debido a que el sedimentador de alta taza es más pequeño a comparación de la sección 2, por lo tanto, el sedimentador convencional en la unidad 1 es más grande, las columnas tienen como función el soporte de las placas de asbesto-cemento que se encuentran distanciadas cada 7cm y su espesor es de 1cm, para las placas de los extremos son de 1,20 m x 2,40 m y las placas ubicadas en el medio son de 1.20m x 1.5m, para ambas unidades.

A continuación, en la figura 42 se observa la estructura interna de las dos unidades de los sedimentadores.

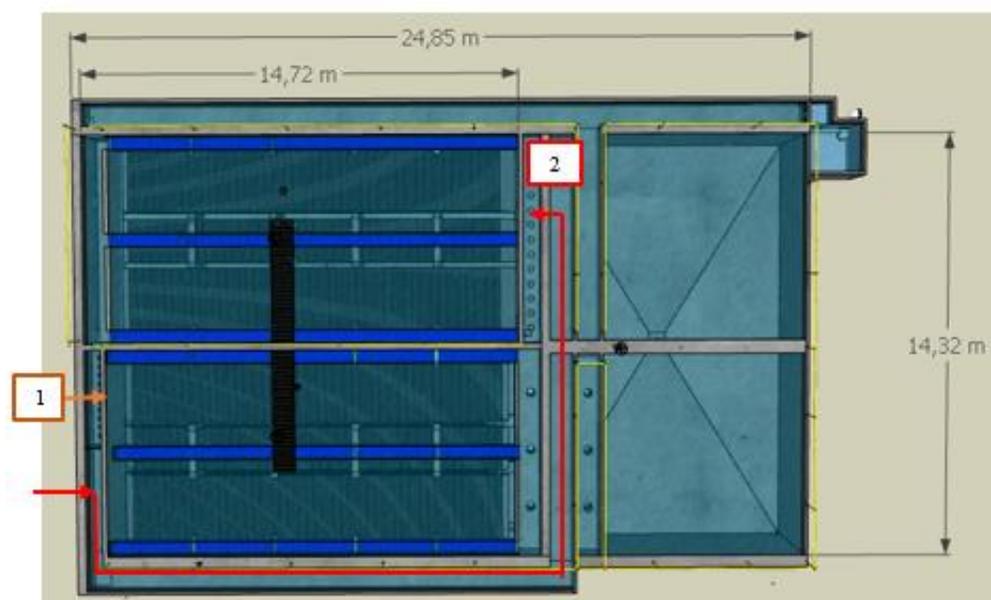
Figura 42. Estructura interna de las secciones de los sedimentadores.



### 6.5.2 Diseño para la modificación de la estructura de sedimentación.

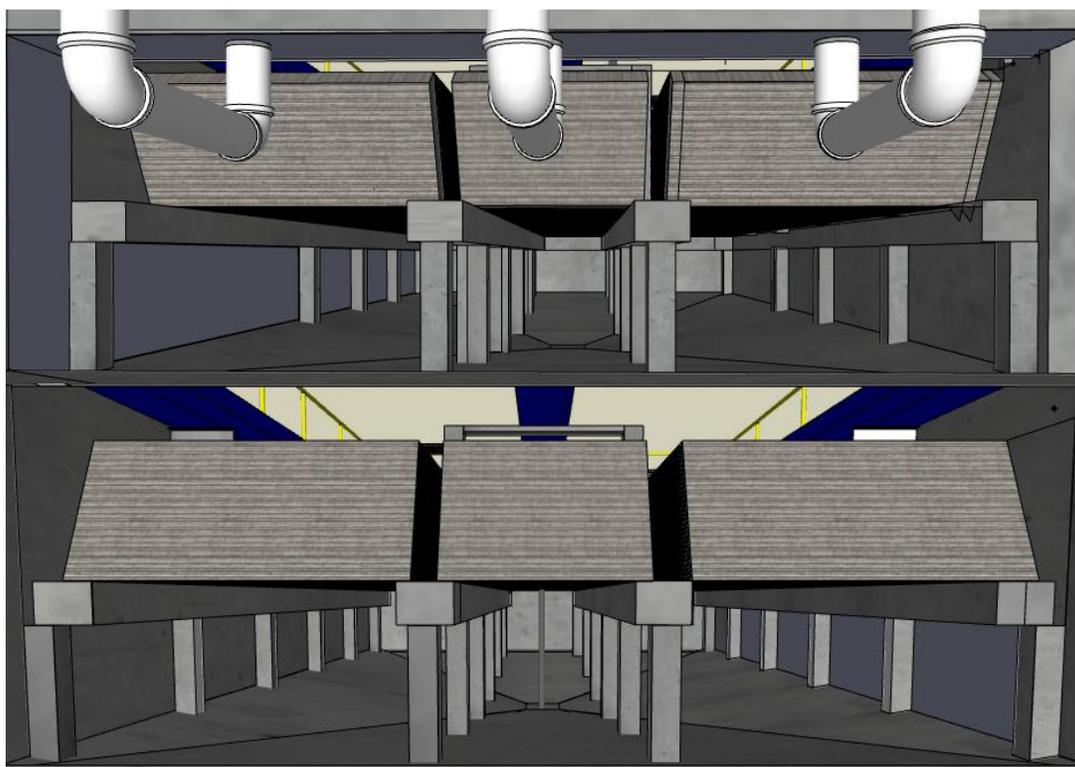
En la imagen 43 se observa la posible modificación de la unidad de sedimentación, la cual consiste en dos sedimentadores de alta taza con placas paralelas de asbesto cemento y un tanque de almacenamiento de agua cruda para prever circunstancias de época de sequía.

