

ORIGINAL

## Operating and maintenance manual for the implementation of the conventional drinking water treatment plant (ptap) in the urban area of the municipality of Bochalema, northern Santander

### Manual de operación y funcionamiento para la implementación de la planta de tratamiento de agua potable (ptap) convencional del casco urbano del municipio de Bochalema- norte de Santander

Sara Esther Sanchez Carrillo<sup>1</sup>, Ana María Rosso Cerón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad De Pamplona, Facultad De Ingenierías y Arquitectura, Departamento De Ingeniería Ambiental, Civil y Química. Pamplona, Colombia.

**Citar como:** Sanchez Carrillo SE, Rosso Cerón AM. Operating and maintenance manual for the implementation of the conventional drinking water treatment plant (ptap) in the urban area of the municipality of Bochalema, northern Santander. eVitroKhem. 2022; 1:22. <https://doi.org/10.56294/evk202222>

Enviado: 28-08-2021

Revisado: 18-12-2021

Aceptado: 02-03-2022

Publicado: 03-03-2022

Editor: Prof. Dr. Javier Gonzalez-Argote 

#### ABSTRACT

This manual describes the activities and operating and maintenance characteristics of the water supply service in the urban area of the municipality of Bochalema, Norte de Santander, which is provided by the Public Services Unit. The municipality of Bochalema has two types of water treatment plants, one conventional and one compact. The need for a manual indicating the activities and procedures for the proper operation and maintenance of the conventional plant was identified, since these activities are sometimes carried out empirically by operators, i.e., acquired through several years of experience in their positions, ignoring the importance of having a manual that supports the operational management of the plant and provides the personnel involved with adequate knowledge about the procedures that are carried out and the best way to operate the facilities, equipment, and supplies. Training both current and new managers. The specific objectives focus on: describing the parts that make up the conventional treatment plant, specifying the functioning, operation, and maintenance of the PTAP, indicating the processes and quality standards for water treatment, and preparing safety data sheets for chemical reagents. To achieve the above objectives, the training was organized into sections so that each one would allow for the development of a specific objective, based on a qualitative and quantitative analysis of the needs of the conventional treatment plant and the operators involved, in accordance with the training required for its optimal operation. Based on the above and as the main result of the project, a detailed and practical manual was produced that meets the needs, focusing on improving the quality of water supplied to the inhabitants of the urban area of the municipality of Bochalema and on good laboratory practices.

**Keywords:** Water Quality; Training; Pollution; Purification.

#### RESUMEN

El presente manual describe las actividades y características de operación y mantenimiento correspondiente al servicio de acueducto del casco urbano del municipio de Bochalema- Norte de Santander, el cual es prestado por la Unidad de Servicios Públicos. El municipio de Bochalema, cuenta con dos tipos de planta de potabilización, una de tipo convencional y otra de tipo compacta, se identificó la necesidad de un manual que indique las actividades y procedimientos para la correcta operación y mantenimiento de la planta convencional, puesto que en algunas ocasiones se realizan dichas actividades de forma empírica por parte de los operarios, es decir adquirido por varios años de experiencia en sus cargos, ignorando la importancia de contar con un manual que respalde el manejo operativo de la planta y brinde al personal que interviene,

el conocimiento adecuado sobre los procedimientos que se desarrollan y sobre la mejor manera de operar las instalaciones, equipos e insumos. Capacitando a los encargados tanto los que están activos como aquellos que ingresen. Los objetivos específicos se enfocan en: describir las partes que componen la planta de tratamiento convencional, especificar el funcionamiento, operación y mantenimiento de la PTAP, indicar los procesos y estándares de calidad para el tratamiento de agua, y elaborar las fichas de seguridad de los reactivos químicos. Para lograr los objetivos anteriormente descritos, se organizaron en secciones de modo que cada una de ellas permita el desarrollo de un objetivo específico, de acuerdo con el análisis cualitativo y cuantitativo, realizado de las necesidades presentes en la planta de tratamiento convencional y de los operarios que en ella intervienen, acorde a la capacitación requerida para el óptimo funcionamiento de esta. Con base en lo mencionado anteriormente y como resultado principal del proyecto, se realizó un manual detallado y práctico que logra satisfacer las necesidades, enfocado en la mejora de la calidad del agua suministrada a los habitantes del casco urbano del municipio de Bochalema y de las buenas prácticas de laboratorio.

**Palabras clave:** Calidad del Agua; Capacitación; Contaminación; Potabilización.

## INTRODUCCIÓN

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) establece que los sistemas de potabilización deben disponer de un manual que especifique y facilite las actividades de operación, del cual deben obtener acceso los operadores de la planta encargados del correcto funcionamiento del sistema. El manual debe ser escrito de manera clara en donde se contemplen las instrucciones directas y simples, evitando descripciones teóricas complejas, debe incluir la descripción detallada de la teoría de cada proceso. En la planta convencional del casco urbano del municipio de Bochalema no hay un manual para los operarios que respalde el manejo operativo de esta, por consiguiente, el objetivo de este proyecto es realizar un manual de operación y mantenimiento para la implementación en la planta.

