

**ASESORÍA TÉCNICA EN EL ÁREA DE INGENIERÍA AMBIENTAL A LA  
EMPRESA MUNICIPAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE PIENDAMO  
EMPIENDAMO E.S.P.**

**IVONNE DANIGSA HURTADO MOSQUERA**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN**

**2019**

**ASESORÍA TÉCNICA EN EL ÁREA DE INGENIERÍA AMBIENTAL A LA  
EMPRESA MUNICIPAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE PIENDAMO  
EMPIENDAMO E.S.P.**

**IVONNE DANIGSA HURTADO MOSQUERA**

Informe final de trabajo de grado, modalidad práctica profesional empresarial para optar al  
título de Ingeniera Ambiental

**Directora:**

**Ing. MSc. MARIA ELENA CASTRO CAICEDO**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2019**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del director de pasantía**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Popayán, Marzo de 2019.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la oportunidad de superar todos los obstáculos que se presentaron en esta etapa y caminar de mi mano siempre, toda la gloria sea para él.

Agradecimiento eterno y de corazón a mis padres Manuel y Alejandra, infinitas gracias por ser ese ejemplo de dedicación, trabajo y esfuerzo, por ser el motor de mi vida junto a mis hermanos, por desvelarse, cuidarme y guiarme en las decisiones de la vida, gracias por ese amor incondicional único y bonito.

A mis hermanos y mi abuela por el amor único el apoyo incondicional, todo por ellos y para ellos.

Agradezco a mi universidad por brindarme la oportunidad de formarme como persona y profesional, a mis profesores y compañeros quienes contribuyeron en este proceso, gracias a todos ustedes, hoy se ve el fruto de tanto esfuerzo, pues me encuentro cerca de culminar mi pregrado.

Infinitas gracias a mi directora de trabajo de grado la Ing. Msc. María Elena Castro por dirigirme de la mejor forma en este proceso que hoy termina, gracias por la entrega, apoyo y paciencia brindada.

A la Empresa de Servicios Públicos de Piendamó, EMPIENDAMO E.S.P por permitirme el desarrollo de este trabajo en sus instalaciones, en especial al coordinador de la planta de tratamiento de agua potable y los operadores de la misma quienes me guiaron en este proceso.

Este es uno de los tantos logros que alcanzaré.

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO .....	10
INTRODUCCIÓN .....	13
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>14</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4. MARCO LEGAL .....</b>	<b>16</b>
<b>5. DESCRIPCION DE LA EMPRESA RECEPTORA .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1. RESEÑA HISTÓRICA DE EMPIENDAMO E.S.P. ....</b>	<b>17</b>
<b>5.2. PERFIL DE LA EMPRESA RECEPTORA .....</b>	<b>17</b>
<b>5.3. MISION Y VISION .....</b>	<b>18</b>
5.3.1. MISIÓN .....	18
5.3.2. VISIÓN.....	18
<b>5.4. ORGANIGRAMA.....</b>	<b>18</b>
<b>5.5. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>19</b>
<b>5.6. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) .....</b>	<b>19</b>
5.6.1. Fuente de abastecimiento.....	21
5.6.2. Aducción.....	21
5.6.3. Desarenador .....	22
5.6.4. Conducción.....	22
5.6.5. Coagulación .....	23
5.6.6. Floculación .....	24
5.6.7. Sedimentación .....	24
5.6.8. Filtración.....	25
5.6.9. Cloración .....	25
5.6.10. Almacenamiento .....	25
<b>6. PROCESO METODOLÓGICO.....</b>	<b>29</b>
<b>6.1. Inducción y recolección de la información existente .....</b>	<b>29</b>
<b>6.2. Aforo de caudales.....</b>	<b>30</b>
6.2.1. Aforo en la bocatoma .....	30

6.2.2.	Verificación de caudal del agua que llega a la PTAP.....	31
<b>6.3.</b>	<b>Muestreo de calidad de agua.....</b>	<b>31</b>
<b>6.4.</b>	<b>Verificación del funcionamiento hidráulico de las unidades de tratamiento .</b>	<b>33</b>
6.4.1.	Funcionamiento de la canaleta Parshall.....	33
6.4.2.	Proceso de floculación.....	37
6.4.3.	Proceso de sedimentación.....	38
6.4.4.	Proceso de filtración .....	38
6.4.5.	Proceso de desinfección.....	39
6.4.6.	Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA .....	40
6.4.7.	Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano – IRABAm .....	42
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y EVALUACIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1.</b>	<b>Aforo en la bocatoma.....</b>	<b>43</b>
<b>7.2.</b>	<b>Verificación de caudal del agua que llega a la PTAP .....</b>	<b>43</b>
<b>7.3.</b>	<b>Funcionamiento de la canaleta Parshall .....</b>	<b>44</b>
<b>7.4.</b>	<b>Proceso de floculación.....</b>	<b>49</b>
<b>7.5.</b>	<b>Proceso de sedimentación.....</b>	<b>54</b>
<b>7.6.</b>	<b>Proceso de filtración .....</b>	<b>60</b>
<b>7.7.</b>	<b>Proceso de desinfección .....</b>	<b>61</b>
<b>7.8.</b>	<b>Resultados de la calidad del agua en la PTAP .....</b>	<b>63</b>
<b>7.9.</b>	<b>Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA .....</b>	<b>66</b>
<b>7.10.</b>	<b>Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano – IRABAm .....</b>	<b>67</b>
<b>7.11.</b>	<b>Demanda de agua.....</b>	<b>68</b>
<b>8.</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA .....</b>	<b>70</b>
<b>9.</b>	<b>ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN.....</b>	<b>72</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>73</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Organigrama de la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Piendamó EMPIENDAMO .E.S.P .....	18
Figura 2. Ubicación del Municipio de Piendamó en el Departamento, en el País y la cabecera municipal .....	19
Figura 3. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Piendamó .....	20
Figura 4. Esquema de Tratamiento de Agua Potable para el Abastecimiento. ....	20
Figura 5. Rejilla sumergida y lateral, sistema de captación bocatoma .....	21
Figura 6. Desarenador.....	22
Figura 7. Viaductos en la conducción del agua .....	22
Figura 8. Válvulas de purga .....	23
Figura 9. Válvulas de aire o ventosas .....	23
Figura 10. Medidor de caudal de entrada .....	24
Figura 11. Equipos de dosificación y control de calidad de agua .....	26
Figura 12. Equipos de medición .....	27
Figura 13. Laboratorio de la PTAP .....	28
Figura 14. Puntos de muestreo. ....	32
Figura 15. Canaleta Parshall .....	34
Figura 16. Filtro .....	39
Figura 17. Dimensiones del lecho filtrante .....	39
Figura 18. Turbiedad versus dosis de coagulante .....	52
Figura 19. Turbiedad versus dosis de coagulante .....	54
Figura 20. Dimensiones del sedimentador convencional .....	58
Figura 21. Curva de demanda de cloro de la PTAP. ....	63
Figura 22. Turbiedad promedio en los puntos de muestreo. ....	64
Figura 23. Color aparente promedio en los puntos de muestreo .....	65
Figura 24. pH promedio en los puntos de muestreo .....	66

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Entidad receptora.....	17
Tabla 2. Dimensiones típicas para canaletas Parshall. ....	33
Tabla 3. Relacion de sumergencia.....	34
Tabla 4. Peso específico y viscosidad cinemática del agua.....	37
Tabla 5. Puntaje de riesgo.....	41
Tabla 6. Datos obtenidos en campo de la Canaleta Parshall. ....	44
Tabla 7. Cálculos de la Canaleta Parshall.....	46
Tabla 8. Cálculos de la Canaleta Parshall.....	48
Tabla 9. Condiciones para mezcla rápida.....	48
Tabla 10. Dimensiones del floculador.....	49
Tabla 11. Cálculos del floculador.....	51
Tabla 12. Gradientes y tiempo de mezcla.....	51
Tabla 13. Prueba de jarras. ....	52
Tabla 14. Eficiencia de remoción de turbiedad .....	53
Tabla 15. Prueba de jarras .....	53
Tabla 16. Eficiencia de remoción de turbiedad. ....	54
Tabla 17. Datos del sedimentador. ....	55
Tabla 18. Datos del filtro.....	60
Tabla 19. Tiempo de retención real .....	62
Tabla 20. Demanda de cloro.....	62
Tabla 21. IRCA por muestra. ....	67
Tabla 22. IRCA consolidado mensual. ....	67
Tabla 23. Dotacion neta maxima según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. .....	68



## **TABLA DE ANEXOS**

ANEXO A. Bitácora de campo

ANEXO B. Formato de seguimiento a operación y mantenimiento

ANEXO C. Promedio de datos obtenidos en los muestreos

ANEXO D. Plano de la planta de tratamiento de agua potable de empiendamó E.S.P.

ANEXO E. Reportes del centro regional de análisis ambientales (CRAM)

ANEXO F. Ficha técnica del sulfato de aluminio

ANEXO G. Ficha técnica del polímero

ANEXO H. Ficha técnica del cloro gaseoso

ANEXO I. Ficha técnica de la cal

ANEXO J. Certificación sanitaria municipal

## GLOSARIO

### ❖ **Agua cruda**

Es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

### ❖ **Agua potable o agua para consumo humano**

Es aquella que cumple las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en la Resolución 2115 de 2007.

### ❖ **Agua segura**

Es aquella que por su condición y tratamiento no contiene gérmenes ni sustancias tóxicas que puedan afectar la salud de las personas.

### ❖ **Calidad del agua**

Atributos que presenta el agua, de manera tal, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos. Incluyen todos los factores que influyen en el uso beneficioso del agua, tales como: físicos, químicos y microbiológicas.

### ❖ **Demanda de cloro**

La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro agregado al agua y la cantidad de cloro residual, libre o combinado, después de un período de detención determinado.

### ❖ **Dosis óptima**

Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

### ❖ **Dotación**

Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

### ❖ **Eficiencia de tratamiento**

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

### ❖ **IRABA**

Es el índice de riesgo por abastecimiento de agua para consumo humano. El valor del IRABA oscilará entre cero (0) y cien (100) puntos. Es cero (0) cuando cumple con las condiciones aceptables para cada uno de los criterios de tratamiento, distribución y continuidad del servicio y cien (100) puntos para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

### ❖ **IRCA**

Es el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, se asigna un puntaje de riesgo contemplado en el cuadro N°.6 de la resolución 2115 de 2007 a cada característica física, química y microbiológica.

### ❖ **Laboratorio de análisis del agua para consumo humano**

Es el establecimiento público o privado, donde se realizan los procedimientos de análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano según artículo 27 del Decreto 1575 de mayo 9 de 2007.

### ❖ **Muestra**

Toma puntual de agua en los puntos de muestreo concertados, que refleja la composición física, química y microbiológica representativa del momento.

### ❖ **Muestreo**

Proceso de toma de muestras que son analizadas en laboratorios para obtener información sobre la calidad del agua del sitio concertado en que fueron tomadas.

### ❖ **Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP**

Una planta o estación de tratamiento de agua potable (PTAP) es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano.

Dependiendo de la calidad del agua cruda a tratar, las plantas de tratamiento o potabilización pueden variar en los componentes básicos, proveyendo diferentes grados de remoción de las impurezas presentes en el agua que la hacen aparecer como turbia o coloreada o ambas a la vez. Los procesos más comunes de tratamiento son:

El de clarificación del agua que puede incluir una etapa previa de desarenación o sedimentación simple, y una etapa posterior de sedimentación inducida mediante procesos químicos e hidráulicos de coagulación y floculación con ajustes de pH, si es necesario.

El de filtración rápida o lenta cuyo propósito es separar las partículas y microorganismos objetables suspendidos en aguas crudas relativamente limpias (filtración directa), o los que no fueron removidos en los procesos previos de coagulación y sedimentación cuando éstos se aplican.

El de la desinfección cuyo propósito es eliminar los microorganismos patógenos (bacterias y virus) que no fueron removidos en los procesos anteriormente mencionados de clarificación y filtración. El cloro en sus diferentes formas, gaseoso o mediante sales hipoclorosas, es la sustancia química usada en nuestro medio para desinfectar el agua, pues garantiza una acción residual en el sistema de distribución.

### ❖ **Prueba de jarras.**

Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

### ❖ **Punto de muestreo.**

Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

## Sistema de suministro de agua para consumo humano

Es el conjunto de estructuras, equipos, materiales, procesos, operaciones y el recurso humano utilizado para la captación, aducción, pretratamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución del agua para consumo humano.

### ❖ **Tecnología convencional o tratamiento convencional (en potabilización)**

Tren de procesos de tratamiento bien conocidos y utilizados en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento por coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

### ❖ **Tiempo de retención hidráulica**

Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

## INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la vida, el cual está siendo contaminado cada vez más dada la falta de cultura y control de agentes contaminantes. Colombia no se escapa de esta problemática, a pesar de que es uno de los países con mayor riqueza hídrica en el mundo, contando con más de 1 000 ríos permanentes que propician y favorecen el desarrollo de actividades económicas, sociales, culturales y ambientales de la población, se encuentra actualmente con graves problemas de abastecimiento de agua para consumo humano, dados los niveles de contaminación y los recursos deficientes para su correcta administración.

En Colombia, la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y aseo es manejado principalmente por las administraciones municipales. Conociendo las situaciones anteriores y con el fin de proveer condiciones óptimas en cuanto al saneamiento básico a la ciudadanía, se crean las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos, encargadas de hacer un manejo adecuado de los residuos generados y abastecer de agua potable a la población principalmente, garantizando que el agua a distribuir sea apta para el consumo humano. Las Empresas Prestadoras de Servicios Públicos utilizan periódicamente la evaluación de los sistemas de tratamiento de agua potable para consumo humano como una herramienta de vital importancia que permite conocer su operación, verificar y/o ajustar los parámetros operacionales de acuerdo al diseño de la planta y en función de la calidad del agua a tratar. Además, es posible identificar fallas en el diseño o construcción del sistema, al igual que procedimientos inadecuados de operación; así posteriormente corregir los problemas encontrados para obtener una mayor eficiencia en el proceso y cumplir con los requisitos determinados por la normativa ambiental aplicable.

Tal es el caso de la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Piendamó EMPIENDAMO E.S.P., quien por intermedio de una practicante busca que desde la academia se encuentren soluciones viables técnica y operacionalmente a las falencias que se puedan presentar en la planta. Conociendo dicha situación, esta práctica profesional empresarial se enfoca en realizar un diagnóstico teórico-práctico de la situación actual en cuanto a la prestación del servicio de agua por parte de EMPIENDAMO E.S.P. ubicada en el municipio de Piendamó Cauca, que hoy en día abastece el 94% de la población.

La ejecución de la práctica laboral se realizó con éxito según lo estipulado en el plan de trabajo, cumpliendo con el cronograma establecido; la disposición del personal de EMPIENDAMO E.S.P. fue clave para el desarrollo de este, la observación clara y objetiva fue fundamental para centrar las bases que comprenden el estudio, llevando a cabo la toma de muestras y análisis que permiten determinar el estado de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Piendamó, y así concluir de forma óptima con las estrategias y recomendaciones encaminadas a la optimización de los procesos llevados a cabo en dicha planta.

Este documento se constituye como una herramienta de capacitación para el personal técnico y profesional que labore en actividades relacionadas con la operación de la planta de tratamiento de agua potable.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los problemas que se pueden ocasionar en una empresa prestadora de servicios públicos son variados en materia de cobertura, calidad, continuidad en la prestación de servicios. La mala calidad de los servicios públicos es un problema nacional, sin duda, la mala gestión y administración de los recursos destinados a la adecuada prestación de los servicios es en la mayoría de los casos la principal razón en la deficiencia del servicio por parte de la empresa encargada de la prestación de los mismos, es esencial que los gobiernos locales comiencen a intervenir los recursos para buscar solución a estos inconvenientes.

En la empresa de servicios públicos de Piendamó EMPIENDAMO E.S.P. se presentan dificultades en cuanto al tratamiento de agua potable, iniciando con el diseño de la PTAP pues la construcción de esta planta culminó en el año 1979, la cual trataría un caudal máximo de 35 litros por segundo proyectada a 25 años de vida útil, tiempo que ya transcurrió y en el que el mantenimiento que se le ha realizado es mínimo. El crecimiento de la población que se atiende en EMPIENDAMO obliga a la planta de tratamiento de agua potable PTAP a funcionar con caudales de hasta 48 litros por segundo, situación que pone en riesgo la confiabilidad del tratamiento y aun así en ocasiones no se logra abastecer a todos los suscriptores por lo cual es necesario suspender el servicio por algunas horas.

Al encontrarse el municipio de Piendamó Cauca en la zona centro del Departamento, es lugar de arribo de personas provenientes de diferentes partes del país, por esa y demás razones propuestas en el plan de garantías del municipio es de vital importancia realizar un diagnóstico que permita evidenciar la situación actual de la planta y así formular recomendaciones encaminadas a la optimización de los procesos de tratamiento que se realizan en la PTAP, garantizando que el servicio de agua que se preste sea el adecuado y así evitar posibles calamidades.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Prestar asesoría técnica en el área de la ingeniería ambiental en la empresa EMPIENDAMO E.S.P. en cuanto al proceso de tratamiento de agua potable en la planta que abastece la cabecera municipal y alrededores de Piendamó, determinando la calidad del agua a ser distribuida y analizando el tratamiento que se le hace a la misma.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un diagnóstico del funcionamiento de las unidades de tratamiento de la PTAP perteneciente a La empresa de servicios públicos de Piendamó EMPIENDAMO E.S.P.
- Formular estrategias encaminadas a la optimización de los procesos llevados a cabo en la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Piendamó.
- Recomendar estudios y/o modificaciones que se puedan hacer para que la planta de tratamiento de agua potable alcance una mejor eficiencia.

#### 4. MARCO LEGAL

A continuación, se expondrá la normativa, expresada en decretos resoluciones y leyes, contextualizando la legislación ambiental aplicable a este proyecto.

**Decreto 1575 de mayo 09 de 2007**, expedido por el Ministerio de la Protección Social (MPS), y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.

**Resolución 2115 de junio 22 de 2007** expedida por el MPS y el MAVDT, “Por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. Según lo ordenado en el Decreto 1575 de 2007.

**Ley 142 de Julio 11 de 1994** “Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones”. Modificada parcialmente por las Leyes 632 de diciembre 29 del 2000 y Ley 689 de agosto 28 de 2001.

**Resolución 0811 de marzo 5 de 2008** expedida por el MPS y el MAVDT, “Por medio del cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la Autoridad Sanitaria y las Personas Prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución”. Según lo ordenado en el Decreto 1575 de 2007.

**Resolución 0330 de junio 08 de 2017** "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009".

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3903** Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua.

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4117** Desinfección de plantas para tratamiento de aguas

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-2 de 1995-06-21** GESTIÓN AMBIENTAL. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS GENERALES DE MUESTREO



## 5. DESCRIPCION DE LA EMPRESA RECEPTORA

### 5.1. RESEÑA HISTÓRICA DE EMPIENDAMO E.S.P.

El nacimiento del acueducto del municipio de Piendamó tuvo origen en el año de 1977, con la empresa **INSFOPAL**, donde se inicia la construcción de la planta de tratamiento, culminándose en el año de 1979. Posteriormente el acueducto pasa a ser parte de la empresa **EMPOCAUCA** y en el año de 1991 es entregada su administración al Municipio de Piendamó en la Administración del Ingeniero Luis Albeiro Villaquirán, la cual funcionó como un **FONDO ROTARIO DEL MUNICIPIO** y luego es creada como la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Piendamó **EMPIENDAMO E.S.P.**, como una empresa industrial y comercial del Estado del orden municipal, creada mediante acuerdo N° 008 de 1996, como una entidad prestadora de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, ubicada en la cabecera municipal en el barrio San Cayetano, con una cobertura en el servicio de Acueducto del 94%, Alcantarillado del 82% y Aseo del 84%. (**Alcaldía Municipal Piendamó Cauca, 2012**)

### 5.2.PERFIL DE LA EMPRESA RECEPTORA

En la Tabla 1, se detallan las generalidades de la entidad.