Figura 43. Alternativa de diseño de la sección de los sedimentadores



Los sedimentadores de alta taza tendrían las mismas dimensiones, por lo tanto, la parte interna de la estructura también, infieren en la ubicación de las placas, debido a que el flujo de agua que ingresa a las dos secciones son opuestas, las placas están ubicada en sentidos contrario, en la imagen 44 se observa dicha modificación del proceso.

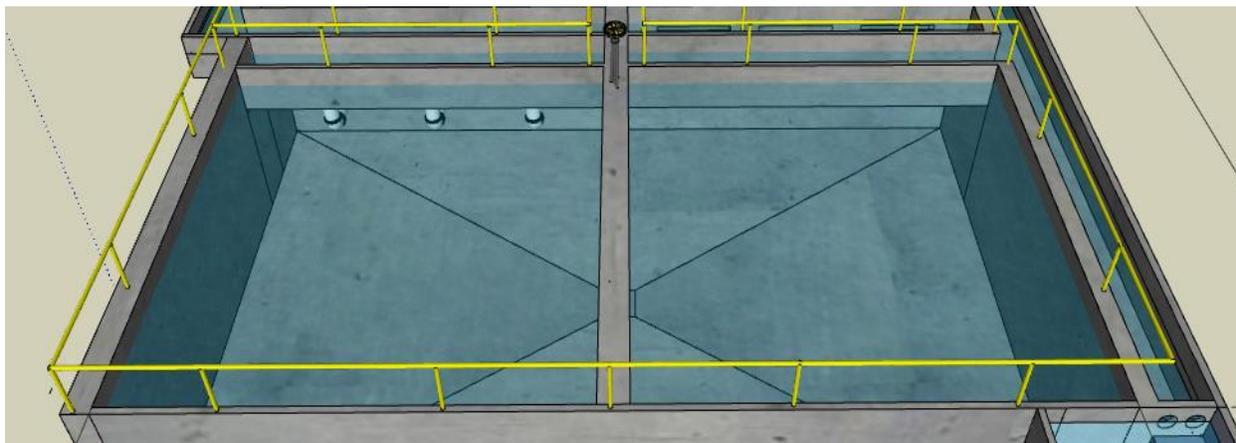
*Figura 44. Estructura interna optimizada.*



La distancia restante de esta unidad se implementaría un tanque de almacenamiento de agua cruda la cual estará conectada con la cámara de empáleme para suministrar el agua y llenar el tanque, también tiene una inclinación hasta el desagüe, ya que al tener el agua almacenada algunas partículas que no se sedimentaron en el desarenado, en esta unidad pueden sedimentarse, la finalidad de esta unidad es utilizarla en épocas de sequía, para suministrar en horas con más