En la actualidad la calidad del agua es un aspecto fundamental, especialmente cuando es destinada para el consumo humano, existiendo diversos procesos para su potabilización, sin embargo, existen carencias en cuanto a la manera de potabilizar el agua en aspectos de infraestructura y, en otros casos, asociados a que la metodología aplicada no satisface las necesidades requeridas por la población.<sup>(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)</sup>

Los sistemas de tratamiento requieren para su correcto funcionamiento una cadena de acciones integrales que permitan establecer una rutina de operación y mantenimiento.<sup>(2,13,14,15,16,17)</sup> Por consiguiente, el ingreso de nuevos operarios en las plantas de tratamiento representa un problema, cuando no existen documentos específicos para capacitarlos. En la actualidad, la capacitación en las organizaciones es de vital importancia porque contribuye al desarrollo de los colaboradores tanto personal como profesional. Por ello, las empresas deben encontrar mecanismos que den a su personal los conocimientos, habilidades y actitudes que se requiere para lograr un desempeño óptimo durante toda la estadía del trabajador dentro de la organización.<sup>(3,18,19,20,21,22,23)</sup>

El presente manual corresponde a un conjunto de instructivos que se sugieren para el adecuado manejo de las unidades de tratamiento presentes dentro de la planta convencional del casco urbano de Bochalema. El contenido del manual se encuentra conformado por 4 secciones, en la primera se realiza la descripción de la infraestructura y las etapas de potabilización, en la segunda se encuentran la especificación de la operación y el mantenimiento para el correcto funcionamiento del sistema, en la tercera se especifican los procesos y estándares de calidad para el tratamiento del agua y finalmente se elaboraron las fichas de seguridad de los reactivos y se indica el proceso de calibración de los equipos.<sup>(24,25,26,27,28,29)</sup>

¿Cómo elaborar un manual de operación y mantenimiento que facilite el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento convencional de agua potable del casco urbano del municipio de Bochalema, en ausencia de un documento técnico que oriente a los operarios?

### Objetivo

Elaborar un manual de operación y funcionamiento para la implementación de la planta de tratamiento convencional de agua potable (PTAP) del casco urbano del municipio de Bochalema- Norte de Santander.

## MÉTODO

La metodología que se llevó a cabo para la elaboración del manual de operación de la PTAP, se presenta a continuación. El estudio para el proyecto es de tipo investigativo y de campo, mediante la recolección de datos en la inspección de la planta y funcionamiento actual de las estructuras.

### **Etapas 1: Recopilación de información -revisión bibliográfica**

Se inició mediante una revisión bibliográfica y teórica, buscando información de fuentes internas es decir, dentro de la empresa como lo fue la verificación de la documentación archivada concerniente al sistema de potabilización convencional y toma de muestras aplicadas, así como características del municipio de esta forma se logró obtener una herramienta de partida para el conocimiento de los procesos que se han llevado a cabo, evidenciando que dentro de la empresa se encuentra documentación anticuada, por tal motivo es necesario realizar actualizaciones, puesto que con la intervención del proyecto de optimización muchas de las estructuras se han modificado. Al mismo tiempo se indagó en fuentes externas buscando en libros relacionados con el sistema de potabilización, en manuales de operación y mantenimiento con plantas similares teniendo en cuenta capacidad, tal como caudal, población, y procesos de potabilización, revisión de artículos y demás documentos normativos vigentes en el marco nacional que permitieron enriquecer el contenido del presente manual.

### **Etapas 2: Descripción de la infraestructura y etapas del proceso de potabilización del agua**

Con la recolección de información realizada en la etapa 1 se encontró referentes de la planta convencional, se emplearon métodos de recolección de datos tales como entrevistas, observación y medición en campo. Obtención de información directamente de la empresa de acueducto del municipio, operario, fontanero y habitantes; y de otras fuentes primarias tales como organizaciones afines al objeto de investigación (personas prestadoras, alcaldía municipal, gobernación de Norte de Santander). Los datos recolectados fueron tanto medibles u observables como inferidos y extraídos del lenguaje verbal.

Se empezó por hacer una tabla resumen de la infraestructura de la planta de tratamiento antes de la intervención en el que se aprecia los cambios y se realizó una descripción de las mejoras presentadas en la infraestructura, es decir el panorama actual, donde a través de figuras o imágenes ilustrativas se muestra la infraestructura y los datos obtenidos mediante entrevista con los operarios y el personal a cargo de la planta, conviene aclarar que a la fecha la PTAP no está en funcionamiento dado que el proyecto de “optimización sistema de acueducto urbano del municipio” está en 85,55 % de su culminación.