**Tabla 1.** Entidad receptora

<b>Entidad Receptora</b>	
Datos:	Descripción:
Razón Social	Empresa de Servicios Públicos de Piendamó, EMPIENDAMO E.S.P
Representante Legal	Mauricio Tróchez Tunubalá
NIT	800.219.666 – 9
Dirección	Sede Administrativa y Planta de Tratamiento – Barrio San Cayetano – Piendamó Cauca (Colombia).
Ciudad	Piendamó – Cauca
Celular	311 – 3976561
Página Web	<a href="http://www.empiendamoesp.com">www.empiendamoesp.com</a>
Correo Electrónico	empiendamo@piendamo-cauca.gov.co
A.R.L	Positiva Cía. de Seguros S.A
Clase De Riesgo	III

## 5.3.MISION Y VISION

### 5.3.1. MISIÓN

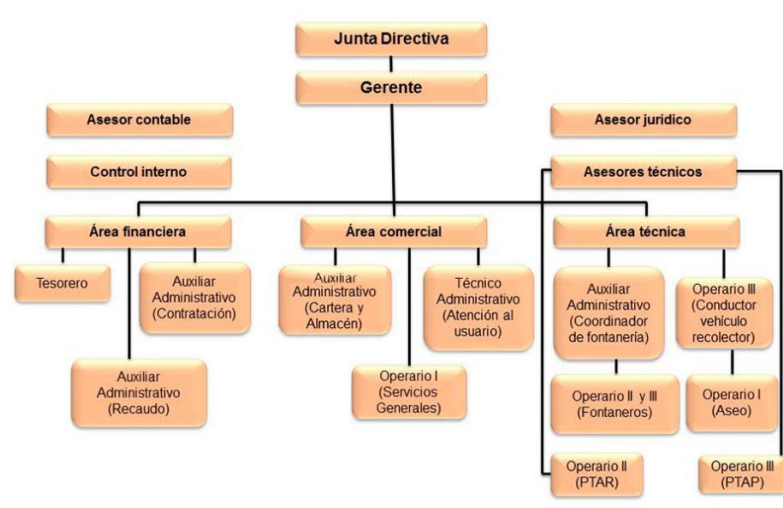
La Empresa Municipal de Servicios Públicos de Piendamó “**EMPIENDAMO E.S.P.**”, es una empresa industrial y comercial del estado, del orden municipal, con personería jurídica, con autonomía administrativa y financiera y patrimonio propio, encargada de la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, con la finalidad de contribuir al bienestar general y al mejoramiento de la calidad de la vida de los habitantes del Municipio de Piendamó.

### 5.3.2. VISIÓN

Como la empresa líder en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, “**EMPIENDAMO E.S.P.**”, será un modelo de gestión auto sostenible, rentable y con servicios públicos para todos, manteniendo los criterios de calidad, continuidad y eficiencia, garantizando su prestación a todos los habitantes del Municipio.

## 5.4. ORGANIGRAMA

En la figura 1 se presenta el organigrama de la empresa municipal de servicios públicos de Piendamó **EMPIENDAMO. E.S.P**, La cual está constituida principalmente por la junta directiva encabezada por el gerente y asesores, un área financiera, un área comercial y área técnica.

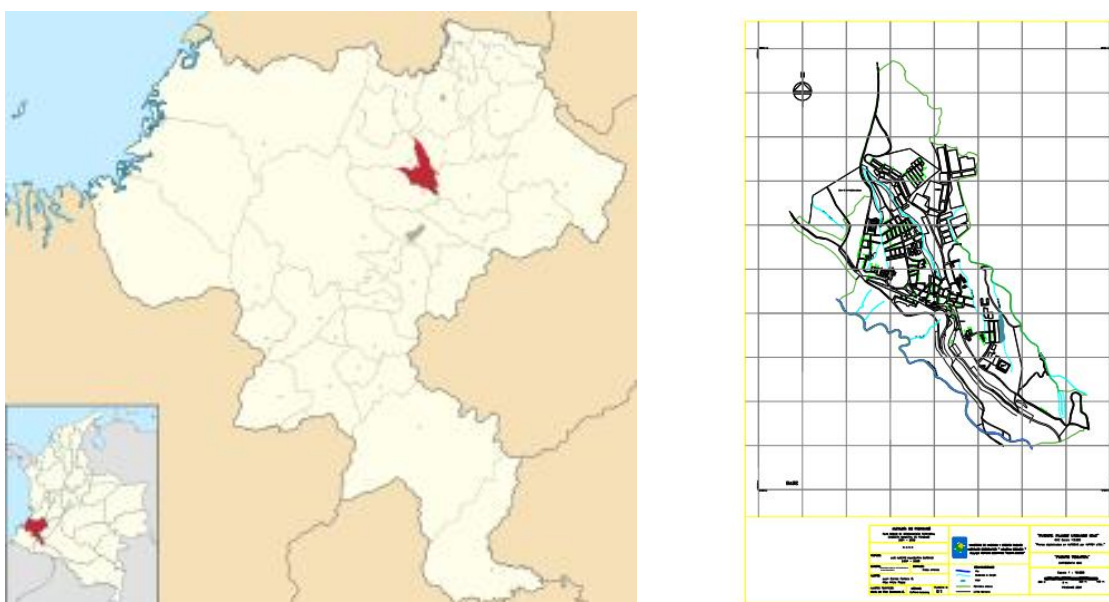


**Figura 1.** Organigrama de la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Piendamó EMPIENDAMO. E.S.P.

## 5.5. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Municipio de Piendamó está ubicado en la sub – región centro norte del departamento del Cauca, dentro del área de la Meseta de Popayán, tiene una extensión de 18 865,64 Hectáreas. Limita por el Norte con los Municipios de Caldono y Morales; por el Sur con el Municipio de Cajibío; por el Oriente con el Municipio de Silvia y por el Occidente con los Municipios de Morales y Cajibío.

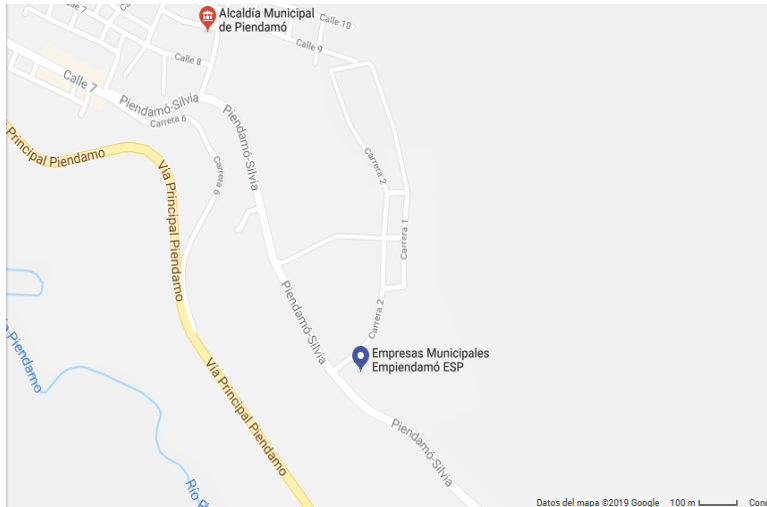
Su cabecera municipal está localizada a 02° 38´ de Latitud Norte y 76° 30´ de Longitud Oeste, sobre la vertiente Occidental de la Cordillera Central; ubicada sobre la carretera panamericana a 100 Km de la Ciudad de Cali y 25 Km de la ciudad de Popayán. En la figura 2 se encuentra el mapa del municipio de Piendamó ubicado en el departamento del Cauca y en el país.(Alcaldía Municipal Piendamó Cauca, 2012)



**Figura 2.** Ubicación del Municipio de Piendamó en el Departamento, en el País y la cabecera municipal (Municipio de Piendamó 2001-2009).

## 5.6. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)

La Planta de Tratamiento de agua potable se ubica en el Barrio San Cayetano del municipio de Piendamó perteneciente al departamento del Cauca (Colombia) descrito en la figura 3.



**Figura 3.** Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Piendamó (Google Earth,2018).

El sistema de tratamiento de agua potable es tipo convencional y cuenta con los procesos de desarenado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución (figura 4). La Planta funciona de forma continua las 24 horas del día normalmente y cuenta con certificación sanitaria dada por la Secretaria de Salud del Departamento del Cauca.



**Figura 4.** Esquema de Tratamiento de Agua Potable para el Abastecimiento.

A continuación, se realiza una descripción de cada una de las unidades, iniciando con la fuente de abastecimiento y finalizando con el almacenamiento.

#### 5.6.1. Fuente de abastecimiento

La población que se encuentra en la cabecera municipal de Piendamó se abastece con agua proveniente de la microcuenca Quebrada Agua Vieja, con lo cual se beneficia a 41 863 habitantes de los cuales 15 191 son del área urbana del municipio, distribuidos en 4 600 usuarios del Municipio de Piendamó, que se abastecen del acueducto.

Aguas arriba de la bocatoma el caudal es de 896 L/s, el caudal tomado en el sistema es de aproximadamente 100 L/s en época de lluvias, es decir que por el cauce corren 796 L/s, el cual permite que no se afecten los ecosistemas aguas debajo de la captación. Se captan habitualmente 45 L/s en época seca y llegando a la planta un promedio de 40 L/s.

La bocatoma es de tipo sumergida cuya estructura está ubicada a 1900 msnm, capta 45 L/s, a través de una rejilla sumergida de 1,7 m de largo por 0,5 m de ancho, la distancia entre los barrotes es de 0,005 m. En la figura 5 se ilustra la bocatoma



**Figura 5.** Rejilla sumergida y lateral, sistema de captación bocatoma.

#### 5.6.2. Aducción

La aducción comprende la línea de tubería desde la bocatoma hasta el Desarenador, esta tubería tiene una longitud de aproximadamente 50 m y un diámetro de 8", toda esta construida en asbesto – cemento en mal estado debido a que ya cumplió su vida útil.

### 5.6.3. Desarenador

El Desarenador como primer proceso de tratamiento, está compuesto por un tanque en concreto y accesorios en hierro galvanizado, esta unidad se encuentra en estado de deterioro debido a que su vida útil ya se cumplió. En la figura 6 se ilustra esta unidad de tratamiento.



**Figura 6.** Desarenador.

### 5.6.4. Conducción

La conducción comprende una longitud de aproximadamente 4 700 m desde el desarenador hasta la PTAP en diámetros de 10", 8" y 6". Presenta dos viaductos el primero fue reconstruido mediante un convenio de cooperación internacional el segundo se encuentra en mal estado, además se utiliza como única forma de paso a los funcionarios cuando realizan la ruta, lo que genera un escenario de riesgo y deterioro. En la figura 7 se presentan los viaductos



**Figura 7.** Viaductos en la conducción del agua.

A lo largo del trayecto sobre la tubería se identifican cuatro válvulas de purga y ventosas, las cuales están en muy mal estado y sin ningún tipo de mantenimiento, desprovistas de una estructura de protección y llenas de vegetación. En las figuras 8 y 9 se ilustran las válvulas.



**Figura 8.** Válvulas de purga.



**Figura 9.** Válvulas de aire o ventosas.

#### 5.6.5. Coagulación

El flujo de agua que viene de la fuente de abastecimiento llega a un tanque de aquietamiento, posteriormente el agua se conduce a una canaleta Parshall para la dosificación de sulfato de aluminio tipo B líquido, sin ningún tipo de alcalinizante. Esta canaleta tiene un aforador de caudal el cual determina el caudal de entrada. En la figura 10 se observa el medidor de caudal de entrada



**Figura 10.** Medidor de caudal de entrada.

La aplicación de sulfato de aluminio se realiza mediante un dosificador, la cantidad de coagulante se determina periódicamente, aproximadamente se usa entre 3 000 y 4 500 kg en un periodo de 30 días según la base de datos del laboratorio. Dependiendo la turbiedad con que llegue el agua se realiza una prueba de jarras con diferentes dosis de coagulante y así determinar la dosis óptima de coagulante. Ocasionalmente luego de aplicar el sulfato se adiciona polímero tipo poliacrilamida, esto se hace cuando las condiciones habituales del agua cruda cambian; se usan aproximadamente 2 kg por mes de dicho polímero.

#### 5.6.6. Floculación

Posteriormente se conduce el agua al sistema de floculación, compuesto por 1 floculador hidráulico de pantallas horizontales separado por 60 plaquetas con diferentes espaciamientos las cuales hacen que el agua se desplace de izquierda a derecha entre ellas. Esta unidad cuenta con tres zonas.

#### 5.6.7. Sedimentación

Posteriormente se conduce el agua por un canal en concreto a los dos sedimentadores que inicialmente se construyeron convencionales, luego se le adicionaron placas planas paralelas inclinadas de zinc principalmente, las cuales se construyeron de forma arbitraria y sin ningún diseño según información suministrada por los operarios, actualmente estas placas se encuentran en mal estado, algunas se encuentran con parches de cemento e



incluso se han reemplazado con madera. El tiempo de retención es de aproximadamente 2 horas. El agua es dispuesta a un canal principal para ser transportada a la zona de filtración.

#### 5.6.8. Filtración

La zona de filtración está comprendida por 2 filtros con flujo descendente. Cada filtro está compuesto por un falso fondo, 2 capas de grava de diferentes calibres de diámetro ente 1 pulgada y ½ pulgada, luego una capa de arena y por último una capa de antracita. Se realiza retrolavados cada 24 horas y dura aproximadamente 10 minutos la operación. Las dimensiones de los filtros son de 3,88 m de largo, 3,60 m de ancho y 2,10 m de alto. Cada filtro cuenta con dos válvulas y dos compuertas cuya función se describe a continuación

- Compuerta 1: Entrada de agua del sedimentador al filtro.
- Compuerta 2: Salida de agua del lavado del filtro.
- Válvula 3: Salida de agua filtrada a tanque de contacto de cloro.
- Válvula 4: Entrada de agua para el lavado del tanque elevado al filtro.

#### 5.6.9. Cloración

Luego el agua de cada filtro sale por una tubería metálica de 12 pulgadas de diámetro y llegan al tanque de contacto donde se realiza la cloración por medio de un sistema de inyección de cloro gaseoso, el cual viene en un cilindro de 68 kg, dosificando aproximadamente 204 kg en un periodo de 30 días según la base de datos del laboratorio. No se cuenta con una curva de demanda de cloro

#### 5.6.10. Almacenamiento

Una vez el agua pasa por la zona de cloración se conduce a dos tanques de almacenamiento, a su paso se encuentra la bomba dosificadora de cal, reactivo que se usa ocasionalmente dependiendo de las propiedades físicas y químicas del agua. El tanque 1 tiene 26,10 m de largo, 9,35 m de ancho y 2,60 m de alto; el tanque 2 cuenta con 10,90 m de largo, 15,10 m de ancho y 3,35 m de alto.

Los equipos de dosificación con los que cuenta la PTAP son: bomba dosificadora de sulfato de aluminio tipo B-liquido, bomba dosificadora de polímero por gravedad, dosificador de cal y dosificador de cloro. En la figura 11 se ilustra dichos equipos.



*a. Bomba dosificadora de sulfato de aluminio.*

*b. Bomba dosificadora de polímero.*



*d. Bomba dosificadora de cloro.*

*d. Bomba dosificadora de cal.*

**Figura 11.** Equipos de dosificación y control de calidad del agua.

El monitoreo de la calidad de agua se realiza en el laboratorio, donde se miden los siguientes parámetros actualmente: turbiedad, color, cloro residual, pH y conductividad, realizados para el trabajo de potabilización, todos de acuerdo a la norma resolución 2115 de 2007.

Para los procesos de medición, el laboratorio cuenta con equipos y elementos, que brindan confiabilidad en los resultados para la realización de proceso de potabilización. Como son el test de jarras, el potenciómetro, Turbidímetro, colorimetría y medición de cloro (espectrofotómetro) e implementos para titulación. En la figura 12 se encuentran los equipos de medición.



a. Espectrofotómetro Hach DR 3900.



b. pH-meter sensION plus pH3.



c. Equipo de jarras JLT6.



d. Turbidímetro portátil Hach modelo 2100P

**Figura 12.** Equipos de medición.

Los reactivos utilizados para el tratamiento del agua se mencionan a continuación:

- Reactivo químico coagulante: sulfato de aluminio tipo B-liquido
- Reactivo químico floculante: polímero tipo poliacrilamida
- Reactivo químico desinfectante: cloro gaseoso ( $Cl_2$ )
- Reactivo químico alcalinizante: cal hidratada tipo-E

En los anexos se adjuntan las respectivas hojas de seguridad

Se realizó un registro fotográfico, en la figura 13 se observa las instalaciones del laboratorio de la PTAP.



**Figura 13.** Laboratorio de la PTAP.

## 6. PROCESO METODOLÓGICO

La practica profesional empresarial se llevo a cabo durante dieciséis (16) semanas con una intensidad horaria de cuarenta (40) horas semanales bajo la tutoría y acompañamiento profesional especializado por parte de la Ecóloga Sandra Lorena Meléndez.

La dirección asesoría y supervisión por parte de la Universidad del Cauca será realizada por Ing. MSc. María Elena Castro Caicedo, docente del departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

Para efectuar una correcta evaluación de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) perteneciente a la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Piendamó **EMPIENDAMO E.S.P.** fue imprescindible realizar una observación detallada, mediciones y análisis adecuados, las cuales develaron la situación real en cuanto al funcionamiento de la PTAP. Estos procedimientos se realizaron tomando información existente en el laboratorio y resultados de las pruebas realizadas, los cuales permitieron la obtención de un contexto integral, en cuanto a los procesos que se efectúan en la PTAP, verificando el cumplimiento de la legislación ambiental vigente nacional y local.

Para alcanzar el cumplimiento de los objetivos planteados se desarrolló la siguiente metodología, ligando cada uno de los objetivos específicos con las actividades realizadas.

### 6.1.Inducción y recolección de la información existente

Las primeras semanas de la práctica profesional empresarial fueron de inducción en el área de trabajo, observación del laboratorio y la PTAP, interacción con el personal y análisis de información necesaria para el inicio del proyecto. Se realizaron dos capacitaciones para integrarse de manera adecuada al grupo de trabajo de la planta. La primera capacitación fue dirigida por el coordinador de la PTAP, explicando y orientando sobre el uso de los equipos y reactivos que se emplean en el laboratorio, además de la información que ahí se maneja como control interno, responsabilidades y normas que se deben cumplir para ingresar y manipular los elementos del laboratorio, entre otras indicaciones.

La segunda capacitación se ejecutó en la planta de tratamiento de agua potable, donde se conoció cada una de las unidades de tratamiento donde posteriormente se iba a muestrear, se contó con el acompañamiento de uno de los operadores de la planta y el coordinador de la misma, al ser una zona con paso restringido se enfatizó en los cuidados que se deben tener para transitar además se determinaron los puntos de muestreo; de tal manera que permitió conocer y apreciar con más claridad y objetividad el tratamiento que se realiza en la PTAP.

Se realiza el diseño del plan de trabajo en campo efectuado con el coordinador y los operadores de la PTAP, determinando procedimientos para la toma de muestras, frecuencias de muestreo y bitácora de campo “Anexo A”, con el fin de obtener un correcto diagnóstico del estado actual de la prestación del servicio de agua potable.

Se realizó la identificación de prácticas operacionales mediante observación directa de las actividades rutinarias de operación, orientadas con las buenas prácticas operacionales. Esta observación se realizó con una inspección inicial, efectuando un recorrido por la Planta de Tratamiento de agua potable de EMPIENDAMO E.S.P., examinando con especial atención las labores de operación del operario a cargo del tratamiento, haciendo énfasis en la dosificación de los reactivos.

Se observaron las rutinas de operación, como la frecuencia con que realizaban las actividades de limpieza y mantenimiento de cada una de las unidades de tratamiento. En el Anexo B se consigna el formato de seguimiento a operación y mantenimiento de la planta. Además, se verificó si los operadores realizaban los análisis en el tiempo requerido y se evaluó la capacidad de respuesta en los momentos en que se presentaron anomalías.

## **6.2. Aforo de caudales**

### **6.2.1. Aforo en la bocatoma**

Se realizó un aforo en el sector de la bocatoma, considerando una época de gran precipitación e intensidad lluviosa.

- **Procedimiento para el aforo en la bocatoma**

Se realizó un aforo de la quebrada que abastece la PTAP en el sector de la bocatoma considerando una época de gran precipitación. El aforo se realizó con el método de flotadores, usando una sección de la quebrada la cual se ha modificado para darle forma de rectángulo, donde se mide largo, ancho y profundidad; posteriormente se puso suavemente sobre la superficie del agua una pelota de ping pong, la cual sirvió como elemento flotante en el canal, simultáneamente se activó el cronometro y se midió el tiempo transcurrido hasta que la pelota termine de recorrer el largo del rectángulo. Se realizaron 5 mediciones y se calculó el promedio. La pelota debe ser arrojada suavemente sobre la corriente, para que esta no le imprima una fuerza adicional que pueda afectar la medición. (Canepa 2007)

- **Datos del aforo**

Se realizó usando un rectángulo de 2,5 m de ancho por 3 m de largo, profundidad de 0,52 m. el promedio de tiempo obtenido de las mediciones con la pelota de ping pong es de 3,6 s. Con los datos anteriores se procede a calcular el caudal utilizando las siguientes formulas.