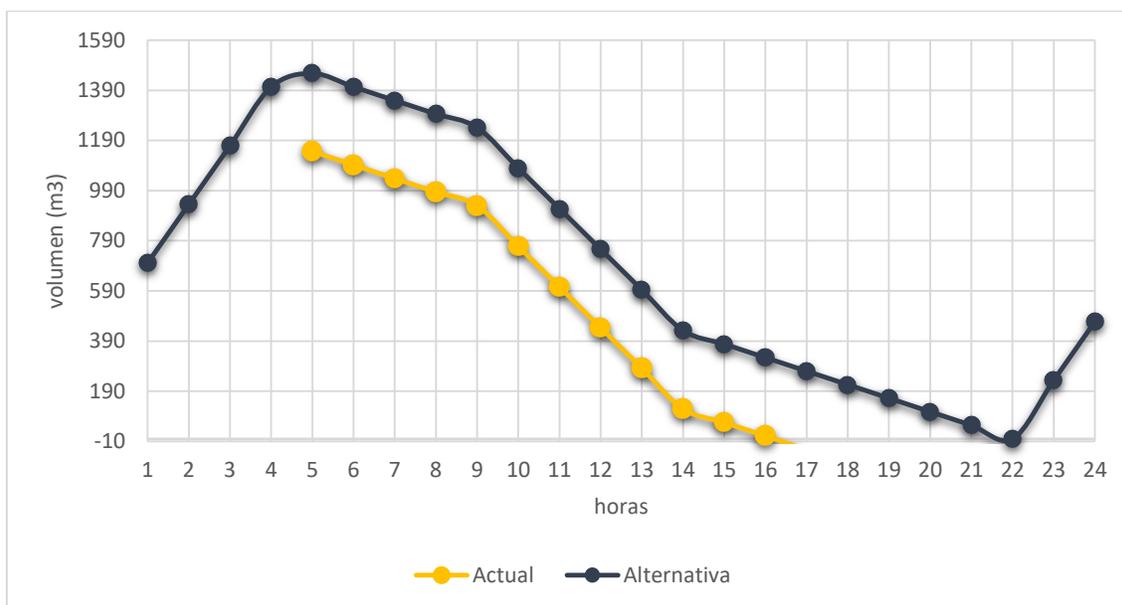
consumo para suplantar la demanda requerida, el tanque cuenta con un volumen de aproximadamente 312000L, esta unidad se observa en la imagen 45

*Figura 45. Tanque de almacenamiento de agua cruda.*



En épocas de caudales bajos los tanque de almacenamiento sirven para suplantar la demanda requerida, esto se logra llenando los tanques en horas de la madrugada donde el consumo disminuye y el excedente se suministra a los tanques para descargarlos al día siguiente cuando aumenta la demanda, por otra parte en situaciones extremas donde se presenta sequía no se tiene las cantidades necesarias para llenar los tanques de almacenamiento, por ejemplo el caudal con menor ingreso a la planta ha sido de tan solo 65L/s por lo que no cubre la demanda en horas de poco consumo es decir en las noche, en el cual se requieren 80L/seg y en estas épocas tampoco hay ingreso de agua excedente de la planta de Monteadentro, por lo tanto es necesario el racionamiento del agua.

Figura 46. Consumo de agua durante el día.



En la figura 46 se observa el consumo del agua con respecto los tanques de almacenamiento, la planta cuenta con dos tanques de  $600\text{m}^3$  cada uno, en el cual, si se realiza una suspensión en horas de menos actividad, con el ingreso de  $65\text{L/s}$  la duración de llenado es de 5 hora, por lo tanto, el suministro a los usuarios se inicia desde las 5am, en el cual de 5-9 el consumo mínimo requerido es de  $80\text{L/s}$ , seguidamente de las horas de más consumo de 10am- 2pm el cual se requiere mínimo un caudal de  $110\text{L/s}$ , después se disminuye el consumo nuevamente a  $80\text{L/s}$ . considerando los suministros de agua en las diferentes horas del día, el agua almacenada solo suplantaría hasta las 4pm.

Por otra parte, con el diseño alternativo, se implementaría un tanque de almacenamiento de  $312\text{m}^3$ , por lo tanto, la duración de llenado será de  $6:20\text{min}$ , en el cual se suspende el servicio a las 11pm para el inicio de llenado de tanques hasta aproximadamente las 5:30am, como se observa en la imagen el suministro de agua es más largo, por lo tanto, suplanta la demanda requerida hasta las 11pm el cual es el tiempo para realizar nuevamente el llenado de tanques.