### **Etapas 3: Especificación y verificación del funcionamiento, operación y mantenimiento de la PTAP**

Se proporcionó una descripción de cómo funciona cada una de las etapas de la planta y como es el mantenimiento, teniendo en cuenta las adaptaciones que se deben ejecutar para el óptimo funcionamiento de la planta, permitiendo orientar en la importancia de cada una de ellas, y del óptimo funcionamiento de las partes implicadas en el proceso de potabilización.

### **Etapas 4: Especificación y revisión de estándares en cada uno de los procesos**

Se hizo una revisión del decreto 1575 y la resolución 2115 de 2007 verificando los estándares de calidad del agua exigidos para la planta.

Con la búsqueda de información referente a la calidad de la fuente, dentro de la empresa se tomaron en cuenta algunas muestras que se realizaron al agua, en los que se encontró que es una fuente deficiente, mostrando que el agua tiene una mala calidad.

### **Etapas 5: Elaboración de las fichas de seguridad de los reactivos químicos y calibración de equipos**

Se elaboraron las fichas de seguridad, tomando como base documentos de literatura sobre seguridad de procesos para que el operario cuente con la información necesaria y conozca los procedimientos de seguridad recomendados, se llevó a cabo una capacitación al personal, con esta se permite orientar en el manejo y conozca los procedimientos de seguridad recomendados para la correcta manipulación.

### **Etapas 6: Elaboración del manual de operación**

En esta actividad se elaboró el documento final donde está contemplado cada una de las actividades anteriores que le permitirá al operario acudir al documento para su capacitación e instrucción en aspectos de operación de la planta, permitiéndoles despejar incertidumbres que se puedan presentar.

## **RESULTADOS**

El presente manual proporciona una guía de procedimientos que se recomiendan para el manejo apropiado de las unidades de tratamiento, empezando en primer lugar con un resumen de las características de la planta e ilustrando por medio de un Layout su distribución, en las siguientes secciones se trabajan los objetivos específicos, iniciando con la descripción de la infraestructura y las etapas de potabilización, especificando la operación y el mantenimiento para el adecuado funcionamiento y además se exponen los parámetros físicos, químicos y microbiológicos según la normatividad vigente, finalmente se indican las fichas de seguridad de los insumos químicos utilizados para los procesos de coagulación y desinfección.

### Características de la planta (Layout)

En la figura 1 se muestra un esquema de la infraestructura de la planta convencional, dando una idea de cómo es su distribución y cuáles son las estructuras que la conforman. El proceso de potabilización comprende varias etapas, empezando por la captación, aducción, pretratamiento, tratamiento y posteriormente la distribución de agua potable.

El proceso se inicia con la captación, donde a través de una estructura conocida como captación de toma en dique, la cual se extiende de lado a lado de la quebrada cuya área de captación se ubica sobre la cresta del vertedero central, que esta provista de una rejilla para el paso del agua, en la rejilla se da la remoción del material flotante más grueso, seguido de la captación el agua se dirige a la aducción, que es un componente del sistema para el transporte de agua cruda hasta el desarenador, en el cual se realiza la remoción de material suspendido, especialmente arena. La remoción del material flotante y la remoción del material suspendido se realizan para evitar daños en las posteriores estructuras o equipos a esto se le conoce como pretratamiento.

A continuación, sigue el proceso de coagulación-mezcla rápida que se realiza por medio de la adición de una sustancia química conocida como coagulante, cuya función es la desestabilización de las partículas que suelen rodear o están presentes en el agua, a través de una prueba de jarras, se toman diferentes muestras de agua, y mediante la aplicación de coagulantes en diferentes proporciones se escogerá aquel que arroje mejores resultados en cuanto a remoción y también la parte económica (bajo costo), en algunos coagulantes es necesario ajustar el pH. En la planta de tratamiento se lleva a cabo en una unidad conocida como mezcla rápida.

Posteriormente sigue la floculación donde se reúnen las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño (flóculos) para promover el crecimiento de los flóculos se hace pasar el agua a través de unas cámaras que posee el floculador tipo Alabama, en donde se da la floculación orto cinética la cual se basa las colisiones de las partículas ocasionadas por el movimiento del agua.

