

**PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y LA
ETAPA DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL
CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MACHETÁ - CUNDINAMARCA**

Ivon Lorena Ramírez Bermúdez

Universidad Santo Tomás
Facultad de ingeniería ambiental
Bogotá D.C.

2021

**PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y LA
ETAPA DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL
CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MACHETÁ - CUNDINAMARCA**

Ivon Lorena Ramírez Bermúdez

Trabajo de grado
Modalidad: Pasantía

Director: Andrés Felipe Martínez Urrego

Codirector: Sonia Liliana Cruz Melo

Universidad Santo Tomás
Facultad de ingeniería ambiental

Bogotá D.C.

2021

Índice

1.	Resumen	10
2.	Introducción	11
3.	Abstract	12
4.	Objetivos	13
4.1	General	13
4.2	Específicos	13
5.	Formulación del problema	14
6.	Alcance	15
7.	Justificación.....	16
8.	Marco Referencial	17
8.1	Estado De Arte	17
8.1.1	<i>Implementación De Los Planes De Seguridad Del Agua – PSA – En El Contexto Mundial.</i>	17
8.1.2	<i>Implementación De Los Planes De Seguridad Del Agua – PSA – En El Contexto Nacional</i>	17
8.1.3	<i>Puntos Clave, Beneficios Y Barreras De Los Planes De Segura Del Agua – PSA-..</i>	18
8.2	Marco Contextual	19
8.3	Marco Teórico	19
8.3.1	<i>Calidad De Agua Potable</i>	19
8.3.2	<i>Planes De Seguridad De Agua</i>	20
8.3.3	<i>Descripción De Los Componentes Del PSA</i>	21
8.3.4	<i>Método De Clasificación De Riesgos Semicuantitativo</i>	21
8.4	Marco Conceptual	22
9.	Normatividad.....	24
10.	Metodología	25
10.1	Fase 1. Formación Del Equipo Multidisciplinario.	25
10.2	Fase 2. Diagnóstico Del Sistema De Captación y Etapa De Tratamiento.	25
10.3	Fase 3. Análisis De Riesgos.	26
10.4	Fase 4. Formulación del plan de mejora y modernización.	27
11.	Formación Del Equipo Del PSA	28
11.1	Equipo PSA Para La PTAP Del Municipio De Machetá.	28
11.1.1	<i>Equipo Interno:</i>	28

11.1.2	Equipo Externo:	28
11.1.3	Actores Involucrados:	28
11.2	Funciones o Actividades a Realizar	29
12.	Caracterización De Las Etapas Propuestas Del Sistema De Captación y Etapa De Tratamiento	31
12.1	Sistema De Captación	31
12.1.1	Bocatoma.....	34
12.1.2	Trampa De Hojas	35
12.1.3	Desarenador	35
12.1.4	Tanque De Recolección.....	36
12.1.5	Tanque De Distribución	37
12.1.6	Tanque Del Sobrante.....	38
12.1.7	Sistema De Tuberías.....	39
12.2	Planta De Tratamiento; Tratamiento Primario	39
12.2.1	Canaleta Parshall; Aforo De Caudal y Mezcla Rápida	41
12.2.2	Floculador	42
12.2.3	Sedimentador.....	44
12.2.4	Filtros	45
12.2.5	Desinfección.....	46
12.2.6	Almacenamiento	47
12.2.7	Laboratorio	47
12.2.8	Estructura y demás espacios.....	48
12.2.9	Químicos	50
12.2.10	Otras observaciones de la planta	51
13.	Análisis De Peligros y Evaluación De Los Riesgos	52
13.1	Bocatoma.....	53
13.2	Trampa De Hojas	55
13.3	Desarenador.....	56
13.4	Tanque De Recolección	57
13.5	Tanque De Distribución	58
13.6	Tanque Del Sobrante.....	59
13.7	Canaleta Parshall.....	60
13.8	Floculación	62

13.9	Sedimentación.....	63
13.10	Filtración	64
13.11	Desinfección.....	65
13.12	Almacenamiento.....	66
13.13	Laboratorio	67
13.15	Operarios	68
13.16	Otras Secciones De La PTAP.....	69
14	Medidas De Control Para Los Riesgos Encontrados.....	71
14.1	Monitoreo Para La Bocatoma	71
14.2	Monitoreo Para Trampa De Hojas	73
14.3	Monitoreo Para Desarenador.....	74
14.4	Monitoreo Para Tanque De Recolección.....	75
14.5	Monitoreo Para Taque De Distribución	76
14.6	Monitoreo Para Taque Del Sobrante	78
14.7	Monitoreo Para Canaleta Parshall	79
14.8	Monitoreo Para La Floculación.....	82
14.9	Monitoreo Para La Sedimentación	83
14.10	Monitoreo Para La Filtración	84
14.11	Monitoreo Para La Desinfección.....	85
14.12	Monitoreo Para El Almacenamiento	86
14.13	Monitoreo Para El Laboratorio.....	87
14.14	Monitoreo Para Los Operarios	87
14.15	Monitoreo Para Otras Secciones De La PTAP.....	88
15	Plan De Monitoreo De Las Medidas De Control	89
16	Plan De Mejora y/o Modernización	90
16.1	Plan De Mejora Para La Bocatoma	90
16.2	Plan De Manejo Para Trampa De Hojas	92
16.3	Plan De Manejo Para Desarenador.....	93
16.4	Plan De Mejora Para Tanque De Recolección	94
16.5	Plan De Mejora Para Tanque De Distribución.....	95
16.6	Plan De Mejora Para Tanque Del Sobrante.....	95
16.7	Plan De Mejora Para La Canaleta Parshall	96
16.8	Plan De Mejora Para La Floculación	96

16.9	Plan De Mejora Para La Sedimentación.....	97
16.10	Plan De Mejora Para La Filtración.....	97
16.11	Plan De Mejora Para La Desinfección	97
16.12	Plan De Mejora Para El Almacenamiento.....	98
16.13	Plan De Mejora Para El Laboratorio	98
17	Resultados	100
	Bibliografía	101

Índice de tablas

Tabla 1. Método semicuantitativo basado en la matriz de riesgos	22
Tabla 2. Matriz semáforo, Clasificación de los riesgos.	22
Tabla 3. Funciones del equipo de trabajo del PSA.....	30
Tabla 4. Método semicuantitativo basado en la matriz de riesgos.	52
Tabla 5. Análisis y evaluación de riesgos en la trampa de hojas.....	55
Tabla 6. Análisis y evaluación de riesgos en el desarenador.....	56
Tabla 7. Análisis y evaluación de riesgos en el tanque de recolección.	57
Tabla 8. Análisis y evaluación de riesgos en el tanque de distribución.	58
Tabla 9. Análisis y evaluación de riesgos en el tanque del sobrante.....	59
Tabla 10. Análisis y evaluación de riesgos en la canaleta parshall.	61
Tabla 11. Análisis y evaluación de riesgos en la floculación.	62
Tabla 12. Análisis y evaluación de riesgos en la sedimentación.....	63
Tabla 13. Análisis y evaluación de riesgos en la filtración.	64
Tabla 14. Análisis y evaluación de riesgos en la desinfección.....	65
Tabla 15. Análisis y evaluación de riesgos en el almacenamiento.....	66
Tabla 16. Análisis y evaluación de riesgos en el laboratorio.	67
Tabla 17. Análisis y evaluación de riesgos con los operarios.	68
Tabla 18. Análisis y evaluación de riesgos en otras secciones de la PTAP.	70
Tabla 19. Medidas de control para la bocatoma.	72
Tabla 20. Medidas de control para la trapa de hojas..	73
Tabla 21. Medidas de control para el desarenador.	74
Tabla 22. Medidas de control el tanque de recolección.	75
Tabla 23. Medidas de control el tanque de distribución.	77
Tabla 24. Medidas de control para el tanque del sobrante.	78
Tabla 25. Medidas de control para la canaleta parshall.	81
Tabla 26. Medidas de control para la floculación.	82
Tabla 27. Medidas de control para la sedimentación.	83
Tabla 28..Medidas de control para la filtración.....	84
Tabla 29. Medidas de control para la desinfección.	85
Tabla 30. Medidas de control para el almacenamiento.	86
Tabla 31. Medidas de control para el laboratorio.....	87
Tabla 32. Medidas de control para los operarios.....	88
Tabla 33. Medidas de control otras secciones de la planta.....	88

Índice De Imágenes

Imagen 1. Vista general del sistema captación.....	31
Imagen 2. Bocatoma.....	34
Imagen 3. Trampa de Hoja.....	35
Imagen 4. Desarenador.....	36
Imagen 5. Tanque de recolección.....	37
Imagen 6. Tanque de distribución.....	38
Imagen 7. Tanque de almacenamiento del sobrante.....	38
Imagen 8. Canaleta Parshall. Recepción del caudal.....	41
Imagen 9. Complemento aforo del caudal.....	42
Imagen 10. Floculador.....	43
Imagen 11. Complemento proceso de floculación.....	44
Imagen 12. Sedimentador de colmena de alta tasa.....	44
Imagen 13. Filtros descendentes.....	46
Imagen 14. Desinfección.....	46
Imagen 15. Tanque de almacenamiento.....	47
Imagen 16. Laboratorio para muestras.....	48
Imagen 17. Demás espacios de la PTAP.....	49
Imagen 18. Químicos empleados en la PTAP.....	50

Índice De Figuras

Figura 1. Componentes del PSA.	20
Figura 2. Plano del sistema de captación. Vista de planta.	32
Figura 3. Plano del sistema de captación. Vista frontal	33
Figura 4. Sistema de tratamiento de agua potable.....	39
Figura 5. Plano de la Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP-, del casco urbano del municipio de Machetá.	40

1. Resumen

Con el presente trabajo se formula el Plan de Seguridad de Agua -PSA-, para el sistema de abastecimiento de agua potable del casco urbano del municipio de Machetá en las etapas del sistema de captación y el proceso de tratamiento. El documento contiene principalmente la formación del equipo del PSA y la caracterización de toda la estructura y el manejo en las etapas propuestas; gracias a ello, se hallaron y evaluaron los riesgos según el estado actual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable -PTAP-, asignándoles las medidas de control necesarias para minimizar o eliminar el evento peligroso. Finalmente se plantea un plan de mejora para aquellos riesgos que requieren de una inversión económica mayor y no alcanzan a ser eliminados con las medidas de control.

Palabras clave: Calidad del agua, Planes de Seguridad del Agua, Tratamiento de agua potable, análisis de riesgos, evaluación de riesgos, medidas de control.

2. Introducción

Uno de los principales problemas de la sociedad actual es mantener la calidad, la cantidad y el acceso al agua potable; por ello, la Organización Mundial de la Salud -OMS-, presenta una guía para la formulación, ejecución y evaluación de los PSA. La alcaldía de Machetá, mediante la oficina de servicios públicos domiciliarios como dependencia prestadora del servicio de agua potable, decide adoptar esta guía para mejorar la calidad de agua potable suministrada debido a su histórico en el indicador del Índice de Riesgo para la Calidad de Agua potable -IRCA- comenzando por la formulación del PSA en sus dos etapas más importantes: el sistema de captación del agua cruda y el proceso de tratamiento.

Para la formulación del PSA en las dos etapas propuestas, es necesario formar un equipo de trabajo que se encargue de su ejecución y evaluación seguido de realizar un recorrido y observar a detalle el estado y el manejo de toda la infraestructura y los procesos del tratamiento del agua cruda teniendo en cuenta el conocimiento de los operarios y del jefe de la oficina encargada. Con la información recolectada, se usará un método semicuantitativo y un método de semáforo para el análisis y evaluación de los peligros y riesgos encontrados proponiendo a cada uno una serie de medias de control con el fin de minimizarlo o eliminarlo. Para terminar, se debe proponer un plan de mejora de la PTAP para aquellos riesgos que aun requieran de un mayor esfuerzo para controlar.

3. Abstract

In the present work, the Water Safety Plan -WSP- is formulated for the drinking water supply system of the urban area of the municipality of Machetá in the stages of the collection system and the treatment process. The document mainly contains the formation of the WSP team and the characterization of the entire structure and management in the proposed stages; thanks to this, the risks were found and evaluated according to the current state of the Potable Water Treatment Plant -PWTP-, assigning them the necessary control measures to minimize or eliminate the dangerous event. Finally, an improvement plan is proposed for those risks that require a greater economic investment and cannot be eliminated with control measures.

Keywords: Water quality, Water Safety Plans, Drinking water treatment, risk analysis, risk assessment, control measures.

4. Objetivos

4.1 General

Elaborar el Plan de Seguridad del Agua para el sistema de captación y la etapa de tratamiento del agua del sistema de abastecimiento en el casco urbano del municipio de Machetá-Cundinamarca.

4.2 Específicos

- ✓ Establecer la estructura organizativa del equipo multidisciplinario encargado de la formulación y posterior implementación del PSA.
- ✓ Caracterizar el sistema de captación y de tratamiento del agua del servicio de abastecimiento del casco urbano del municipio de Machetá.
- ✓ Elaborar el análisis de riesgos para las dos etapas propuestas.
- ✓ Diseñar el plan de mejora y modernización para la PTAP aplicable a las dos etapas propuestas con el fin de minimizar los riesgos identificados.

5. Formulación del problema

El agua es una sustancia fundamental para el sostenimiento y la reproducción de los diferentes sistemas del planeta, lo que precisa la importancia de acceder a un sistema de abastecimiento de agua potable que asegure la calidad y la cantidad del recurso hídrico. Desde 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró como derecho humano el abastecimiento de agua y el saneamiento de la misma (OMS, 2019) y en 2015 en la agenda para el desarrollo sostenible se encuentra como objetivo garantizar el acceso al agua limpia y el saneamiento para todos (ONU, 2020); sin embargo, ésta informa que aproximadamente en el mundo 4.200 millones de personas no tienen acceso a un sistema de saneamiento seguro y cerca de 2.200 millones no tienen acceso a agua potable (ONU, 2020).

El consumo de agua de baja calidad transmite enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea, esquistosomiasis y la poliomielitis, y únicamente a causa de la diarrea mueren 842.000 personas al año; estas cifras se agravan cuando se tiene en cuenta que 361.000 de estas muertes son niños y niñas menores de cinco años (OMS, 2019).

Además de la calidad del agua; el acceso al recurso hídrico es otro aspecto de gran importancia para la salud pública. Se registra un aumento de la demanda en un 1% anual respecto a la población mundial y se estima que cerca de 4 mil millones de personas sufren por la escasez del recurso hídrico en al menos un mes por año (ONU, 2020). Por otra parte, el acceso al agua potable tiene una serie de barreras de carácter social, económico, político y ambiental. Una de las barreras sociales es la negativa de las zonas rurales a ser parte del sistema de distribución de agua potable; en cuanto a lo económico existe desinterés por parte de las entidades prestadoras del servicio en mejorar o aumentar los sistemas de tratamiento del agua; en el sector político hay vacíos legislativos en las normas referentes al aseguramiento, la calidad y el acceso al agua o la falta de voluntad gubernamental para cumplir dichas normas; y finalmente barreras ambientales tales como la contaminación de las fuentes de captación o el cambio climático que se ha convertido en el objetivo de las nuevas medidas de adaptación y regulación del recurso hídrico.

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud calculó el índice de riesgo de calidad del agua (IRCA) para el 2020 mediante el análisis de 2.392 muestras reportando que el 80,01% de éstas se clasifican como “sin riesgo”, el 1,42% como “riesgo bajo”, el 8,1% en “riesgo medio”, el 7,97% como “riesgo alto” y el 2,54% como “riesgo inviable sanitariamente”. Para este mismo año el municipio de Machetá reporta un puntaje IRCA de 25,30 clasificado como riesgo medio (INS, 2020).

El municipio de Machetá registra una población de 6.092 habitantes para el 2019 de los cuales el 19,9% se encuentra en la cabecera municipal y el 80,1% en la zona rural (Alcaldía municipal Macheta, 2018). El acceso al recurso hídrico de los habitantes del casco urbano depende del sistema de captación y distribución de la quebrada Don Alonso. El agua captada es tratada con un

sistema primario de potabilización (Consejo Municipal de Macheta, 2001); no obstante, la calidad del agua suministrada no es óptima y se ve afectada por los cambios del tiempo que aumentan los niveles de sedimentos en el agua dejando como resultado parámetros de calidad de agua no aceptables como el color y la turbiedad (Gobernación de Cundinamarca, 2021); por ello se requiere la formulación y posterior implementación de un Plan de Seguridad del agua (PSA) que garantice sistemáticamente la calidad del agua, su acceso y así mismo la salud pública.

6. Alcance

Este proyecto se limita a la formulación del documento del plan de seguridad del agua para el sistema de captación y la etapa de tratamiento del sistema de abastecimiento del casco urbano del municipio de Machetá.

De los componentes incluidos en la guía entregada por la OMS para la elaboración de los Planes de seguridad de agua, la propuesta solo incluirá el cumplimiento de los componentes 1 y 2 y la definición del monitoreo de las medidas de control del componente 3 definidos en el marco teórico (ver diagrama 1. Componentes del PSA); por tanto, el documento incluirá:

- ✓ El esquema organizacional del equipo de trabajo encargado de la posterior implementación del PSA.
- ✓ La descripción actual del sistema de captación y la etapa de tratamiento del sistema de abastecimiento incluida su respectiva infraestructura.
- ✓ El análisis de riesgos enfocado al sistema de captación y la etapa de tratamiento del sistema de abastecimiento con sus respectivas medidas de control y plan de monitoreo.
- ✓ Un plan de mejora y modernización para el sistema de captación y la etapa de tratamiento del sistema de abastecimiento.

Los demás componentes definidos en la guía no se tendrán en cuenta ya que deben incluirse a medida que el PSA es implementado y evaluado.