## 6 Conclusiones

Se obtuvo que la planta de tratamiento EMPOPAMPLONA- Cariongo opera eficientemente, obteniendo porcentajes totales de remoción altos, para el color con un valor de 99.66%, turbiedad 99.64%, Coliformes totales 100%, *Escherichia coli* 100%, para la alcalinidad, dureza y cloruros los ingresos de estos parámetros son muy bajos los cuales presentan valores inferiores a los máximos permisibles por la resolución 2115 del 2007, por lo que su remoción es de tan solo del 14.34%, 15.41% y 36.11% respectivamente.

Los desarenadores son las estructuras con menor remoción de color y turbiedad esto se debe a que las sustancias que remueve esta unidad son solo las partículas con el peso suficiente para sedimentarse solo con la acción de la gravedad, obteniendo 11.94% y 31.47% respectivamente para la sección 1 y 12.33% y 25.44% para la sección 2, las demás partículas coloidales se removieron en los siguientes procesos, los sedimentadores de alta taza obtuvieron una remoción de 93.78% y 95.65% para la sección 1 y 87.80% y 88.83% para la sección 2, el cual presento un porcentaje de remoción mayor que los convencionales con 51.19% y 58.20% para la sección 1 y 69.89% y 70.13% para la sección 2, por último la filtración removió las partículas más finas y se obtuvo un porcentajes de remoción del 61.51% para el color y 56,84% para la turbiedad.

La planta de tratamiento obtuvo una remoción global del 100%, la unidad de desinfección es el proceso final encargado de eliminar por completo los microorganismos, seguidamente se encuentran la unidad de los sedimentadores, en tercer lugar está la filtración la cual elimina las partículas coloidales más finas que no se pudieron eliminar por acción de gravedad en la unidad anterior, presentando mayor remoción de *Escherichia coli* que Coliformes totales eso debió a que en dos muestras esta unidad tuvo la capacidad de remover por completo estos microorganismos.

El proceso de coagulación- floculación opera eficientemente a partir de las pruebas de laboratorio se obtuvo un porcentaje de remoción de 98.24% para turbiedad y 82.52% para color, la remoción promedio de las muestras analizadas en este estudio se obtuvo para la sección 1 una remoción 95.65% de turbiedad y 93.78% de color y para la sección 2 se obtuvo 96.66% y 96.32% respectivamente, La remoción real del proceso es un poco mayor al porcentaje esperado en el test de jarras, esto verifica el buen funcionamiento de la unidad.

El tiempo de retención influye en la eficiencia de remoción, en el cual la tendencia de la prueba realizada, un tiempo de retención teórico de 30 mint en la sección 1 de floculación tendrá una turbiedad final mayor a la sección 2 con un tiempo de retención teórico de 34 minutos, se corrobora con la remocion promedio de las 16 muestra analizadas, obteniendo a la salida de la unidad de sedimentación 1.64 UNT para la sección 1 y 1.46 UNT para la sección 2 lo cual se ajusta a la tendencia esperada por las pruebas realizadas, obteniendo la sección 2 mayor remoción que la sección 1.

A partir del diagnóstico de cada estructura y acorde a los resultados obtenido, se obtuvo que los sedimentadores de alta taza operan con una eficiencia de remoción alta, por lo tanto, se propuso una alternativa de mejoramiento, en la cual la planta solo opere con estos sedimentados y se implemente un tanque de almacenamiento con una capacidad de  $312\text{m}^3$ , se espera que con este tercer tanque en épocas extremas de sequía si se realiza racionamiento, se suspende el suministro de agua en horas de poco consumo y los tanques tendrían la capacidad de suministrar agua el resto del día, es decir se suspende el suministro de 11:00 pm a 5:30am y se suministra el servicio por 18 horas, el cual duraria hasta las 11:00pm el cual se empezaría nuevamente el proceso de racionamiento.