$Q = n \cdot V \cdot A$             donde    Q: Caudal (L/s)  
n: Factor que depende del material del fondo del canal  
A: Área (m<sup>2</sup>)  
V: Velocidad superficial (m/s)

$V = X/T$             donde    X: Longitud (m)  
T: Tiempo (s)

### 6.2.2. Verificación de caudal del agua que llega a la PTAP

Se realizó la medición de caudal con un flujometro suministrado por funcionarios de la Corporación Autónoma Regional del Cauca.

En la entrada el canal tiene un ancho de 0,4 m, se tuvo una altura de la lámina de agua de 0,41 m y se midió una velocidad de 0,3 m/s, se emplea la siguiente fórmula para hallar el caudal.

$Q = V \cdot A$             donde    Q: Caudal (L/s)  
A: Área (m<sup>2</sup>)  
V: Velocidad superficial (m/s)

### 6.3. Muestreo de calidad de agua

Teniendo en cuenta la dinámica de trabajo de la PTAP se creó el plan de trabajo en el que se determinó una fase inicial de muestreo diaria donde se determinan parámetros de turbiedad, pH, color y cloro residual, muestras tomadas a la misma hora durante 4 semanas, los datos se consignan en el Anexo C. Se establecieron los siguientes puntos de muestreo:

- a. Al inicio del tratamiento donde llega el agua cruda
- b. Pasando la dosificación de coagulante
- c. Después de la floculación
- d. Después de la sedimentación
- e. Después de la filtración
- f. Después del proceso de cloración.

En la figura 14 se ilustran los puntos de muestreo.



a. Primer punto: Entrada del agua cruda a la planta.    b. Segundo punto: Agua con coagulante.



c. Tercer punto: Terminado el proceso de floculación

d. Cuarto punto: Finalizado el proceso de sedimentación.



e. Quinto punto: Finalizado el proceso de filtración.

f. Sexto punto: Finalizado el proceso de cloración.

**Figura 14.** Puntos de muestreo.



- **Procedimiento para la toma de muestras**

Una vez determinados los puntos de muestreo se procede a tomar un recipiente previamente lavado y rotulado, el cual se enjuaga 2 o 3 veces con la fuente de agua que se va a muestrear, desechando el agua de enjuague; luego se sumerge completamente de modo que el agua entre libre en él hasta que se complete el volumen total del frasco, se debe evitar tomar la muestra de la capa superficial, por último se lleva la muestra al laboratorio y se miden los parámetros en el menor tiempo posible. (Canepa 2007)

#### 6.4. Verificación del funcionamiento hidráulico de las unidades de tratamiento

La verificación del comportamiento hidráulico de cada una de las unidades de tratamiento se realizó con base en la metodología de diseño propuesta por el ingeniero Jorge Arboleda Valencia en su libro “Teoría y práctica de la purificación del agua”. (Arboleda, J,2000)

##### 6.4.1. Funcionamiento de la canaleta Parshall

En el resalto hidráulico que se genera en esta estructura se adiciona el coagulante, por lo tanto se tomaron en campo las dimensiones con el fin de corroborar su funcionamiento actual tanto para caudal mínimo como caudal máximo y dado que se encontraron deficiencias constructivas posteriormente se realiza el cheque hidráulico considerando las dimensiones típicas propuestas por Acevedo referenciadas en Arboleda, J,2000 que se presentan en la tabla 2 y para una garganta W de 6” que es la dimensión de la estructura existente.

**Tabla 2.** Dimensiones típicas para canaletas Parshall.

W	(cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1”	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3”	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6”	15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4
9”	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	61,0	45,7	7,6	22,9
1’	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 ½’	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9

*Fuente: Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación de agua.*

Los requisitos que debe cumplir el resalto hidráulico para que pueda utilizarse con el propósito de mezcla, son los siguientes:

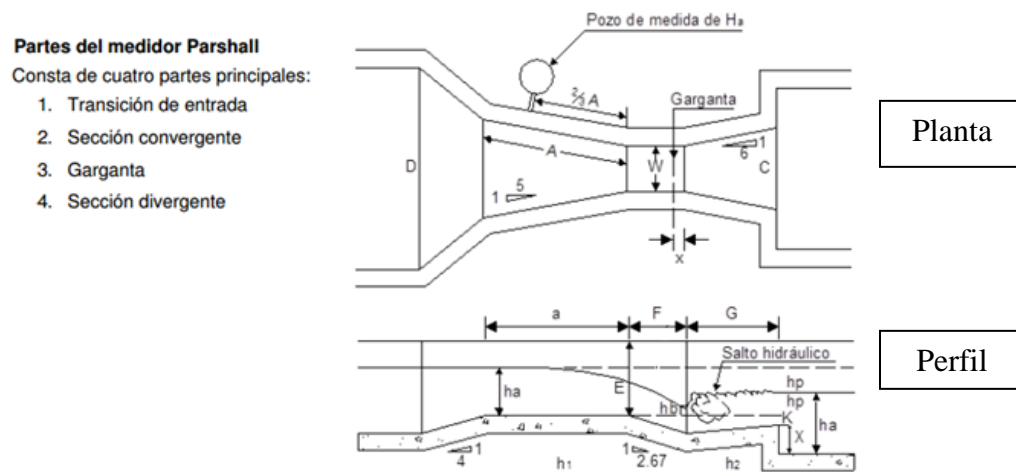
1. No puede trabajar ahogado es decir, la relación  $hb/ha$  debe tener valores menores a los expresados en la tabla 3. (figura 15).
2. La relación  $ha/W$  debe estar entre 0,4 y 0,8. Con el fin de evitar zonas de flujo con mínima agitación. Al bajar  $ha$  el espesor de esta capa se minimiza.

3. El número de Froude debe estar comprendido entre los siguientes intervalos: 1.7 – 2,5 o 4,5 – 9,0. Deben evitarse valores entre 2,5 a 4,5 ya que producen un resalto inestable dificultando la aplicación de coagulantes(Perez, 1992).

**Tabla 3.** Relación de sumergencia.

Ancho de la garganta	Maxima sumergencia ( $h_b/h_a$ )
7,5 (3") a 22,9 (9")	0,6
30,5 (1') a 244 (8')	0,7
305 (10') a 1525 (50')	0,8

Fuente: Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación de agua.



**Figura 15.** Canaleta Parshall (Arboleda, 2000).

A continuación se exponen las ecuaciones empleadas y un cálculo tipo para las dimensiones de la canaleta actual y el caudal mínimo de  $0,040 \text{ m}^3/\text{s}$ . En el capítulo 7 se encuentran los resultados completos.

### Cálculo de las condiciones hidráulicas de entrada

La ecuación para el cálculo de la lámina de agua ( $h_a$ ) en función del ancho de garganta  $W$  igual a 6 pulgadas es la presentada por (Nava Tovar, Gerardo, 2010) es:

$$Q = 0,381 h a^{1,58} \rightarrow h a = 0,24 m$$

En donde el caudal  $Q$  está en  $\text{m}^3/\text{s}$  y  $h a$  en m.

El ancho de la canaleta en la sección de medida ( $D'$ ) se calcula mediante la ecuación, para  $D=38,1$  cm:

$$D' = \left(\frac{2}{3}\right) * (D - W) + W = \left(\frac{2}{3}\right) * (38,1 - 15,2) + 15,2 = 30,47 \text{ cm} = 0,3047 \text{ m}$$

La velocidad en la sección  $D'$ , está dada por la siguiente ecuación:

$$V_0 = \left(\frac{Q}{ha * D'}\right) = \left(\frac{0,04}{0,24 * 0,304}\right) = 0,547 \text{ m/s}$$

La energía específica con diferencia de elevación entre salida y cresta  $N=0,073$  cm es:

$$E_1 = \frac{V_0}{2g} + ha + N = \frac{0,547^2}{2 * 9,81} + 0,24 + 0,073 = 0,34 \text{ m}$$

### Condiciones en la garganta

La velocidad al inicio del resalto se calcula con la siguiente ecuación tomando el mayor valor que resuelve la ecuación:

$$V_1^3 - 2gV_1E_1 = -\frac{2Qg}{W}$$

$$\text{Iterando se obtiene: } V_1^3 - 2 * 9,81 * V_1 * 0,34 = -\frac{2 * 0,04 * 9,81}{0,152}$$

$$V_1^3 - 6,67V_1 = -5,16 \rightarrow V_1 = 2,03 \text{ m/s}$$

Según la resolución 0330 de 2017 se debe chequear que la velocidad mínima en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.

La altura antes del resalto hidráulico es:

$$h_1 = \frac{Q}{V_1 * W} = \frac{0,04}{2,03 * 0,152} = 0,129 \text{ m}$$

El número de Froude es:

$$F_R = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}} = \frac{2,03}{\sqrt{9,81 * 0,129}} = 1,80$$

Para que se cumpla con la tercera condición este valor debe estar entre 1,7 a 2,5 o 4,5 a 9.

### Condiciones de salida

La altura después del resalto hidráulico será:

$$h_3 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8FR^2} - 1) = \frac{0,129}{2} (\sqrt{1 + 8 * 1,8^2} - 1) = 0,27 \text{ m}$$

$$h_2 = h_3 - N + K = 0,27 - 0,073 + 0,068 = 0,265 \text{ m}$$

$$V_2 = \left( \frac{Q}{h_2 * C} \right) = \left( \frac{0,04}{0,265 * 0,356} \right) = 0,424 \text{ m/s}$$

La sumergencia es:

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

$$h_b = h_2 - N = 0,265 - 0,073 = 0,192 \text{ m}$$

$$S = \frac{h_b}{h_a} = \frac{0,192}{0,24} = 0,8$$

De acuerdo a la tabla 7 se debe verificar que el valor de la sumergencia sea menor al máximo especificado, que para este caso es de 0,6 para que no trabaje ahogada, para chequear el cumplimiento del primer requisito.

#### **Verificación de la relación ha/W como segundo requisito**

$$\frac{h_a}{W} = \frac{0,24}{0,152} = 1,58$$

En este caso se excede ampliamente con el rango recomendado de 0,4 y 0,8

#### **Calculo del tiempo y gradiente de mezcla**

Se requiere conocer el valor de velocidad media en el resalto:

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

$$V_m = \frac{2,03 + 0,424}{2} = 1,227 \text{ m/s}$$

#### **Calculo de tiempo medio de mezcla Td**

Para un valor de longitud de la sección divergente G=0,59 se tiene:

$$T_d = \frac{G}{V_m} = \frac{0,59}{1,227} = 0,481 \text{ s}$$

### Calculo del gradiente de mezcla

Este valor se determina para la temperatura del agua de la zona atendida (Municipio de Piendamó 2001-2009) de 20 °C, con la siguiente expresión:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_f}{\mu T_d}} \quad \text{donde } \mu: \text{ viscosidad cinemática } 0,00101 \text{ (Pa) (tabla 8)}$$

$T_d$ : tiempo medio de mezcla (s)  
 $\gamma$ : Peso específico del agua 9980 (N/ m<sup>3</sup>) (tabla 8)  
 $h_f$ : perdida de carga (m)

**Tabla 4.** Peso específico y viscosidad cinemática del agua.

Temperatura (°C)	Peso específico ( $\gamma$ ) N/m <sup>3</sup>	Viscosidad cinemática ( $\mu$ ) Pa
0	9805	0,0018
20	9980	0,00101
21	9787	0,00099
22	9785	0,0097
23	9783	0,00094

*Fuente: Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*

Perdida de carga ( $h_f$ )

$$h_f = h_a + N - h_3$$

$$h_f = h_a + N - h_3 = 0,24 + 0,073 - 0,27$$

$$h_f = 0,043 \text{ m}$$

$$G = \sqrt{\frac{9980 \cdot 0,043}{0,00101 \cdot 0,481}} = 939,867 \text{ s}^{-1}$$

Se debe verificar que este valor este comprendido entre 1000 s<sup>-1</sup> y 2000 s<sup>-1</sup> según la resolución 0330 de 2017.

#### 6.4.2. Proceso de floculación

Para corroborar si el floculador actual de la PTAP está cumpliendo con un buen funcionamiento se verifica inicialmente la velocidad de floculación, para este cálculo se tiene en cuenta el caudal de la planta que es de 40 L/s y el área transversal del canal del floculador conociendo que presentan tres zonas, con ello se quiere obtener los tiempos y

gradientes de mezcla para corroborar si cumplen con la norma actual y replantear la prueba de jarras que se realiza en la planta.

### **Procedimiento para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio líquido para el proceso de coagulación.**

- Se toman muestras de agua cruda, separadas en jarras de un (1) litro cada una
- Se prepara una solución de agua y coagulante, pesando 10 g de sulfato y disolviéndolo en 1 litro de agua.
- En seis (6) recipientes pequeños se vacían distintas cantidades de solución teniendo en cuenta que un (1) mL de solución representa 10 mg/L de coagulante cuando es adicionado en muestras de 1 L de agua cruda.
- Las paletas del agitador son introducidas en las jarras de tal modo que queden descentradas para que el remolino no se genere en el centro de la jarra, pero que tampoco toquen la pared del vaso cuando se empieza a agitar.
- Se pone a funcionar las paletas de las jarras a 230 Rev/1 min y se agrega el coagulante.
- Se reduce la velocidad de las paletas en la agitación del test de jarras a 120 Rev/3 min.
- Se reduce la velocidad de las paletas en la agitación del test de jarras a 60 Rev/3 min.
- Se reduce la velocidad de agitación mínima por 3 min
- Se apaga el test y se dejan reposar las jarras por 10 min.
- Se revisa cuál de las jarras con las diferentes dosis aplicadas genero una mayor coagulación. Para así mantener o modificar la dosis de coagulante aplicado en planta tomando los parámetros de **Turbiedad, Color y pH.**

#### 6.4.3. Proceso de sedimentación

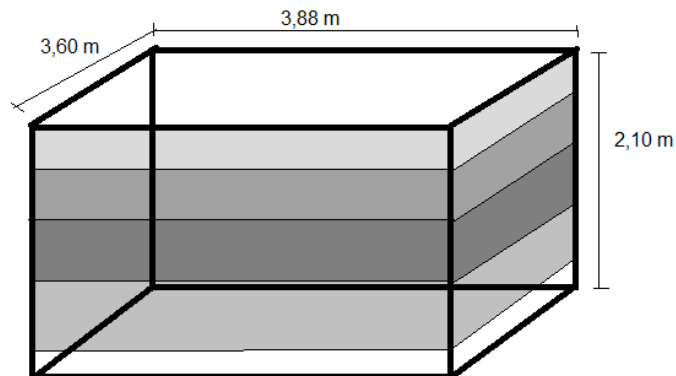
Se miden las dimensiones de los sedimentadores con el fin de determinar la carga superficial y la velocidad de sedimentación, se sabe que las placas inicialmente fueron de zinc, pero debido al deterioro de la unidad actualmente se encuentran algunas quebradas, con parches en cemento e incluso se han reemplazado unas con madera. Se escoge la zona más representativa de placas y se miden las dimensiones de las mismas.

#### 6.4.4. Proceso de filtración

Se realizan los cálculos hidráulicos con el fin de determinar la tasa de filtración y así poder corroborar el funcionamiento de estas unidades. En las figuras 16 y 17 se ilustran estas unidades de tratamiento.



**Figura 166.** Filtro



**Figura 177.** Dimensiones del lecho filtrante

#### 6.4.5. Proceso de desinfección

Teniendo en cuenta que la PTAP no cuenta con una curva de demanda de cloro, ni con mediciones de tiempo de retención real en la cámara de contacto, se determinan dichos procedimientos.

El tiempo de retención real en la cámara de contacto se determinó de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra de agua clorada a la salida de la estructura y se determinó el cloro residual presente.
- Posteriormente se incrementó la dosis de cloro en 30%
- A partir de este momento se tomaron muestras cada 3 minutos hasta que el incremento en la dosis se perciba en el cloro residual de las muestras extraídas

- El intervalo de tiempo transcurrido entre el incremento de la dosis que estaba aplicando el clorador y la presentación del incremento de cloro residual a la salida de la estructura estará indicando el tiempo de retención real (Tr)

### **Procedimiento para elaboración de la curva de demanda de cloro**

- Se preparó una solución madre de 50 mg/L de cloro a partir de Hipoclorito de sodio comercial.
- Se tomaron 2 litros de agua filtrada, con la cual se prepararon 10 muestras de 100mL cada una
- A cada frasco con muestra se le agrego una concentración de cloro conocida en forma ascendente 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 mg/L. de la solución madre y agitar.

Calculo para encontrar los volúmenes de cloro de acuerdo a la concentración deseada en cada frasco.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \rightarrow V_1 = \frac{V_2 * C_2}{C_1}$$

Donde  $C_1$  = Concentración de la solución de cloro madre  
 $V_1$  = Volumen de cloro a aplicar a la muestra  
 $C_2$  = Concentración de Cloro requerido en el frasco  
 $V_2$  = Volumen de la muestra

- La aplicación del cloro se realizó cada 5 minutos a cada frasco midiendo el tiempo con un cronometro y agregando el volumen correspondiente de cloro de acuerdo a la concentración deseada, la muestra se pone en un lugar oscuro y fresco.
- Después de 18 minutos se inicial la lectura del cloro residual.

#### 6.4.6. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA

Para el cálculo del IRCA al que se refiere el artículo 12 del Decreto 1575 de 2007 se asignará el puntaje de riesgo contemplado en la tabla 5 a cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la resolución 2115 de 2007.



**Tabla 5.** Puntaje de riesgo.

<b>Característica</b>	<b>Puntaje de riesgo</b>
Color Aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Cloro Residual Libre	15
Alcalinidad Total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza Total	1
Sulfatos	1
Hierro Total	1,5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	1
Aluminio (Al <sup>3+</sup> )	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes Totales	15
Escherichia Coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

*Fuente: Resolución 2115 de 2007.*

Basandose en el artículo 14 de dicha resolución se determinó el IRCA mensual para el periodo de la pasantía, teniendo en cuenta los reportes suministrados por el laboratorio contratista CRAM y que se miden 6 parámetros, se usan las siguientes fórmulas:

**El IRCA por muestra:**

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

**El IRCA mensual:**

$$\text{IRCA}(\%) = \frac{\text{S de los IRCAs obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Numero total de muestras realizadas en el mes}} \times 100$$

#### 6.4.7. Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano – IRABAm

Basandose en el artículo 18 de la resolución 2115 de 2007 se determinó en IRABA mensual para el periodo de duración de la pasantía, usando las siguientes formulas

$$IRABA\ m = \left( \frac{S\ IRABApp}{tpp} \right) (0,6) + (IRDm)(0,4)$$

Donde

**m** = Municipio.

**pp** = Persona prestadora.

**tpp** = Total de personas prestadoras en el municipio que calcularon el IRABApp

**IRABApp** = Índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora

**IRDm** = Índice de riesgo por abastecimiento en el municipio. Es un indicador que tiene por objeto determinar el riesgo en salud humana por la forma como se distribuye el agua en el municipio. El máximo puntaje equivale a 100 puntos.

Para el cálculo del índice de riesgo por abastecimiento de agua por parte de la persona prestadora (IRABApp) se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

$$IRABApp = 100 - (IT + IC)$$

Donde

**IT** = Índice de tratamiento. Es el puntaje que se le asigna al evaluar los procesos de tratamiento, ensayos básicos de laboratorio en planta de tratamiento y trabajadores certificados de la persona prestadora. El máximo puntaje equivale a 80 puntos.

**IC** = Índice por continuidad. Es el puntaje que se le asigna a la persona prestadora, con la información de continuidad de su área de influencia. El máximo puntaje equivale a 20 puntos.

## 7. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y EVALUACIÓN

En este aparte se presenta lo obtenido en las actividades realizadas para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el periodo de pasantía.