7. Justificación

Con el fin de asegurar la calidad y el acceso al recurso hídrico como derecho fundamental del ser humano para su desarrollo, la OMS presenta una guía para la implementación de los PSA en los diferentes sistemas de abastecimiento de agua potable. Con esto, se pretende avanzar en el objetivo de desarrollo sostenible número 6 que habla de la necesidad de acceder al agua limpia y el saneamiento.

El sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Machetá no cumple a totalidad con los límites máximos permisibles de los parámetros exigidos por la resolución 2115 del 2007 ofreciendo así a la comunidad agua potable de baja calidad y afectando la salud pública del municipio.

Con la formulación del PSA para el sistema del abastecimiento de agua potable del caso urbano del municipio en las etapas de captación y tratamiento se pretende dar el primer paso para el aseguramiento de la calidad del agua potable ofrecida. La aceptación e implementación del plan le corresponderá a la alcaldía del municipio y en su nombre, a la oficina de servicios públicos domiciliarios como prestadora del servicio.

8. Marco Referencial

8.1 Estado De Arte

8.1.1 Implementación De Los Planes De Seguridad Del Agua – PSA – En El Contexto Mundial.

Como metodología sugerida por la OMS para mejorar el índice de calidad de agua y el acceso a la misma, los PSA han sido implementados en diferentes sistemas de abastecimiento en países alrededor del mundo como: Islandia, siendo uno de los primeros países en el mundo en implementarlo; Costa Rica, donde se resalta un PSA que incluye medidas para minimizar los efectos del cambio climático (Mora Alvarado, 2011); Salta - Argentina, en el que se incluye el término de riesgo virtual (López et al., 2018); países de la región Asia-Pacífica (Kumpel et al., 2018), donde se usaron indicadores que evalúan los impactos de la implementación de los PSA en 25 lugares de 12 países; provincias de Italia que combinan el planteamiento e implementación de los PSA con la gestión de la norma ISO 22000 y el sistema HACCP (Collivignarelli et al., 2018); Polonia, donde describen el PSA como una herramienta de gestión de seguridad (Tchórzewska - Cieślak, 2017); Alberta-Canadá que recalca la importancia de la comunicación del equipo de trabajo del PSA (Perrier et al., 2014), Bizkaia - España (Pinilla et al., 2012) y Brasil (Fabbro Neto & Gómez-Martín, 2020a).

8.1.2 Implementación De Los Planes De Seguridad Del Agua – PSA – En El Contexto Nacional

En Colombia se encuentran registros de la implementación de los PSA en la vereda Alegrías en Aranzazu y la vereda el Socorro en el municipio de Viterbo donde se realizaron una serie de capacitaciones al personal del sistema de abastecimiento, reuniones sociales para dar a conocer el PSA y formularlo con intervención de la población. El diagnóstico del sistema se realizó como resultados de las reuniones, un diagrama de las instalaciones y la narración de los encargados del sistema. Por último, la clasificación de los riesgos se estableció bajo el conocimiento del equipo de trabajo y se evaluó por su valor de ocurrencia (Gobernación de Caldas, 2012).

En la ciudad de Cali se ejecutó un PSA enfocado a parte del sistema de abastecimiento pues el diagnóstico se realizó solo para la fuente de captación principal, una de las tres plantas de tratamiento y uno de las 5 redes de distribución (Pérez-Vidal et al., 2013; Pérez-Vidal et al., 2018) y los municipios de Subachoque (Ballesteros Andrés & Hernández Juan, 2016), Tocaima (Díaz Arévalo et al., 2017), Cañasgordas (Alzate Góez, 2020) y la zona rural de Zipaquirá y Manizales (Pérez-Vidal et al., 2020).

La revisión bibliográfica del contexto nacional señala que los resultados de los PSA a nivel nacional no están documentados en su mayoría.

8.1.3 Puntos Clave, Beneficios Y Barreras De Los Planes De Segura Del Agua – PSA-.

Uno de los puntos clave del planteamiento de los PSA es la identificación, calificación y análisis de los riesgos. En la literatura analizada se encuentran metodologías como: 1) Matriz de peligros y eventos peligrosos (Díaz Arévalo et al., 2017; Pérez-Vidal et al., 2013; Pérez-Vidal et al., 2018); 2) Matriz cualitativo cuantitativo combinada con la Matriz de riesgo de tres parámetros que relacionan la frecuencia de la amenaza, las consecuencias de la amenaza y la vulnerabilidad de la amenaza (Tchórzewska - Cieślak, 2017); 3) Método Delphi que evalúa la probabilidad o la frecuencia de cada evento peligroso y que tan grave es la consecuencia de cada uno (González et al., 2019); 4) Método semicuantitativo con probabilidad o frecuencia de ocurrencia (Alzate Góez, 2020; Pinilla et al., 2012); y 5) Implementación del análisis de peligros y puntos críticos de control (Cruz Vélez et al., 2009; Mora Alvarado, 2011).

La implementación de los PSA en diferentes países del mundo ha demostrado la capacidad de los proveedores del agua para asegurar el acceso y la calidad al recurso (Tsoukalas & Tsitsifli, 2018) donde el usuario final es el principal beneficiario de la implementación del plan (Cruz Vélez et al., 2009).

Los beneficios y las ventajas de implementar los PSA dependen del cumplimiento de las acciones formuladas en el plan de mejora, además de la constante reevaluación del mismo. Si el PSA es planteado, implementado y evaluado de forma correcta se verá reflejado en la disminución de sobrecostos en el tratamiento del agua potable, el aumento de la productividad y optimización de los procesos (Cruz Vélez et al., 2009), el análisis, manejo y minimización de los riesgos o peligros del sistema de tratamiento, distribución, almacenamiento y estado de la fuente de captación (Pérez-Vidal et al., 2018; Pinilla et al., 2012), la compatibilidad del PSA con otras normas de gestión como la ISO 22000 (González et al., 2019; Mora Alvarado, 2011), y en garantizar la calidad del agua protegiendo la salud pública (Cruz Vélez et al., 2009; Fabbro Neto & Gómez-Martín, 2020b).

Sin embargo, la formulación, implementación y evaluación de los PSA tiene una serie de barreras o limitaciones que disminuyen su eficacia como la capacidad y conocimientos inadecuados del personal encargado del sistema de abastecimiento, la dificultad en la identificación de los riesgos y eventos peligrosos, el incorrecto manejo y control de los riesgos (Cruz Vélez et al., 2009), la falta de inversión económica para la infraestructura, el sistema del tratamiento y la capacitación del personal y la falta de colaboración entre las entidades de salud pública (Tsoukalas & Tsitsifli, 2018).

8.2 Marco Contextual

El municipio de Machetá Conocido como la Puerta de Oro del Valle de Tenza está ubicado en el departamento de Cundinamarca en la provincia de Almeidas a 101 Km del noroeste de Bogotá, con una extensión de 225 m² y está dividido políticamente en 23 veredas: San Bernabé, Guina Alto, Guina Bajo, Resguardo Alto, Resguardo Bajo, Quebrada Honda, San Martín, Belen, Lotavita, Santa Librada, San Luis, San José, Agua Blanca, Gazuca Alto, Gazuca Bajo, Mulata Alto, Mulata Bajo, Solana, Llano Largo, San Isidro Bajo, San Isidro Alto, Casadillas Bajo, y Casadillas alto.

Machetá es una palabra con origen muisca y significa vuestra honrosa labranza. Machetá fue fundado en 1593 con una población cercana a 300 indios. Actualmente cuenta con una población de 6.663 habitantes. Su temperatura promedio es de 17.8°C y una altura promedio de 2.094 m.s.n.m. Limita con los municipios de Tibirita y Manta por el oriente; por el occidente con los municipios de Chocontá y Sesquilé; Por el oriente con Chocontá y por el sur con Guatavita y Gachetá.

El centro urbano cuenta con una población cercana a 1.300 habitantes cuyo suministro de agua potable está a cargo de la oficina de servicios públicos domiciliarios de la administración municipal.

El sistema de abastecimiento de agua potable del centro urbano registro un total de 826 usuarios repartidos entre los habitantes de centro urbano y un sector de la vereda resguardo alto que limita con el casco urbano.

8.3 Marco Teórico

8.3.1 *Calidad De Agua Potable*

Según el Ministerio de Protección Social agua potable es el agua que cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas establecidas por la ley nacional convirtiéndose en agua apta para el consumo humano sin perjudicar su salud. Esta agua puede ser bebida directamente o ser utilizada en la preparación de alimentos y la higiene personal (Ministerio de ambiente; IDEAM; U. del Rosario. , s.f.).

Mientras que la calidad de agua potable es el resultado de la comparación de las características físico, químicas y microbiológicas del agua potable con las normas y su contenido establecidas por las diferentes autoridades ambientales (Ministerio de ambiente; IDEAM; U. del Rosario. , s.f.).

Para llegar a la calidad del agua con mejores características es necesario establecer una serie de pasos en el proceso de potabilización incluyendo el cuidado y manejo de la cuenca hidrográfica donde se encuentra la fuente abastecedora del sistema de abastecimiento, el correcto proceso de potabilización del agua que incluya el correcto manejo del agua potable en el sistema de distribución y almacenamiento en hogares; finalizando con un plan el seguimiento y monitoreo para cada una de las etapas mencionadas anteriormente (OMS, 2005).

8.3.2 Planes De Seguridad De Agua

El plan de seguridad del agua (PSA) es una metodología entregada por la OMS para reducir los riesgos en la salud, minimizar la contaminación del recurso hídrico y prevenir la contaminación en el almacenamiento realizando acciones que fomenten el cuidado de la fuente de captación aguas arriba, optimizando el tratamiento del agua y reduciendo los riesgos en la distribución, almacenamiento y manipulación del agua recibida por los usuarios del sistema (OMS, 2005).

Adicional a la guía de la OMS, la OPS entrega un esquema general de los componentes a seguir para la formulación, implementación y evaluación del PSA mediante un curso libre certificado.

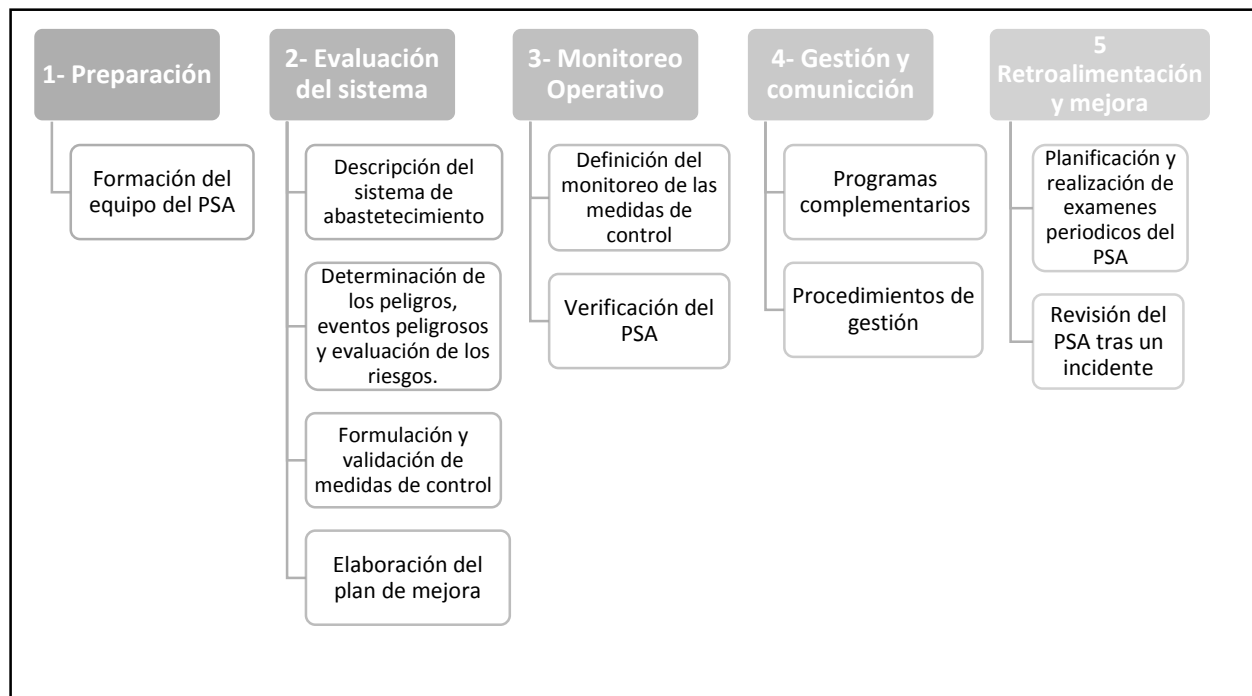


Figura 1. Componentes del PSA.
Fuente: (OPS, 2021)

8.3.3 Descripción De Los Componentes Del PSA

1. **Preparación:** Se establece el equipo de trabajo que formulará, implementará y evaluará constantemente el PSA (OPS, 2021).
2. **Evaluación del sistema:** Se analiza y describe el sistema de abastecimiento, identifica y establece medidas de control para riesgos encontrados y formula un plan de mejora según las siguientes etapas (OPS, 2021):
 - ✓ Cuenca de la fuente de captación
 - ✓ Bocatoma
 - ✓ Conducción
 - ✓ Tratamiento
 - ✓ Almacenamiento
 - ✓ Red de distribución
 - ✓ Lugares de consumo
 - ✓ Aspectos administrativos del sistema
3. **Monitoreo operativo:** Seguimiento y control de cada etapa del sistema, documentación de cada actividad y uso de indicadores de eficiencia para la evaluación del sistema de abastecimiento (OPS, 2021).
4. **Gestión y comunicación:** Gestión de reuniones y auditorías internas o externas para socializar la eficiencia del monitoreo junto con la elaboración de un plan de gestión como herramienta complementaria al PSA que incluya el análisis de desastres y riesgos por eventos climatológicos (OPS, 2021).
5. **Retroalimentación y mejora:** Se hacen reuniones para evaluar la eficiencia del PSA basados en indicadores de eficiencia con el fin de reevaluar el PSA y modificarlo de ser necesario (OPS, 2021)

8.3.4 Método De Clasificación De Riesgos Semicuantitativo

Este método comprende una matriz semicuantitativa con el análisis del riesgo por cada etapa estimando la probabilidad o frecuencia y la gravedad o consecuencia de cada riesgo o evento peligroso. El propósito es identificar el nivel del riesgo de cada peligro o evento peligroso (OMS, 2005).

Probabilidad o frecuencia	Gravedad de la consecuencia				
	Efecto nulo o Insignificante Clasificación: 1	Efecto en el cumplimiento leve Clasificación: 2	Efecto organoléptico moderado - Clasificación: 3	Efecto reglamentario grave - Clasificación: 4	Efecto catastrófico en la salud pública - Clasificación: 5
Casi siempre / Una vez al día Clasificación: 5	5	10	15	20	25
Probable / Una vez por semana Clasificación: 4	4	8	12	16	20
Moderada / Una vez al mes Clasificación: 3	3	6	9	12	15
Improbable / Una vez al año Clasificación: 2	2	4	6	8	10
Excepcional / Una vez cada 5 años Clasificación: 1	1	2	3	4	5

Tabla 1. Método semicuantitativo basado en la matriz de riesgos.

Fuente: (Bartram J, 2009)

La matriz puede ser combinada con un matriz semáforo donde se asigna a cada riesgo un color por su clasificación obtenida de bajo, medio, alto y muy alto. Su principal objetivo es brindar un método de análisis y alarma para la identificación y manejo de cada riesgo (OMS, 2005).

Puntuación de riesgo	<6	6 – 9	10 - 15	>15
Clasificación de riesgo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

Tabla 2. Matriz semáforo, Clasificación de los riesgos.

Fuente: (Bartram J, 2009)

8.4 Marco Conceptual

Calidad del agua: Aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad y está definida por las características físicas, químicas, biológicas y ecológicas (Ministerio de ambiente; IDEAM; U. del Rosario. , s.f.).

Plan de seguridad de agua: Los planes de seguridad de agua son planes holísticos y sistemáticos que mantienen un enfoque de gestión integral usado para identificar y priorizar las amenazas potenciales a la calidad del agua en cada paso de la cadena del abastecimiento de agua implementando mejores prácticas para mitigar esas amenazas y asegurar la calidad del agua potable (OPS, s.f.).

PSA: Sigla del plan de seguridad de agua.

Riesgo: Es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas (CIIFEN, 2021).

Peligro: Capacidad intrínseca de una sustancia o potencialidad de una situación física para ocasionar daños a las personas, los bienes y al medioambiente (RAE, 2015).

Medida de control: Cualquier medida y actividad que puede realizarse para prevenir o eliminar un peligro para la inocuidad de los alimentos o para reducirlo a un nivel aceptable (PanaFoods, s.f.).

Resolución 2215/2007: “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”.

9. Normatividad

El desarrollo de este proyecto debe tener en cuenta el contenido de las siguientes leyes de termino ambiental:

- ✓ Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- ✓ Resolución 0082 de 2009 del Ministerio de la protección social: Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
- ✓ Resolución 4716 de 2010 del Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial: Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007. Donde se reglamentan los mapas de riesgo e la calidad de agua para consumo humano.
- ✓ Resolución 0549 de 2017 del Ministerio de salud y protección social, Ministerio de vivienda ciudad y territorio: por medio de la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones.

10. Metodología

Para la formulación del PSA del sistema de abastecimiento del casco urbano del municipio de Machetá en el sistema de captación y la etapa de tratamiento de la PTAP, se seguirán 4 fases de trabajo basadas en la guía de los PSA de la OMS (OMS, 2005).

10.1 Fase 1. Formación Del Equipo Multidisciplinario.

El equipo de trabajo encargado de la formulación y posterior implementación y evaluación del PSA se formará teniendo en cuenta los actores directos involucrados en la potabilización del agua en el casco urbano del municipio de Machetá con los cuales se realizará una reunión para establecer los integrantes necesarios y socializar los roles de cada uno de ellos, con sus respectivas funciones.