## 7 Referencias

- Carballo, Vanessa. 2018. “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y OPERATIVOS PARA LA FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CORREGIMIENTO DE BUTURAMA DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA, CESAR AUTOR.” *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.: 12.
- Dominguez A, María F. 2010. “Optimización de La Coagulación – Floculación En La Planta de Tratamiento de Agua Potable.” : 22.
- Fonseca, Angie. 2018. “PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA ESCUELA DE LOGÍSTICA DEL EJÉRCITO NACIONAL.” : 92.
- Hacienda, secretaria de. 2018. “MARCO FISCAL DE MEDIANO PLAZO 2018-2017.” : 2.
- Jacome, Luis Eduardo. 2018. “Manual de Operación y Mantenimiento Del Sistema de Agua Potable y Saneamiento.” *Empresa de Servicios Publicos de Valledupar*: 65.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. “Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título C.” *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial*: 336.
- Navarro Roa, María Olga. 2007. “Determinación de Escherichia Coli y Coliformes Totales En Agua Por El Método de Filtración Por Membrana En Agar Chromocult.” 3: 3.  
<http://www.ideam.gov.co/documents>.

- Palacio, Devinson. 2019. "FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A TRAVÉS DE LA EVALUACIÓN A LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ÁBREGO, NORTE DE SANTANDER." : 88.
- Perez, Jhean. 2010. "CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE YOPAL." *Thesis* (May): 18.
- Perez, Zaida. 2016. "DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE GUATEQUE EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ-COLOMBIA." *Journal of Chemical Information and Modeling* (9): 129.
- PUENTE, MAYRA MARILY RABANAL DE LA. 2018. "Eficiencia De La Planta De Tratamiento De Agua Cruda Para La Ciudad De San Marcos, 2017." *Universidad de Cajamarca* 3(3-24): 2014.
- Quiliche, Cecilia. 2016. "EFICIENCIA TECNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE N°2 DE LA EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS – MARAÑON, Jaen 2016". *Universidad de Cajamarca* 3(3-24): 202.
- Resolucion 2115 de 2007. "MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL." : 23.  
[http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución\\_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES](http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES).

## 8 Apéndice

### Fisicoquímico

#### A1.1 Datos fisicoquímicos del desarenador 1

M	Entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	123,50	14,60	7,64	16,20	119,50	12,20	7,34	16,40
2	181,00	12,50	7,42	16,50	165,00	11,40	7,52	16,20
3	116,00	14,00	7,29	17,60	90,00	12,40	7,39	17,30
4	4534,90	756,00	7,24	16,10	3878,40	438,00	7,33	16,10
5	207,00	15,40	7,56	15,80	180,00	14,90	7,47	15,90
6	277,80	18,30	7,41	16,10	137,40	16,00	7,41	15,70
7	157,50	76,20	7,23	13,70	121,00	74,20	7,25	13,40
8	149,50	37,50	7,40	16,60	119,00	25,80	7,47	16,80
9	155,50	18,60	7,40	15,40	138,50	16,00	7,37	15,30
10	101,00	13,90	7,31	15,20	71,00	12,00	7,46	15,30
11	64,50	21,30	-	15,10	60,00	17,20	-	16,10
12	102,40	10,70	-	16,90	99,60	8,34	-	16,30
13	46,40	16,60	7,49	16,80	31,20	14,30	7,49	16,30
14	448,00	65,50	7,54	14,90	437,00	63,40	7,54	15,10
15	476,00	49,80	7,46	15,70	444,00	46,00	7,46	15,50
16	162,00	16,70	7,37	16,50	143,50	13,70	7,37	16,70
P	456,44	72,35	7,41	15,94	389,69	49,74	7,42	15,90

## A1.1 Datos fisicoquímicos del desarenador 2

M	Entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
2	537,00	29,40	7,52	15,10	395,20	20,70	7,61	15,10
3	223,50	37,70	7,29	17,50	214,50	30,20	7,29	17,20
4	488,40	33,30	7,25	16,30	481,20	26,10	7,25	16,60
5	301,90	32,40	7,38	16,90	268,70	22,02	7,37	16,40
P	387,7	33,20	7,36	16,45	339,90	24,76	7,38	16,33