### 7.1. Aforo en la bocatoma

Ancho: 2,5 m

Largo: 3 m

Profundidad: 0,52 m

Tiempo: 3,6 s.

$$A = 2,5 \text{ m} * 0,52 \text{ m} = 1,3 \text{ m}^2$$

$$V = 3 \text{ m} / 3,6 \text{ s}$$

$$V = 0,83 \text{ m/s}$$

Como la quebrada se constituye principalmente de arcilla y arena se escoge un n de 0,83

$$Q = 0,83 * 0,83 * 1,3$$

$$Q = 0,896 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 896 \text{ L/s}$$

### 7.2. Verificación de caudal del agua que llega a la PTAP

Ancho del canal: 0,4 m

Altura de la lámina de agua: 0,41 m

Velocidad: 0,3 m/s

$$Q = V * A$$

$$V = 0,3 \text{ m/s}$$

$$A = 0,41 \text{ m} * 0,4 \text{ m} = 0,164 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,164 * 0,3 = 0,0492 \text{ m}^3/\text{s} = 49,2 \text{ L/s}$$

Con el caudal obtenido de 49,2 L/s se calibro el aforador de caudal, dicho caudal supera por 14,2 L/s el caudal máximo de diseño de la planta.

### 7.3. Funcionamiento de la canaleta Parshall

Las dimensiones de la canaleta Parshall presente en la PTAP se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Datos obtenidos en campo de la Canaleta Parshall.

(Q) Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	0,040
(Q) Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	0,100
(W) Ancho Garganta (m)	0,152
(D) Ancho sección convergente (m)	0,381
(N) Diferencia de elevación entre salida y cresta (m)	0,073
(g) Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	9,81
(K) Longitud paredes sección divergente (m)	0,068
(C) Ancho de la salida (m)	0,356
(G) Longitud de la sección divergente (m)	0,59
(T) Temperatura promedio del agua (°C)	20
(γ) Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	9980
(μ) viscosidad (N/m <sup>2</sup> )	0,00101
(A) Longitud sección convergente (m)	0,60
(E) Profundidad total (m)	0,44
(F) Longitud garganta (m)	0,34
(ha) lámina de agua (m)	0,24

#### Cálculo de las condiciones hidráulicas de entrada

$$Q = 0,381 h a^{1,58} \rightarrow h a = 0,24 m$$

En donde el caudal Q está en m<sup>3</sup>/s y ha en m.

$$D' = \left(\frac{2}{3}\right) * (D - W) + W = \left(\frac{2}{3}\right) * (38,1 - 15,2) + 15,2 = 30,47 cm = 0,3047 m$$

$$V_0 = \left(\frac{Q}{h a * D'}\right) = \left(\frac{0,04}{0,24 * 0,304}\right) = 0,547 m/s$$

$$E_1 = \frac{V_0^2}{2g} + h a + N = \frac{0,547^2}{2 * 9,81} + 0,24 + 0,073 = 0,34 m$$

#### Condiciones en la garganta

$$V_1^3 - 2g V_1 E_1 = -\frac{2Qg}{W}$$

$$\text{Iterando se obtiene: } V_1^3 - 2 * 9,81 * V_1 * 0,34 = -\frac{2 * 0,04 * 9,81}{0,152}$$

$$V_1^3 - 6,67V_1 = -5,16 \rightarrow V_1 = 2,03 \text{ m/s}$$

Según la resolución 0330 de 2017 se debe chequear que la velocidad mínima en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.

$$h_1 = \frac{Q}{v_1 * W} = \frac{0,04}{2,03 * 0,152} = 0,129 \text{ m}$$

$$F_R = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}} = \frac{2,03}{\sqrt{9,81 * 0,129}} = 1,80$$

### Condiciones de salida

$$h_3 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8FR^2} - 1) = \frac{0,129}{2} (\sqrt{1 + 8 * 1,8^2} - 1) = 0,27 \text{ m}$$

$$h_2 = h_3 - N + K = 0,27 - 0,073 + 0,068 = 0,265 \text{ m}$$

$$V_2 = \left( \frac{Q}{h_2 * C} \right) = \left( \frac{0,04}{0,265 * 0,356} \right) = 0,424 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

$$h_b = h_2 - N = 0,265 - 0,073 = 0,192 \text{ m}$$

$$S = \frac{H_b}{H_a} = \frac{0,192}{0,24} = 0,8$$

### Verificación de la relación ha/W como segundo requisito

$$\frac{ha}{W} = \frac{0,24}{0,152} = 1,58$$

### Calculo del tiempo y gradiente de mezcla

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

$$V_m = \frac{2,03 + 0,424}{2} = 1,227 \text{ m/s}$$

### Calculo de tiempo medio de mezcla Td

$$T_d = \frac{G}{V_m} = \frac{0,59}{1,227} = 0,481 \text{ s}$$

### Calculo del gradiente de mezcla

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_f}{\mu T_d}} \quad \text{donde } \mu: \text{ viscosidad cinemática } 0,00101 \text{ (Pa) (tabla 8)}$$

$T_d$ : tiempo medio de mezcla (s)

$\gamma$ : Peso específico del agua 9980 (N/ m<sup>3</sup>) (tabla 8)

$h_f$ : perdida de carga (m)

$$h_f = h_a + N - h_3$$

$$h_f = h_a + N - h_3 = 0,24 + 0,073 - 0,27$$

$$h_f = 0,043 \text{ m}$$

$$G = \sqrt{\frac{9980 \cdot 0,043}{0,00101 \cdot 0,481}} = 939,867 \text{ s}^{-1}$$

En la tabla 7 se presentan los datos hidráulicos obtenidos para la canaleta actual de la PTAP para el caudal mínimo y máximo respectivamente.

**Tabla 7.** Cálculos de la Canaleta Parshall.

	Caudal mínimo	Caudal máximo
(D') sección media (m)	0,3047	0,3047
(V <sub>o</sub> ) velocidad en D' (m/s)	0,547	0,765
(E <sub>i</sub> ) Energía total disponible	0,34	0,532
(h <sub>a</sub> ) lámina de agua (m)	0,24	0,429
(V <sub>1</sub> ) Velocidad antes del resalto (m/s)	2,03	1,937
(h <sub>1</sub> ) Lámina de agua antes del resalto (m)	0,129	0,340
(S) Grado de sumergencia	0,8	0,67
(F <sub>R</sub> ) Numero de Froude	1,80	1,06
(h <sub>2</sub> ) lámina de agua después del resalto (m)	0,265	0,362
(h <sub>3</sub> ) lámina de agua al final de la canaleta (m)	0,27	0,367
(V <sub>2</sub> ) Velocidad (m/s)	0,424	0,776
(V <sub>m</sub> ) Velocidad media (m/s)	1,227	1,357
(T <sub>d</sub> ) Tiempo medio de mezcla (s)	0,481	0,435
(h <sub>f</sub> ) Perdida de carga (m)	0,043	0,135
(G) Gradiente hidráulico (s <sup>-1</sup> )	939,867	1751,164

Análisis con respecto a los cálculos de la canaleta Parshall:

Debido al cambio de pendiente el flujo de agua se debe acelerar hasta crear un régimen supercrítico que se convierte en un salto hidráulico al encontrar la pendiente negativa de la sección G de salida en la que el régimen es subcrítico. Este salto hidráulico es el que se usa para la mezcla rápida, en este caso se encuentra una relación de pendiente de (4,65:1) mientras que la literatura recomienda una de (2.67: 1), lo que indica que la sección no es lo suficiente profunda para que se produzca un adecuado resalto hidráulico

Para ambos caudales se presenta una relación  $h_a/w$  que supera de gran forma el rango recomendado (0,4 y 0,8), situación que afectaría la mezcla ya que la turbulencia del resalto no penetra en profundidad dentro de la masa de agua, dejando una capa bajo el resalto, en que el flujo se transporta con un mínimo de agitación.

La canaleta trabaja ahogada debido a que el resultado de sumergencia para ambos caudales excede el valor de  $S < 0,6$  recomendado para el ancho de la garganta de la estructura actual.

En el caso de trabajar con el caudal mínimo se tendrá un número de Froude de 1,80, valor que se encuentra dentro del rango recomendado para obtener un resalto hidráulico estable, condición que favorece la aplicación del coagulante. A diferencia del caudal máximo en el cual se obtiene un número de Froude de 1,06, lo que indica que posiblemente se presenta un resalto inestable el cual no permanece en su posición, sino que siempre está cambiando de sitio, lo que dificulta la aplicación del coagulante.

Según lo recomendado por la resolución 0330 el valor del gradiente debe estar entre  $1000s^{-1}$  y  $2000 s^{-1}$ , por lo tanto, el cálculo de gradiente de la canaleta existente para el caudal mínimo no cumple con este rango a diferencia del caudal máximo, se obtuvo un valor de  $939,867 s^{-1}$  y  $1751,164s^{-1}$  respectivamente.

Se realiza los cálculos hidráulicos para una canaleta Parshall bien construida, es decir con las dimensiones típicas propuestas para esta unidad. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8.** Cálculos de la Canaleta Parshall.

	Caudal mínimo	Caudal máximo
(D') sección media (m)	0,319	0,319
(Vo) velocidad en la D' (m/s)	0,52	0,73
(E <sub>1</sub> ) Energía total disponible (m)	0,37	0,57
(h <sub>a</sub> ) Lámina de agua (m)	0,24	0,429
(V <sub>1</sub> ) Velocidad antes del resalto (m/s)	2,22	2,42
(h <sub>1</sub> ) Lámina de agua antes del resalto (m)	0,119	0,272
(S) Grado de sumergencia	0,616	0,78
(F <sub>R</sub> ) Numero de Froude	2,05	1,48
(h <sub>2</sub> ) lámina de agua después del resalto (m)	0,253	0,411
(h <sub>3</sub> ) lámina de agua al final de la canaleta (m)	0,291	0,449
(V <sub>2</sub> ) Velocidad (m/s)	0,401	0,618
(Vm) Velocidad media (m/s)	1,311	1,519
(Td) Tiempo medio de mezcla (s)	0,465	0,402
(h <sub>f</sub> ) Perdida de carga (m)	0,063	0,094
(G) Gradiente hidráulico (s <sup>-1</sup> )	1157,040	1520,042

**Tabla 9.** Condiciones para mezcla rápida

Condición	Canaleta actual		Canaleta bien construida	
	Caudal mínimo	Caudal máximo	Caudal mínimo	Caudal máximo
1	NO	NO	NO	NO
2	SI	NO	SI	NO
3	NO	NO	NO	NO

Con los resultados obtenidos para la canaleta bien construida se observa que se tendría un mejor gradiente hidráulico, el cual cumpliría con lo estipulado en la resolución para ambos caudales de trabajo. No se presentan grandes variaciones en cuanto a los parámetros evaluados en comparación con la canaleta actual de la planta, pues las dimensiones son similares, cabe resaltar que las variaciones son pequeñas porque la unidad de tratamiento también lo es.

Es necesario realizar un rediseño de esta estructura teniendo en cuenta el caudal para la población futura, ya que en el caso de estudio el caudal máximo con una canaleta Parshall de W=6" no cumple ninguno de los requisitos necesarios para utilizar el resalto hidráulico como mezcla, se debe tener en cuenta las dimensiones típicas propuestas en la literatura para la construcción de la nueva unidad y no realizarla de forma arbitraria como se hizo con la actual.



## 7.4. Proceso de floculación

Para corroborar si el floculador actual de la PTAP está cumpliendo con un buen funcionamiento se verifica inicialmente la velocidad de floculación, para este cálculo se tiene en cuenta el caudal de la planta que es de 40 L/s y el área transversal del canal del floculador conociendo que presentan tres zonas. En la tabla 10 se presentan las dimensiones obtenidas en campo del floculador.

**Tabla 10.** Dimensiones del floculador

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>
Numero de tabiques	20	20	20
Alto de los tabiques (m)	0,85	0,85	0,85
Espesor de los tabiques (m)	0,045	0,05	0,045
Numero de espacios	20	20	20
Separación entre tabiques (m)	0,24	0,33	0,36
Espaciamento entre el extremo final del tabique y el muro (m)	0,63	0,60	0,56
Altura de la lámina de agua (m)	0,8	0,8	0,8
Largo de floculador (m)	21,4		
Ancho de floculador (m)	3,60		

Se realiza un cálculo tipo para la zona 1

### Calculo tipo

#### Velocidad

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s}}{0,24 \text{ m} * 0,8 \text{ m}} = 0,21 \text{ m/s}$$

#### Tiempo de floculación

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{5,7 * 3,6 * 0,8}{0,04} = 410,4 \text{ s}$$

#### Longitud del canal

$$L = V * T = 0,21 \text{ m/s} * 240 \text{ s} = 50,4 \text{ m}$$

#### Área del canal

$$A = a * h = 0,24 \text{ m} * 0,8 \text{ m} = 0,192 \text{ m}^2 \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} a: \text{ ancho de los espacios entre tabiques} \\ h: \text{ altura de la lámina de agua} \end{array}$$

### Perdida de carga totales (hf)

$$hf = kN * \frac{V^2}{2g} + L * \left( \frac{Vn}{Rh^{2/3}} \right)^2$$

Donde K: Constante empírica

N: Número de tabiques

V: Velocidad media del flujo

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Rh: Radio Hidráulico (m).

L: Longitud del canal (m).

### Radio hidráulico

$$Rh = \frac{\text{Area}}{\text{Perimetro Mojado}} = \frac{0,192m}{0,24m+(2*0,8m)} = 0,104m$$

Se asume un valor de K: 3,5 y un coeficiente de Manning de (n: 0,013) ya que la superficie del floculador es de cemento.

$$hf = 3.5 * 20 * \frac{0.21^2}{2 * 9.8} + 86.184 * \left( \frac{0.21 * 0.013}{0.104^{2/3}} \right)^2 = 0,170 \text{ m}$$

### Verificación gradiente de velocidad (G)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma hf}{u T}} \quad \text{donde } u: \text{ viscosidad cinemática } 0,00101 \text{ (Pa)}$$

T: tiempo nominal de retención (s)

$\gamma$ : Peso específico del agua 9980 (N/ m<sup>3</sup>)

hf: perdida de energía debida a la fricción (m)

$$G = \sqrt{\frac{9980 * 0.170}{0.00101 * 410.4}} = 63,98 \text{ s}^{-1}$$

En la tabla 11 se consignan los valores obtenidos para el floculador

**Tabla 11.** Cálculos del floculador

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>
Tiempo de floculación (s)	410,4	547,2	583,2
Velocidad (m /s)	0,21	0,15	0,14
Longitud de los canales (m)	86,184	82,08	81,648
Numero de espacios	20	20	20
Área del canal (m <sup>2</sup> )	0,192	0,264	0,288
Radio hidráulico (m)	0,104	0,137	0,147
Perdida de carga (m)	0,170	0,085	0,073
Gradiente de velocidad (s <sup>-1</sup> )	63,98	39,18	35,17

El floculador debe diseñarse de manera que la velocidad del agua a través del tanque este entre 0,2 m/s y 0,6 m/s, las velocidades halladas en las tres zonas del floculador indica que solo la primera zona cumple con lo estipulado en el reglamento RAS 2000 Titulo C.

El gradiente medio de velocidad (G) debe estar entre 20 s<sup>-1</sup> y 70 s<sup>-1</sup>, lo que se cumple en las tres zonas; el tiempo de detención (td) debe estar entre 20 y 30 minutos, se determinó un tiempo de 25,3 minutos.

Probablemente las condiciones de diseño hayan cambiado debido al deterioro en el que se encuentra el floculador, pues algunos tabiques se encuentran en mal estado además que el caudal de trabajo de la planta no se controla de forma rigurosa.

- **Prueba de jarras**

Mediante el análisis de esta prueba se evalúa la eficiencia de una determinada concentración de coagulante encaminado a reducir el material disuelto en suspensión, coloidal y no sedimentable del agua mediante coagulación – floculación química, seguida por sedimentación por acción de la gravedad. El procedimiento se puede evaluar con base en la remoción de color y turbidez.

Se inicia con los gradientes y tiempos de mezcla que manejan los operarios de la planta. En la tabla 12 se consignan los valores

**Tabla 12.** Gradientes y tiempo de mezcla.

	<b>Gradientes (RPM)</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
<b>1</b>	120	3
<b>2</b>	60	3
<b>3</b>	Mínimo del agitador	3

Para corroborar la eficiencia de los anteriores gradientes se realizó la prueba de jarras donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 13, teniendo en cuenta que 1 ml de solución representa 10mg/L de coagulante cuando es adicionado en muestras de 1 L de agua cruda.

Turbiedad inicial = 14 NTU

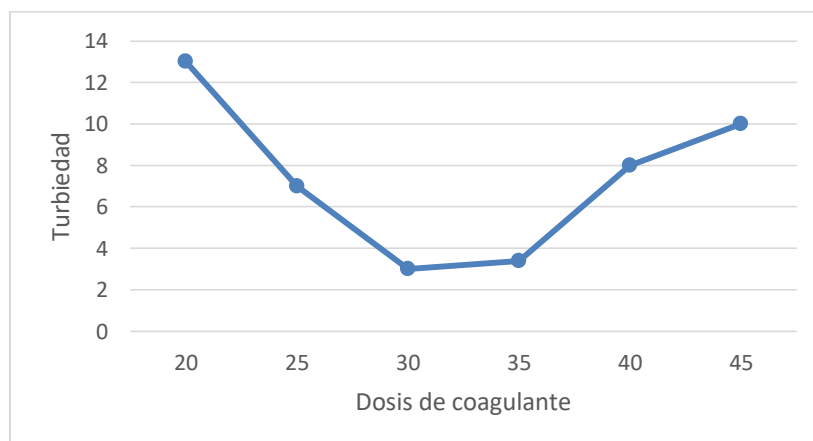
pH = 7,3

Color = 100 Pt-Co

**Tabla 13.** Prueba de jarras.

Jarra	Dosis coagulante (mg/L)	Volumen (mL)	Turbiedad (NTU)	pH
1	20	2	13	7,2
2	25	2,5	7	7,2
3	30	3	3	6,9
4	35	3,5	3,4	6,8
5	40	4	8	7,1
6	45	4,5	10	7,2

En la figura 18 se ilustra el comportamiento de la turbiedad ante las dosis agregadas



**Figura 18.** Turbiedad versus dosis de coagulante

Se determina la eficiencia de remoción para cada dosis de coagulante con la siguiente ecuación.

$$Eficiencia = \left( \left( \frac{(turb. inicial_i - turb. final_f)}{turb. inicial_i} \right) * 100 \right)$$

### Calculo tipo

$$Eficiencia = \left( \left( \frac{14 - 3}{14} \right) * 100 \right) = 78.57\%$$

En la tabla 14 se presentan los datos obtenidos para la eficiencia de remoción

**Tabla 14.** Eficiencia de remoción de turbiedad

Jarra	Dosis coagulante (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Eficiencia (%)
1	20	13	7,14
2	25	7	50
3	30	3	78,57
4	35	3,4	75,71
5	40	8	42,86
6	45	10	28,57

Con lo anterior se puede concluir que la mejor dosis es la de 30 mg/L la cual presenta el valor de turbiedad más bajo.

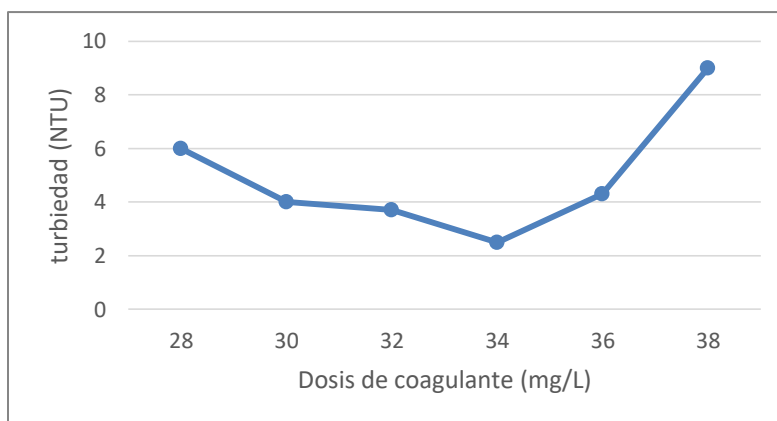
Cabe resaltar que en la planta manejan los rangos de dosis de manera estándar, lo que no es recomendable puesto que dichas dosis se deben aplicar teniendo en cuenta las condiciones actuales del agua que se va a tratar.