Se debe tener en cuenta que dicho equipo deberá ser multidisciplinario debido a las diferentes necesidades del sistema de abastecimiento, incluyendo el personal operativo de la PTAP y el jefe de la oficina de servicios públicos domiciliario.

10.2 Fase 2. Diagnóstico Del Sistema De Captación y Etapa De Tratamiento.

Como etapas propuestas para la formulación del PSA; el sistema de captación y la etapa de tratamiento del sistema de abastecimiento de agua del municipio deberá ser caracterizado. Esto incluye la descripción del sistema de captación, transporte del agua cruda, operaciones del sistema de tratamiento con sus respectivas instalaciones y el almacenamiento interno en la planta de tratamiento del agua potable.

10.2.1 Etapa 1. Sistema De Captación y Etapa De Tratamiento

Por medio de visitas de campo al sistema de captación y la etapa de tratamiento del agua se hará reconocimiento del estado de la infraestructura, procedimientos ejercidos dentro y fuera de la zona, tipo de materiales y estado de los mismos. Para completar la información requerida para la caracterización se realizarán unas entrevistas a los operadores y administrativos encargados de la operación. El resultado de estas encuestas evidenciará los métodos de tratamiento usados y el nivel de conocimiento de los operarios y administrativos encargados del sistema de tratamiento.

10.2.2 Etapa 2. Generación De Listas De Chequeos

Con el fin de facilitar la evaluación y descripción del sistema de tratamiento del agua se hará uso de listas de chequeos que relacionen el estado y la operación de las etapas propuestas con las normas vigentes de calidad de agua potable y su respectiva infraestructura.

10.3 Fase 3. Análisis De Riesgos.

10.3.1 Etapa 1. Identificación De Riesgos y Eventos Peligrosos.

Una vez realizado el diagnóstico de las dos etapas propuestas se procede a realizar un análisis de riesgos y eventos peligrosos. El análisis se realizará por medio de una matriz semicuantitativa que relaciona la probabilidad o frecuencia del riesgo o evento peligroso con la gravedad del mismo, asignándole un valor con el cual se clasificará cada riesgo en niveles de bajo, medio, alto y muy alto. Con el fin de dar una mejor visibilidad de cada riesgo se cruzarán los resultados de la clasificación de los riesgos de la matriz semicuantitativa con una matriz semáforo que le asignará a cada riesgo un color por el nivel obtenido como se explica en el marco teórico.

10.3.2 Etapa 2. Procedimientos y Medidas De Control.

Con los riesgos identificados, clasificados y evaluados es necesario establecer procedimientos que minimicen o eliminen la probabilidad del riesgo mediante el uso de medidas de control, límites críticos e indicadores de eficiencia basados en la normativa de tratamiento, calidad de agua, y en mantener la probabilidad de ocurrencia de un accidente o riesgos al mínimo.

Estas medidas de control se plasmarán en un documento que será entregado al equipo de trabajo encargado del PSA.

10.3.3 Etapa 3. Plan De Monitoreo De Las Medidas De Control.

Las medidas de control establecidas para la disminución de la ocurrencia de los riesgos identificados deben ser monitoreadas con el fin de verificar su eficacia. Por tanto, se formulará un plan de monitoreo que deberá ser ejecutado por el equipo de trabajo establecido.

10.4 Fase 4. Formulación del plan de mejora y modernización.

Además de las medidas de control para los riesgos identificados es necesario establecer un plan de mejora y modernización que monitoree y optimice el sistema de abastecimiento de agua potable del municipio en las dos etapas propuestas. En este plan se documentarán los respectivos monitoreos requeridos para garantizar el tratamiento eficaz del agua y las medidas técnicas o mejoras que requiera la infraestructura de las etapas propuestas. Este plan se basará en los resultados obtenidos con la descripción de las etapas propuestas, la identificación de riesgos y eventos peligrosos y la opinión del equipo de trabajo.

11. Formación Del Equipo Del PSA

11.1 Equipo PSA Para La PTAP Del Municipio De Machetá.

El equipo de trabajo para el PSA será el encargado de la formulación, implementación y evaluación del PSA en cada una de sus etapas.

El equipo de trabajo está conformado por los diferentes actores principales involucrados en el tratamiento del agua en el sistema de captación y la etapa de tratamiento del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio; estando a cargo de la administración municipal y en su nombre la oficina de servicios públicos domiciliarios.

11.1.1 Equipo Interno:

Jefe de la oficina de servicios públicos domiciliarios

Operario de la planta, jornada de L – V

Operario de la planta, jornada de S y D

Operario bocatoma, jornada de L – L

Fontanero, jornada de L – V

11.1.2 Equipo Externo:

Contratista: profesional en calidad/tratamiento de agua. Personal pendiente por contratar.

11.1.3 Actores Involucrados:

Productores agropecuarios

Superintendencia de servicios

Empresas públicas de Cundinamarca

Secretaria de salud

11.2 Funciones o Actividades a Realizar

Personal Encargado	Función y/o Actividad
Jefe Oficina de servicios públicos	Monitorear el proceso de potabilización mediante: ➤ Visitas diarias a la planta ➤ Seguimiento a todas las planillas ➤ Compras de los suministros ➤ Coordinar mantenimiento de la planta ➤ Coordinar el trabajo de los operarios ➤ Establecer las fechas para las limpiezas, desinfección y mantenimiento
Operario planta L - V Operario planta S - D	Medir caudal captado y diligenciar planilla de caudal recibido. Tomar y analizar muestras de agua cruda y potable (pH, turbiedad, color, cloro residual, test de jarras). Diligenciar las planillas del laboratorio Preparar la solución de coagulante y de Cal Ajustar dosificador de coagulante según la demanda (test de jarras), diligenciar planilla y curva de coagulante. Ajustar dosificador de cloro y diligenciar curva de demanda de cloro. Revisar funcionamiento de cada una de las estructuras de la planta. Limpieza y desinfección de cada una de las estructuras de la planta e instalaciones en general.
Fontanero	Revisión de la red de tubería del sistema de captación y de la planta de tratamiento.
Contratista	Apoyar desde el área técnica y profesional a los diferentes integrantes del grupo de

	trabajo del PSA; incluyendo generación de documentos oficiales, solución a peticiones gubernamentales y solución ante posibles incidentes.
Productores Agropecuarios	No realizar ninguna actividad de agricultura o ganadería sobre la ronda hídrica, respetando el límite de los 30 metros de ronda hídrica. Recolectar todos los envases de agroquímicos, medicamentos, etc.
Superintendencia de servicios públicos	Monitoreo de instalaciones y labor de la planta de tratamiento.
Empresas públicas de Cundinamarca	Monitoreo de instalaciones y labor de la planta de tratamiento.
Secretaría de salud	Monitoreo de la calidad del agua suministrada a la población.

Tabla 3. Funciones del equipo de trabajo del PSA.

12. Caracterización De Las Etapas Propuestas Del Sistema De Captación y Etapa De Tratamiento

12.1 Sistema De Captación

El sistema de captación está compuesto por las diferentes estructuras de:

- ✓ Bocatoma
- ✓ Trampa de hojas
- ✓ Desarenador
- ✓ Tanque de recolección
- ✓ Tanque de distribución
- ✓ Tanque del sobrante, y
- ✓ Sistema de tuberías / Conducción.



Imagen 1. Vista general del sistema captación.

Plano Del Sistema De Captación – Vista De Planta.

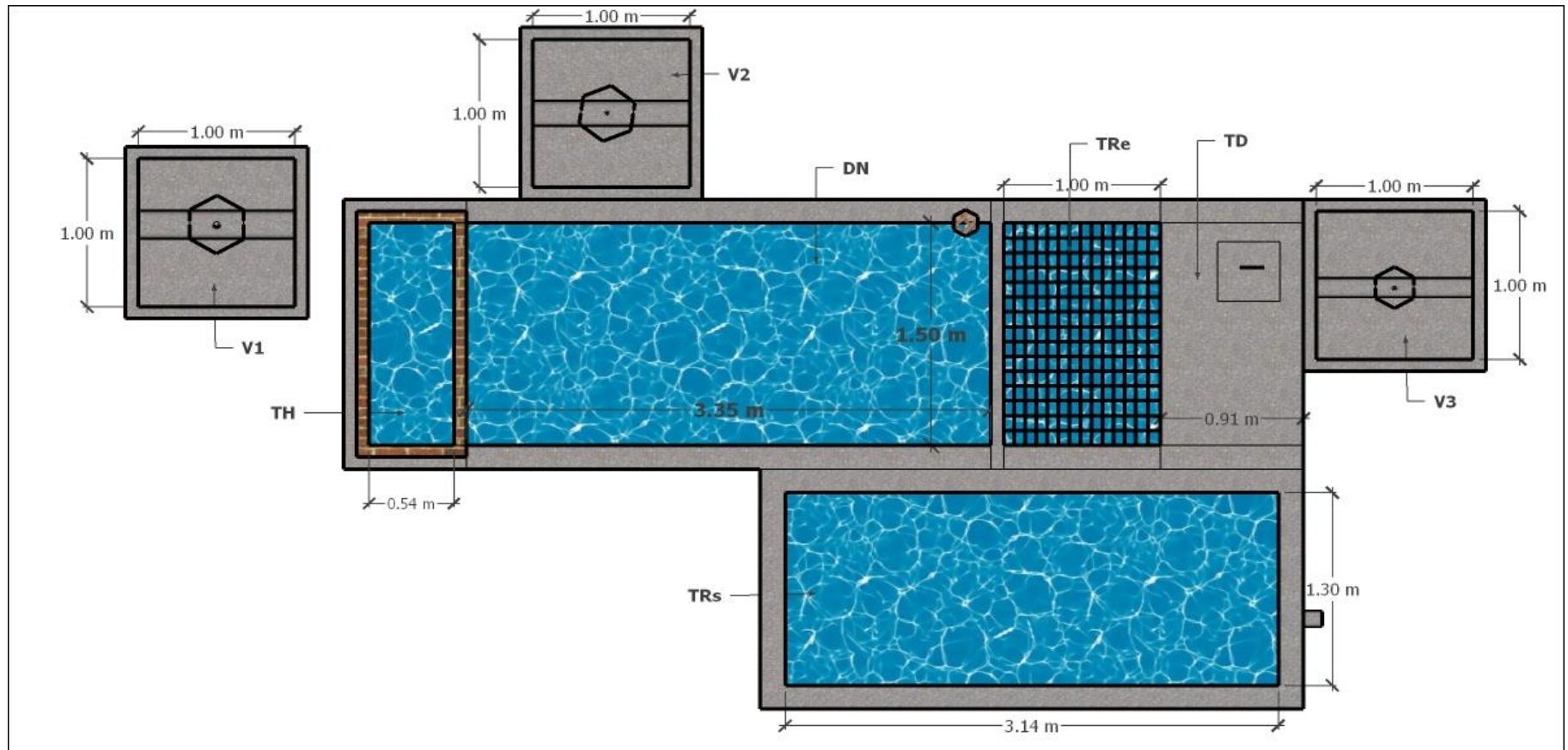


Figura 2. Plano del sistema de captación. Vista de planta.

V1, V2, V3: Válvulas
TH: Trampa de Hojas

DN: Desarenador
Tr: Tanque de recolección

TD: Tanque de distribución
TRs: Tanque del sobrante

Plano Del Sistema De Captacion - Vista Frontal.

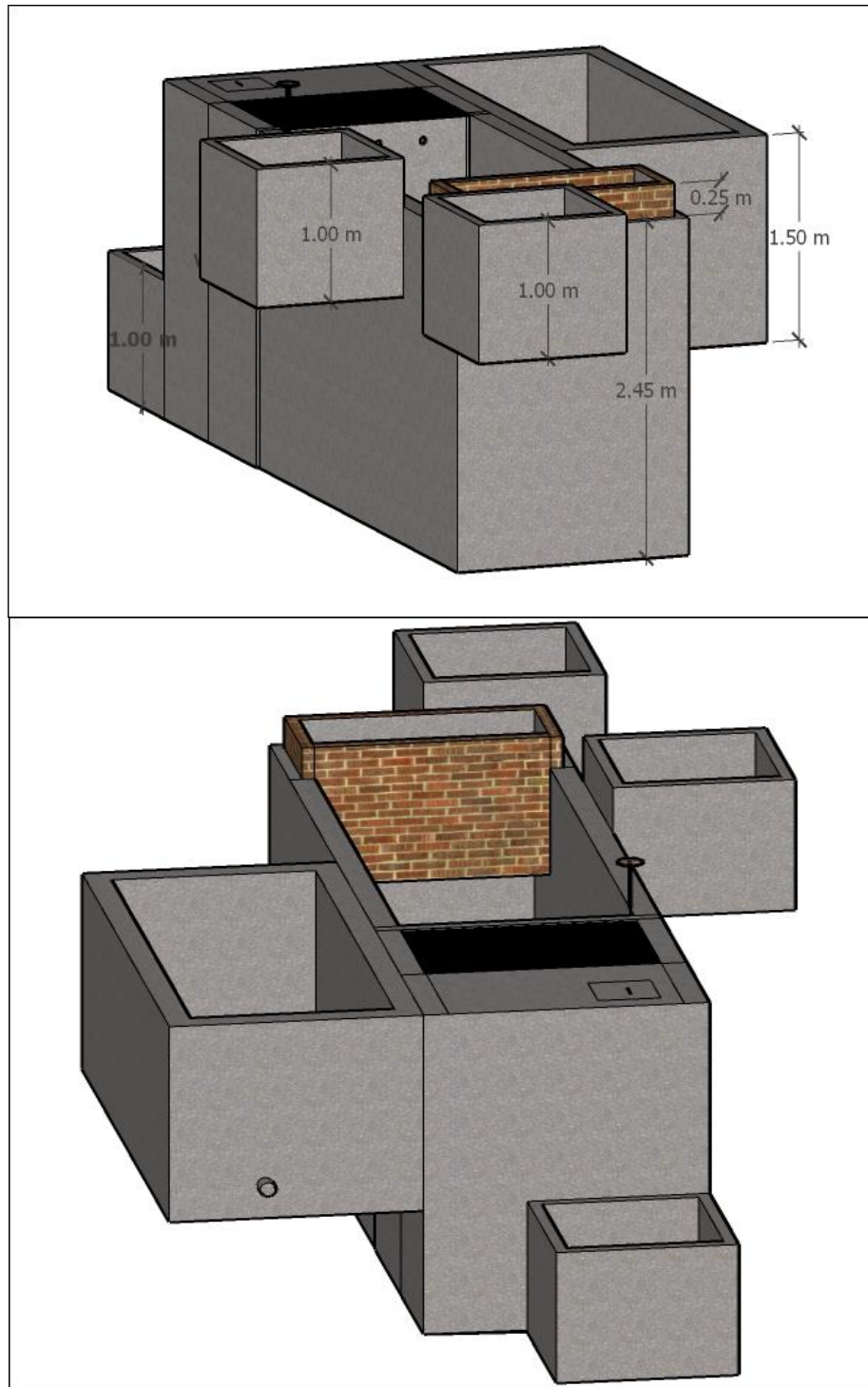


Figura 3. Plano del sistema de captación. Vista frontal

12.1.1 Bocatoma

La captación del agua cruda se realiza por medio de una bocatoma en concreto ubicada horizontalmente en el cauce de la quebrada Don Alonso. La bocatoma consta de la estructura de captación de agua cuya superficie tiene una rejilla que realiza la primera remoción de sólidos grandes.

El agua ingresa a un tanque cuya función es conducir el agua hacia la trampa de hojas.

El caudal de la concesión son 4,7 L/s; Sin embargo, el caudal captado es mayor debido a que se están tratando cerca de 12 L/s.

La bocatoma carece de la rejilla debido a la creciente del cauce por las épocas más lluviosas que arrastraron dicha rejilla. Además, el tanque de la bocatoma no cuenta con la tapa de la superficie lo que permite el ingreso de cualquier material vegetal o animal.



Imagen 2.Bocatoma.

12.1.2 Trampa De Hojas

Es una estructura de concreto que retiene las hojas que ingresan por la bocatoma para ser removidas manualmente según lo considere el operario o si el sistema se ve afectado en el ingreso del agua.

El tanque de la bocatoma transporta el agua hacia la trampa de hojas por medio de 15 metros de tubería de PVC de 8" de grosor. Al ingresar el agua a la trampa de hojas, ésta tiene un flujo descendente ascendente para ingresar al desarenador.

La tubería de entrada observada, presenta acumulación de material vegetal en su interior, sin embargo, este no alcanza a obstruir el ingreso del agua al sistema.



Imagen 3. Trampa de Hoja.

12.1.3 Desarenador

El desarenador es una estructura en cemento cuya función es sedimentar los sólidos de mayor tamaño que contenga el agua para que éstas no ingresen al sistema de conducción causando una posible obstrucción.

La purga del desarenador se realiza manualmente debido a la obstrucción de la compuerta de salida puesto que es muy pequeña para el flujo del sedimento. El lodo resultante de la purga no tiene ningún proceso de tratamiento y es vertido al cauce de la quebrada aguas abajo de la captación o los alrededores de la estructura del sistema de captación. Además, no se realiza ningún control de limpieza y desinfección. Se registra una limpieza del desarenador cada 6 meses la cual genera un aproximado de 20 cm de profundidad del lodo almacenado en el fondo del desarenador.

El sistema de captación cuenta con un baipás que permite interrumpir el flujo de agua hacia el desarenador y conducirla directamente al tanque de recolección. Con la interrupción del flujo se puede realizar la limpieza del desarenador.

Por último, el desarenador cuenta con una tubería lateral de 2.5" que permite la salida del agua cuando este se sobrellena con el fin de evitar desbordes en la estructura. Esta agua sobrante se recircula al cauce de la quebrada.