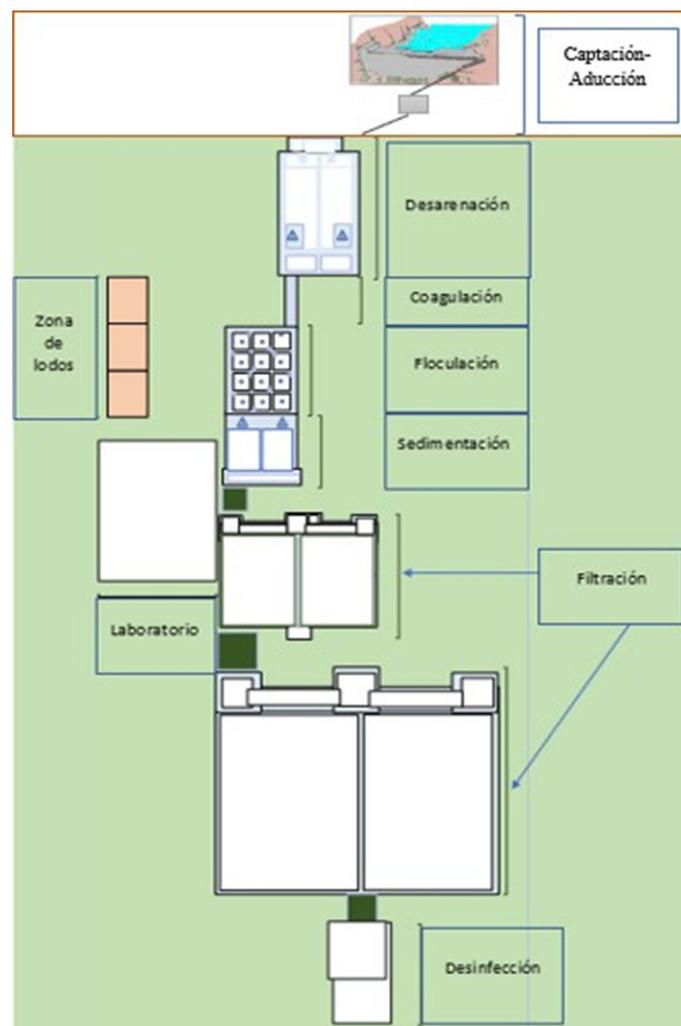


Figura 1. Layout PTAP Topacio

En el proceso de sedimentación por efecto de la gravedad las partículas que por su peso se dirigen al fondo, el sedimentador es laminar esta provisto de vertederos en donde se capta la capa superior del agua, pasando

a la zona de filtración donde a través del filtro rápido, se retienen las partículas que no se sedimentaron y obteniendo agua filtrada en la parte superficial, que es conducida al filtro lento donde en este la filtración tiene un flujo descendente es decir el agua filtrada es recogida en el fondo por una tubería perforada.

Posteriormente va al proceso de desinfección, donde se aplica una solución de cloro granulado, para anular los microorganismos que están aún presentes en el agua, por último, se dirige a un tanque de distribución, donde es almacenada y distribuida a los usuarios.

**Descripción de la infraestructura y las etapas del proceso de la planta de potabilización**

En esta sección es importante resaltar que la planta convencional ha tenido una serie de modificaciones como consecuencia de las mejoras en la infraestructura para la optimización de los procesos de la planta. En la tabla 1 se muestra cuáles eran sus estructuras previo a la intervención del consorcio de agua 2018.

**Tabla 1. Estructuras de la Planta Convencional Antes de la Intervención de Optimización**

Etapa	Ilustración
<p><b>Captación:</b>                      La captación esta provista de una estructura que va de lado a lado de la quebrada, posee una rejilla de 0,70 m de largo, y 0,50 m de ancho provista con varillas de diámetro de 1,59 cm separadas cada 5 cm.<sup>(4)</sup> construida en 1960 para un caudal de 35 l/s<sup>(5)</sup>                      La Aducción se realiza por medio de una tubería de PVC de 10 pulgadas de diámetro una longitud de 76 metros desde la captación hasta una cámara de quiebre de la cual salen dos tuberías de 6 pulgadas en PVC y HF (hierro fundido) con una longitud de 36 m hasta el desarenador La tubería se encontraba en algunos tramos dañada, se encuentra descubierta a lo largo de su trayecto.<sup>(4)</sup></p>	
<p><b>Desarenador:</b>                      El desarenador es de tipo convencional                      La zona de desarenación cuenta con dos tanques en paralelo de dimensiones 4,50 m de largo, 1,50 m de ancho y profundidad variable de 2 m en los extremos y 2,5 m en el centro. por otro lado presentaba filtraciones internas perdida de agua captada.<sup>(4)</sup>                      Presentaba humedales y fugas, estaba en riesgo de estabilidad.<sup>(5)</sup></p>	
<p><b>Planta de tratamiento:</b>                      Tiene los procesos de mezcla rápida- floculación, sedimentación, filtración y cloración. Necesita trabajos de reforzamiento estructural y mantenimiento estructural.<sup>(4)</sup></p>	

**Mezcla rápida-Floculador:**

Químicos: se dosifica sulfato de aluminio tipo A por goteo que se realiza gravedad mediante un tanque dosificador de PVC.<sup>(4)</sup>

**Floculador tipo Alabama:**

compuesto por 9 cámaras de 1 m de ancho por 1 m de largo y 1,9 m de profundidad, presentaba filtraciones internas.<sup>(4)</sup>