## B1.1 Datos fisicoquímicos del sedimentador convencional 1

M	Sedimentador convencional- sección 1							
	Entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	175,50	11,10	7,67	15,30	22,30	1,60	7,51	16,10
2	315,00	14,20	7,60	16,20	71,80	6,15	7,66	16,40
3	229,00	18,90	7,29	17,00	82,00	3,96	7,43	16,50
4	1086,50	233,00	7,21	15,80	181,00	12,90	7,40	16,10
5	240,00	17,80	7,47	15,20	210,00	16,50	7,50	15,10
6	236,00	26,90	7,21	15,70	199,20	18,00	7,32	16,20
7	167,00	39,50	7,25	13,00	132,30	31,24	7,22	13,00
8	192,00	27,90	7,07	17,90	303,10	45,70	7,14	17,90
9	157,00	32,50	7,20	15,00	137,50	22,60	7,44	14,90
10	133,00	17,21	7,47	14,80	44,50	8,27	7,45	14,60
11	108,50	19,90	-	14,70	107,00	16,50	-	14,30
12	115,20	14,00	-	15,70	84,40	5,24	-	15,30
13	96,00	21,50	7,49	16,50	62,20	11,50	7,48	16,70
14	362,00	43,50	7,54	14,80	301,00	36,40	7,54	14,30
15	393,00	41,30	7,47	15,00	46,70	5,85	7,46	15,10
16	188,50	22,30	7,37	16,50	62,20	9,03	7,37	16,30
P	262,14	37,59	7,38	15,57	127,95	15,72	7,42	15,55

## B1.2 Datos fisicoquímicos del sedimentador convencional 2

Sedimentador convencional- sección 2								
M	Entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	150,00	12,50	7,78	15,50	34,10	1,91	7,81	17,30
2	264,00	13,30	7,67	16,20	25,50	5,68	7,73	16,70
3	192,50	19,30	7,45	17,00	49,00	2,32	7,72	17,60
4	1800,30	303,00	7,43	15,80	22,30	2,19	7,53	16,50
5	200,50	14,80	7,48	15,20	33,60	10,80	7,46	15,40
6	187,80	24,10	7,13	15,40	142,80	14,40	7,28	16,70
7	119,50	48,80	7,31	13,00	60,40	17,90	7,34	14,50
8	203,50	29,50	7,17	17,90	234,50	57,30	7,20	17,90
9	217,50	29,10	7,46	15,10	196,00	21,90	7,52	16,20
10	116,00	19,20	7,38	15,00	65,20	11,20	7,41	15,20
11	125,00	25,20	-	15,00	103,50	17,60	-	15,40
12	119,60	13,70	-	15,60	76,00	3,08	-	16,30
13	97,60	18,20	7,49	16,60	51,80	9,54	7,49	17,50
14	402,00	46,00	7,54	14,60	268,00	21,70	7,54	15,10
15	412,00	59,90	7,47	14,90	26,00	4,22	7,47	15,10
16	171,50	24,10	7,37	16,20	50,40	7,57	7,37	16,40
P	298,71	43,79	7,44	15,56	89,94	13,08	7,49	16,24

## B1.3 Datos fisicoquímicos del sedimentador de alta taza 1.

Sedimentador alta taza- sección 1								
M	Entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	22,3	1,6	7,51	16,1	6,2	0,91	7,79	15,6
2	71,8	6,15	7,66	16,4	24,6	2,18	7,69	16,5
3	82	3,96	7,43	16,5	23,6	0,92	7,42	16,3
4	181	12,9	7,4	16,1	21,5	1,74	7,24	15,9
5	210	16,5	7,5	15,1	40,5	1,07	7,45	14,9
6	199,2	18	7,32	16,2	8,9	0,69	7,17	15,8
7	132,3	31,24	7,22	13	16,8	3,51	7,32	13,1
8	303,1	45,7	7,14	17,9	12,6	1,88	7,22	18
9	137,5	22,6	7,44	14,9	10	1,93	7,55	14,8
10	44,5	8,27	7,42	14,6	8,8	0,94	7,44	14,4
11	107	16,5	-	14,3	8,2	1,91	-	14,9
12	84,4	5,24	-	15,3	15,2	1,76	-	15,2
13	62,2	11,5	7,48	16,7	7,2	0,92	7,49	16,5
14	301	36,4	7,54	14,3	14,6	1,98	7,54	14,5
15	46,7	5,85	7,46	15,1	21,2	1,85	7,47	15
16	62,2	9,03	7,37	16,3	21,1	1,98	7,37	16
P	127,95	15,72	7,42	15,55	16,31	1,64	7,44	15,46