El desarenador presenta desgaste en su estructura; se observa una fuga dirigida hacia el tanque del sobrante. La válvula que abre la compuerta para la salida del sedimento está rota y la compuerta junto con la tubería de salida son pequeños para la acumulación del sedimento.

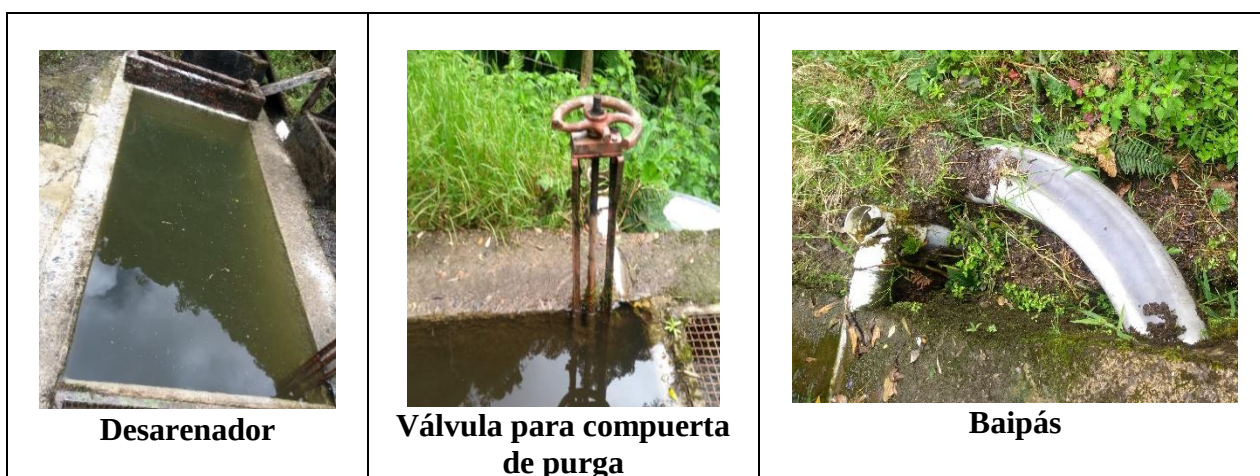


Imagen 4. Desarenador.

12.1.4 Tanque De Recolección

Este tanque es fabricado en concreto y tiene una rejilla superficial de metal. Su función es recolectar el agua superficial del desarenador. Además, tiene una tubería de salida de 2" que permite transportar el agua sobrante; esta tubería está obstruida con una piedra cuya función según el operario es disminuir el caudal de salida hacia el tanque del sobrante.

El agua ingresa al tanque por medio de 4 orificios de PVC de 2" ubicados en la parte superior de la pared compartida con el desarenador.

El tanque presenta acumulación de material vegetal en las paredes; y cuando se activa el baipás, se observa una gran acumulación de sedimentos en la tubería. Esta acumulación de sedimento no es retirada del sistema e ingresa al sistema de conducción hasta llegar a la planta cuya capacidad no permite retirar todo el sedimento. Además, se observa desgaste en los cuatro orificios que permiten el paso del agua del desarenador al tanque de recolección.

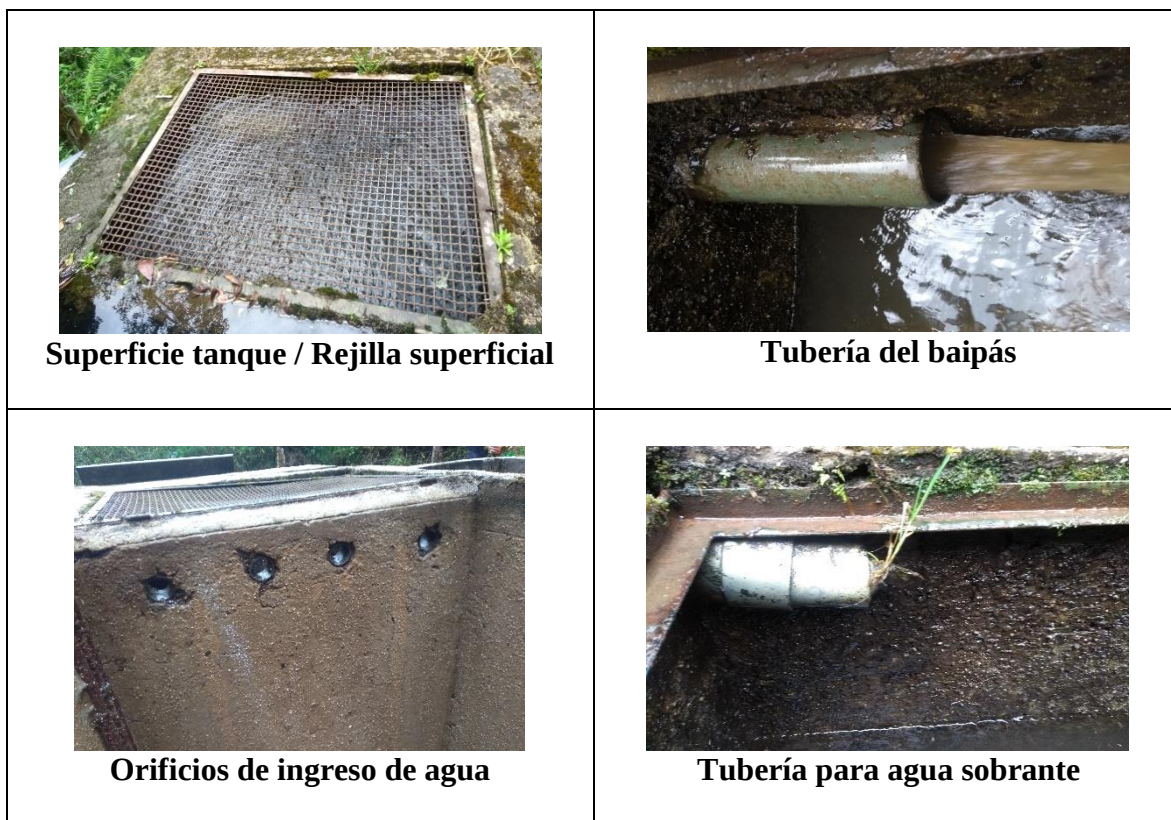


Imagen 5. Tanque de recolección.

12.1.5 Tanque De Distribución

Estructura en cemento con tapa, cuya función es almacenar agua y alimentar la tubería de conducción.

El agua ingresa a este tanque desde el tanque de recolección mediante flujo descendente ascendente.

Debido a la forma de la estructura y evitando el ingreso de aire a la tubería de conducción, los tanques de recolección y distribución nunca son desocupados o lavados

Se registran daños en el tanque de distribución; se observa una fuga de agua en una esquina del tanque que limita con el tanque del sobrante.

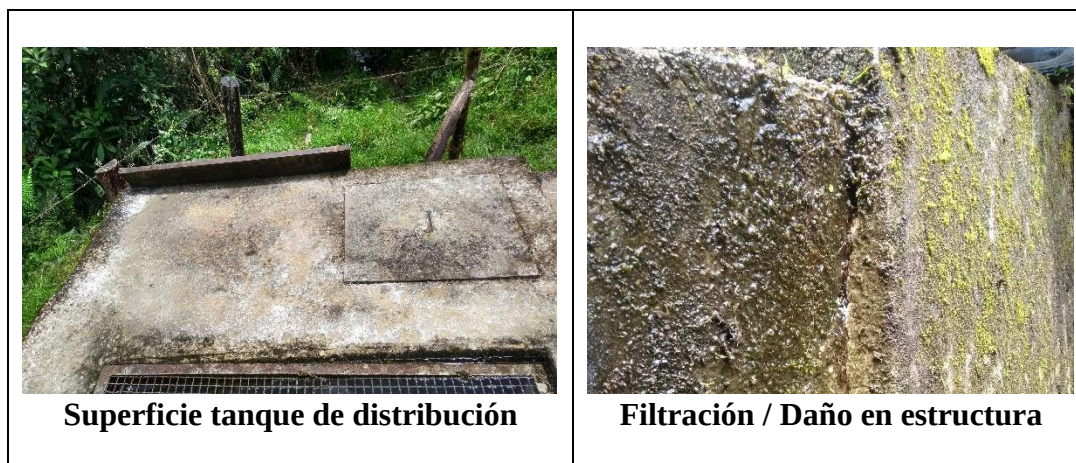


Imagen 6. Tanque de distribución.

12.1.6 Tanque Del Sobrante

El tanque del sobrante está fabricado en concreto y tiene una tubería de salida de 1'' que se une a una manguera. Su función inicial era la recolección del agua de la bocatoma y posterior alimentación del sistema de conducción; sin embargo, su actual función es recolectar agua sobrante del tanque de recolección. El agua recolectada es aprovechada por el operario de la bocatoma.

El tanque del sobrante presenta acumulación de material vegetal en las paredes y la tubería de salida presenta una fuga.

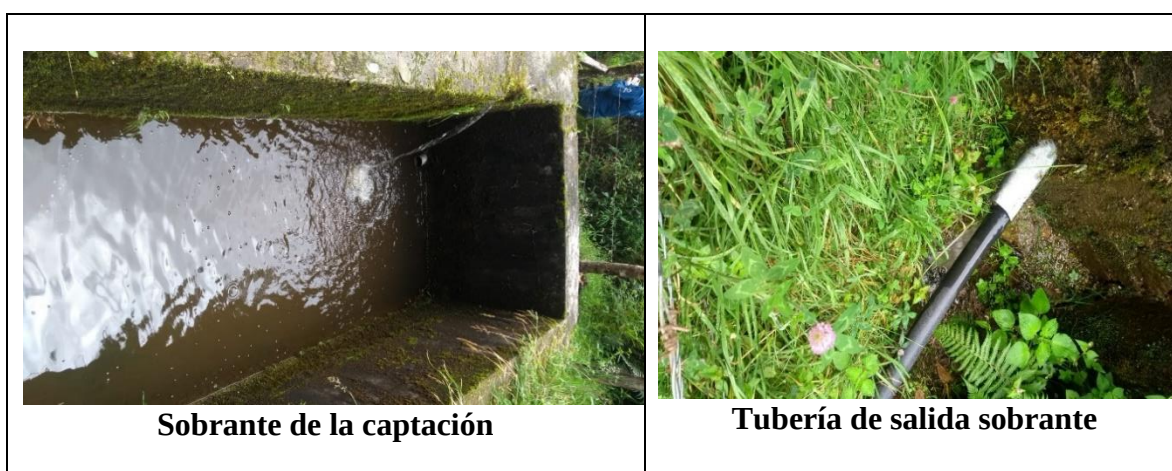


Imagen 7. Tanque de almacenamiento del sobrante.

12.1.7 Sistema De Tuberías.

La tubería del sistema de captación tiene cuatro válvulas.

La primera, permite el ingreso directo del agua de la bocatoma. La segunda, le da acceso al agua a la atrampa de hojas. La tercera, activa o desactiva el baipás y la cuarta cierra o abre el flujo del agua al sistema de conducción que alimenta la PTAP.

La tubería del sistema de conducción tiene 150 metros con un grosor de 6'' y luego continua 4.5 kilómetros con un grosor de 4''.

Se observa que los primeros metros de la tubería del sistema de conducción esta al descubierto por el terreno pedregoso en el que se encuentra al no poderse enterar más al fondo.

12.2 Planta De Tratamiento; Tratamiento Primario

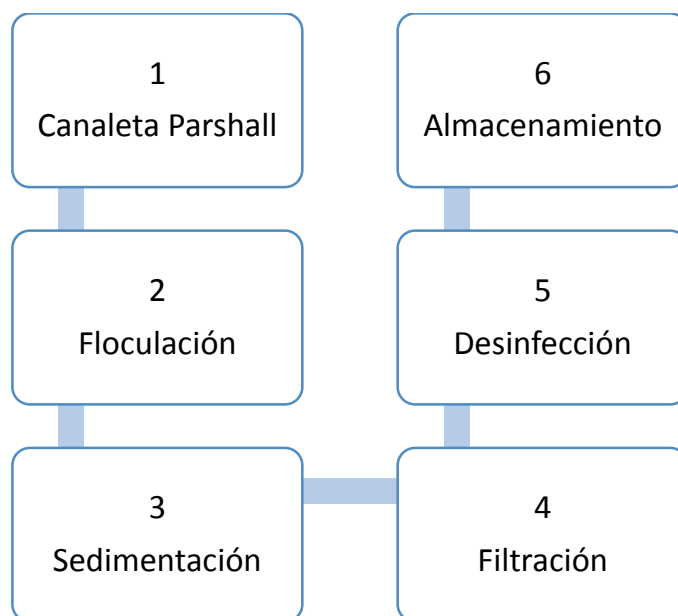


Figura 4. Sistema de tratamiento de agua potable

Plano de la PTAP del casco urbano de Machetá

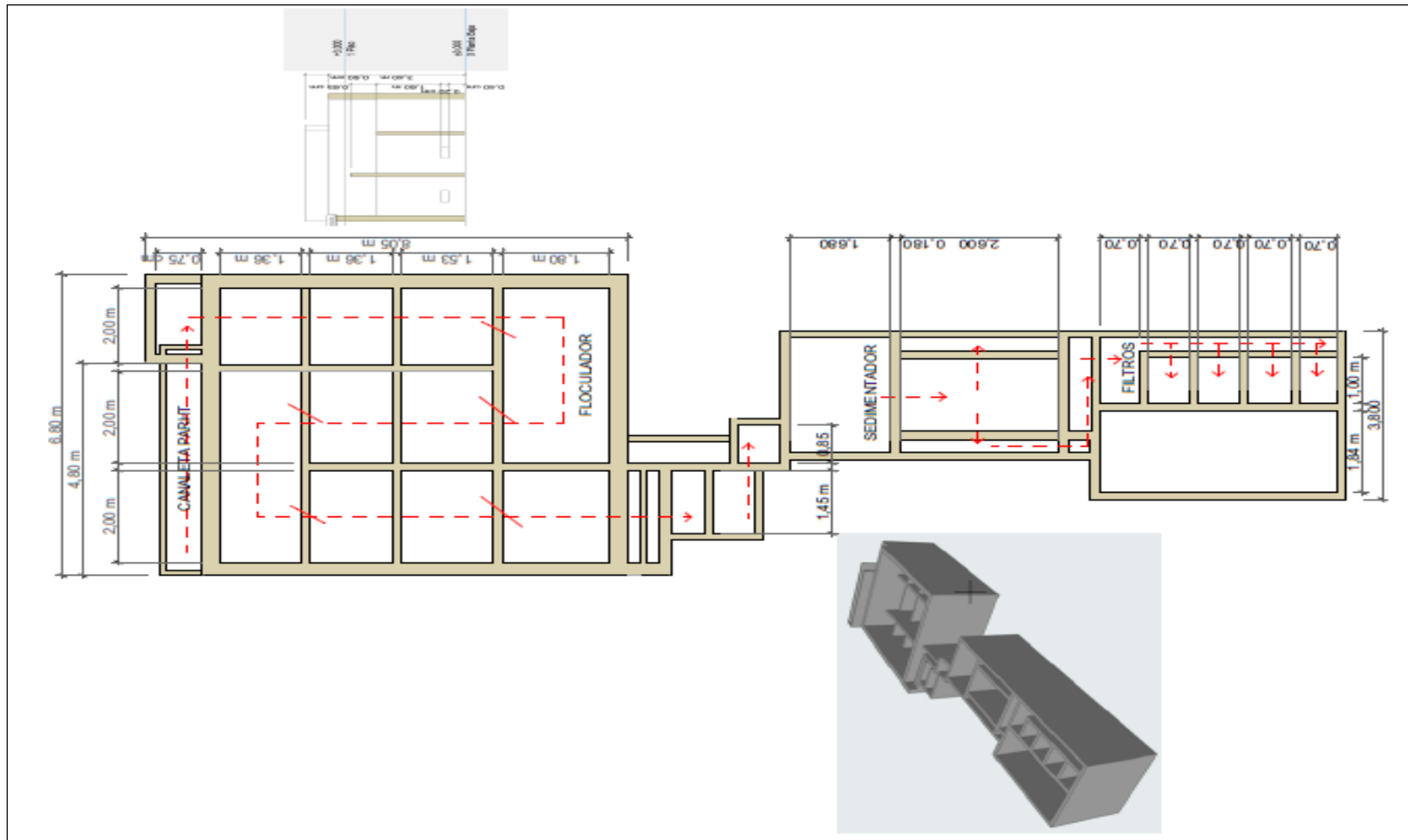


Figura 5. Plano de la Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP-, del casco urbano del municipio de Machetá
Fuente: Oficina de servicios públicos, Arquitecta Andrea Siatoya.

12.2.1 Canaleta Parshall; Aforo De Caudal y Mezcla Rápida



Imagen 8. Canaleta Parshall. Recepción del caudal.

Canaleta de PVC de 3" que recibe el agua captada. Con la canaleta parshall se mide el caudal recibido y genera un punto de mezcla rápida al final de la canaleta para adicionar el coagulante.

Para la medición del caudal en entrada se revisa la regleta de la canaleta y toman como aforo de caudal el límite del borde del agua. Dentro de la bitácora de la planta aparece una fórmula para la conversión; sin embargo, no la usan.

El coagulante utilizado es policloruro de aluminio (PAC) con una dosificación promedio de 150 ml/min (Dato suministrado por el operario). Sin embargo, el operario número dos hace mención a que son solo 50 ml/h y según la época del año puede subir hasta los 70 ml/h.

El caudal a tratar lo deciden según criterio de los operarios; para los fines de semana o festivos aumentan el caudal a tratar y entre semana lo disminuyen. Para ambos casos el caudal sobrante es enviado al tanque de sobrante y/o abren la válvula que dirige parte del agua directamente al sistema de alcantarillado.



Imagen 9. Complemento aforo del caudal.

En la entrada de la canaleta se toman muestras de agua cruda para realizar los análisis en el laboratorio.