Posteriormente se realiza el ensayo con los gradientes y tiempos aquí determinados. Los resultados se encuentran en la tabla 15

**Tabla 15.** Prueba de jarras

Jarra	Dosis coagulante (mg/L)	Turbiedad (NTU)	pH
1	28	6	7,1
2	30	4	6,9
3	32	3,7	6,9
4	34	3	6,6
5	36	4,3	6,8
6	38	9	6,9

En la figura 19 se ilustra el comportamiento de la turbiedad ante las dosis agregadas



**Figura 19.** Turbiedad versus dosis de coagulante

En la tabla 16 se presentan los datos obtenidos para la eficiencia de remoción

**Tabla 16.** Eficiencia de remoción de turbiedad.

Jarra	Dosis coagulante (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Eficiencia (%)
1	28	6	57,14
2	30	4	71,43
3	32	3,7	73,57
4	34	2,5	82,14
5	36	4,3	69,29
6	38	9	35,71

Con lo anterior se puede concluir que la mejor dosis es la de 34 mg/L la cual presenta el valor de turbiedad más bajo, obteniendo un porcentaje de remoción mayor lo que nos indica que es recomendable variar los rangos de dosificación para que esta se realice de forma más precisa.

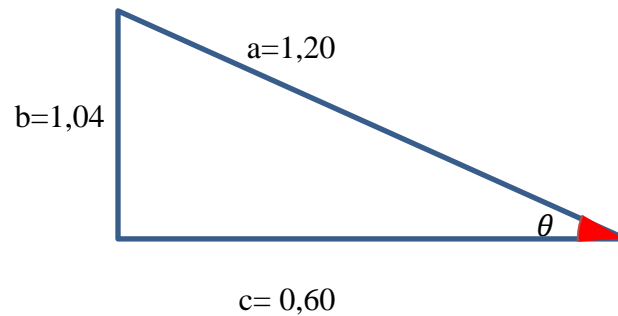
### 7.5. Proceso de sedimentación

En la tabla 17 se presentan las dimensiones de cada sedimentador.

**Tabla 17.** Datos del sedimentador.

Longitud (m)	19,18
Ancho (m)	3,45
Profundidad (m)	3
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	0,04
Caudal (m <sup>3</sup> /día)	3456
Largo de la placa (m)	3,45
Alto de la placa (m)	1,20
Espesor de la placa (m)	0,006
Espaciamiento entre placas (m)	0,07

Verificación del ángulo de inclinación de las placas con las dimensiones medidas en campo



Por trigonometría se tiene

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1,04}{1,20}\right) = 60,07^\circ$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{c}{a}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{0,6}{1,20}\right) = 60^\circ$$

Con las mediciones tomadas en campo se pudo corroborar el ángulo de inclinación de las placas

### Velocidad de flujo entre las placas

$$V_o = \frac{Q}{A_o} \quad \text{donde } Q = \text{Caudal (m}^3/\text{día)}$$
$$A_o = \text{Área neta perpendicular a las placas}$$

$$A_o = A_h * \text{sen } \theta$$

$$V_o = \frac{Q}{A_o} = \frac{3456}{66,171 * \text{sen } 60} = 60,31 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

### Verificación de la carga superficial del sedimentador

$$C_s = V_o * \text{sen } \theta = 60,31 * \text{sen } 60 = 52,23 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

### Velocidad crítica de sedimentación

$$V_{sc} = \frac{V_o}{\text{sen } \theta + Lu * \cos \theta} \quad \text{donde } V_o = \text{Velocidad promedio (m}^3/\text{m}^2 * \text{día)}$$

A = Área del fondo del tanque (m<sup>2</sup>)  
Lu = Longitud útil de la placa

$$Lu = \frac{L}{e} - 0,013 * NR \quad \text{donde } L = \text{Alto de las placas}$$

e = Espaciamiento entre placas  
NR = Numero de Reynolds

El Número de Reynolds para placas paralelas se puede determinar así de acuerdo con Knudsen and Katz (1958)

$$NR = \frac{2 * V_o * e}{\nu} \quad \text{donde } V_o = \text{Velocidad promedio (m}^3/\text{m}^2 * \text{día)}$$

e = Espaciamiento entre placas  
 $\nu$  = Viscosidad cinemática (0,010)

$$NR = \frac{2 * 60,31 * 0,07}{0,010} = 844,34$$

$$Lu = \frac{1,20}{0,07} - 0,013 * 844,34 = 6,17$$

$$V_{sc} = \frac{60,31}{\text{sen } 60 + 6,17 * \cos 60} = 15,27 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

Teniendo en cuenta que esta unidad de tratamiento es una estructura optimizada, es decir pasó de convencional con flujo horizontal a flujo laminar con placas se analiza como sedimentador de alta tasa.

Para este tipo de sedimentadores es indispensable que se establezca entre las placas un flujo laminar o sea que se tenga un Número de Reynolds inferior a 280 para partículas floculentas, obteniendo un numero de 844,34 para un caudal de 0,04 m<sup>3</sup> valor que supera de gran manera el rango recomendado



La carga superficial para este tipo de sedimentador con módulos angostos debe estar entre los valores de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día -185 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día según lo indica la resolución 0330-2017, se evidencia que la carga obtenida se encuentra muy debajo del rango.

Con las dimensiones del sedimentador convencional se calculan los parámetros hidráulicos que debían tenerse como base para optimizar esta unidad a una de alta tasa

$$Vo = \frac{Q*86400}{AT \text{sen } \theta - n*ep*a} \quad \text{donde } AT = \text{área total horizontal}$$

n= Número de placas  
ep = Espesor de las placas  
a= Largo de las placas medido a lo ancho del sedimentador  
Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$$n = \frac{AT \text{sen } \theta}{a(e+ep)} \quad \text{donde } e = \text{Espaciamiento entre placas}$$

ep = Espesor de las placas  
a= Largo de las placas medido a lo ancho del sedimentador

$$n = \frac{66,171 * \text{sen } 60}{3,45 * (0,07 + 0,006)} = 218,56$$

$$Vo = \frac{0,04 * 86400}{66,171 * \text{sen } 60 - 218,56 * 0,006 * 3,45} = 65,447$$

$$NR = \frac{2 * 65,477 * 0,07}{0,010} = 916,68$$

$$Lu = \frac{1,20}{0,07} - 0,013 * 916,68 = 5,23$$

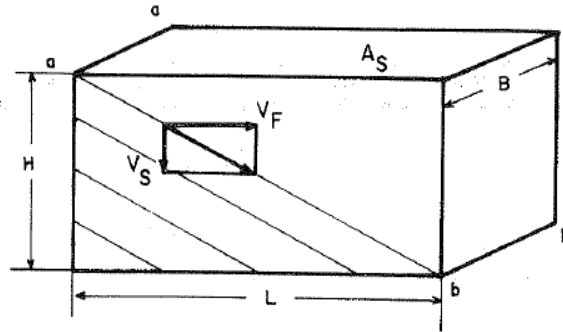
$$Vsc = \frac{65,477}{\text{sen } 60 + 5,23 * \text{cos } 60} = 18,82 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{ día}$$

Con las dimensiones tomadas en campo del sedimentador actual se determina inicialmente el número de placas que debieron poner en la estructura si se quería optimizar a alta tasa, primer hallazgo que entra a controversia, pues actualmente se encuentran 52 placas, es decir el 24% de las que deberían estar; de la cuales solo 25 placas están en buen estado o sea el 12%. Con una buena construcción se tendría una carga superficial mayor a la que actualmente se tiene, es decir se tendría mayor retención de partículas si se contara con un buen diseño.

Con los datos tomados tampoco se logra cumplir con el número de Reynolds para sedimentadores de este tipo, pues se debe garantizar que se establezca entre las placas un flujo laminar o sea que se tenga un Número de Reynolds inferior a 280 para partículas floculentas que es el caso de estudio, se recomienda además un NR entre 100 y 500 para

sedimentador de flujo laminar; con el valor obtenido 916,68 se puede deducir que el tipo de flujo presente en el sedimentador no se encuentra dentro de los rangos favorables.

Calculo para el sedimentador convencional construido inicialmente.



**Figura 20.** Dimensiones del sedimentador convencional (Arboleda, 2000)

Se recomienda una relación entre el largo y el ancho de:

$$\frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}} = \frac{3}{1} a \frac{5}{1}$$

Obteniendo para la estructura actual de la planta una relación de  $\frac{19,18}{3,45} = 5,56$ . Lo que indica que se quería tener una mayor eficiencia

La velocidad del flujo es:

$$V_f = \frac{Q}{BH} = \frac{0,04}{3,45 \cdot 3} = 0,00386 \frac{m}{s}$$

La carga superficial es:

$$V_{sc} = V_f \cdot \frac{H}{L} = \frac{QH}{BHL} = \frac{Q}{BL} = \frac{Q}{A_s}$$

$$V_{sc} = 0,00386 \cdot \frac{3}{19,18} = 0,0000603 = 52,16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

### Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{198,513}{3456} = 0,057 \text{ día} = 1,4 \text{ horas}$$

Según la resolución 0330 de 2017 para un sedimentador de flujo horizontal se debe tener una velocidad de flujo menor a 1 cm/s, un tiempo de retención hidráulica entre 2–4 horas y

una carga superficial entre  $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$  -  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$ ; de los parámetros anteriores solo se cumple con la velocidad de flujo pues se obtuvo un valor de 0,386 cm/s, se tiene un tiempo de retención menor al recomendado y la carga superficial está por encima del rango estipulado en la resolución, el no cumplimiento de estos parámetros junto con factores externos a los de diseño como la densidad de las partículas dentro de la unidad, los cambios de temperatura, corrientes de viento, entre otros, podrían traer posibles problemas en la óptima sedimentación de las partículas.

Al no encontrarse en la base de datos de la PTAP los criterios que se tuvieron en cuenta al momento de realizar las modificaciones a esta unidad, se puede concluir con los cálculos hidráulicos realizados que:

Sin lugar a dudas, el proceso de coagulación-floculación es el factor que mayor influencia tiene en el rendimiento y operación del sedimentador laminar, tanto en lo referente a la remoción de turbiedad como en la calidad misma del agua.

Posiblemente no se presente una buena distribución en la zona de entrada y distribución del agua, en esta zona se debe tener un número de Reynolds lo más bajo posible y el número de Froude más elevado para tender a un flujo laminar y estabilizar el flujo. En esta zona las líneas de flujo no deben encontrarse con ningún tipo de obstrucciones que alteren su trayectoria

Teóricamente, cualquier partícula con velocidad igual o mayor a la crítica será automáticamente removida, obteniendo un valor para este parámetro de  $15,27 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$ .

En ninguna de las situaciones evaluadas se cumple con tener un número de Reynolds menor a 280 para partículas floculentas, es decir que el flujo que se presenta entre las placas no es el adecuado.

Se sugiere realizar un estudio riguroso al agua, donde se caracterice la misma, además se determine la curva de sedimentabilidad principalmente, se recomienda de igual manera el uso de sedimentadores piloto o por lo menos de ensayos de velocidad de sedimentación de partículas a nivel de laboratorio, para fijar las cargas superficiales de diseño de estas unidades. La eficiencia de un sedimentador laminar es directamente proporcional a la turbiedad y el color del agua cruda, se logra un rendimiento mayor de los sedimentadores al usar polímeros, puesto que permiten incrementar el peso del flóculo.

Aunque esta unidad de tratamiento actualmente no se encuentra en buen estado, ni con las condiciones de diseño adecuadas, presenta un buen funcionamiento de acuerdo a los análisis realizados en este trabajo. Los valores de turbiedad que se manejan en la planta son bajos, por lo que se produce poca cantidad de sólidos.

## 7.6. Proceso de filtración

En la tabla 18 se presentan las dimensiones de cada filtro.

**Tabla 18.** Datos del filtro.

Longitud del lecho filtrante (m)	3,88
Ancho del lecho filtrante (m)	3,60
Alto del lecho filtrante (m)	2,10
Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	3456
Caudal por filtro (m <sup>3</sup> /día)	1728
Largo del tanque elevado (m)	5,70
Ancho del tanque elevado (m)	5,80
Alto del tanque elevado (m)	3,00

### Chequeo número de filtros

$$N = 0,044 \sqrt{Q} \quad \text{donde } Q = \text{caudal de la planta (m}^3/\text{día)}$$

$$N = 0,044 \sqrt{3456} = 3 \text{ unidades}$$

La resolución 0330 del 2017 recomienda que el número de filtros mínimo debe ser de 3 cuando se tiene tanque de lavado para realizar el lavado de los filtros, con las dos unidades que existen actualmente no se cumple con la norma.

### Tasa de filtración

$$Vf = \frac{Q}{A} = \frac{1728}{3,88*3,6} = 123,711 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{ día}$$

Según la resolución 0330 la tasa de filtración para lecho mixto debe estar en el rango de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d -350 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, lo que indica que el valor obtenido no cumple

La PTAP cuenta con un tanque elevado para el lavado de los filtros con un volumen de 99,18 m<sup>3</sup>

Para iniciar el lavado del filtro como primer paso se cierra la compuerta número 1, posteriormente se abre la compuerta número 2, después se cierra la válvula número 3 y se abre la válvula número 4. Pasados aproximadamente 10 minutos se cierra la válvula número 4, se abre la válvula número 3, se cierra la compuerta número 2 y se abre la compuerta número 1.

Actualmente la planta no cuenta con macromedidores que permitan monitorear o tener algún valor del caudal que sale del tanque elevado para el lavado, ni con alguna estructura que permita regular la cantidad de agua que sale de este. De manera estándar se realizan retrolavados cada 24 horas por un periodo de 10 minutos, tiempo en el que el tanque elevado no se desocupa totalmente. No se cuenta con planos que informen del tipo de accesorios que se encuentran en la conducción del tanque hasta los drenes de los filtros, además de información que permita determinar la pérdida del lecho filtrante.

Luis Felipe Silva Garavito recomienda en su libro “Diseño de plantas de purificación de aguas” que la cantidad de agua para el lavado debe ser el 4% del agua filtrada, en el caso de estudio se tendría:

$$\frac{1728 * 4\%}{100\%} = 69,12 \text{ m}^3/\text{día}$$

La tubería de conducción del tanque elevado a los filtros es de 12” (0,3048 m), con esta información se podrá tener una aproximado de la velocidad de lavado

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,2032^2}{4} = 0,073 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{69,12}{0,324} = 946,84 \text{ m/día} = 0,658 \text{ m/min}$$

La velocidad de lavado debe ser igual o mayor de 0,60 m/min según la RAS (tabla c.7.2) para garantizar un adecuado auto lavado.

Se tiene una altura desde el suelo hasta el nivel de agua del tanque elevado lleno de 7 m y una altura desde la base del filtro hasta los canales sobre esta estructura de 3,5 m.

Jorge Arboleda Valencia recomienda que la altura entre la diferencia de las cotas del tanque elevado y los canales del filtro sea mayor a 4 m, una vez descontadas todas las pérdidas de carga producidas por fricción en los tubos y accesorios que queden en la conducción; teniendo la planta una diferencia de altura de 3,5 m sin considerar las pérdidas, valor que está por debajo del recomendado.

## **7.7. Proceso de desinfección**

Los datos obtenidos para determinar el tiempo de retención real en la cámara de contacto se presentan en la tabla 19.

**Tabla 3.** Tiempo de retención real

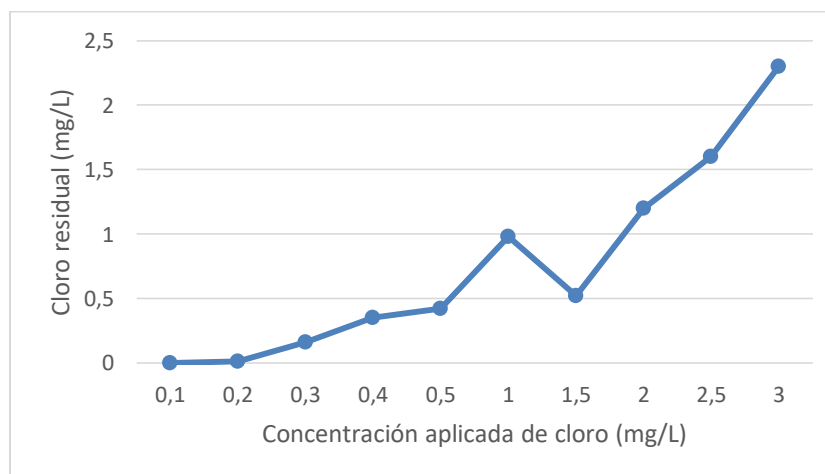
Muestra	Tiempo (min)	Cloro residual
1	3	0,9
2	6	0,9
3	9	1,0
4	12	0,9
5	15	1,1
6	18	3,7
7	21	3,9

Los datos obtenidos para la demanda de cloro se presentan en la tabla 20.

**Tabla 20.** Demanda de cloro

Muestra	Concentración (mg/L)	Volumen adicionado (mL)	Cloro residual (mg/L)	Demanda de cloro (mg/L)
1	0,1	0,2	0	0,1
2	0,2	0,4	0,012	0,188
3	0,3	0,6	0,16	0,14
4	0,4	0,8	0,35	0,05
5	0,5	1,0	0,42	0,08
6	1,0	2,0	0,98	0,02
7	1,5	3,0	0,52	0,98
8	2,0	4,0	1,2	0,8
9	2,5	5,0	1,6	0,9
10	3,0	6,0	2,3	0,7

En la Figura 21 se observa la curva de demanda de cloro de la PTAP



**Figura 21.** Curva de demanda de cloro de la PTAP.

El agua captada por el acueducto presenta buenas características físicas y químicas (turbiedad, color, sabor, pH y olor, entre otras) lo que se evidencia en el proceso de potabilización de la planta.

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

Evidentemente, la demanda de cloro varía para diferentes aguas, depende de la dosis de cloro aplicada, de la magnitud y tipo de residual deseado, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura. En general, a mayor tiempo de contacto y mayor temperatura del agua, más efectiva es la desinfección; por el contrario, a pH alto disminuye la concentración de ácido hipocloroso y por consiguiente disminuye la efectividad de la cloración, se recomienda un pH entre 6,5 y 7<sup>10</sup>.

Para un **clorador de cloro gaseoso**, el caudal de cloro a inyectar se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$D = C * Q \quad \text{donde } D = \text{cantidad de cloro a dosificar (g de cloro/h)}$$
$$C = \text{dosis de cloro a inyectar (mg de cloro/litro)}$$
$$Q = \text{caudal de agua que se va a tratar (m}^3\text{/h)}$$

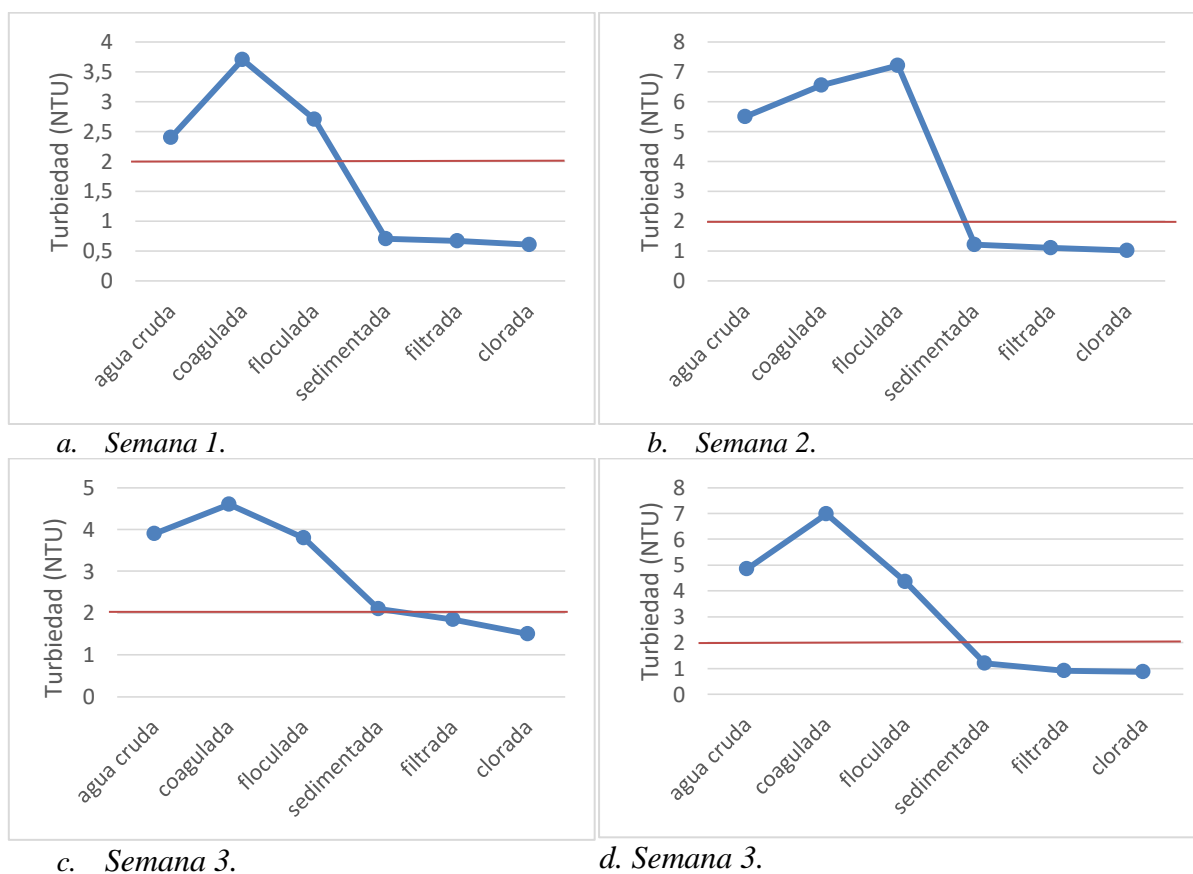
$$D = 1,5 * 144 = 216 \frac{\text{g de cloro}}{\text{h}} = 5,184 \frac{\text{Kg de cloro}}{\text{día}}$$

Lo que indica que la dosis aplicada actualmente en la planta de tratamiento de agua potable no es la adecuada, pues para una dosis de 1,5 mg/L se deben aplicar 5,184 Kg/L de cloro al día, actualmente se aplican 6,8 Kg/L de cloro al día, es decir se suministran aproximadamente 1,6 kg de cloro de más por día.