**Sedimentador**

la recolección de las aguas sedimentadas se realiza en cada unidad por medio de canaletas dientes de sierra, presentaba problemas de filtración.<sup>(6)</sup>

**Filtración rápida**

Se presentaban problemas con el lecho filtrante capas estaban mezcladas las granulometrías Capa de 1 m de espesor.<sup>(4)</sup>



Tanque de almacenamiento Es de tipo enterrado Construido en concreto, tiene respiraderos, válvulas de entrada salida y de purga. Las dimensiones son 8,80 m de largo, 8,70 m ancho y 3,40 m de profundidad. (260 m<sup>3</sup>). Evaluación de la capacidad (volumen total de almacenamiento útil de 230m<sup>3</sup>).<sup>(4)</sup>

El tanque 2 está localizado junto a la PTAP compacta en el predio de la escuela José Rozo Contreras, el tanque de almacenamiento es de tipo enterrado en concreto que tiene unas dimensiones de 12 m de largo, 12 m de ancho y 2 m de profundidad para una capacidad de 288 m<sup>3</sup>, ubicado en la parte alta del casco. El tanque de almacenamiento presenta fisuras y grietas, además en el interior de la estructura se encuentran algas.<sup>(6)</sup>

Tratamiento de lodos y desagües:

La Planta de Tratamiento no cuenta con tratamiento de los lodos, las aguas sobrantes del mantenimiento y limpieza son vertidas directamente a la Quebrada.<sup>(4)</sup>



Entiéndase por procesos de potabilización al conjunto de operaciones que se realizan sobre el agua cruda para modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano.<sup>(7)</sup>

### Etapa de captación

Las obras de captación son estructuras hidráulicas, encargadas de captar un determinado caudal, según la fuente de abastecimiento se construye una estructura específica conforme a unos criterios de diseño.<sup>(8)</sup> En general, en los casos de agua superficial se habla de bocatomas.

El agua que abastece el casco urbano del municipio de Bochalema es captada de una fuente superficial (Quebrada Aguablanca), ubicada en la vereda Agua Blanca a 586 metros del casco urbano. El sitio de captación se encuentra en las coordenadas geográficas X: 1.333.130 de latitud y Y: 1.156.940 de longitud, sobre la cota 1146 m s. n. m. En la figura 2 se muestra una fotografía de la estructura de captación de la Quebrada.



Figura 2. Estructura de Captación Quebrada Aguablanca Planta el Topacio

La estructura de captación se realiza mediante un muro de contención en concreto, ubicado transversalmente con una longitud de 7 metros, el área de captación se ubica sobre la cresta del vertedero central, compuesta por una rejilla de fondo conformada por un marco de hierro rectangular de 0,40 m de largo y 0,65 m de ancho, con 8 tubos de hierro de 1 pulgada de diámetro, que tienen una separación entre sí de 0,05 m. para efectos de mejor comprensión se presenta en la figura 3, el esquema con las principales dimensiones descritas aquí.