Respecto a la limpieza y desinfección, la canaleta es cepillada una vez al mes una vez se interrumpe el flujo de agua y posterior al cepillado agregan hipoclorito de calcio diluido en agua (son ninguna solución específica) y finalmente granulado en las paredes. Para manejar el hipoclorito de calcio no utilizan ningún tipo de protección.

12.2.2 Floculador

En el floculador se realiza la mezcla lenta que permite la formación de floc. El floculador cuenta con 12 cámaras de flujo ascendente descendente en cemento y recubiertas por una geomembrana de color blanco que presenta ruptura o ausencia de la misma en diferentes zonas del floculador. Se observa buena formación del floc.

La transición del agua cruda al sedimentador se realiza por medio de una tubería PVC-S de 6".

El material recolectado en el fondo es lavado con agua y conducido al sistema de alcantarillado. No se realiza ningún proceso de purga o manejo de lodos.



Imagen 10. Floculador.

La limpieza y desinfección de los compartimentos los realizan según el criterio del operador pasando hasta 3 meses sin realizar ninguna acción. Para dicha limpieza se vacían los compartimentos. Una vez vacíos; los operarios ingresan con una escalera corta a cada uno de los compartimentos sin protección alguna y cepillan las paredes. La desinfección de las superficies la realizan manualmente de hipoclorito de calcio sin ninguna solución específica; agregando grandes cantidades del químico granulado en una caneca de 5 galones con agua. Esta solución es arrojada manualmente sobre las superficies para a continuación arrojar hipoclorito de calcio granulado manualmente sin ningún tipo de protección en manos y ojos. Finalmente se retoma el flujo de agua para llenarlos sin haber retirado el hipoclorito agregado.



Imagen 11. Complemento proceso de floculación.

12.2.3 Sedimentador

Con un sedimentador de tasa alta en concreto y una con colmena en Pvc se realiza la sedimentación del floc. El agua ingresa por medio de 18 orificios de 1.5" proveniente del floculador.

La colmena tiene orificios de 1" los cuales presentan cristalización del Pvc en algunas zonas superficiales y tiene dos metros de profundo.

En el fondo del equipo se sedimenta el material particulado y en la superficie el agua es transportada hacia los filtros por dos canales paralelos al sedimentador.



Imagen 12. Sedimentador de colmena de alta tasa.

El lavado del sedimentador se realiza según criterio del operario de la planta llegando a los tres meses sin lavar. Primero, se vacía el agua contenida en el sedimentador conduciéndola hacia el sistema de alcantarillado. Se limpia superficialmente la colmena y las paredes son cepillas. La desinfección la realiza arrojando manualmente hipoclorito de calcio granulado hacia las superficies mojadas. Finalmente se retoma el flujo del agua y se llena el compartimiento sin haber retirado el hipoclorito agregado.

El material sedimentado en el fondo es conducido por una tubería hacia el sistema de alcantarillado. No se realiza ningún proceso al lodo acumulado.

12.2.4 Filtros

El último proceso de remoción de material particulado lo hacen los 4 filtros rápidos descendentes de la planta cuya entrada de agua se realiza por el paso inferior de las compuertas.

Los filtros son fabricados en concreto y contienen el material del lecho filtrante compuesto por grava, arena y antracita presentando pérdida del lecho filtrante. Las compuertas están fabricadas en metal y se observa oxidación y ruptura en ellas.

Estos filtros son lavados diariamente en la mañana en época de estiaje y dos veces al día en épocas de mayores lluvias. Para el lavado se utiliza agua del mismo proceso de potabilización. Se obstruye la salida del agua hacia el tanque de almacenamiento y se abren las válvulas de salidas de los filtros. Ingresando el agua procedente del sedimentador y el fondo de lodo del lecho filtrante es conducido hacia el sistema de alcantarillado.

Para el cambio del lecho filtrante se hace contratación con una empresa privada y se observa pérdida del lecho filtrante por una ruptura del fondo de uno de los filtros.

La salida del agua se realiza con una tubería de 4".



Imagen 13. Filtros descendentes.

12.2.5 Desinfección

La desinfección del agua se realiza con cloro gaseoso con una dosificación de 50 - 80 gr/h según sea el requerimiento. El cloro se mezcla con agua procedente del proceso de potabilización y se agrega a la tubería que dirige el agua hacia el taque de almacenamiento.



Imagen 14. Desinfección.

12.2.6 Almacenamiento

El tanque de almacenamiento en concreto con una capacidad de 10.000 L. En este se almacena el agua potable que es suministrada a la red de distribución.

El tanque presenta formación de musgos en el exterior; la tapa está rota, en la superficie del agua se observan materiales de gran tamaño como hojas y en el fondo del tanque se observa material particulado en floc sedimentado.



Imagen 15. Tanque de almacenamiento

12.2.7 Laboratorio

El laboratorio cuenta con los equipos y reactivos necesarios para realizar el análisis del agua cruda y potables para los siguientes parámetros:

1. ph
2. Turbiedad
3. Color
4. Cloro residual



Imagen 16. Laboratorio para muestras.

Se observa desorganización y suciedad constantemente en el laboratorio. Se presenta problemas de seguridad para la entrada y salida del cuarto pues se observa ruptura en la chapa y la llave no asegura bien.

12.2.8 Estructura y demás espacios.

Fuera de los equipos y/o espacios mencionados anteriormente, la plata cuenta con un cuarto de almacenamiento de químicos, un baño y dos cuartos que no están uso. Estos dos cuartos eran los laboratorios y almacén de la primera planta.

Se observa crecimiento de material vegetal mayor a 30 cm de altura; arboles cercanos a la cerca de delimitación cuyas hojas entran a la planta generando mayor desorden; acumulación de musgo y suciedad; el candado de la puerta de ingreso no está en buenas condiciones; el contador de la energía no se encuentra cerrado y está en malas condiciones; no hay espacio suficiente para realizar ninguna construcción factible para optimización y el camino de ingreso no hace parte del predio de la alcaldía. Además, se cuenta con una bodega externa de la planta donde se almacenan las canecas del PAC.

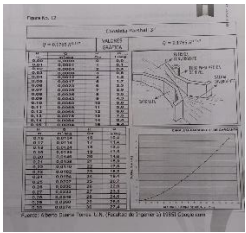
			
Contador de energía de la planta	Vista frontal de la planta	Puerta de bodega externa de almacenamiento	Baño e invasión de árboles vecinos
			
Candado de la entrada principal	Camino de entrada a la planta	Entrada planta. Identificación de la PTAP	Almacenamiento del PAC
			
Cuarto de almacenamiento interno	Interior del cuarto de almacenamiento	Bitacora de la planta	Interior laboratorio antiguo
			
Macromedidor	Uso inadecuado del Hipoclorito de calcio	Valvulas de salida del agua de lavado y agua potable hacia distribución	Informacion aforo correcto caudal en bitacora

Imagen 17. Demás espacios de la PTAP.

12.2.9 Químicos

Dentro del proceso de la floculación se usa Hidroxicloruro de Aluminio, conocido como PAC. Este químico se usa para formar el floc. Se suministra en canecas de 250 Kilos y se almacena tanto en la bodega externa a la planta de tratamiento como dentro de la planta en un espacio abierto cerca del sedimentador. La bodega externa no cuenta con medidas de manejo y control para almacenamiento y uso de químicos; ni ningún espacio de ventilación.

Para el proceso de desinfección se usa cloro gaseoso que se compra en pipetas de 68 Kilos Almacenamiento.

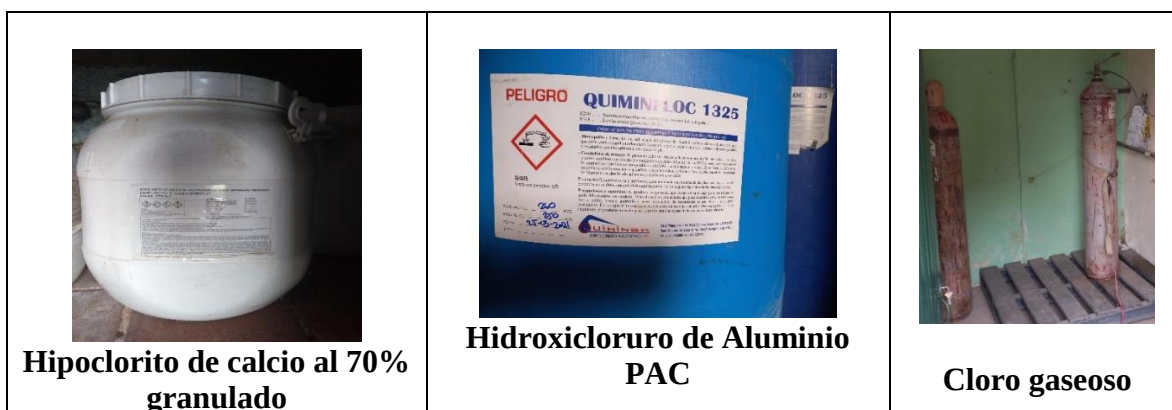


Imagen 18. Químicos empleados en la PTAP.

Para la desinfección de las diferentes áreas de la planta se usa hipoclorito de calcio al 70%. Este químico es granulado y se adquiere en canecas de 45 Kg y se almacena en una bodega de la oficina de la UMATA fuera de la PTAP y en el cuarto de almacenamiento dentro de la PTAP.

12.2.10 Otras observaciones de la planta

- ✓ La planta cuenta con planillas para: limpieza y desinfección, medición de caudal de entrada y de salida, resultados de pruebas de pH, turbiedad, color, test de jarras y cloro residual.
- ✓ El monitoreo de la calidad del agua la realiza principalmente la secretaria de salud con las pruebas mensuales para clasificar el nivel dentro del IRCA. Dentro de la planta hay equipos para medir el caudal de entrada y salida, pH, turbiedad, color y hacer test de jarras; sin embargo, se observa que las pruebas no se realizan y por tanto no se llenan las planillas.
- ✓ Respecto a la limpieza y desinfección en general, depende de la disponibilidad de los operarios debido a que no son contratados exclusivamente para el manejo de la planta y deben dividir su tiempo con más funciones dentro de las actividades diarias de la oficina de servicios públicos.
- ✓ La planta tiene una bitácora para el manejo y funcionamiento de la PTAP que contiene un manual de uso para cada una de las etapas de tratamiento y diferentes técnicas de laboratorio para la medición de las pruebas.
- ✓ Respeto a temas de seguridad, a pesar de contar con extintor, gafas, guantes y traje de protección, no están debidamente almacenados o señalados y se encuentran en mal estado.
- ✓ Se observa mayor conocimiento del manejo de la planta en uno de los operarios. No se realiza el debido proceso de capacitación para los operarios y cuando alguno de ellos sale a vacaciones no cuentan con un formato o plan de entrega para el manejo de la planta.
- ✓ El municipio cuenta con estudios previos y el terreno para la construcción de una nueva PTAP basados en la calidad del agua de la fuente de captación y los problemas técnicos, de diseño y de capacidad de la actual PTAP. Se está tramitando con la CAR las visitas técnicas para encontrar una nueva fuente de captación para el agua.

13. Análisis De Peligros y Evaluación De Los Riesgos

Peligro es definido como los agentes físicos, biológicos, químicos o radiológicos que pueden dañar la salud pública y los eventos peligrosos como aquellos eventos que le apertura a los peligros en el sistema a evaluar (Bartram J, 2009) siendo este caso las dos etapas propuestas del sistema de abastecimiento del municipio. Por otro lado, riesgo es definido como la probabilidad de que una amenaza o peligro se convierta en un desastre. (Bartram J, 2009)

Una vez realizadas las visitas y de caracterizar el sistema de abastecimiento en las dos etapas propuestas, se establecieron los eventos peligrosos y sus riesgos asociados para cada una de las actividades y procesos de las etapas propuestas revisando todos los puntos en los que el proceso podría fallar incluyendo los peligros a la estructura y los operadores. Se tomaron en cuenta aquellos eventos con antecedentes y la gravedad de los mismos.

Probabilidad o frecuencia	Gravedad de la consecuencia				
	Efecto nulo o Insignificante Clasificación: 1	Efecto en el cumplimiento leve Clasificación: 2	Efecto organoléptico moderado - Clasificación: 3	Efecto reglamentario grave - Clasificación: 4	Efecto catastrófico en la salud pública - Clasificación: 5
Casi siempre / Una vez al día Clasificación: 5	5	10	15	20	25
Probable / Una vez por semana Clasificación: 4	4	8	12	16	20
Moderada / Una vez al mes Clasificación: 3	3	6	9	12	15
Improbable / Una vez al año Clasificación: 2	2	4	6	8	10
Excepcional / Una vez cada 5 años Clasificación: 1	1	2	3	4	5
Puntuación de riesgo	<6		6 – 9		10 - 15
Clasificación de riesgo	Bajo		Medio		Muy Alto

Tabla 4. Método semicuantitativo basado en la matriz de riesgos.

Fuente: (Bartram J, 2009)

13.1 Bocatoma

Análisis y evaluación de riesgos en sistema de captación: Bocatoma							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Ausencia de la rejilla principal	Biológico	Acumulación de hojas que producen taponamiento en tuberías	5	2	10	Alto	Por la ausencia de la rejilla, las hojas y solidos más grandes ingresan con más facilidad al sistema.
Ausencia de cerca de delimitación	Biológico	Acceso de personas y animales que contaminen el agua con sustancias orgánicas y químicas.	5	3	15	Alto	Por la usencia de la cerca de delimitación, los animales y personas pueden ingresar y contaminar el agua captada con sustancias ajenas a la fuente de captación.
Desgaste de la estructura por antigüedad	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación en el agua captada	5	3	15	Alto	Por el contacto y antigüedad de la estructura
Falta de mantenimiento	Económico	Ruptura de las tuberías	1	2	2	Bajo	Por la antigüedad de las tuberías y la presión del agua.

a toda la estructura		Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies y tuberías de las estructuras	3	3	9	Medio	Observación del fenómeno.
Ausencia de tapa en el tanque	Biológico	Ingreso de contaminantes externos al agua cruda y material vegetal de gran tamaño	5	3	15	Alto	Se observa la falta de la tapa y la acumulación de material en la superficie y dentro del agua.
Variaciones estaciones	Natural	Aumento en la cantidad de solidos de gran tamaño.	4	3	12	Alto	Por el aumento de las lluvias, la fuente de captación arrastra y lleva con ello mayor número de contaminantes y solidos de gran tamaño y suspendidos

Tabla 5. Análisis y evaluación de riesgos en la bocatoma.

13.2 Trampa De Hojas

Análisis y evaluación de riesgos en sistema de captación: Trampa de Hojas							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Falta de mantenimiento de las tuberías	Económico	Obstrucción de la tubería	3	2	6	Medio	Por acumulación de lodos, hojas y algas.
Desgaste de la estructura	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación en el agua captada	5	3	15	Alto	Por el contacto y antigüedad de la estructura
Acumulación de las hojas	Biológico	Obstrucción del paso del agua	5	2	10	Alto	Al no remover las hojas manual o mecánicamente estas se acumulan y obstruye el paso del agua.

Tabla 6. Análisis y evaluación de riesgos en la trampa de hojas.

13.3 Desarenador

Análisis y evaluación de riesgos en sistema de captación: Desarenador							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Ruptura de la válvula de la compuerta de salida.	Biológico	Acumulación de lodos en el fondo de la estructura.	3	3	9	Medio	Sin la válvula que abre la compuerta de salida (con mal diseño pues es muy pequeña) se debe realizar el retiro de los lodos manualmente.
Diseño incorrecto de la compuerta de salida	Laboral	Remoción manual de los lodos acumulados	3	3	9	Medio	Desarenador de 2.5 metros que exige el uso de gran esfuerzo físico.
Tratamiento inexistente para lodos	Económico	Sanciones económicas por contaminación al recurso hídrico.	3	4	12	Alto	Los lodos acumulados son vertidos aguas abajo de la captación del agua cruda sin tratamiento cada que se lava la estructura
Desgaste de la estructura	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	5	3	15	Alto	Por el desgaste del material de construcción, partículas del cemento reforzado ingresa al agua
	Económico	Perdida del agua captada por filtración de las paredes.	5	1	5	Bajo	Se observa ruptura de la estructura

Tabla 7. Análisis y evaluación de riesgos en el desarenador.

13.4 Tanque De Recolección

Análisis y evaluación de riesgos en sistema de captación: Tanque de Recolección							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Falta de un sistema que desocupe el taque	Biológico	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies y tuberías de las estructuras	3	3	9	Medio	Sin protocolo de limpieza ni forma de vaciar l tanque pues permitiría la entrada de aire a la tubería de conducción que generaría ruptura o taponamientos posteriores.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Biológico	Contaminación por óxido de hierro	5	3	15	Alto	La sustancia puede proceder de a oxidación de la rejilla con la que se cubre el tanque
	Biológico	Obstrucción de la tubería de conducción.	3	3	9	Medio	La falta de limpieza y desinfección de la estructura acumula lodos que al abrir el baipás acceden a la tubería de conducción

Tabla 8. Análisis y evaluación de riesgos en el tanque de recolección.

13.5 Tanque De Distribución

Análisis y evaluación de riesgos en sistema de captación: Tanque de Distribución							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Desgaste de la estructura	Económico	Perdida del agua captada por filtración de las paredes.	5	1	5	Bajo	Se observa la filtración por ruptura en la estructura.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Biológico	Obstrucción de la tubería de conducción.	3	2	6	Medio	La falta de limpieza y desinfección de la estructura acumula lodos que al abrir el baipás acceden a la tubería de conducción
	Biológico	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies y tuberías de las estructuras	3	3	9	Medio	Por falta del protocolo de limpieza y desinfección.
Cambios en la presión	Económico	Fragmentación de las tuberías	1	2	2	Bajo	Los cambios de presión rompen las tuberías
Realizar malas conexiones de las tuberías	Económico	Perdidas del agua captada por fugas	2	1	2	Bajo	

Tabla 9. Análisis y evaluación de riesgos en el tanque de distribución.