## B.1.4 Datos físico químicos del sedimentador de alta taza 2.

Sedimentador alta taza- sección 2								
M	Entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	34,1	1,91	7,81	17,3	7,7	0,68	7,72	15,4
2	25,5	5,68	7,73	16,7	5,2	1,18	7,78	16,8
3	49	2,32	7,72	17,6	11,2	0,8	7,66	16,5
4	22,3	2,19	7,53	16,5	9,6	1,45	7,2	16,7
5	33,6	10,8	7,46	15,4	21,2	0,95	7,41	15
6	142,8	14,4	7,28	16,7	5,4	0,66	7,33	16
7	60,4	17,9	7,34	14,5	18,9	2,89	7,33	13,1
8	234,5	57,3	7,2	17,9	5,6	4,27	7,31	18
9	196	21,9	7,52	16,2	12,6	1,38	7,52	15,1
10	65,2	11,2	7,48	15,2	3	1,06	7,5	14,9
11	103,5	17,6	-	15,4	10,7	1,45	-	14,9
12	76	3,08	-	16,3	20,9	1,97	-	15,6
13	51,8	9,54	7,49	17,5	7,3	0,74	7,49	17,4
14	268	21,7	7,54	15,1	10,2	1,29	7,54	14,9
15	26	4,22	7,47	15,1	7,5	1,21	7,47	14,8
16	50,4	7,57	7,37	16,4	18,6	1,41	7,37	16,1
P	89,94	13,08	7,50	16,24	10,98	1,46	7,47	15,70

## C.1.1 Cantidad de ingreso de los parámetros fisicoquímicos en la filtración

M	Filtración							
	Entrada 1				Entrada 2			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	6,10	0,66	7,86	15,30	7,70	0,68	7,72	15,40
2	31,00	2,19	7,80	15,70	8,00	2,09	7,80	16,40
3	8,80	1,15	7,53	16,60	6,80	1,05	7,56	16,60
4	9,30	0,95	7,12	16,80	9,60	1,52	7,36	16,80
5	32,50	0,96	7,36	14,50	21,20	1,22	7,44	15,00
6	8,00	0,93	7,37	15,20	8,50	0,53	7,30	15,90
7	8,20	3,30	7,34	13,10	5,50	2,24	7,38	13,20
8	4,30	1,96	7,31	18,20	7,00	1,77	7,38	18,00
9	15,00	1,54	7,43	14,50	9,00	1,69	7,53	15,10
10	9,90	1,22	7,40	14,60	6,90	0,96	7,45	14,70
11	17,40	1,49	-	14,70	12,40	1,54	-	14,50
12	13,70	1,98	-	14,80	22,10	2,38	-	15,30
13	3,30	0,77	7,49	16,40	8,30	0,60	7,49	16,80
14	9,10	1,57	7,54	14,30	8,50	1,50	7,54	14,80
15	4,70	1,45	7,47	14,60	8,00	1,24	7,47	14,70
16	20,10	3,08	7,37	15,30	22,70	1,84	7,37	15,60
P	12,59	1,58	7,46	15,29	10,76	1,43	7,49	15,55

## C1.2 Promedio de entrada y salida de la unidad de filtración

M	Filtración							
	Promedio de entrada				Salida			
	Color	Turbiedad	pH	T	Color	Turbiedad	pH	T
1	6,90	0,67	7,79	15,35	5,00	0,30	7,74	16,50
2	19,50	2,14	7,80	16,05	9,00	0,47	7,80	15,90
3	7,80	1,10	7,55	16,60	1,90	0,79	7,49	15,80
4	9,45	1,24	7,24	16,80	3,10	0,28	7,37	16,60
5	26,85	1,09	7,40	14,75	6,00	0,76	7,30	14,30
6	8,25	0,73	7,34	15,55	1,40	0,59	7,15	14,40
7	6,85	2,77	7,36	13,15	5,20	0,97	7,33	13,30
8	5,65	1,87	7,35	18,10	4,70	0,90	7,37	17,70
9	12,00	1,62	7,48	14,80	2,60	0,82	7,42	14,20
10	8,40	1,09	7,43	14,70	2,70	0,47	7,45	14,10
11	14,90	1,52	-	15,70	6,50	0,80	-	14,10
12	17,90	2,18	-	16,70	4,20	0,76	-	14,60
13	5,80	0,69	7,49	16,60	2,40	0,50	7,49	16,80
14	8,80	1,54	7,54	14,55	7,20	0,62	7,54	14,40
15	6,35	1,35	7,47	14,65	3,50	0,52	7,47	14,40
16	21,40	2,46	7,37	15,45	6,50	0,82	7,37	15,10
P	11,68	1,50	7,47	15,59	4,49	0,65	7,45	15,14