## **7.8. Resultados de la calidad del agua en la PTAP**

En las gráficas 22, 23 y 24 se presenta el promedio de los valores obtenidos cada semana donde la turbiedad se encuentra en NTU y el color en unidades de Pt-Co.

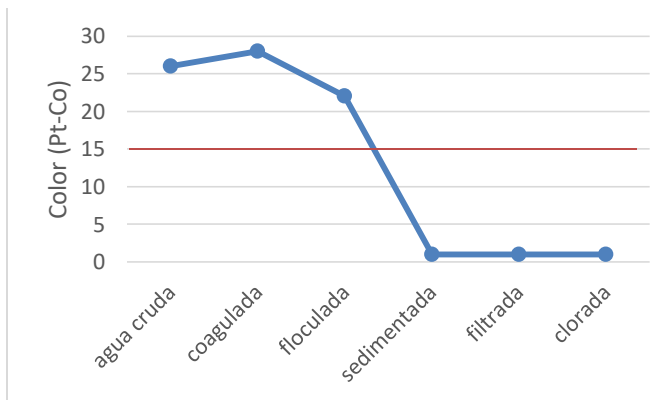
**Figura 22.** Turbiedad promedio en los puntos de muestreo.



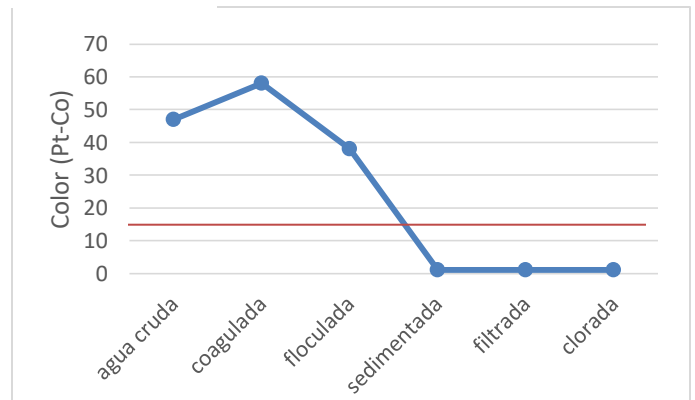
La línea roja está señalando el valor máximo permitido por la norma para este parámetro para agua después del tratamiento. Como se observa en las gráficas se puede recalcar que el comportamiento de la turbiedad en la planta de tratamiento no es constante, por el contrario, presenta continuas variaciones difíciles de predecir. El aumento de turbiedad del paso del agua cruda al agua con coagulante es de esperarse puesto que después de aplicarse este reactivo inicia la desestabilización de las partículas suspendidas, es decir la remoción de las fuerzas que las mantiene separadas para proceder a la formación del floc, por lo que se debe incrementar dicho valor. Es necesario que la dosificación de coagulante principalmente sea la adecuada, además de que cada unidad de tratamiento este en su óptimo funcionamiento. Cabe resaltar que los datos obtenidos están dentro del rango asignado por la resolución 2115 de 2007, la cual indica un valor máximo permisible de 2 NTU para agua tratada.



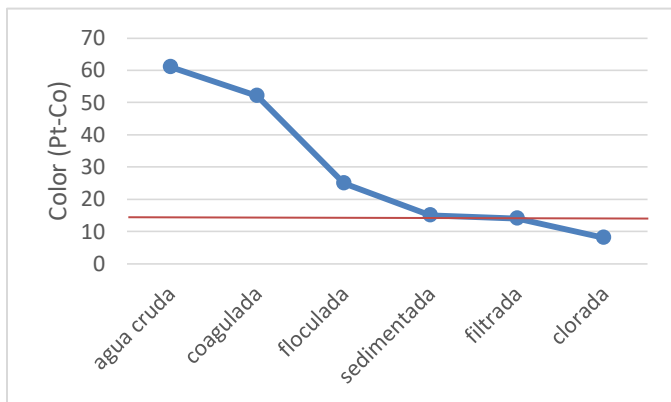
**Figura 23.** Color aparente promedio en los puntos de muestreo



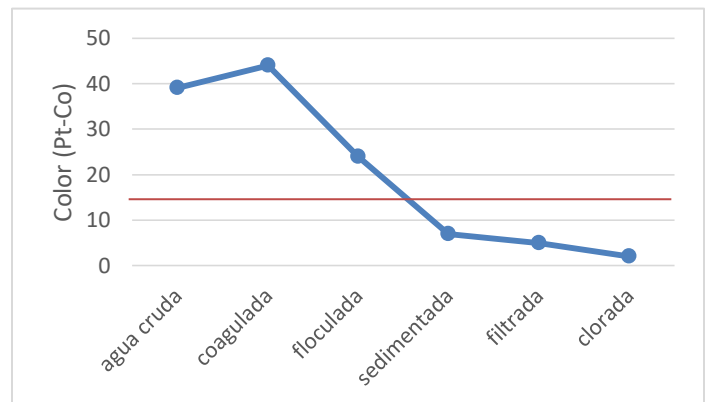
*a. Semana 1*



*b. Semana 2*



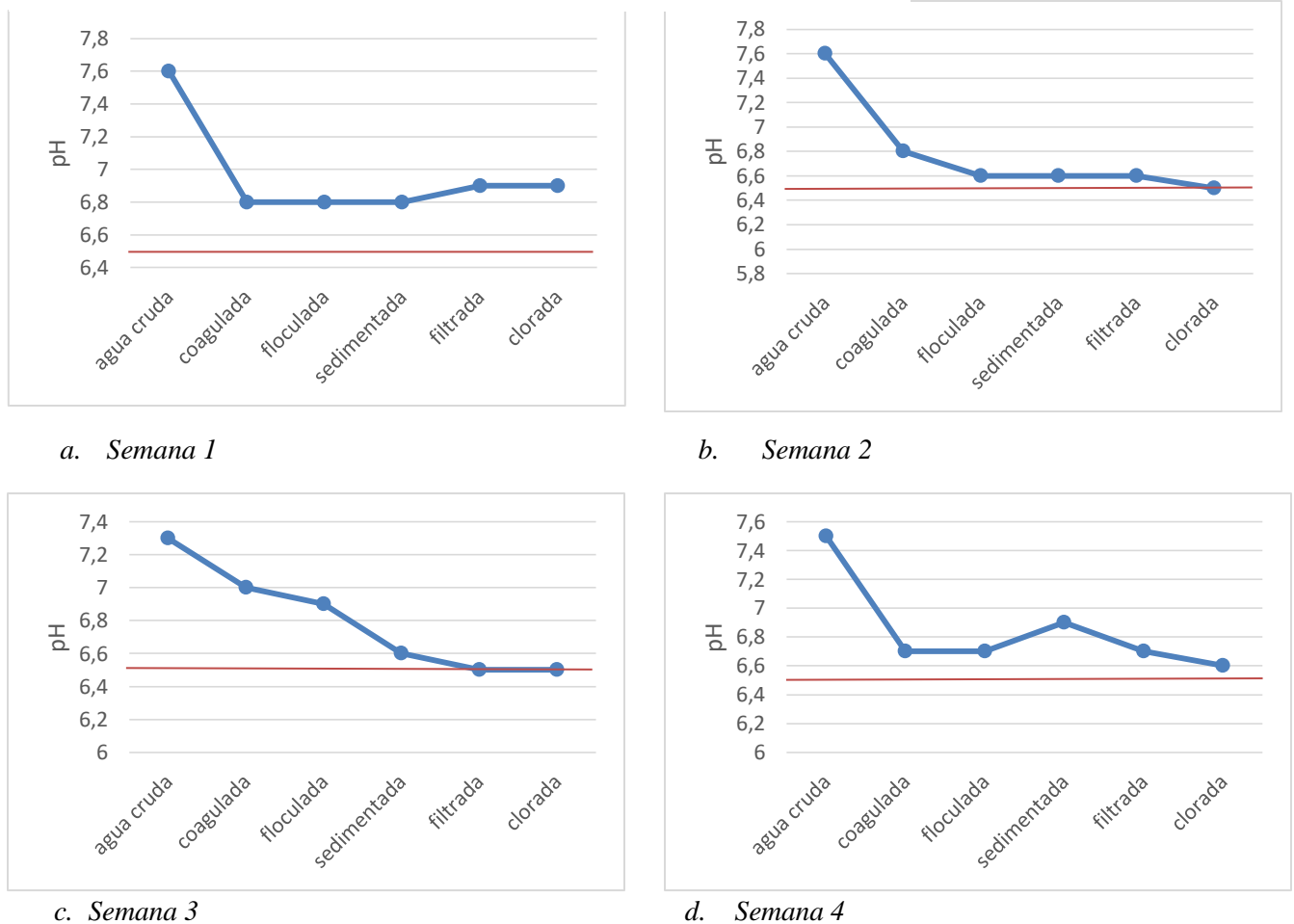
*c. Semana 3*



*d. Semana 4*

La línea roja está señalando el valor máximo permitido por la norma para este parámetro. Al color indicar una posible presencia de materia orgánica en el agua se debe tener un control riguroso de este parámetro, las gráficas muestran la variación en cuanto al paso por cada unidad de tratamiento, resaltando un aumento en las semanas 2 y 3, lo que se debe posiblemente al hallazgo de un nuevo vertimiento de agua residual proveniente de la vereda Usenda que llega a la quebrada que abastece la planta. Cabe resaltar que los datos obtenidos están dentro del rango asignado por la resolución 2115 de 2007, la cual indica un valor máximo permisible de 15 unidades de platino cobalto (UPC) para agua tratada.

**Figura 24.** pH promedio en los puntos de muestreo



El agua de la Quebrada Agua Vieja que llega a la planta de tratamiento en condiciones habituales es de excelente calidad por lo que su tratamiento se facilita, lo que se puede apreciar en las gráficas anteriores. Se ve la disminución de este parámetro en el proceso de tratamiento debido al coagulante, pero el valor mínimo indicado por la línea roja está dentro del rango establecido por la resolución 2115 de 2007 que es de 6,5 a 9,0 para agua de consumo humano.

### 7.9. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano – IRCA

Calculo tipo para el IRCA por muestra

$$IRCA (\%) = \frac{0}{1.5+6+15+15++15+25} * 100 = 0$$

En la tabla 21 y 22 se presentan los resultados obtenidos en el calculo del IRCA

**Tabla 21.** IRCA por muestra.

Mes	IRCA por muestra				
	1	2	3	4	5
Febrero	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0

**Tabla 2218.** IRCA consolidado mensual.

Mes	Numero de muestras de vigilancia	Promedio de Párametros Analizados	IRCA Consolidado Mensual	Nivel de Riesgo
Febrero	5	6	0	SIN RIESGO
Marzo	5	6	0	SIN RIESGO
Abril	5	6	0	SIN RIESGO
Mayo	5	6	0	SIN RIESGO

A pesar de que las unidades de tratamiento ya cumplieron su vida útil y no están en su óptimo funcionamiento, los valores obtenidos de IRCA indican que se logra alcanzar un tratamiento al agua aceptable

En el Anexo E se pesentan los resportes del Centro Regional de Analisis Ambientales (CRAM)

#### **7.10. Índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano – IRABAm**

Obteniendo EMPIENDAMO un puntaje para el índice de tratamiento (IT) de 65 puntos y un indice por continuidad (IC) de 15 puntos. Asi

$$IRABApp = 100 - (65 + 15) = 20$$

Para el cálculo del índice de riesgo por distribución en el municipio (IRDm), se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

$$IRDm = 100 - [(E1 * \%Red) + (E2 * \%Pilas) + (E3 * \%Carrotanque) + (E4 * \%Otros) + (G * F)]$$

Donde E1 = 90 puntos

E2 = 50 puntos

E3 = 10 puntos

E4 = 5 puntos

% Red = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de una red de distribución.

% Pilas = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de pilas públicas.

% Carrotanques = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de carrotanques.

% Otros = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recoge agua para consumo humano directamente de pozos, lluvias, fuentes superficiales, garrafas, baldes, etc.

$$G = \frac{\text{Número de total de conexiones domiciliarias}}{\text{Número de viviendas}} = \frac{8104}{11134} = 0,73$$

F = Constante, valor de 10.

Para EMPIENDAMO se tiene:

$$IRDm = 100 - [(90 * 1) + (0,73 * 10)] = 2,7$$

Por tanto el IRABAm será:

$$IRABAm = (20 * 0,6) + (2,7 * 0,4) = 13,08$$

Encontrándose en el rango de 10.1 – 25.0 obteniendo un NIVEL DE RIESGO A LA SALUD BAJO, lo que le indica a la persona prestadora que debe eliminar mediante gestión directa las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio. El Alcalde debiera proponer y ejecutar acciones correctivas para eliminar el índice de riesgo por distribución.

### 7.11. Demanda de agua

**Tabla 23.** Dotación neta máxima según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

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

Fuente: Resolución 0330 de 2017

La dotación neta por habitante para la altura sobre el nivel del mar de la zona (1645 msnm) corresponde a 130 L/hab/día. Con el valor anterior se procede a calcular la dotación bruta, teniendo en cuenta que se adopta un porcentaje de pérdidas del 25%

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1-\%p} = \frac{130}{1-0,25} = 173,33 \frac{L}{hab*dia}$$

Una vez obtenidos los datos de dotación se calcula el caudal demandado

El caudal medio diario, Q<sub>md</sub>, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, se tiene una población proyectada de 46 163 habitantes para el año 2019 propuesta por el DANE. Tomando como base que se continua con el porcentaje de cobertura actual (94%).

$$Q_{md} = \frac{p*dbruta}{86400} = \frac{43393*173,33}{86400} = 87 L/s$$

Es decir que se requiere un caudal de 87 L/s para satisfacer la demanda de agua del municipio para la población proyectada, caudal que duplica el caudal de diseño de la PTAP por lo que se requiere iniciar un plan de contingencia que contemple dicha situación.

## 8. DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA

Al ser la planta de tratamiento de agua potable de tipo convencional su manejo es relativamente sencillo, se tiene la ventaja que el suministro de agua que empieza en la quebrada **aguas viejas** cuenta con agua de buena calidad, es decir con índices bajos de contaminación, lo que hace que el tratamiento sea eficiente. La planta fue diseñada para trabajar con un caudal máximo de 35 L/s, misma cantidad que autorizo la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) en la concesión de aguas, actualmente la demanda de agua en el municipio ha crecido de tal manera que tratar dicha cantidad no es suficiente por lo que se obliga a la planta a trabajar con caudales de hasta 100 L/s en época de lluvia, situación que pone en riesgo la confiabilidad del tratamiento puesto que el mantenimiento y modificaciones que se le han hecho a la planta desde su construcción son mínimos. Cabe resaltar que, según los cálculos realizados para la población proyectada, el caudal que se requiere es de 87 L/s.

Se cuenta con una bomba dosificadora de coagulante, la cual funciona con energía eléctrica y de forma mecánica pero su precisión es poca, ya que se ajusta de forma manual y los rangos de dosificación son grandes en cuanto a la dosis que se aplica habitualmente en temporadas climáticas normales; además hay un tanque que hace el rol de dosificador de coagulante a gravedad, esta se utiliza cuando el servicio eléctrico falla.

Ocasionalmente el agua llega con concentraciones demasiado bajas de turbiedad o con alto color aparente lo que hace que el sulfato de aluminio que se emplea en la planta no sea eficiente, por lo que es necesario aplicar polímero, la bomba dosificadora de este compuesto funciona a gravedad.

Las placas de los floculadores no tienen la distancia adecuada para realizar de forma óptima dicho proceso, las longitudes de separación de estas es variado al igual que el espesor de las mismas, al final de la unidad de tratamiento se encuentra un hueco producto de una modificación que se hizo cuando el encargado del tratamiento era el acueducto regional de Piendamó-Morales; cabe resaltar que las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable se comparten con la empresa mencionada, la cual realiza un tratamiento similar y cuenta con las mismas unidades de tratamiento pero con diferente bocatoma y un caudal mayor de trabajo.

El agua llega muy rápido al punto de paso al sedimentador, la placa que da paso a esta unidad de tratamiento cuenta con 4 orificios, los cuales son pequeños para la cantidad de agua que entra a esta; lo que conlleva a un posible problema, pues las partículas ya desestabilizadas y aglutinadas se separan a causa de esta elevada velocidad, situación que se evidencia a grosso modo cuando llega agua difícil de tratar.

Las placas que se encuentran en el sedimentador no cumplen con un diseño específico, es decir se construyeron de forma arbitraria donde varía desde el material hasta la distancia y espesor, lo que no permite establecer la eficiencia y utilidad de las mismas

Los filtros ya cumplieron el tiempo de vida útil hace algunos años, lo que no permite corroborar el estado de las zonas que conforman el lecho filtrante, aparte que el lavado de los mismos se realiza a una frecuencia arbitraria.

La zona de dosificación de cloro no es apta, las pipas que contienen dicho reactivo están expuestas al medio ambiente, cualquier persona puede acceder a ellas, al igual que con la bomba dosificadora de coagulante la bomba dosificadora de cloro no es precisa, en comparación a la anterior nombrada es menos tecnificada lo que hace que se pueda incurrir en una saturación de cloro, grave problema. Al lado de esta zona se encuentra el estacionamiento de los carros recolectores de residuos sólidos del municipio.

El trabajo que actualmente se realiza en el laboratorio y en la planta de tratamiento ha generado que el agua que se procesa en EMPIENDAMO E.S.P sea óptima para consumo humano, con análisis de calidad realizados en laboratorios autorizados por el Instituto Nacional de salud (INS) para análisis internos de control a la calidad por parte de EMPIENDAMO y los análisis que realiza la secretaria departamental de salud del Cauca como seguimiento al control de la calidad del agua para consumo humano y que se realizan en el laboratorio de Salud pública. Se tiene en cuenta que los análisis son mensuales y sus registros se ven publicados en los informes al SUI SIVIGILA.

Por parte de la secretaria de salud departamental del cauca se realiza una toma de muestra de agua tratada cada mes esto lo realiza el técnico de la secretaria de salud departamental del cauca y EMPIENDAMO ESP realiza un contra muestreo. Este contra muestreo lo realiza el coordinador de la PTAP y las muestras son llevadas al laboratorio autorizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial ubicado en la ciudad de Santander de Quilichao denominado Centro Regional de Estudios Ambientales (CRAM), se realiza tres muestras fisicoquímicas y cinco muestras microbiológicas.

Dado que se cumple con la calidad del agua para el consumo humano, las deficiencias encontradas podrán incurrir en posibles gastos extras para EMPIENDAMO E.S.P., es decir el no tomar el caudal concesionado, la mala dosificación, el deterioro de algunas unidades de tratamiento son factores que generarán posiblemente sobrecostos a la administración.