13.6 Tanque Del Sobrante

Análisis y evaluación de riesgos en sistema de captación: Tanque del sobrante							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Uso del agua captada para uso del operador de bocatoma	Económico	Incumplimiento de las normas relacionadas con el permiso de concesión de agua	5	4	20	Muy Alto	Parte de los lineamientos del permiso exigen el no uso del agua para fines distintos al sistema de abastecimiento.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Económico	Perdida del agua captada.	5	1	5	Bajo	Ruptura de la estructura, donde se genera filtración y se desperdicia el agua captada.

Tabla 10. Análisis y evaluación de riesgos en el tanque del sobrante.

13.7 Canaleta Parshall

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Canaleta Parshall							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Biológico	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies de la estructura	3	3	9	Medio	Falta de protocolo de limpieza y desinfección que genera la formación por no realizar ningún proceso de limpieza y desinfección periódico.
Realizar mal las pruebas del aforo	Biológico	Errores en la formulación de la dosificación	5	3	15	Alto	Desconocimiento de caudal de entada. No realizan las mediciones del caudal por falta de la regleta en la canaleta. Además, cuando esta la regleta, realizan mal la medición.
	Biológico	Tiempos de retención del agua en los diferentes procesos, llevando a un mal tratamiento	5	4	20	Muy Alto	Si las pruebas de retención y dosificación se realizaran correctamente la medición del aforo es crucial para el tratamiento del agua.
Falta de pruebas de test de jarras	Biológico	Incorrecta dosificación del PAC	5	3	15	Alto	No usan curva de dosificación y agregan el PAC al ojo

		Incumplimiento de la norma en términos de cloro residual	2	4	8	Medio	Evidencia del incumplimiento en reportes de calidad de agua de la secretaria de salud
Incorrecta adición del coagulante en el punto de mezcla decidido.	Biológico	Ineficiente dilución del PAC	5	3	15	Alto	Si el punto de mezcla no es el correcto pueden existir pérdidas o aglomeraciones del PAC
Incorrecto almacenamiento del PAC	Económico	Perdidas económicas por derrames accidentales de la sustancia química.	5	1	5	Bajo	Si la sustancia es mal almacenada (tal y como se observa) puede derramarse causando contaminación y pérdidas económicas innecesarias

Tabla 11. Análisis y evaluación de riesgos en la canaleta parshall.

13.8 Floculación

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Floculación							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	5	3	15	Alto	Por degradación del material de construcción algunas partículas pueden desprenderse y contaminar el agua tratada en las secciones donde se roto la geomenbrana.
Tratamiento inexistente para lodos	Económico	Sanciones económicas por contaminación al recurso hídrico.	3	4	12	Alto	Los lodos producidos no tienen ningún tratamiento previo antes de ser arrojadas al sistema de alcantarillado y posteriormente al cuerpo de agua más cercano
Diseño incorrecto de la estructura	Biológico	Contaminación proveniente de tuberías no usadas y antiguas	5	1	5	Bajo	El primer diseño del floculador tenía unas tuberías que rompían el floc y no generaba una mezcla lenta, razón por la cual fue optimizado pero las tuberías fueron derretidas y quedaron en contacto con el paso del agua.
Diseño incorrecto de la estructura	Biológico	Rompimiento del floc por alta velocidad del agua en la salida de la estructura hacia el sedimentador	5	3	15	Alto	La tubería de salida en el nuevo diseño tiene un diámetro muy pequeño y aumenta la velocidad del agua lo que genera el rompimiento del floc. Además, el sedimentador tiene muy poca capacidad y no alcanza a sedimentar las partículas

Tabla 12. Análisis y evaluación de riesgos en la floculación.

13.9 Sedimentación

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Sedimentación							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Tratamiento de un caudal mayor al caudal de diseño de la estructura	Biológico	Tratamiento deficiente de agua. Mala calidad de agua	5	3	15	Alto	Combinando la velocidad de entrada del agua proveniente de floculador y la capacidad menor de tratamiento del sedimentador; el floc se rompe y el tiempo de retención no es suficiente para sedimentar eficazmente las partículas del floc.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	5	3	15	Alto	Las paredes se ven desgastadas y el panel de PVC está en mal estado
Caída de hojas por la presencia de árboles pegados a la cerca de delimitación	Biológico	Contaminación del agua en tratamiento por agentes externos	5	3	15	Alto	Las hojas que caigan de los árboles alteran el proceso de tratamiento y podrías contener alguna sustancia o agente microbiano no contemplado

Tabla 13. Análisis y evaluación de riesgos en la sedimentación.

13.10 Filtración

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Filtros							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Económico	Perdida del lecho filtrante	1	2	2	Bajo	Por degradación del fondo del filtro, se pierde un porcentaje menor del lecho filtrante
	Económico	Filtración del agua tratada	5	2	10	Alto	Por la degradación de las paredes hay filtraciones del agua tratada hacia zonas no conducida ni óptimas.
	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	5	3	15	Alto	Parte del material de construcción está pasando al agua en tratamiento
Caída de hojas por la presencia de árboles pegados a la cerca de delimitación	Biológico	Contaminación del agua en tratamiento por agentes externos	5	3	15	Alto	Las hojas que caigan de los árboles alteran el proceso de tratamiento y podrían contener alguna sustancia o agente microbiano no contemplado

Tabla 14. Análisis y evaluación de riesgos en la filtración.

13.11 Desinfección

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Desinfección							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Desconocimiento de procedimientos	Biológico	Dosificación incorrecta del químico	5	3	15	Alto	No se realiza la Curva de cloro y agregan el cloro al ojo.
	Económico	Incumplimiento de la norma en términos de cloro residual.	2	4	8	Medio	Por mal manejo en la dosificación pueden aumentar o disminuir los niveles de cloro residual y generar incumplimiento de la norma
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Biológico	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	5	3	15	Alto	Tuberías sin cambio y mal estado. Degradación y contaminación de óxidos.
	Laboral Químico	Intoxicación por cloro gaseoso	1	5	5	Bajo	Posibles fugas en el sistema de dosificación (tuberías, válvulas o tanque)

Tabla 15. Análisis y evaluación de riesgos en la desinfección.

13.12 Almacenamiento

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Almacenamiento							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Ausencia de monitoreo del nivel de agua	Biológico	Desabastecimiento del sistema	5	2	10	Alto	Si no se mide correctamente el nivel de agua del tanque, el sistema de abastecimiento podría fallar y no cumplir con la necesidad del municipio.
Ausencia de un protocolo de limpieza y desinfección	Biológico	Contaminación del agua tratada por formación de material vegetal y colonias microbianas.	3	3	9	Medio	Se observan algas en las paredes del tanque
Falta de mantenimiento a la estructura	Biológico	Formación de material vegetal en el exterior de la estructura	3	3	9	Medio	Se observan musgos en el exterior del tanque
Ausencia de un protocolo de manejo de lodos.	Económico	Multas a la entidad pública por contaminación del recurso hídrico	3	4	12	Alto	Los lodos resultantes en el fondo del tanque son arrojados al sistema de alcantarillado y posteriormente al cuerpo de agua más cercano sin tratamiento alguno.

Tabla 16. Análisis y evaluación de riesgos en el almacenamiento.

13.13 Laboratorio

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Laboratorio							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Combinación de líquidos procedentes de las pruebas	Químico	Contaminación del cuerpo hídrico receptor del vertimiento.	5	2	10	Alto	Con las pruebas que se realizan a diario se combinan y vierten todos los productos de las pruebas el sistema de alcantarillado que posteriormente llega al cuerpo hídrico receptor más cercano.
Falta de la separación de residuos solidos	Económico	Incumplimiento de las normas técnicas aplicadas a los sectores de interés público respecto a la separación de residuos generados en sus actividades.	4	1	4	Bajo	Todos los residuos generados dentro y fuera del laboratorio son depositados en el mismo contenedor.
Falta del suministro de reactivos necesarios para las pruebas.	Biológico	No realizar las pruebas necesarias para verificar la calidad del agua cruda y tratada.	2	3	6	Medio	Los operarios no piden los reactivos con tiempo y se quedan sin reactivos para realizar las pruebas.

Tabla 17. Análisis y evaluación de riesgos en el laboratorio.

13.15 Operarios

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Operarios							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Manejo de sustancias químicas sin protección	Químico Laboral	Quemaduras o irritaciones internas o externas (piel, ojos, pulmones etc.)	3	4	12	Alto	No usan tapabocas, gafas, guantes, overol, ni ningún tipo de elementos de protección
Uso de fuerza extrema para protocolo de limpieza actual en desarenador	Laboral	Lesiones corporales, hernias, dolor de espalda	3	4	12	Alto	Por mal diseño de la compuerta de salida de locos deben sacar los lodos con palas y caneca desde 2.5 metros de profundidad
Desconocimiento de la operación de la PTAP	Biológico Económico	Entrega de agua potable de muy baja calidad.	4	3	12	Alto	Al tener desconocimiento de los correctos procedimientos la planta no trabajara como debería.

Tabla 18. Análisis y evaluación de riesgos con los operarios.

13.16 Otras Secciones De La PTAP

Análisis y evaluación de riesgos en planta de tratamiento: Otras Disposiciones							
Peligro		Riesgo Asociado	Probabilidad	Gravedad	Puntuación	Clasificación	Fundamento
Evento	Tipo						
Cortes eléctricos Incendios Vandalismo Inundaciones	Económico	Daños a la infraestructura e interrupción del tratamiento del agua	1	4	4	Bajo	Peligros y riesgos de baja incidencia pero probables
Uso de instalaciones inadecuadas para el almacenamiento externo	Laboral	Intoxicaciones al personal	5	1	5	Bajo	Al no usar elementos de protección en un lugar de almacenamiento cerrado pueden generarse intoxicaciones al personal
	Económico	Perdida de los químicos por derrame o escape	5	1	5	Bajo	Instalaciones que no cumplen con las condiciones mínimas causan riesgos como estos
No realizan control de plagas	Laboral Biológico	Contagio de enfermedades y contaminación del agua	2	5	10	Alto	Las plagas transmiten enfermedades y contaminan el agua si ingresan a la estructura

Falta de mantenimiento a cerca de delimitación	Económico	Daños a las infraestructura por aire y lluvia	1	2	2	Bajo	La estructura en general de la planta es antigua por lo que se presentan daños normas del tiempo
	Biológico	Contaminación del agua tratada por las hojas provenientes de los arboles pegados a la cerca de delimitación	5	4	15	Alto	Los arboles cercanos son muy altos y están muy cerca de los procesos de tratamientos lo que causa contaminación del agua en tratamiento en todos los procesos abiertos

Tabla 19. Análisis y evaluación de riesgos en otras secciones de la PTAP.

14 Medidas De Control Para Los Riesgos Encontrados

Con los peligros y riesgos encontrados en las etapas propuestas el sistema de abastecimiento se realizó un plan con medidas de control que disminuyen o eviten cada uno de los riesgos.

14.1 Monitoreo Para La Bocatoma

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Ausencia de La rejilla principal	Acumulación de hojas que producen taponamiento en tuberías	Alto	Vigilancia y remoción diaria de las hojas que ingresen a la bocatoma o se acumulen en el muro de contención.	La rejilla principal del sistema se encuentra en su sitio y está en buenas condiciones.
Ausencia de cerca de delimitación	Acceso de personas y animales que contaminen el agua con sustancias orgánicas y químicas.	Alto	Capacitaciones a la comunidad cercana a la red de captación en temas de protección del agua donde se mencione la importancia de la no contaminación del recurso hídrico por actividades agrícolas y ganaderas, más diferentes opciones para minimizar dichas contaminaciones. Estas capacitaciones deben resaltar la importancia de no ingresar a las zonas cercanas o dentro del sistema de captación.	No ingresa ninguna persona o animal al sistema de captación.
Desgaste de la estructura por antigüedad	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación en el agua captada	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomembrana que evite el contacto directo	La estructura funciona a cabalidad y está dentro su vida útil.

			entre el agua captada y las superficies de la estructura.	
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Ruptura de las tuberías	Bajo	Debido a que no es un riesgo de alto nivel por su nivel de ocurrencia, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de las tuberías y respectivas uniones.	Las tuberías se encuentran dentro de su vida útil y cumplen su función a cabalidad.
	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies y tuberías de las estructuras	Medio	Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es: Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.	No se observa acumulación de material vegetal en las superficies.
Ausencia de tapa en el tanque	Ingreso de contaminantes externos al agua cruda y material vegetal de gran tamaño	Alto	Cubrir la abertura del tanque con una tapa provisional. Limpiar diariamente los sólidos de gran tamaño que se depositen en la superficie. Remover manualmente los sólidos que ingresen en el tanque.	La tapa del tanque de la bocatoma está en su sitio y está en óptimas condiciones.
Variaciones estaciones	Aumento en la cantidad de solidos de gran tamaño en el agua captada.	Alto	Revisión y vigilancia al cambio estacional para conocer los meses más críticos de la calidad del agua cruda. Hacer remisión de dicha información a la PTAP. Cerrar el ingreso del agua al sistema de captación en los casos que la calidad del agua disminuya considerablemente.	-

Tabla 20. Medidas de control para la bocatoma.

14.2 Monitoreo Para Trampa De Hojas

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Falta de mantenimiento de las tuberías	Obstrucción de la tubería	Medio	Cuatro (4) Mantenimientos preventivos en el año a la tubería que ingresa el agua a la trampa de hojas desde la bocatoma. Remoción de los sólidos de gran tamaño que ingresen al sistema por la bocatoma para evitar el taponamiento de las tuberías. Instalación de una malla de acero inoxidable o plástico PVC en la entrada de la tubería.	Las tuberías funcionan a cabalidad y se encuentran dentro de su vida útil.
Desgaste de la estructura	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación en el agua captada	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomembrana que evite el contacto directo entre el agua captada y las superficies de la estructura.	La estructura se encuentra dentro de su vida útil funcionando a cabalidad.
Acumulación de las hojas	Obstrucción del paso del agua	Alto	Vigilancia y remoción diaria de las hojas que ingresen a la bocatoma o se acumulen en el muro de contención. Instalación de una malla de acero inoxidable o plástico PVC en la entrada de la tubería.	No se observa acumulación de la hoja en el sistema.

Tabla 21. Medidas de control para la trapa de hojas.

14.3 Monitoreo Para Desarenador

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Ruptura de la válvula de la compuerta de salida.	Acumulación de lodos en el fondo de la estructura.	Medio	Corregir el daño de la válvula para permitir la apertura de compuerta. Una vez corregida, realizar mantenimiento preventivo cada 6 meses.	La válvula de la compuerta se encuentra en óptimas condiciones
Diseño incorrecto de la compuerta de salida	Remoción manual de los lodos acumulados	Medio	Rediseñar el sistema de salida de los lodos aumentando tanto el tamaño de la compuerta como del ducto de salida.	La compuerta funciona a cabalidad y cumple con su función principal en el lavado de los lodos.
Tratamiento inexistente para lodos	Sanciones económicas por contaminación al recurso hídrico.	Alto	Secar temporalmente los lodos dentro el espacio sobrante del sistema de captación en lonas que permitan escurrir y secar el material. Posteriormente contratar una empresa que recoja y trate el lodo seco.	Se realiza el tratamiento y manejo optimo y completo de los lodos.
Desgaste de la estructura	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomenbrana que evite el contacto directo entre el agua captada y las superficies de la estructura.	La escritura funciona a cabalidad y está dentro de su vida útil.
	Perdida del agua captada por filtración de las paredes.	Bajo		No se observa perdida del agua.

Tabla 22. Medidas de control para el desarenador.

14.4 Monitoreo Para Tanque De Recolección

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Falta de un sistema que desocupe el taque	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies y tuberías de las estructuras	Medio	Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es: Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.	Presencia de un sistema de lavado para todo el sistema de captación. No se observa acumulación de material vegetal en el sistema.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Contaminación por óxido de hierro	Alto	Mantenimiento periódico de la reja de metal que tiene contacto con el agua captada.	La rejilla del tanque se encuentra en óptimas condiciones y no presenta desgaste por oxido.
	Obstrucción de la tubería de conducción.	Medio	Instalación de una malla de acero inoxidable o plástico PVC en la entrada de la tubería. Remoción de solidos que ingresen a la estructura. Mantenimiento de la estructura en general en épocas de estiaje para asegurar la estructura en épocas de mayores lluvias, teniendo en cuenta que la mayor incidencia del riesgo se da en épocas de mayores lluvias.	La tubería de condición trabaja a cabalidad, no presenta obstrucciones y está dentro de su vida útil.

Tabla 23. Medidas de control el tanque de recolección.

14.5 Monitoreo Para Taque De Distribución

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	
Desgaste de la estructura	Perdida del agua captada por filtración de las paredes.	Bajo	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomenbrana que evite el contacto directo entre el agua captada y las superficies de la estructura.	No se observa perdida del agua captada. La estructura trabaja a cabalidad y está dentro de su vida útil.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Obstrucción de la tubería de conducción.	Medio	Instalación de una malla de acero inoxidable o plástico PVC en la entrada de la tubería. Remoción de solidos que ingresen a la estructura. Mantenimiento de la estructura en general en épocas de estiaje para asegurar la estructura en épocas de mayores lluvias, teniendo en cuenta que la mayor incidencia del riesgo se da en épocas de mayores lluvias.	La tubería trabaja a cabalidad y se encuentra dentro de su vida útil. No se presentan obstrucciones en la tubería o el sistema en general.
	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies y tuberías de las estructuras	Medio	Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es:	No se observa acumulación de material vegetal. Existe un protocolo de limpieza y desinfección.

			Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.	
Cambios en la presión de la tubería	Ruptura de las tuberías	Bajo	Verificación y mantenimiento de las uniones de las tuberías y del cubrimiento de las tuberías. Registro de la presión en la tubería. Registro del caudal captado. Control del caudal conducido.	No hay casos de rupturas de la tubería.
Realizar malas conexiones de las tuberías	Perdidas del agua captada por fugas	Bajo	Realizar mantenimiento preventivo donde se verifique el estado de las uniones y la tubería en general donde sea posible.	Las conexiones de las tuberías están en óptimas condiciones; sin “remiendos” ni filtraciones.

Tabla 24. Medidas de control el tanque de distribución.

14.6 Monitoreo Para Taque Del Sobrante

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Uso del agua captada para uso del operador de bocatoma	Incumplimiento de las normas relacionadas con el permiso de concesión de agua	Muy Alto	Sellar la tubería que permite el uso del agua captada para fines diferentes al suministro del sistema de abastecimiento del municipio.	Uso del agua exclusivo para su tratamiento y suministro del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Perdida del agua captada por filtración en la infraestructura.	Bajo	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura.	No se observa filtración o pérdida del agua.

Tabla 25. Medidas de control para el tanque del sobrante.

14.7 Monitoreo Para Canaleta Parshall

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Formación de material vegetal y colonias microbianas en las diferentes superficies de la estructura	Medio	Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es: Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.	No se observa acumulación de material vegetal en las superficies. Existencia de un protocolo de limpieza y desinfección.
Realizar mal las pruebas del aforo	Errores en la formulación de la dosificación	Alto	Hacer uso de la bitácora de la PTAP donde se encuentra el procedimiento correcto para realizar la dosificación. Capacitar a los operarios encargados de la dosificación. Realizar la curva de dosificación.	Se realiza el correcto aforo del caudal usando las herramientas de la regleta y las formulas descritas en la bitácora de la PTAP. Existe un protocolo certificado para la dosificación de los químicos.
	Tiempos de retención del agua insuficientes en los diferentes	Muy Alto	Corregir la toma de aforo del caudal haciendo uso de la bitácora donde se encuentra la fórmula	El tiempo de retención del agua en tratamiento es

	procesos, llevando a un mal tratamiento		para hallar el caudal según el dato arrojado por la regleta de la canaleta parshall. Una vez corregido el aforo del caudal restringir el caudal al volumen del caudal del diseño del sedimentador puesto que es la estructura con menor caudal de diseño (7 L/s).	suficiente en el equipo.
Falta de pruebas de test de jarras	Incorrecta dosificación del PAC	Alto	Hacer uso de la bitácora de la PTAP donde se encuentra el procedimiento correcto para realizar la prueba de jarras. Capacitar a los operarios encargados de la dosificación para el correcto procedimiento de las pruebas del laboratorio. Mantener equipado el laboratorio con todos los insumos necesarios para realizar las pruebas.	Se realizan las pruebas diarias o necesarias del test de jarras según cambios de la turbiedad en el laboratorio.
	Incumplimiento de la norma en términos de cloro residual	Medio	Realizar el correcto procedimiento de: ✓ El aforo del caudal ✓ El paso del caudal de diseño ✓ La prueba de jarras ✓ La dosificación del PAC	Cumplimiento de la norma 2115 sobre máximos permisibles para agua de consumo humano en términos de cloro residual.
Incorrecta adición del coagulante en el punto de mezcla decidido.	Ineficiente dilución del PAC	Alto	Realizar pruebas para conocer el punto de mezcla rápida. Teniendo en cuenta la optimización del proceso y las	Adición del coagulante en el punto óptimo de mezcla rápida.

			observaciones dejadas por la secretaria de salud y la empresa de servicios públicos de Cundinamarca; puesto que recomiendan cambiar el punto de mezcla al inicio del floculador donde cae el agua de la bocatoma.	Existen protocolos para la adición del coagulante.
Incorrecto almacenamiento del PAC	Perdidas económicas por derrames accidentales de la sustancia química.	Bajo	Adecuar las bodegas de almacenamiento de los químicos. Usar alguno de los espacios vacíos de la planta anterior como bodega de almacenamiento teniendo en cuenta que están siendo almacenados al aire libre debajo de las escaleras de la planta.	Se realiza el correcto almacenamiento de los químicos en lugares con las condiciones mínimas para dicha acción.

Tabla 26. Medidas de control para la canaleta parshall.

14.8 Monitoreo Para La Floculación

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomenbrana que evite el contacto directo entre el agua captada y las superficies de la estructura.	La estructura funciona a cabalidad y está dentro su vida útil.
Tratamiento inexistente para lodos	Sanciones económicas por contaminación al recurso hídrico.	Alto	Establecer un sistema de tratamiento y manejo de los lodos producidos en todas las etapas del proceso de tratamiento.	Se realiza el tratamiento y manejo optimo y completo de los lodos.
Diseño incorrecto de la estructura	Contaminación proveniente de tuberías no usadas de las estructuras antiguas	Bajo	Eliminación de las tuberías de la planta anterior. Sellar las tuberías de forma adecuada puesto que se quemaron o derritieron y aunque pueden tener fugas del agua que permitan la pérdida del agua en tratamiento o el ingreso de algún agente contaminante externo.	No existen estructuras inadecuadas que promuevan la contaminación del agua.
Diseño incorrecto de la estructura	Rompimiento del floc por alta velocidad del agua en la salida de la estructura hacia el sedimentador	Alto	Cambio del tubo de salida por una tubería de mayor diámetro que disminuya la velocidad del agua en tratamiento.	El floc se forma de forma correcta y se mantiene durante el proceso de la floculación y sedimentación.

Tabla 27. Medidas de control para la floculación.

14.9 Monitoreo Para La Sedimentación

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Tratamiento de un caudal mayor al caudal de diseño de la estructura	Tratamiento deficiente de agua. Mala calidad de agua	Alto	Corregir el aforo del caudal y el paso del caudal al sistema de tratamiento al caudal de diseño del sedimentador puesto que es el proceso con menor caudal de diseño siendo este 7 L/s. En caso de no ser suficiente la cantidad de agua tratada, se recomienda probar un cambio de coagulante a un sistema combinado que optimice el proceso de floculación y le disminuya el peso a l proceso de la sedimentación. También hay tener en cuenta que una vez corregidas las dosificaciones, estas acciones no sean necesarias si los valores de la turbiedad no superan el establecido por la resolución 2115 del 07.	Se realiza un correcto aforo del caudal de entrada. Se trata el caudal para el cual fue diseñada la planta incluso en su máxima capacidad. La calidad del agua tratada es óptima y cumple con todos los lineamientos de las normas.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Impermeabilizar las paredes y el fondo.	La estructura funciona a cabalidad y está dentro su vida útil.
Caída de hojas por la presencia de árboles pegados a la cerca de delimitación	Contaminación del agua en tratamiento por agentes externos	Alto	Corte de los arboles cercanos a la cerca de delimitación pidiendo los respectivos permisos ante la CAR como autoridad ambiental.	No se observan hojas en las superficies de los equipos de la PTAP.

Tabla 28. Medidas de control para la sedimentación.

14.10 Monitoreo Para La Filtración

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Perdida del lecho filtrante	Bajo	Optimización y remodelación de los filtros.	No se observa perdida del lecho filtrante.
	Filtración del agua tratada	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura.	No se observa filtración del agua.
	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	Alto		La estructura funciona a cabalidad y está dentro su vida útil.
Caída de hojas por la presencia de árboles pegados a la cerca de delimitación	Contaminación del agua en tratamiento por agentes externos	Alto	Corte de los arboles cercanos a la cerca de delimitación pidiendo los respectivos permisos ante la CAR como autoridad ambiental.	No se observan hojas en las superficies de los equipos de la PTAP.

Tabla 29.Medidas de control para la filtración.

14.11 Monitoreo Para La Desinfección

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Desconocimiento de procedimientos	Dosificación incorrecta del químico	Alto	Hacer uso de la bitácora de la PTAP donde se encuentra el procedimiento correcto para realizar la dosificación. Realizar la curva de cloro. Realizar la curva de cloro residual. Capacitar a los operarios encargados de la dosificación.	Correcta dosificación del químico en cuestión. Cumplimiento de la normativa en términos del aspecto a evaluar.
	Incumplimiento de la norma en términos de cloro residual.	Medio	Realizar correctamente los procedimientos mencionados en la dosificación puesto que este riesgo se desglosa de la mala dosificación.	Cumplimiento de la norma en términos del cloro residual.
Falta de mantenimiento a toda la estructura	Aumento de sustancias procedentes del material de fabricación	Alto	Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura.	La estructura funciona a cabalidad y está dentro su vida útil.
	Intoxicación por cloro gaseoso	Bajo	Adecuación del cuarto de desinfección agregando ventilación. Manejo de elementos de protección.	Cuarto de cloración con todas las condiciones de almacenamiento y control para el manejo del cloro.

Tabla 30. Medidas de control para la desinfección.

14.12 Monitoreo Para El Almacenamiento

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control	Limite critico
Ausencia de monitoreo del nivel de agua	Desabastecimiento del sistema	Alto	Insertar una regleta que permita revisar el nivel del agua ya sea fija dentro del tanque o removible que salga y entre del tanque. Con el segundo caso, se debe tener un protocolo de limpieza y desinfección para la regleta para evitar contaminación del agua tratada. Llevar una planilla con el registro de la toma del nivel del agua	Revisión diaria del nivel del agua según protocolo establecido por la bitácora de la PTAP. Registro en planilla del nivel del agua del tanque de almacenamiento.
Ausencia de un protocolo de limpieza y desinfección	Contaminación del agua tratada por formación de material vegetal y colonias microbianas.	Medio	Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es:	Existencia del protocolo de limpieza y desinfección. No se observa acumulación de material vegetal.
Falta de mantenimiento a la estructura	Formación de material vegetal en el exterior de la estructura	Medio	Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.	No se observa acumulación de material vegetal en el sistema.
Ausencia de un protocolo de manejo de lodos.	Multas a la entidad pública por contaminación del recurso hídrico	Alto	Establecer un sistema de tratamiento y manejo de los lodos producidos en todas las etapas del proceso de tratamiento.	Existencia del tratamiento y manejo de lodos para todo el sistema.

Tabla 31. Medidas de control para el almacenamiento.

14.13 Monitoreo Para El Laboratorio

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control
Combinación de líquidos procedentes de las pruebas	Contaminación del cuerpo hídrico receptor del vertimiento.	Alto	Separación de los líquidos procedentes de las pruebas según tipo y fuente de cada uno.
Falta de la separación de residuos solidos	Incumplimiento de las normas técnicas aplicadas a los sectores de interés público respecto a la separación de residuos generados en sus actividades.	Bajo	Separación de los residuos sólidos generados según tipo del residuo. Separar en diferentes contenedores debidamente diferenciados y señalados.
Falta del suministro de reactivos necesarios para las pruebas.	No realizar las pruebas necesarias para verificar la calidad del agua cruda y tratada.	Medio	Llevar un control del stock de reactivos. Pedir reactivos cuando estos lleguen al 20% del stock mínimo en laboratorio.

Tabla 32. Medidas de control para el laboratorio.

14.14 Monitoreo Para Los Operarios

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control
Manejo de sustancias químicas sin protección	Quemaduras o irritaciones internas o externas (piel, ojos, pulmones etc.)	Alto	Compra y uso de elementos de protección según sea el caso como: ✓ Gafas ✓ Casco ✓ Botas ✓ Guantes de látex (impermeables) ✓ Overol ✓ Mascarilla de filtración (cuarto cloro)
Uso de fuerza extrema para protocolo de limpieza actual en desarenador	Lesiones corporales, hernias, dolor de espalda	Alto	Implementar un sistema mecánico con cuerdas, una polea y baldes que exijan menor fuerza. Tener en cuenta que si el sistema de salida y tratamiento de lodos es puesto en marcha este riesgo no tendría tanta incidencia.

Desconocimiento de la operación de la PTAP	Entrega de agua potable de muy baja calidad.	Alto	Capacitaciones continuas a los operadores. Mantener un operador en todo momento en la planta. Apoyarse en documentos técnicos como la bitácora de la PTAP.
--	--	------	--

Tabla 33. Medidas de control para los operarios.

14.15 Monitoreo Para Otras Secciones De La PTAP

Evento peligroso	Riesgo asociado	Nivel del riesgo	Medida de control
Cortes eléctricos Incendios Vandalismo	Daños a la infraestructura e interrupción del tratamiento del agua	Bajo	Mantenimientos preventivos en todas las redes eléctricas. Elementos de seguridad contra incendios y de salud ocupacional: ✓ Extintores ✓ Camilla Habilitación de las cámaras de seguridad
No realizan control de plagas	Contagio de enfermedades y contaminación del agua	Alto	Contratar una empresa certificada que se encargue del control de plagas.
Falta de mantenimiento a cerca de delimitación	Daños a las infraestructura por aire y lluvia	Bajo	Mantenimiento de las infraestructura y arreglos según se vayan dando la necesidad.
	Contaminación del agua tratada por las hojas provenientes de los arboles pegados a la cerca de delimitación	Alto	Corte de los arboles cercanos a la cerca de delimitación pidiendo los respectivos permisos ante la CAR como autoridad ambiental.

Tabla 34. Medidas de control otras secciones de la planta.

15 Plan De Monitoreo De Las Medidas De Control

Según la guía para la formulación, ejecución, y evaluación de los PSA entregado por la OMS, el monitoreo de las medidas de control hace parte del monitoreo operativo (OMS, 2005); y este último se realiza en la etapa de la ejecución del PSA diariamente en la PTAP.

Por las razones mencionadas anteriormente no se formulará el plan de monitoreo de las medidas de control; sin embargo, según la guía para la formulación, ejecución, y evaluación de los PSA, se deja plasmado lo que dicho plan de monitoreo debería tener en cuenta:

- ✓ ¿Qué se va a monitorear?
- ✓ ¿Cómo va a monitorearse?
- ✓ El momento y la frecuencia del monitoreo
- ✓ ¿Dónde se va a realizar el monitoreo?
- ✓ ¿Quién va a realizar el monitoreo?
- ✓ ¿Quién realizara el análisis de los resultados?
- ✓ ¿Quién recibirá los resultados y deberá tomar medidas?

Además, según los resultados obtenidos del monitoreo operativo se deberá proponer una medida correctora para cada medida de control que no cumpla con la eliminación del riesgo (OMS, 2005).

16 Plan De Mejora y/o Modernización

Teniendo los riesgos identificados y evaluados con sus respectivas medidas de control, se hace notar que no todos los riesgos se eliminan, por otro lado, su nivel disminuye; lo que se debe a que son medidas propuestas para minimizar el riesgo sin necesidad de realizar una gran inversión. Por esta razón es importante emplear un plan de mejora o modernización a la PTAP. En las medidas de este plan la alcaldía de Machetá deberá invertir en las remodelaciones propuestas si quieren recudir o minimizar todos los riesgos.

16.1 Plan De Mejora Para La Bocatoma

Evento peligroso: Ausencia de la rejilla principal
Medida de control: Vigilancia y remoción diaria de las hojas que ingresen a la bocatoma o se acumulen en el muro de contención.
Plan de mejora: Instalación de una rejilla de acero inoxidable en la bocatoma con aseguramiento por bisagras que eviten que la corriente la arrastre y la apertura de la misma para realizar limpieza interna de la bocatoma. La rejilla puede tener dos o tres secciones que permita un mejor manejo.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Alcaldía de Machetá
Tiempo de ejecución: Un (1) mes.

Evento peligroso: Ausencia de cerca de delimitación
Medida de control: Capacitaciones a la comunidad cercana a la red de captación en temas de protección del agua donde se mencione la importancia de la no contaminación del recurso hídrico por actividades agrícolas y ganaderas, más diferentes opciones para minimizar dichas contaminaciones. Estas capacitaciones deben resaltar la importancia de no ingresar a las zonas cercanas o dentro del sistema de captación.
Plan de mejora: Delimitar las zonas con una cerca de delimitación con un perímetro considerable y marcar el lugar para reconocer la ubicación tanto de la bocatoma como del resto de sistema captación.
Responsable: Oficina de servicios públicos domiciliarios – UMATA.
Tiempo para ejecución: un (1) año, 4 capacitaciones.

Evento peligroso: Desgaste de la estructura por antigüedad
Medida de control: Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomenbrana que evite el contacto directo entre el agua captada y las superficies de la estructura.
Plan de mejora: Optimización de la estructura con refuerzo de las paredes. El uso de la geomenbrana permite un mejor control del sistema de lavado de la estructura y el contacto del agua con agentes externos provenientes de los materiales de construcción de la estructura.
Responsable: Oficina de servicios públicos – oficina de planeación – alcaldía de Machetá.
Tiempo para ejecución: 6 meses.

Evento peligroso: Falta de mantenimiento a toda la estructura
Medida de control: Debido a que no es un riesgo de alto nivel por su nivel de ocurrencia, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de las tuberías y respectivas uniones. Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es: Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.
Plan de mejora: realizar un estudio de viabilidad para el cambio de la tubería en general del sistema por antigüedad de la misma. Establecer un protocolo de limpieza y desinfección para todo el proceso de la captación y potabilización del agua.
Responsable: Oficina de servicios públicos domiciliarios.
Tiempo para ejecución: un (1) año

Evento peligroso: Ausencia de tapa en el tanque.
Medida de control: Cubrir la abertura del tanque con una tapa provisional.
Limpiar diariamente los sólidos de gran tamaño que se depositen en la superficie. Remover manualmente los sólidos que ingresen en el tanque.
Plan de mejora: Instalar la tapa del tanque en acero inoxidable.
Responsable: Oficina de servicios públicos domiciliarios.
Tiempo para ejecución: Dos (2) meses.