### Microbiológico

#### E1.1 Datos microbiológicos de la sedimentación convencional

Muestra	Convencional 1				Convencional 2			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli
1	3180	1200	740	190	1490	1230	750	50
2	29200	21600	18400	11000	39700	49400	18100	15000
3	16400	3500	10200	2600	16100	22000	14600	18000
4	35300	2000	21900	2200	39600	1900	37100	2900
5	6700	600	1200	150	2100	500	950	100
Promedio	18156	5780	10488	3228	19798	15006	14300	7210

#### E1.2 Datos microbiológicos de la sedimentación alta taza

Muestra	Alta taza 1				Alta taza 2			
	Entrada		Salida		Entrada		Salida	
	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli
1	860	190	740	150	750	50	710	40
2	18400	11000	10900	3800	18100	15000	10500	4000
3	10200	2600	900	40	14600	18000	780	80
4	21900	2200	1380	0	37100	2900	2360	40
5	1200	150	1180	100	950	100	880	40
Promedio	10488	3228	3044	818	14300	7210	3046	840

## F1.1 Datos microbiológicos de filtración

Muestra	Filtración							
	Entrada 1		Entrada 2		Promedio entrada		Salida	
	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli	C.Total	E.coli
1	310	80	640	230	475	155	250	80
2	13600	200	22200	4000	17900	2100	6000	300
3	40	0	160	0	100	0	80	0
4	480	20	1080	40	780	30	640	24
5	720	20	1160	60	940	40	58	0
P	3030	64	5048	866	4039	465	1406	81

## G1.1 Datos microbiológicos de desinfección.

M	Desinfección			
	Entrada		Salida	
	C. Total	E.coli	C. Total	E.coli
2	250	80	0	0
4	6000	300	0	0
6	80	0	0	0
8	640	24	0	0
10	58	0	0	0

### Datos fisicoquímicos y microbiológicos global

#### H1.1 Datos de entrada fisicoquímicos de la cámara de empalme.

M	Entrada						
	Color	Turbiedad	pH	Temperatura	Alcalinidad	Dureza	Cloruros
1	2057,40	563,00	7,19	14,70	42,40	36,40	-
2	156,00	16,70	7,41	16,00	30,70	30,30	10,50
3	177,50	33,00	7,40	18,90	29,60	25,60	7,00
4	141,00	16,60	7,37	15,70	33,30	21,90	13,99
P	632,98	157,33	7,34	16,33	34,00	28,55	10,50

#### H1.2 Datos de salida fisicoquímicos del proceso de potabilización.

M	Salida						
	Color	Turbiedad	pH	Temperatura	Alcalinidad	Dureza	Cloruros
1	3,60	0,51	7,20	14,60	35,60	27,20	-
2	0,90	0,32	7,24	14,50	25,50	26,40	5,25
3	2,90	0,86	7,32	17,00	25,40	22,10	6,12
4	13,00	0,57	7,37	14,20	30,00	20,90	8,75
P	5,10	0,57	7,28	15,08	29,13	24,15	6,71

#### H1.3 Datos microbiológicos de entrada y salida de la planta.

M	Remoción total			
	Coliformes T	E.coli	Coliformes T	E.coli
1	42400	71500	0	0
2	15500	1800	0	0
3	26500	2000	0	0
4	4800	300	0	0
P	22300	18900	0	0

## Evidencia de toma de muestra

Toma de muestra en los desarenadores



Cámara de empalme



Toma de muestra en los sedimentadores



Toma de muestra microbiológica- dilución



filtración- Realizado por la microbióloga