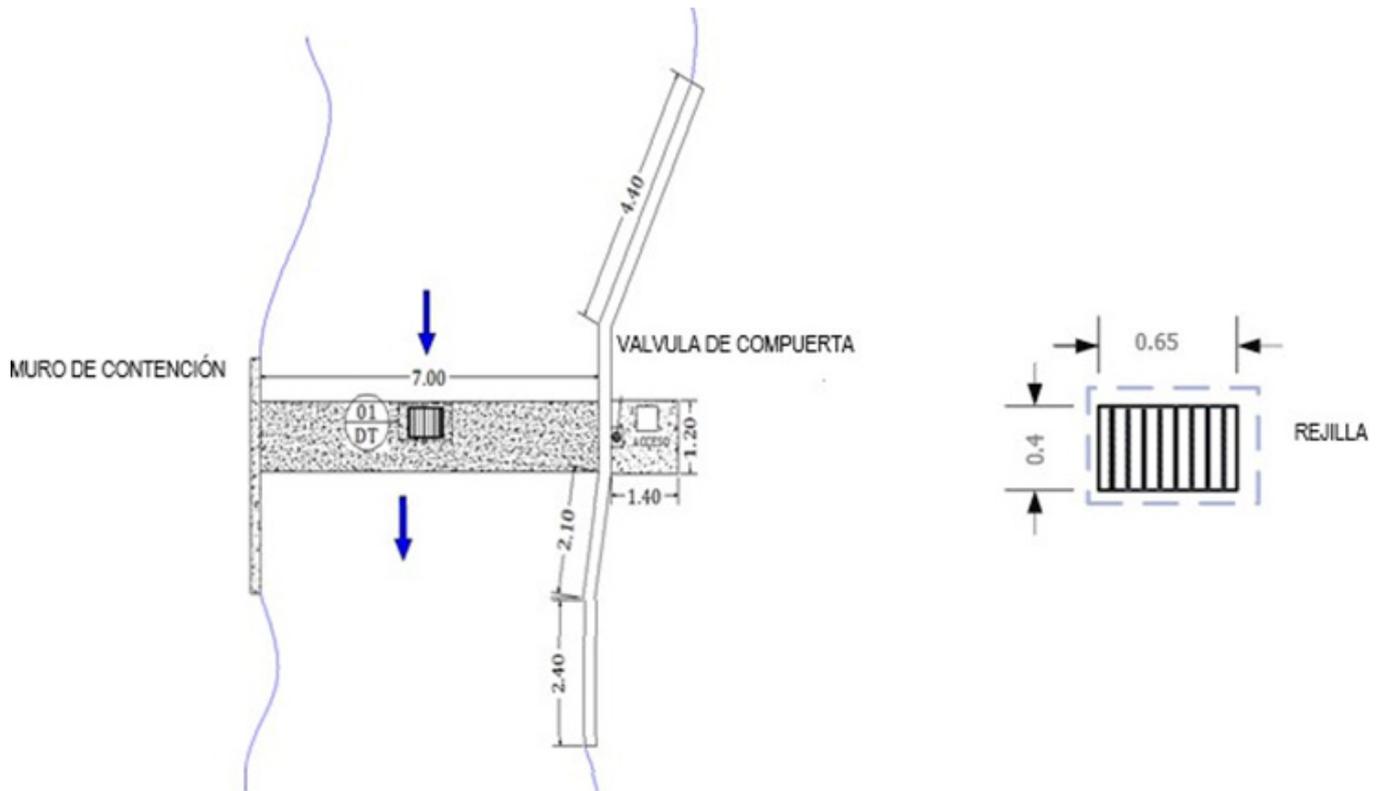


Figura 3. Esquema de Captación-Bocatoma de Fondo<sup>(4)</sup>

#### Etapa de aducción

Es el transporte de agua por gravedad o por bombeo desde los sitios de captación hasta las plantas de tratamiento, prestando el servicio de suministro de agua cruda a lo largo de su extensión.<sup>(8)</sup>

La aducción se realiza por medio de una tubería de PVC de 10 pulgadas de diámetro la cual funciona por gravedad, presenta una longitud de 76 metros desde la captación hasta una cámara de quiebre de la cual salen dos tuberías de 6 pulgadas en PVC con una longitud de 40 metros hasta el desarenador. Cámara de Quiebre, esta se encuentra a unos 40 metros de distancia del desarenador, su estructura consta de un reforzamiento de concreto de 20 cm de espesor, con unas dimensiones de 1,40 metros de ancho, 1,90 metros de largo y 1,70 metros de alto. La importancia que tiene esta estructura es disminuir la presión con la que es transportada el agua cruda desde la captación hasta el desarenador, debido a que esta es conducida por gravedad y por ende se da un aumento en la presión de llegada al desarenador dado a la diferencia de altura.<sup>(9)</sup> lo que se está diciendo entonces es que aumenta la presión porque el desarenador se encuentra a menor altura.

#### Etapa de pretratamiento

Cuando el agua viene de ríos o quebradas, es normal que arrastre arena o materia en suspensión. Para eliminarla, es necesario construir entre la captación y el tanque de distribución una serie de infraestructuras que lleven a cabo unos procesos que transforman el agua cruda como materia prima, en agua potable como producto final, entre estas se encuentra el desarenador, cuya función consiste en la retención de materiales en suspensión principalmente arena, para evitar daños en las válvulas,<sup>(10)</sup> adicionalmente facilitan que mediante la retención de los sólidos gruesos suspendidos se inicie el proceso de clarificación del líquido.

#### Desarenador

Un desarenador puede tener diferentes zonas tal como se muestra en la tabla 2 Al ingresar a la planta el Topacio la primera estructura que se encuentra es un desarenador constituido por las zonas que se muestran en la tabla 2, la zona de lodos, se encuentra diseñado bajo un sistema de embudo en el fondo del desarenador, el cual se activa por medio de succión de los precipitados que se encuentran depositados y que son extraídos por válvulas que dirigen el material al cauce de la quebrada cada uno de los módulos del desarenador cuenta con un vertedero, los cuales están protegidos por una cubierta en concreto, la salida de los vertederos se unen con la tubería de la extracción de lodos y sedimentos.