16.2 Plan De Manejo Para Trampa De Hojas

Evento peligroso: Falta de mantenimiento de las tuberías
Medida de control: Cuatro (4) Mantenimientos preventivos en el año a la tubería que ingresa el agua a la trampa de hojas desde la bocatoma. Remoción de los sólidos de gran tamaño que ingresen al sistema por la bocatoma para evitar el taponamiento de las tuberías.
Plan de mejora: Este riesgo se controla con la instalación de la rejilla en la bocatoma y la medida de control propuesta. Los planes de mantenimientos deben ser planteados por todos los actores directos involucrados y ejecutados por personal capacitado en dicho tema.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Fontaneros – oficina de planeación.
Tiempo para ejecución: 6 meses para plantear y el requerido según planeación para ejecutar.

Evento peligroso: Desgaste de la estructura por antigüedad
Medida de control: Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Considerar el uso de una geomenbrana que evite el contacto directo entre el agua captada y las superficies de la estructura.
Plan de mejora: Optimización de la estructura con refuerzo de las paredes. El uso de la geomenbrana permite un mejor control del sistema de lavado de la estructura y el contacto del agua con agentes externos provenientes de los materiales de construcción de la estructura.
Responsable: Oficina de servicios públicos – oficina de planeación – alcaldía de Machetá.
Tiempo para ejecución: 6 meses.

16.3 Plan De Manejo Para Desarenador

Evento peligroso: Diseño incorrecto de la compuerta de salida
Medida de control: Rediseñar el sistema de salida de los lodos aumentando tanto el tamaño de la compuerta como del ducto de salida.
Plan de mejora: Diseñar una nueva compuerta y ducto de salida para los lodos; teniendo en cuenta el tratamiento y manejo de los lodos para el sistema.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Oficina de planeación – Alcaldía - (pedir apoyo a CAR y EPC)
Tiempo para ejecución: Un (1) año

Evento peligroso: Ruptura de la válvula de la compuerta de salida.
Medida de control: Corregir el daño de la válvula para permitir la apertura de compuerta. Una vez corregida, realizar mantenimiento preventivo cada 6 meses.
Plan de mejora: Instalar una nueva válvula en sistema una vez se corrija e instale el nuevo diseño de la compuerta.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Fontaneros.
Tiempo para ejecución: Un (1) año.

Evento peligroso: Tratamiento inexistente para lodos
Medida de control: Secar temporalmente los lodos dentro el espacio sobrante del sistema de captación en lonas que permitan escurrir y secar el material. Posteriormente contratar una empresa que recoja y trate el lodo seco.
Plan de mejora: Establecer un sistema de tratamiento y manejo de los lodos producidos en todas las etapas del proceso de tratamiento. Realizar un estudio técnico para encontrar la mejor opción de tratamiento de lodos teniendo en cuenta el espacio e inversión económica que este requiere para ser tratado o vendido. En el caso de desarenador, el tanque del sobrante puede ser usado como piscina de tratamiento de lodos siempre y cuando se corrija el nivel de entrada del agua evitando un

gran sobrante y aumentando el tamaño de la tubería por donde sale el agua sobrante directamente del tanque de recolección.
Responsable: Jefe de Oficina de servicios públicos – Alcaldía de Machetá.
Tiempo para ejecución: Un (1) año y seis (6) meses.

16.4 Plan De Mejora Para Tanque De Recolección

Evento peligroso: Falta de un sistema que desocupe el taque
Medida de control: Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es: Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.
Plan de mejora: Instalación de un segundo baipás que permita desocupar el tanque de recolección sin permitir el ingreso de aire al sistema de tuberías que posteriormente genere rupturas en las mismas.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Oficina de Planeación.
Tiempo para ejecución: Diez (10) meses.

Evento peligroso: Falta de mantenimiento a toda la estructura
Medida de control: Manteamiento periódico de la reja de metal que tiene contacto con el agua captada Instalación de una malla de acero inoxidable o plástico PVC en la entrada de la tubería. Remoción de solidos que ingresen a la estructura. Mantenimiento de la estructura en general en épocas de estiaje para asegurar la estructura en épocas de mayores lluvias, teniendo en cuenta que la mayor incidencia del riesgo se da en épocas de mayores lluvias.
Plan de mejora: Instalación de una nueva rejilla en el tanque de PVC o Acero inoxidable.

Responsable: Oficina de servicios públicos
Tiempo para ejecución: Seis (6) meses.

16.5 Plan De Mejora Para Tanque De Distribución

Evento peligroso: Cambios en la presión de la tubería
Medida de control: Verificación y mantenimiento de las uniones de las tuberías y del cubrimiento de las tuberías. Registro de la presión en la tubería. Registro del caudal captado. Control del caudal conducido.
Plan de mejora: En caso de que se sigan generando rompimientos de las tuberías, realizar un estudio de suelos por la sección donde pase la tubería puesto que el rompimiento se puede deber al desplazamiento de los suelos. Si es el caso, incluir dentro del estudio una segunda opción para trasladar el trayecto de la tubería.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Oficina de planeación.
Tiempo para ejecución: Un (1) año.

16.6 Plan De Mejora Para Tanque Del Sobrante

Evento peligroso: Uso del agua captada para uso del operador de bocatoma
Medida de control: Sellar la tubería que permite el uso del agua captada para fines diferentes al suministro del sistema de abastecimiento del municipio.
Plan de mejora: Realizar campañas a la población sobre uso y manejo del recurso hídrico resaltando la importancia de la seguridad y normatividad de las conexiones no autorizadas.

Tramitar entre el consejo del municipio, la oficina de la inspección de policía y la oficina de servicios públicos domiciliarios una serie de multas para aquellas personas que realizan conexiones ilegales del sistema de abastecimiento en cualquier de sus etapas.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Inspección de policía – Consejo municipal.
Tiempo para ejecución: Un (1) año para las campañas. Un (1) año y seis (6) meses para las multas.

16.7 Plan De Mejora Para La Canaleta Parshall

Evento peligroso: Falta de mantenimiento a toda la estructura
Medida de control: Limpieza y desinfección de toda la estructura con una solución de hipoclorito de calcio al 70% (siendo el químico de desinfección que se usa actualmente). Debe tenerse en cuenta que la solución ideal es: Diluir 4 gr (1 cucharadita) de hipoclorito granulado en 20 litros de agua. Esto asegurara la desinfección y evita la contaminación en el agua y perdida de la micro fauna y micro flora.
Plan de mejora: Establecer un protocolo de limpieza y desinfección para toda la infraestructura del sistema de abastecimiento de agua potable donde se incluya tiempo de lavado, frecuencia, químicos a usar y el SST.
Responsable: Oficina de servicios públicos domiciliarios.
Tiempo para ejecución: Dos (2) meses.

16.8 Plan De Mejora Para La Floculación

Tener en cuenta las mejoras propuestas en operaciones anteriores sobre el desgaste de la estructura y el tratamiento de los lodos

16.9 Plan De Mejora Para La Sedimentación

Tener en cuenta las mejoras propuestas en operaciones anteriores sobre el desgaste de la estructura y el tratamiento de los lodos

16.10 Plan De Mejora Para La Filtración

Tener en cuenta las mejoras propuestas en operaciones anteriores sobre el desgaste de la estructura.

16.11 Plan De Mejora Para La Desinfección

Evento peligroso: Desconocimiento de procedimientos.
Medida de control: Hacer uso de la bitácora de la PTAP donde se encuentra el procedimiento correcto para realizar la dosificación. Realizar la curva de cloro. Realizar la curva de cloro residual. Capacitar a los operarios encargados de la dosificación.
Plan de mejora: Contratar un operario capacitado en el manejo de las PTAP. Tener en cuenta que debe estar mínimo una persona 24/7 en las instalaciones.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Oficina de Contratación.
Tiempo para ejecución: Tres (3) meses.

Evento peligroso: Falta de mantenimiento a toda la estructura
Medida de control: Teniendo en cuenta que la estructura tiene más 50 años es recomendable la optimización y/o remodelación de la estructura. Adecuación del cuarto de desinfección agregando ventilación. Manejo de elementos de protección.
Plan de mejora: Instalar una alarma de escape de cloro que avise a los operarios de una posible fuga del químico.
Responsable: Oficina de servicios públicos – Alcaldía de Machetá.
Tiempo para ejecución: Cuatro (4) meses.

16.12 Plan De Mejora Para El Almacenamiento

Tener en cuenta las mejoras mencionadas anteriormente en otras operaciones sobre el protocolo de limpieza y desinfección, y el tratamiento y manejo de lodos.

16.13 Plan De Mejora Para El Laboratorio

Evento peligroso: Combinación de líquidos procedentes de las pruebas
Medida de control: Separación de los líquidos procedentes de las pruebas según tipo y fuente de cada uno.
Plan de mejora: Para realizar la separación de los líquidos resultantes de las pruebas es necesario realizar un análisis del tipo de líquido (base, ácido, peligroso, de tratamiento especial) y separar de este modo. De ser necesario contactar con una empresa que recoja y maneja los líquidos resultantes de anejo especial.
Responsable: Oficina de servicios públicos.
Tiempo para ejecución: Ocho (8) meses.

16.14 Observaciones Generales Del Plan De Mejora

Teniendo en cuenta: lo observado en la infraestructura de la PTAP y el sistema de captación; las observaciones entregadas por la EPC – Empresas Publicas de Cundinamarca -; las observaciones de la CAR y las observaciones por la secretaria de salud; las optimizaciones y remodelaciones que se le hagan a la planta de tratamiento, en general no son factibles puesto que requieren de una gran inversión para muy poca mejora.

Estas tres empresas han concordado con que el municipio requiere de una planta de tratamiento nueva para suplir le demanda de la población objetivo puesto que el lugar de ubicación con poco espacio, las deficiencias de la infraestructura y el caudal de diseño no son características que apoyen la calidad de agua tratada.

Una vez puesto en marcha el PSA, el equipo de trabajo deberá evaluar la eficacia de las medidas e control y si estas no son suficientes para minimizar o eliminar los riesgos; se deben plantear nuevas medidas de control o realizar nuevas mejoras al sistema.

El tiempo de ejecución plasmados en el plan de mejora inicia desde el momento en que el equipo ponga en marcha la ejecución del PSA.

Una vez el PSA sea ejecutado pueden aparecer nuevos riesgos que requieren de nuevas medidas de control. Es necesario tener en cuenta que el PSA en un ciclo de acciones que permitan garantizar la calidad del agua mediante la identificación y eliminación de los riesgos a los que la PTAP en todas sus etapas puede verse afectado, por tanto; el PSA se va volviendo obsoleto al tiempo y cada nuevo peligro encontrado; por ello, se debe actualizar cada año por parte del equipo de trabajo.

17 Resultados

El resultado principal de este proyecto mediante la pasantía en la alcaldía de Machetá es el presente documento donde se presenta la formulación del PSA para las dos etapas propuestas del sistema de captación y proceso de tratamiento del sistema de abastecimiento del casco urbano del municipio.

Dentro de la metodología se planteó realizar un plan de monitoreo de las medidas de control, sin embargo, debido a que el proyecto se enfoca en la formulación y no en la ejecución y evaluación del PSA, no es posible ejecutar lo propuesto. Se tiene en cuenta que para desarrollar el plan de monitoreo de las medidas de control es necesario hacer una evaluación de las mismas lo que solo se puede realizar con su ejecución.

Bibliografía

- Alcaldía municipal Macheta. (2018). Indicadores 2016 del municipio. <http://www.macheta-cundinamarca.gov.co/>
- Alzate Góez, J. C. (2020). Plan de Seguridad del Agua para el acueducto multiveredal del corregimiento Cestillal, municipio de Cañasgordas, 2019.
- Ballesteros Andrés, & Hernández Juan. (2016). Evaluación de riesgos sobre la calidad del agua en el Acueducto Rural El Tobal, Subachoque, Cundinamarca; en el marco del Plan de Seguridad del Agua.
- Bartram J, C. L. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Ginebra: IWA.
- CIIFEN. (2021). CIEEFEN.ORG. Retrieved from Definición del riesgo : <https://ciifen.org/definicion-de-riesgo/>
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Damiani, S., Sorlini, S., & Crotti, B. M. (2018). From the Application of Water Safety Plan to the Achievement of the Iso 22000:2005 Standard: a Case Study. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=8gh&AN=133682878&lang=es&site=ehost-live>
- Acuerdo No. 026. Esquema de ordenamiento territorial. Gobernación de Cundinamarca 2001.
- Cruz Vélez, C. H., Torres Lozada, P., & Pérez Vidal, A. (2009). Planes de seguridad del agua. Fundamentos y perspectivas de implementación en Colombia. Water safety plans. Fundamentals and prospects for implementing them in Colombia. Ingeniería e investigación. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=3189479>
- Díaz Arévalo, J. L., Martínez Urrego, A. F., & Jaramillo Londoño, Á M. Plan de Seguridad del Agua (PSA) del acueducto del municipio de Tocaima (Water Safety Plan (WSP) for the Water Supply System of the Town of Tocaima). Paper presented at the Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks (SEREA 2017).
- Fabbro Neto, F., & Gómez-Martín, M. B. (2020a). Water safety plan integrated to the land use and occupation measures: Proposals for Caraguatatuba-SP, Brazil. Land use Policy. <https://doi.org/craiustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.landusepol.2020.104732>

- Fabbro Neto, F., & Gómez-Martín, M. B. (2020b). Water safety plan integrated to the land use and occupation measures: Proposals for Caraguatatuba-SP, Brazil. Land use Policy.
<https://doi.org/craiustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.landusepol.2020.104732>
- Gobernación de Caldas, O. (2012). Planes de seguridad del agua en el sector rural de Caldas. Planes de seguridad del agua en el sector rural de Caldas.
- Gobernación de Cundinamarca, (2021). Notificación de RIESGO MEDIO en el suministro de agua para consumo humano. Oficina de servicios públicos domiciliarios.
- González, J. A. P., Quesada, F. B., & Serena, P. S. (2019). Implantación De Un Plan De Seguridad Del Agua En Una Estación De Tratamiento De Agua Potable. Universidad De Valencia.
- IDEAM. (2014). Conceptos Básicos de Cambio Climático.
<http://www.cambioclimatico.gov.co/otrasiniciativas#:~:text=La%20CMNUCC%20distingue%20entre%20'cambio,clim%C3%A1tica'%20atribuida%20a%20causas%20naturales>
- INS. (2020). Boletín de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Bogotá, Colombia.
- Kumpel, E., Delaire, C., Peletz, R., Kisiangani, J., Rinehold, A., De France, J., Sutherland, D., & Khush, R. (2018). Measuring the impacts of water safety plans in the Asia-Pacific region. International Journal of Environmental Research and Public Health.
- López, M. G., Alvarez, M. R., Iribarnegaray, M. A., Lara, A. C., & Seghezze, L. (2018). Re-evaluación de un plan de seguridad del agua (PSA): medidas de control y concepto de riesgo virtual y real. Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente-AVERMA.
- Ministerio de ambiente; IDEAM; U. del Rosario. . (s.f.). Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua. Obtenido de OCGA:
<http://www.ideam.gov.co/web/ocga/glosario>
- Mora Alvarado, D. (2011). "Lo intangible de los seguridad del agua".
- OMS. (2005). Planes de seguridad del agua. Gestión de la calidad del agua potable desde la captación al consumidor.
- OMS. (2019). Agua.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- ONU. (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Francia: UNESCO.

- OPS. (2021). Planes de Seguridad del Agua Resilientes al Clima - 2021.
<https://www.campusvirtualsp.org/es/curso/planes-de-seguridad-del-agua-resilientes-al-clima-2021>
- OPS. (n.d.). Entornos y Ambientes Saludables. Retrieved from Enfoque del PSA. :
<https://www.paho.org/col/dmdocuments/PlanSegAgua.pdf>
- PanaFoods. (n.d.). Monografias. Retrieved from Analisis de riesgos y peligros y sus medidas de control - Validaciones HACCP - PanaFoods S.A.C:
<https://www.monografias.com/trabajos109/analisis-riesgos-peligros-medidas-control-validaciones-hacc/analisis-riesgos-peligros-medidas-control-validaciones-hacc2>
- Pérez-Vidal, A., Amézquita-Marroquín, C., & Torres-Lozada, P. (2013). Water Safety Plans: Risk assessment for consumers in Drinking Water Supply Systems. Ingeniería Y Competitividad.
<https://10.25100/iyv.v15i2.2610>.
- Pérez-Vidal, A., Escobar-Rivera, J. C., & Torres-Lozada, P. (2020). Development and implementation of a water-safety plan for drinking-water supply system of Cali, Colombia. International Journal of Hygiene and Environmental Health.
<https://doi.org/craiustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.ijheh.2019.113422>
- Pérez-Vidal, A., Escobar-Rivera, J., & Torres-Lozada, P. (2018). Risk assessment in water treatment processes for the development of a Water Safety Plan - WSP. Dyna.
<https://10.15446/dyna.v85n206.65427>
- Perrier, E., Kot, M., Castleden, H., & Gagnon, G. A. (2014). Drinking water safety plans: barriers and bridges for small systems in Alberta, Canada. Water Policy.
- Pinilla, M. J. A., Gabikagogeaskoa, A. E., Vázquez, R. G., & Cañón, D. P. (2012). Planes de seguridad del agua. Análisis de peligros y evaluación de los riesgos en un abastecimiento de Bizkaia. Aplicación a una captación. Revista De Salud Ambiental.
- RAE. (2015). Asociación de Academias de la Lengua Española. Retrieved from
<https://dpej.rae.es/lema/peligro>
- Tchórzewska - Cieślak, B. (2017). Security Management of Water Supply. Journal of Konbin.
<https://10.1515/jok-2017-0009>
- Torres Mariela. Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. Universidad Rafael Landívar.

Tsoukalas, D. S., & Tsitsifli, S. A critical evaluation of Water Safety Plans (WSPs) and HACCP implementation in water utilities. Paper presented at the Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.

Universidad de Estocolmo. (2015). ¿What is resilience?
<https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2015-02-19-what-is-resilience.html>.