## 9. ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN

De acuerdo con lo observado en el periodo de la práctica profesional se formulan estrategias encaminadas en optimizar el tratamiento que se le da al agua por parte de EMPIENDAMO E.S.P.

- Realizar un seguimiento más riguroso en cuanto a la dosificación de sulfato de aluminio y cloro gaseoso que se realiza en las unidades de tratamiento de la PTAP, puesto que la mala dosificación se evidencio en varias ocasiones incurriendo en problemas al tratar el agua y gasto innecesario de dichos reactivos.
- Calibrar con más frecuencia los equipos de mediciones presentes en el laboratorio, al menos realizar dicho procedimiento una vez por mes ya que el uso de los equipos es continuo y no se cuenta con registros de calibración previos, lo que hace que la confiabilidad de los resultados obtenidos en las mediciones disminuya.
- Realizar pruebas de jarras probando otros tipos de coagulantes como: **Cloruro de hierro, Sulfato férrico, policloruro de aluminio**, entre otros que presenten mayor eficiencia de remoción en cuanto a turbiedad y color, para así estar preparados al momento de tratar agua en condiciones inusuales.
- Estandarizar los procedimientos que se realizan en la planta como:
  1. Prueba de jarras, manejar en todos los turnos los mismos gradientes y tiempos de mezcla, además realizar la prueba diariamente.
  2. Frecuencia de lavado de floculador, sedimentadores y filtros.

Esto es imprescindible puesto que cada operario realiza las actividades según le parezca.

- Formular e implementar un programa de ahorro y uso eficiente del agua (PUEAA) al interior de la planta de tratamiento de manera conjunta con los empleados de EMPIENDAMO E.S.P. con lo que se buscará disminuir las pérdidas de agua en la empresa.
- Formular e implementar un plan de contingencia eficiente que contemple situaciones de escases de agua, valores altos de turbiedad y color, cantidad de agua utilizada en los lavados de las unidades de tratamiento, entre otros con el cual se pueda seguir garantizando la calidad del agua tratada y continuidad del servicio.
- Realizar periódicamente reinducción al personal sobre buenas prácticas de acuerdo a los manuales de operación establecidos en la planta.



## 10. RECOMENDACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN

- Elaborar los planos de la PTAP, pues la información con la que se cuenta de la planta es mínima y antigua.
- Realizar una inspección sanitaria de la fuente aguas arriba de la bocatoma con mayor frecuencia, ya que esta se realiza solo cuando hay daños; con el fin de detectar vertimientos que pueden incidir en la calidad del agua cruda. Realizar conservación y siembra de árboles en la cuenca.
- Mientras se realiza el correcto diseño y construcción de la planta trabajar con el caudal concesionado y propuesto para la estructura actual (35 L/s).
- Instalar macromedidores de agua a la entrada y salida de la PTAP es necesario para tener un mejor monitoreo de pérdidas en la planta, las cuales según observaciones y mediciones realizadas por el coordinador de la planta superan el 25%, valor que no es recomendable.
- Adquirir un equipo de medición de turbiedad más tecnificado, preferiblemente que pueda hacer lecturas en línea lo que facilitará la dosificación de coagulante y el trabajo a los operarios.
- Actualizar el equipo para realizar el test de jarras ya que el actual es antiguo y no cuenta con las celdas adecuadas que permitan tomar las muestras sin hacer movimientos que puedan alterar la medición (el test se realiza con beakers actualmente).
- Restaurar las redes de cada unidad de tratamiento (floculación, sedimentación, filtración y cloración) que conducen al laboratorio, a las cuales se les puede realizar mantenimiento y adquirir las motobombas que impulsaran el agua al laboratorio lo que sería de gran ayuda pues se podría realizar un monitoreo más completo de cómo está funcionando la planta.
- Cambiar la bomba dosificadora de coagulante por una de mayor precisión, ya que la que se tiene actualmente solo permite ciertos rangos de dosis.
- Realizar una correcta distribución de las celdas en los floculadores, pues se encontró que las dimensiones no concuerdan con lo estipulado en el diseño de la planta. Además, las celdas se encuentran en estado de deterioro avanzado.
- Demoler el muro que separa el paso del agua floculada al sedimentador producto de modificaciones realizadas por el ACUEDUCTO REGIONAL PIENDAMO-MORALES que no benefician a la PTAP de EMPIENDAMO en lo absoluto, retirar

dicha estructura permitirá tener un área mayor por consiguiente una velocidad menor a la entrada del sedimentador.

- Se debe implementar una zona de aquietamiento que permita el paso del agua desde el floculador hacia el sedimentador, ya que no se cuenta con una. esto para garantizar que el floc pase en óptimas condiciones al tanque de sedimentación.
- Construir las placas con un correcto diseño si se quiere tener un sedimentador de alta tasa
- Realizar la carrera de filtración de las unidades actuales, con ello se podrá cuidar un poco más los filtros, teniendo en cuenta que la vida útil de ambos ya se agotó.
- Trasladar la zona de cloración a un lugar donde se cumplan las normas de seguridad para manipular dicho reactivo y así evitar posibles accidentes.
- Actualmente en la planta de tratamiento no hay manejo de lodos, ya que su descarga se hace directamente al río, se debe realizar el manejo previo de estos antes de su disposición final.
- Realizar los trámites pertinentes ante la Corporación Autónoma Regional del Cauca para que el caudal concesionado aumente, así evitar posibles sanciones por trabajar con un caudal mayor.
- Mejorar las redes de aducción deterioradas.

## 11. CONCLUSIONES

- Con base a las inspecciones realizadas a la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Piendamó, a nivel general, se encuentra deteriorada debido a que lleva años en funcionamiento y por ende requiere de mantenimiento en las estructuras que cumplen con su respectivo funcionamiento y de un re diseño a los elementos que no cumplen con su pertinente tarea de potabilización.
- La verificación de los cálculos de diseño de las unidades de la Planta de tratamiento de agua potable de EMPIENDAMO E.S.P., mostró que no cumple con los parámetros establecidos por el RAS con los caudales que actualmente se manejan.
- La planta actualmente carece de mantenimiento y varias de sus estructuras están en mal estado, lo que implica un mal funcionamiento en los diferentes procesos para la potabilización del agua.
- Las variaciones de los parámetros presentadas en el agua cruda responden posiblemente a los cambios climáticos y nuevos vertimientos encontrados en la quebrada que abastece la planta.
- Aunque se encontraron diferentes falencias en cuanto al funcionamiento y estado de la planta el tratamiento, el proceso que se le brinda al agua cumple con los valores permisibles establecidos en la resolución 2115 de 2007, lo que se puede corroborar con los datos obtenidos en el IRCA.

## BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal Piendamó Cauca (Mayo 2012): PLAN DE DESARROLLO PIENDAMO SOMOS TODOS 2012-2015, del ACUERDO No 010 DE 2012. Fuente: ACUERDO No 010 DE 2012, 1-87. Disponible en línea en [www.cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/piendamocaucapd2012-2015.pdf](http://www.cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/piendamocaucapd2012-2015.pdf).

Arboleda, J (2000): Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Tomo I y II, Santafé de Bogotá: Ed. McGraw-Hill,

Arboleda Valencia, JA (ed.) (1972): Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Serie técnica / Programa de Salud Ambiental de la OPS. 13 Tomo. Lima Peru (35). Disponible en línea en [www.ircwash.org/node/60513](http://www.ircwash.org/node/60513).

Canepa, Lidia (2007): Operación de plantas convencionales y de tecnología apropiada. Disponible en línea en [www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf).

García Hololavsky, Regina (2011): Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. En colaboración con Benito Aguirre Sáenz und Carlos E. Rodríguez Terrazas. Disponible en línea en [www.es.scribd.com/document/52373390/MANUAL-DE-PRACTICAS-DE-LABORATORIO-DE-SANITARIA](http://www.es.scribd.com/document/52373390/MANUAL-DE-PRACTICAS-DE-LABORATORIO-DE-SANITARIA).

IDEAM (2014): Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Colombia. Disponible en línea en [www.corporacion.gov.co/control\\_calidad/2014/Guia\\_monitoreo\\_IDEAM.pdf](http://www.corporacion.gov.co/control_calidad/2014/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf).

McGhee, Terence J.; Agudelo Quigua, Daniel Antonio (1999): Abastecimiento de agua y alcantarillado. Ingeniería ambiental. 1. ed. Santafé de Bogotá, Col.: McGraw-Hill.

Municipio de Piendamó (2001-2009): Plan Ordenamiento Territorial del Municipio de Piendamó Cauca. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Piendamó Cauca. Disponible en línea en [www.cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20E2%80%93%20piendamodamo%20-%20plan%20ordenamiento%20territorial%20E2%80%93%20componente%20general%20E2%80%93%20\(104%20p%20C3%A1g%20E2%80%93%20242%20kb\).pdf](http://www.cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pot%20E2%80%93%20piendamodamo%20-%20plan%20ordenamiento%20territorial%20E2%80%93%20componente%20general%20E2%80%93%20(104%20p%20C3%A1g%20E2%80%93%20242%20kb).pdf).

Nava Tovar, Gerardo (2011): Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo para análisis de laboratorio. Artículo 27 del decreto 1575 de 2007. Bogotá, D.C.

Norma técnica Colombiana NTC-ISO5667-7: Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de agua y vapor en calderas. ISO 5667-7. En: *ICONTEC*, pág. 1-6. Disponible en línea en <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-ISO5667-7.pdf>.

Universidad Católica de Chile, F. U. (2008): Teoría y diseño de plantas de tratamiento de agua potable. En colaboración con Universidad de Texas: Departamento de Publicaciones de la Universidad Católica de Chile. Disponible en línea en [www.books.google.es/books?id=t35ZAAAAMAAJ](http://www.books.google.es/books?id=t35ZAAAAMAAJ).

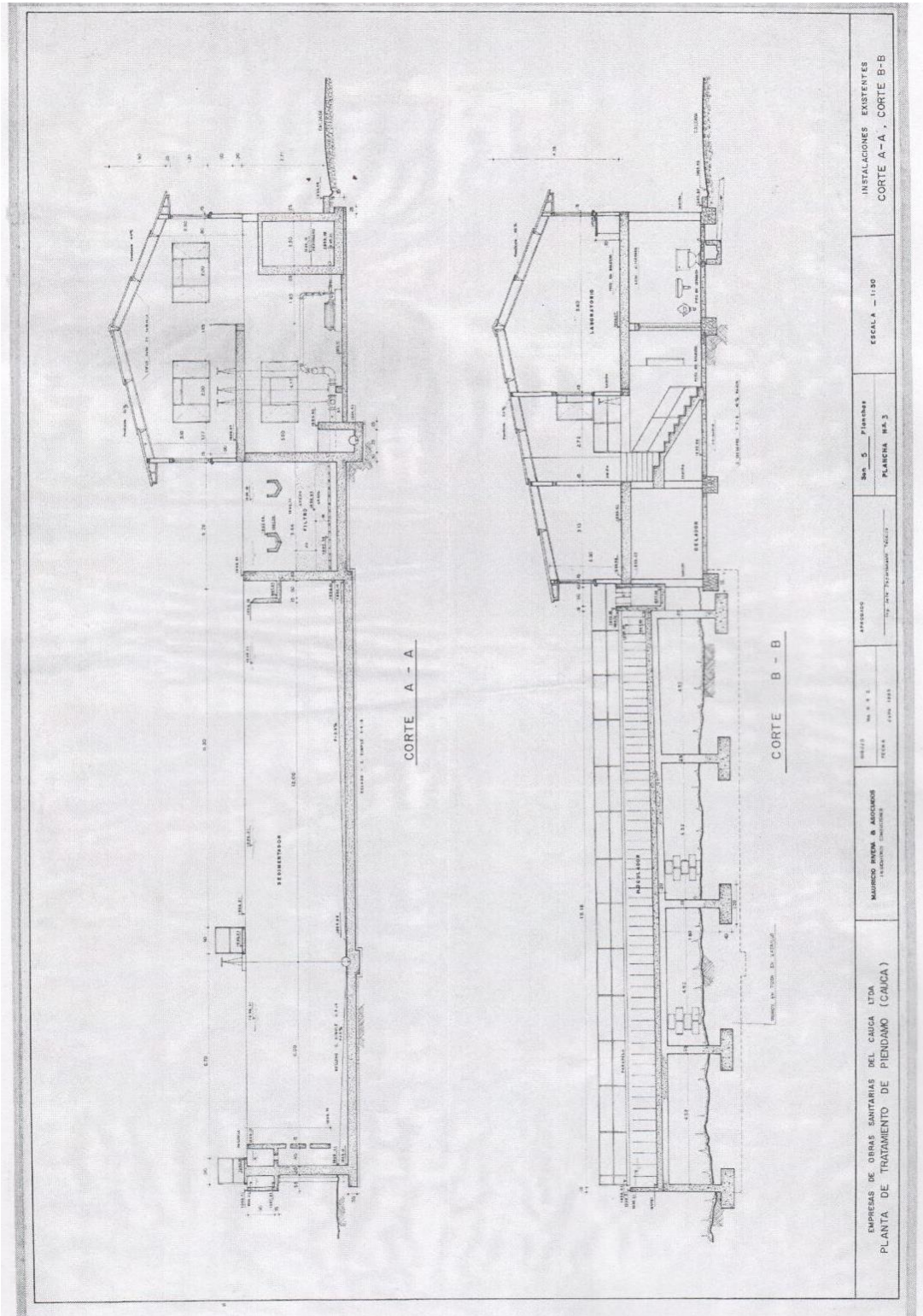
Universidad de Buenos Aires (2008): Abastecimientos de agua potable a comunidades rurales. En: *Universidad de Buenos Aires Instituto de Ingeniería Sanitaria* (7).



ANEXO C. Promedio de datos obtenidos en los muestreos

	Turbiedad (NTU)	Color (Pt-Co)	pH	caudal (L)	dosis optima (mg/min)	cloro residual (mg/L)
<b>SEMANA UNO</b>						
agua cruda	2,4	26	7,6			
con coagulante	3,7	28	6,8	45	35	
Floculada	2,7	22	6,8			
Sedimentada	0,7	1	6,8			
Filtrada	0,67	1	6,9			
clorada	0,6	1	6,9			1,5
<b>SEMANA DOS</b>						
agua cruda	5,5	47	7,6			
con coagulante	6,55	58	6,8	40	43	
Floculada	7,2	38	6,6			
Sedimentada	1,2	1	6,6			
Filtrada	1,1	1	6,6			
clorada	1,02	1	6,6			1,79
<b>SEMANA TRES</b>						
agua cruda	3,9	61	7,3			
con coagulante	4,6	52	7	44	36	
Floculada	3,8	25	6,9			
Sedimentada	2,1	15	6,6			
Filtrada	1,85	14	6,5			
clorada	1,5	8	6,5			1,1
<b>SEMANA CUATRO</b>						
agua cruda	4,85	39	7,5			
con coagulante	6,97	44	6,7	44	36	
Floculada	4,35	24	6,7			
Sedimentada	1,2	7	6,9			
Filtrada	0,9	5	6,7			
clorada	0,86	2	6,6			1,54

ANEXO D. Plano de la planta de tratamiento de agua potable de empiendam E.S.P.



EMPRESAS DE OBRAS SANITARIAS DEL CAUCA LTDA PLANTA DE TRATAMIENTO DE PIENDAMO (CALICA)	MUNICIPIO DE PIENDAMO (MUNICIPIO SAN JUAN)	HOJA N.º 1 1974	APROBADO POR EL COMITÉ TECNICO	No. 5 Planos PLANCHAS N.º 3	ESCALA - 1:50 CORTE A-A, CORTE B-B	INSTALACIONES EXISTENTES
---	---	--------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------	--------------------------



## ANEXO E. Reportes del centro regional de análisis ambientales (CRAM)



OS: 034-2018  
Versión: 01

### INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

<b>Cliente:</b> EMPIENDAMO E.S.P	<b>Dirección:</b> Planta Acueducto B/ San Cayetano <b>Teléfono:</b> 3113976561
<b>Fecha de recepción de muestras:</b> 22-02-18	<b>Fecha de ejecución de análisis:</b> 22-02-18
<b>Hora de recepción de muestras:</b> 11:15 a.m.	
<b>Fecha de muestreo:</b> 22-02-18	<b>Muestreo realizado por:</b> Fabián Paja Camacho

Parámetro	Métodos de Análisis
pH	SM 4500H+ B
Color aparente	Spectroquant 032 Merck
Turbiedad	SM 2130 B
Cloro residual libre	Spectroquant 143 Merck
Coliformes totales	SM 9222 B
E. Coli	SM 9222 D



OS: 034 2018  
Versión: 01

### RESULTADOS

Parámetro	Expresado como	Unidades	Dispositivo 548-1 (Cód.138)	Dispositivo 548-5 (Cód.139)	Dispositivo 548-4 (Cód.140)	Dispositivo 548-6 (Cód.141)	Dispositivo 548-2 (Cód.142)	Norma*
pH	pH	Unidades	7,05	-	7,51	-	8,59	$\geq 6,5$ y $\leq 9,0$
Color aparente	UPC	UPC	5,69	-	3,77	-	3,03	$\leq 15$
Turbiedad	UNT	UNT	1,82	-	1,05	-	0,77	$\leq 2$
Cloro residual libre	Cl <sub>2</sub>	mg/L	0,96	-	1,05	-	1,12	$\geq 0,3$ y $\leq 2,0$
Coliformes Totales	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0
E. Coli	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0

\* Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Capítulos II y III).

**Observaciones:** Contramuestras con Secretaría de Salud Departamental.

Código	Hora de muestreo
138	07:00 a.m.
139	07:30 a.m.
140	07:55 a.m.
141	08:10 a.m.
142	08:50 a.m.

**NOTA:** El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

  
SONIA PATRICIA VELASQUEZ C.  
JEFE DE LABORATORIO  
(BACTERIOLOGA)

  
STEPHANIA ARIAS G.  
ANALISTA QUIMICA

**INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

<b>Cliente:</b> EMPIENDAMO E.S.P	<b>Dirección:</b> Planta Acueducto B/ San Cayetano <b>Teléfono:</b> 3113976561
<b>Fecha de recepción de muestras:</b> 08-03-18	<b>Fecha de ejecución de análisis:</b> 08-03-18
<b>Hora de recepción de muestras:</b> 11:30 a.m.	
<b>Fecha de muestreo:</b> 08-03-18	<b>Muestreo realizado por:</b> Fabián Paja Camacho

Parámetro	Métodos de Análisis
pH	SM 4500H+ B
Color aparente	Spectroquant 032 Merck
Turbiedad	SM 2130 B
Cloro residual libre	Spectroquant 143 Merck
Coliformes totales	SM 9222 B
E. Coli	SM 9222 D

**RESULTADOS**

Parámetro	Expresado como	Unidades	Dispositivo 548-1 (Cód.182)	Dispositivo 548-4 (Cód.183)	Dispositivo 548-5 (Cód.184)	Dispositivo 548-2 (Cód.185)	Dispositivo 548-6 (Cód.188)	Norma*
pH	pH	Unidades	8,58	8,68	-	8,52	-	≥ 6,5 y ≤ 9,0
Color aparente	UPC	UPC	2,44	1,99	-	1,33	-	≤ 15
Turbiedad	UNT	UNT	0,85	0,64	-	0,37	-	≤ 2
Cloro residual libre	Cl <sub>2</sub>	mg/L	1,54	1,62	-	1,64	-	≥ 0,3 y ≤ 2,0
Coliformes Totales	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	6	5	0
E. Coli	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0

\* Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Capítulos II y III).

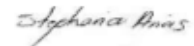
**Observaciones:** Contramuestras con Secretaría de Salud Departamental.

Código	Hora de muestreo
182	07:00 a.m.
183	07:25 a.m.
184	07:42 a.m.
185	08:06 a.m.
186	08:30 a.m.