Tabla 2. Zonas del Desarenador, Verificación y Observaciones<sup>(8)</sup>

Zonas	Descripción	Si	No	Observaciones
Cámara de aquietamiento	Es la cámara donde se disipa la energía del agua que llega con alguna velocidad de la captación. El paso del agua a la zona siguiente se puede hacer por medio de un canal de repartición con orificios sumergidos. Lateralmente se encuentra un vertedero de exceso que lleva el caudal sobrante de nuevo al río mediante una tubería que se une con la zona de lavado	x		Reducción de velocidad
Entrada al desarenador	Constituida entre la cámara de aquietamiento y una cortina la cual obliga a las líneas de flujo a descender con rapidez, de manera que se sedimente el material más grueso inicialmente.	x		Consta de 25 entradas de 2" de diámetro.
Zona de sedimentación	Lugar donde se sedimentan todas las partículas restantes y en donde se cumplen con rigor las leyes de sedimentación.	x		La estructura cuenta con una profundidad de 2,78 m, se recomienda por ende no sobrepasar los 30 cm de sedimentación según la RAS (volumen total desarenador)
Salida del desarenador	Constituida por una pantalla sumergida, el vertedero de salida y el canal de recolección. El fondo tiene pendientes longitudinales y transversales hacia la tubería de lavado	x		2 vertederos de salida y canal de recolección
Almacenamiento de lodos	Comprende el volumen entre la cota de profundidad útil en la zona de sedimentación y el fondo del tanque	x		El agua sobrante de mantenimiento y limpieza son vertidas directamente a la quebrada Aguablanca.

La figura 4 Muestra la tubería proveniente de la caja de quiebre, donde se observa su ingreso al desarenador.



Figura 4. Canal de Ingreso al Desarenador

Pocos metros después de la bocatoma (116 m) se encuentra el desarenador figura 5, conformado por dos módulos en concreto de tipo paralelo, cuenta con dos compuertas, dos válvulas de desagüe y un paso directo (bypass). El agua de lavado del desarenador se evacua mediante un canal abierto, cuyo receptor es la quebrada.



Figura 5. Estructura del Desarenador

### Etapas de tratamiento

En una planta de tratamiento de agua potable es fundamental conocer el caudal de agua que se va a tratar, y existen diversas formas de medir dicho caudal, una de estas, es por medio de una estructura hidráulica conocida como canaleta Parshall. Cuya medición contemplada en la norma técnica colombiana NTC 3933, método estándar de medición de flujo en canal abierto con canaletas Parshall.

### Coagulación



Figura 6. Tubería de Ingreso y Canaleta Parshall

Los objetivos que se esperan durante las etapas de clarificación son: la eliminación de los sólidos en suspensión, la eliminación de los microorganismos patógenos y la corrección de las características fisicoquímicas que hacen el agua no apta para consumo, para que los coloides puedan retirarse del agua, deben efectuarse dos acciones que es la desestabilización de los coloides mediante la adición de coagulante y la agregación de los coloides a través de la floculación.<sup>(11)</sup>

Las canaletas Parshall constan de un cambio rápido en la pendiente y encogimiento o constricción en la garganta que producen un resalto hidráulico, este resalto ayuda a que se produzca turbulencia, lo que es necesario para la aplicación de coagulantes en el proceso de mezcla rápida.<sup>(12)</sup>

La canaleta Parshall esta provista de tres secciones, la primera es una zona convergente donde ingresa el agua proveniente del desarenador a través de una tubería de PVC de 6 pulgadas, la segunda consta de una compuerta que facilita la mezcla del sulfato de aluminio como coagulante gracias al efecto de cambio de pendiente se produce turbulencia y finalmente se tiene la sección divergente donde se da la disminución de velocidad para posteriormente pasar al proceso de floculación. En la figura 6 se muestra la canaleta Parshall donde se observa 2 resaltos hidráulicos, el primero de 30 cm y el siguiente de 50 cm.

**Floculación**

La floculación o mezcla lenta es un proceso de agitación suave cuyo objetivo principal es reunir las partículas coaguladas de mayor peso y tamaño llamados floculos o flocs, lo que permite que sean removidos más fácilmente en el proceso de sedimentación.<sup>(12)</sup>

Este proceso se realiza mediante un floculador tipo Alabama, El floculador está construido en concreto, es de tipo hidráulico de flujo vertical, diseñado con doce cámaras cada una con su respectiva pantalla o codo, se ubican en forma alternada, cumpliendo las características de un floculador tipo Alabama. Cada cámara tiene un tapón que permite la extracción de lodos, en la figura 7 se realizó una representación, de acuerdo con lo evidenciado en la inspección a la estructura.