**NOTA:** El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.



SONIA PATRICIA VELASQUEZ C.  
JEFE DE LABORATORIO  
(BACTERIOLOGA)



STEPHANIA ARIAS G.  
ANALISTA QUIMICA

**INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

<b>Cliente:</b> EMPIENDAMO E. S.P	<b>Dirección:</b> Planta Acueducto B/ San Cayetano <b>Teléfono:</b> 3113976561
<b>Fecha de recepción de muestras:</b> 04-04-18	<b>Fecha de ejecución de análisis:</b> 04-04-18
<b>Hora de recepción de muestras:</b> 11:40 a.m.	
<b>Fecha de muestreo:</b> 04-04-18	<b>Muestreo realizado por:</b> Fabián Paja Camacho

Parámetro	Métodos de Análisis
pH	SM 4500H <sup>+</sup> B
Color aparente	Spectroquant 032 Merck
Turbiedad	SM 2130 B
Cloro residual libre	Spectroquant 143 Merck
Coliformes totales	SM 9222 B
E. Coli	SM 9222 D

**RESULTADOS**


Parámetro	Expresado como	Unidades	Dispositivo 548-1 (Cód.250)	Dispositivo 548-4 (Cód.251)	Dispositivo 548-5 (Cód.252)	Dispositivo 548-6 (Cód.253)	Dispositivo 548-2 (Cód.254)	Norma*
pH	pH	Unidades	7,22	-	-	7,55	7,78	≥ 6.5 y ≤ 9.0
Color aparente	UPC	UPC	3,33	-	-	3,03	2,52	≤ 15
Turbiedad	UNT	UNT	1,46	-	-	1,01	0,82	≤ 2
Cloro residual libre	Cl <sub>2</sub>	mg/L	1,38	-	-	1,30	1,46	≥ 0.3 y ≤ 2.0
Coliformes Totales	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0
E. Coli	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0

\* Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Capítulos II y III).

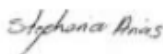
**Observaciones:** Contramuestras con Secretaría de Salud Departamental.

Código	Hora de muestreo
250	06:50 a.m.
251	07:18 a.m.
252	07:42 a.m.
253	08:12 a.m.
254	08:40 a.m.

**NOTA:** El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.



SONIA PATRICIA VELASQUEZ C.  
JEFE DE LABORATORIO  
(BACTERIOLOGA)



STEPHANIA ARIAS G.  
ANALISTA QUIMICA

**INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO**

<b>Cliente:</b> EMPIENDAMO E.S.P	<b>Dirección:</b> Planta Acueducto B/ San Cayetano <b>Teléfono:</b> 3113976561
<b>Fecha de recepción de muestras:</b> 21-05-18	<b>Fecha de ejecución de análisis:</b> 21-05-18
<b>Hora de recepción de muestras:</b> 12:30 p.m.	
<b>Fecha de muestreo:</b> 21-05-18	<b>Muestreo realizado por:</b> Fabián Paja Camacho

Parámetro	Métodos de Análisis
pH	SM 4500H <sup>+</sup> B
Color aparente	Spectroquant 032 Merck
Turbiedad	SM 2130 B
Cloro residual libre	Spectroquant 143 Merck
Coliformes totales	SM 9222 B
E. Coli	SM 9222 D

**RESULTADOS**


Parámetro	Expresado como	Unidades	Dispositivo 548-1 (Cód.482)	Dispositivo 548-2 (Cód.483)	Dispositivo 548-4 (Cód.484)	Dispositivo 548-5 (Cód.485)	Dispositivo 548-6 (Cód.486)	Norma*
pH	pH	Unidades	7,95	8,32	8,29	-	-	≥ 6.5 y ≤ 9.0
Color aparente	UPC	UPC	2,74	1,83	1,85	-	-	≤ 15
Turbiedad	UNT	UNT	0,86	0,52	0,59	-	-	≤ 2
Cloro residual libre	Cl <sub>2</sub>	mg/L	1,03	1,21	1,12	-	-	≥ 0.3 y ≤ 2.0
Coliformes Totales	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0
E. Coli	UFC/100mL	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0

\* Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Capítulos II y III).

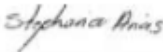
**Observaciones:** Contramuestras con Secretaría de Salud Departamental.

Código	Hora de muestreo
482	06:00 a.m.
483	07:50 a.m.
484	06:30 a.m.
485	06:52 a.m.
486	07:23 a.m.

**NOTA:** El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.



SONIA PATRICIA VELASQUEZ C.  
JEFE DE LABORATORIO  
(BACTERIOLOGA)



STEPHANIA ARIAS G.  
ANALISTA QUIMICA

## ANEXO F. Ficha técnica del sulfato de aluminio

	<b>PRODUCTOS QUÍMICOS PANAMERICANOS S.A.</b> <b>FICHA TÉCNICA.</b> <b>SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.</b>	FT-CC-47 Versión 3 Página 1 de 1 Revisada octubre 2016

### 1. ASPECTOS GENERALES.

**PROPIEDADES:** Nombre comercial: *Sulfato de Aluminio* líquido. Líquido blanco o café soluble en agua e insoluble en alcohol.

**CONTENIDO NETO:** No aplica.

#### USOS:

- Tratamiento de agua potable
- Tratamiento de aguas residuales
- Tratamiento de piscinas
- Pulpa y papel
- Industrial del azúcar
- Industrial del petróleo
- Otros como: coagulante en la manufactura de caucho sintético de butadieno estireno, purificación de la glicerina, etc.

#### BONDADES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

El sulfato de aluminio líquido es uno de los productos más usados en la industria del papel y en tratamiento de aguas, su carácter ácido y su ingrediente activo le confieren propiedades bacteriostáticas y alguicidas, además al ser una sal metálica, reacciona formando flocúlos de hidróxidos de aluminio al contacto con la alcalinidad de las aguas a tratar, facilitando su limpieza.

Por ser un producto líquido se puede aplicar directamente en línea y no deja producto residual, por lo que puede ser aprovechado 100%.

### 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. (Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas).

PROPIEDADES	VALOR TIPO A	VALOR TIPO AP	VALOR IRON FREE	VALOR TIPO B
Apariencia estándar (*)	Amarillo/blanco	Café/pardo	Amarillo/blanco	Café/pardo
Contenido de Aluminio, % $Al_2O_3$ mínimo	8,0	8,0	8,2	7,3
Contenido de hierro, % $Fe_2O_3$ máximo.	0,4	0,5	0,004	1,2
Insolubles en Agua, % máximo.	0,1	0,1	0,05	0,1
Basicidad, como % de $Al_2O_3$ Libre mínimo	(**)	(**)	(**)	(**)
Densidad a 25°C, g/ml mín.	No aplica	1,320	No aplica	No aplica

(\*) De acuerdo con materia prima (bauxita) que se utilice para su fabricación. (\*\*) Acordado con el cliente. El sulfato de aluminio líquido POP se ajustan a las normas de AWWA B40 3, NTC 531. Otras referencias de sulfato de aluminio líquido se fabrican bajo pedido.

### 3. RECOMENDACIONES Y/O PRECAUCIONES PARA EL USO:

Este producto es irritante de las mucosas y la piel, evitar el contacto directo con él. Usar el equipo de protección que incluya gafas de seguridad y guantes de goma. Manipular el producto teniendo en cuenta las incompatibilidades expuestas en el numeral 5 de este documento.

El área de trabajo deberá tener fácil acceso a duchas de emergencia y lavaojos.

En caso de presentarse ingestión o inhalación del producto debe buscarse atención especializada inmediatamente, no suministre ningún tipo de bebida.

En caso de contacto de las mucosas o la piel con el producto, lavar con agua abundante durante mínimo 15 minutos, en los ojos, buscar retirar con el agua corriente residuos del producto, lentes u otros objetos extraños; si se presenta irritación, picazón o enrojecimiento, buscar atención médica.

### 4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

Se suministra a granel en carro tanques, bidones plásticos de 1000Kg y 55 galones (250Kg aprox).

Este producto está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

**UN1760**

**Clase: 8 corrosivo.**

### 5. ALMACENAMIENTO.

El área de almacenamiento debe estar completamente aireada, alejada de fuentes de calor, llama o chispas y con acceso fácil a duchas de emergencia y lavaojos.

Este producto debe ser almacenado en zonas protegidas del calor y la luz directa del sol, lejos de sustancias oxidantes y reductoras fuertes, ácidos y bases fuertes, sustancias combustibles e inflamables y solventes orgánicos.

**6. DATOS DEL FABRICANTE:** Este producto es fabricado y comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. Plantas:

**Girardota:** dirección, Km 22 autopista norte, vía Barbosa. Teléfono: (4) 289 10 12.

**Barranquilla:** Carrera 67 (Carretera a Eternit) N° Vía 40-437 Zona Industrial La Loma No. 3. Tel (5) 368 67 13/ (5) 368 57 14

**Jamundí:** dirección, Km 28 Vía Cali- Popayán. Teléfono: (2) 590 17 17 – 591 86 86.

### 7. NOTIFICACIÓN SANITARIA OBLIGATORIA: No aplica.

## ANEXO G. Ficha técnica del polímero

	<b>PRODUCTOS QUÍMICOS PANAMERICANOS S.A.</b> <b>FICHA TÉCNICA.</b> <b>RAPISED 3014</b>	FT-CC-109 Versión 1 Página 1 de 1
---	--	---

### 1. ASPECTOS GENERALES.

**PROPIEDADES:** Polímero tipo poliacrilamida que incrementa el drenaje por gravedad y en combinación con polímeros de alto peso molecular logra un efecto sinérgico en la retención. Serie 3000.

**CONTENIDO NETO:** No aplica.

#### USOS:

Este producto está especialmente diseñado para las necesidades de la industria de pulpa y papel, puede ser usado no solo en máquinas papeleras para mejorar el proceso productivo, sino que puede ser enfocado hacia el manejo de aguas en los circuitos papeleros.

Se utiliza como floculante o ayudante de coagulación en una amplia variedad de aguas de consumo, municipal e industrial y aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales.

Ha sido aplicado con éxito en todos los sistemas de separación líquido/ sólido incluyendo clarificación, espesamiento, deshidratación y filtración. Puede ser utilizado solo o en combinación con otros coagulantes orgánicos e inorgánicos.

#### BONDADES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

- Efectiva y rápida separación líquidos/sólidos.
- Proporciona óptima relación costo-beneficio.
- Mejora el drenaje aumentando los ahorros de energía en la formación de hojas y secado.
- Mejora la uniformidad de la hoja y propiedades del papel.
- Mayor retención de fibras y considerable reducción de cenizas.
- Disminuye la DBO y la DQO en el efluente.
- Es de fácil preparación
- Cuenta con aprobación NSF.
- Mejora el desempeño de aditivos (colorantes, encolantes, resinas de resistencia en húmedo y en seco)

### 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

(Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas).

PROPIEDADES	VALOR
Apariencia	Polvo blanco granular
Naturaleza iónica	No iónica
pH (0.5% Sln).	3-5
Densidad relativa kg/m3.	600-900
Peso molecular	Muy alto

### 3. RECOMENDACIONES Y/O PRECAUCIONES PARA EL USO:

Debe ser preparado adicionando lentamente y con una agitación continua y moderada (200-500 rpm). La disolución del agua debe tener una temperatura entre 10°C-40°C; la concentración de la solución debe ser 0,1%-0,3%. Para su mejor desempeño es necesario permitir un tiempo de "maduración" entre 50-60 minutos y utilizar una concentración

menor o igual a 0,1% (a través de dilución en línea si es necesario).

Debe ser manipulado con los cuidados propios para los productos químicos, utilizando elementos de protección personal como guantes, gafas de seguridad y mascarilla para polvos. No es inflamable, sin embargo en caso de incendio utilice espuma, CO<sub>2</sub>, o métodos químicos secos porque la mezcla de polímero- agua es muy adherente.

Por precaución se debe diluir en una proporción alta. No incorporar a suelos ni acuíferos.

Si al contacto con el producto se presenta alguna reacción, lavar con abundante agua la zona afectada como mínimo durante 15 minutos. Consultar al médico.

### 4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

Este producto es empacado en sacos de 25 kg y puede ser transportado en vehículos de cualquier tonelaje.

Este producto no está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto no está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

### 5. ALMACENAMIENTO.

En planta se sugiere el almacenamiento de este producto en bolsas cerradas. Almacenar en un área fría y seca, que no exceda temperaturas de 35°C. No derrame agua en el producto seco debido a que se produce un gel muy compacto y difícil de limpiar. En caso de derrame de soluciones de este producto utilice material absorbente sobre el área afectada y barra dentro de recipientes de disposición de químicos apropiados.

En condiciones apropiadas de almacenamiento el producto es estable por 24 meses.

**6. DATOS DEL FABRICANTE:** Este producto es comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. regionales:

**Barraquilla:** dirección, calle 30 N°21-78 bodega 2. Teléfono: (5) 379 75 22



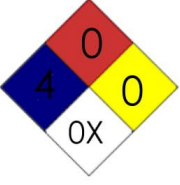

**Cali:** dirección, Carrera 40 N° 14-51 Acopi-Yumbo. Teléfono (2) 665 29 28.

**Sevillana:** dirección, carrera 57 N° 45A-94 sur, Bogotá. Teléfono (1) 710 97 70.

**Medellín:** dirección, transversal 51A N° 67-10. Teléfono (4) 230 27 11.

**7. NOTIFICACIÓN SANITARIA OBLIGATORIA:** No aplica.

## ANEXO H. Ficha técnica del cloro gaseoso

	<b>QUIMPAC DE COLOMBIA S.A</b> <b>HOJA DE SEGURIDAD</b> <b>CLORO</b>		<b>SC-005-3</b>
 <p style="text-align: center;"><b>Responsabilidad Integral® Colombia</b> Compromiso Social y Ambiental</p>	<b>IDENTIFICACIÓN U.N</b>	<b>IDENTIFICACIÓN NFPA 704</b>	
	<b>1017</b>	INFLAMABILIDAD (COLOR ROJO)	
	<b>CAS. 7782-50-5</b>		
		SALUD (COLOR AZUL)	REACTIVIDAD (COLOR AMARILLO)

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y LA COMPAÑÍA

Fabricante: Dirección : Teléfono Fijo: Teléfono Emergencia: (24horas) SISTEMA:	Quimpac de Colombia S.A. Autopista Yumbo Aeropuerto Km. 13 Palmira(valle) Colombia 57-2-6858888 ó 57-2-2717888 01 – 8000 – 938408 01 – 8000 - 941414 01 – 8000 - 511414
--	--

**Producto:** Cloro (líquido ó Gaseoso) - Chlorine.  
**Sinónimo:** Cloro Molecular

### 2. INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Cloro: 99.5% peso  
 Familia Química: Halógenos  
 Número CAS: 7782-50-5

### 3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

**Propiedades:** Gas licuado a presión, en forma gaseosa tiene color verde amarillento y como líquido es de color ámbar, con olor irritante fuerte.

**RESUMEN PARA CASOS DE EMERGENCIAS:** Oxidante fuerte, en contacto con materiales combustibles puede causar incendio o explosión. Puede ser fatal si se inhala. Las propiedades del gas establecen que es más pesado que el aire. Se debe evitar el escape como cloro líquido (al evaporarse como gas ocupa aprox. 460 veces más volumen que como líquido) Puede causar daños a la vegetación. Para mayor información ver toda la Hoja de Seguridad.

## ANEXO I. Ficha técnica de la cal



QUIMICA INTEGRADA S.A.  
NIT. 800.078.640-1

PLANTA: km. 34 Vía Neiva - Bogotá • Aipe, Huila  
CORRESPONDENCIA: Calle 8 No. 10 - 69 Neiva, Huila.  
TELEFAX: 8389038, 8389327, 8389935, 8389224, 8389914  
www.quinsa.com.co | e-mail: quinsa01@hotmail.com

### CAL HIDRATADA

Es un material resultante de la humectación de la cal viva (óxido de calcio) hasta satisfacer su afinidad química. Polvo blanco, finamente dividido, impalpable e inodoro.

**FORMULA:**  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

**ESPECIFICACIONES:**

Aspecto	Granular o polvo
Olor	Inodoro
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ total	Mínimo 92.0%
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ disponible	85 – 95
CaO disponible	65 – 72
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Máximo 0.5%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Máximo 0.5%
Material insoluble en ácido	Máximo 5.0%
Humedad libre	Máximo 2.0%

**GRANULOMETRÍA:** Pasa mínimo el 50% por malla 200 – 325

**PRESENTACIÓN:** Sacos de 25 kg en papel kraft o polipropileno con bolsa interior de polietileno.

**APLICACIONES:** Se usa principalmente en la industria del cuero, acueductos y en las petroleras.

**ALMACENAMIENTO:** Almacenar sobre estibas, en un lugar protegido de la humedad.

**PRECAUCIONES PARA EL USO Y SEGURIDAD:** Emplear gafas protectoras y mascarillas para evitar inhalar el material fino.

" SOLUCIONES INNOVADORAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS "



## ANEXO J. Certificación sanitaria municipal



### ANEXO TECNICO N°.3

CERTIFICACIÓN SANITARIA MUNICIPAL O DISTRITAL <u>2017</u>		
Departamento: <b>CAUCA</b>	Municipio o Distrito: <b>PIENDAMO</b>	Fecha de expedición <b>23 de abril de 2018</b>
Total habitantes del municipio o distrito: <b>44.535 (Hab)</b>	Total habitantes urbanos: <b>15.191 (Hab)</b>	Total habitantes resto: <b>29.344 (Hab)</b>
Total personas prestadoras municipio o distrito: <b>2.0 (Dos)</b>	Total conexiones domiciliarias: <b>8.104</b>	Total viviendas municipio o distrito: <b>11.134</b>
I. ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO MUNICIPAL O DISTRITAL – IRCAM. IRCAM = Es el promedio ponderado de los IRCASpp del municipio o distrito.		Valor del IRCAM: <b>11.5</b>
II. ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO MUNICIPAL O DISTRITAL–IRABAm. IRABAm = Es el 60% del promedio ponderado de los IRABApp + el 40% del índice de riesgo por distribución en el municipio o distrito.		Valor del IRABAm =0.6(20) +0.4(6.16) =12.0+2.46= <b>14.46</b>
II.1 Promedio ponderado de los IRABApp: 20 x 0.6= <b>12</b>		Prom IRABApp x 0.6 = <b>12</b>
II.2. Índice de Riesgo por Distribución en el municipio o distrito- IRDm = 100 - [(E1x%Red) + (E2x%Pilas) + (E3x%Carrotanque) + (E4x%Otros) + (10G)] x 0.40 <b>IRDm = 61.08</b>		IRDm x 0.4 = 61.08*0.4 = <b>24.43</b>
% RED: <b>100</b> % PILAS: <b>0</b> % CARROTANQUES: <b>0</b> % OTROS: <b>0</b>		
E1= 90 puntos      E2= 50 puntos      E3= 10 puntos      E4= 5 puntos		
G= Número de total de conexiones domiciliarias/Número de viviendas= 8104/11134= <b>0.72</b>		
III. BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS MUNICIPALES O DISTRITALES–BPSm. BPSm: Es el promedio ponderado de las Buenas Prácticas Sanitarias de las personas prestadoras del municipio o distrito- BPS		Valor del BPS m: <b>11</b>
IV. CALIFICACIÓN PARA EXPEDIR LA CERTIFICACIÓN SANITARIA MUNICIPAL O DISTRITAL Puntaje ponderado = 0.5XIRCA m + 0.20XIRABA m + 0.30XBPS m = <b>16.33</b> puntos =0.5(11.5) +0.2(36.43) +0.3(11) =16.33		

Oficina Despacho Secretaria de Salud  
Calle 5 No. 15 – 57 B/ Valencia – Popayán.  
Tel: 8209600-02  
[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co)  
[lguzman@cauca.gov.co](mailto:lguzman@cauca.gov.co)





Gobernación del Cauca  
Secretaría de Salud

Se expide certificación sanitaria municipal o distrital favorable cuando el puntaje ponderado está entre:			0 - 10
<b><u>Se expide certificación sanitaria municipal o distrital favorable con requerimiento cuando el puntaje ponderado está entre:</u></b>			10.1 - 40
se expide certificación sanitaria municipal o distrital desfavorable cuando el puntaje ponderado está entre:			40.1 - 100
<b>OBSERVACIONES:</b> Para esta Certificación Sanitaria se tuvieron en cuenta las personas Prestadoras; Empiendamo ESP y Administración Cooperativa Acueducto Piendamora-Morales.			
Empresa de Servicios Públicos.			
<b>Nombre y cargo del funcionario de la autoridad sanitaria quien diligenció el formulario en oficina</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	
JORGE IRNE TAFURTH MORERA Profesional Universitario		23/Abril/2018	

Oficina Despacho Secretaria de Salud  
Calle 5 No. 15 – 57 B/ Valencia – Popayán.  
Tel: 8209600-02  
[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co)  
[lguzman@cauca.gov.co](mailto:lguzman@cauca.gov.co)