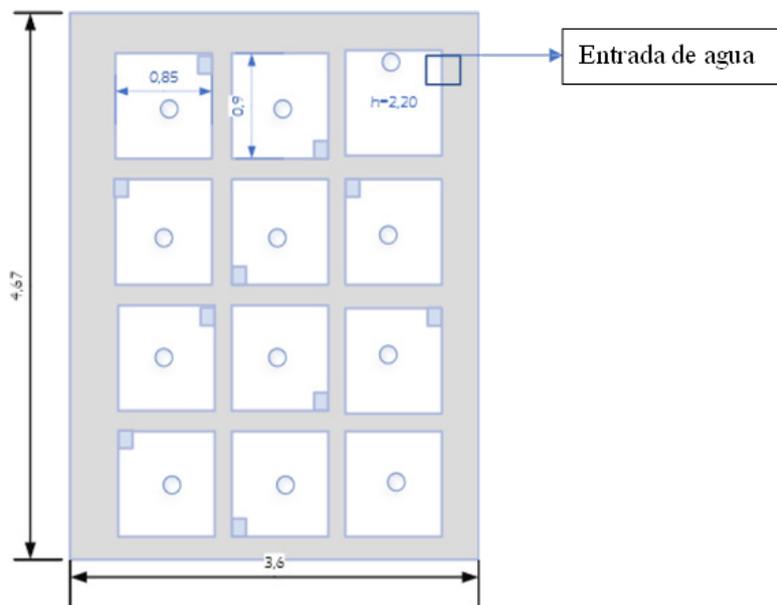


Figura 7. Esquema Floculador Tipo Alabama



Figura 8. Canaleta Parshall y Floculador Tipo Alabama

En los floculadores Alabama debe ubicarse un codo en cada cámara para impulsar el fluido hacia arriba. Los codos deben colocarse de forma alternada, en una cámara a la derecha y en la que sigue a la izquierda. En el fondo cada cámara posee un desagüe, que están conectadas o enlazado con cada cámara para permitir la eliminación de los lodos, gracias al accionamiento de una válvula que permite la extracción de los sedimentos provenientes de las doce cámaras del floculador.

### Sedimentación

Consiste en el asentamiento de los flóculos formados en el proceso anterior y por acción de la gravedad se precipitan en el fondo en forma de lodos, obteniéndose como resultado un agua más clarificada en la superficie. El agua sedimentada se puede recolectar mediante un sistema de vertederos de rebose y tubos perforados que están conectados.

El sedimentador laminar se divide en varias zonas o partes tal como se muestra en la figura 9, una zona de entrada de agua, una zona de sedimentación conformada por placas instaladas con un ángulo de inclinación de  $60^\circ$  pero también pueden ser valores de hasta  $45^\circ$  (en el caso de tratarse de sedimentación de arenas o partículas más pesadas), con objeto de asegurar una continua y eficiente remoción de lodos. Una zona de extracción de lodos y una zona de salida o vertedero en los cuales se capta el agua superior del agua que contiene menos turbiedad o que está más clarificada.<sup>(13)</sup>

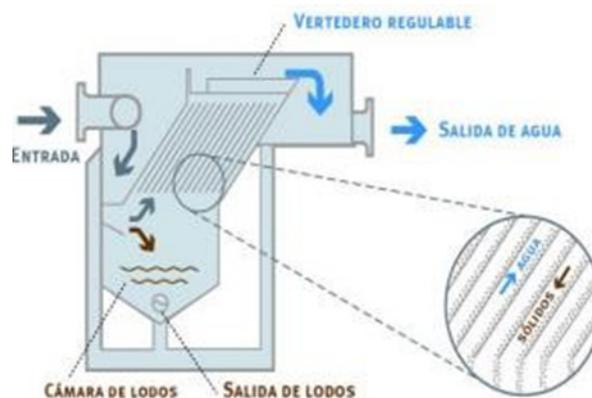


Figura 9. Partes que Conforman un Sedimentador Laminar<sup>(13)</sup>

Después del proceso de floculación se lleva a un sedimentador laminar que cuenta con dos secciones paralelas denominadas naves construidas en concreto, las cuales están provistas de una fila de módulos formados por paneles de sedimentación instaladas con un ángulo de  $45^\circ$  elaboradas en polipropileno en forma de “paralelogramo” o tipo colmena. Cada módulo tiene en su parte inferior tolvas de recolección de lodos. El flujo de agua clarificada en cada nave es ascendente y es transportado por un sistema de tuberías de PVC con perforaciones en la parte superior, posteriormente se dirige a una cámara, en la cual se encuentran vertiendo los cuatro tubos perforados ver figura 10, de allí se conduce a la siguiente etapa de filtrado rápido por medio de una tubería de PVC de 6 pulgadas.



Figura 10. Sedimentador Laminar

**Filtración**

La filtración es una de las operaciones que se realizan en toda planta de tratamiento, y consiste en retener las partículas suspendidas y coloidales, que no se sedimentaron, haciéndolas pasar a través de un medio poroso, los filtros son componentes que contiene un medio poroso por donde atraviesa el agua sedimentada, la dirección del flujo puede ser ascendente o descendente.

El filtro rápido tiene como objetivo retener los sólidos suspendidos a través de varias capas de material pétreo de diferentes granulometrías, las cuales disminuyen en dirección al flujo. En este tipo de sistemas el agua es forzada a fluir de manera ascendente a través de las diferentes capas de material filtrante.

El agua proveniente del sedimentador laminar es conducida mediante una tubería de 6 pulgadas a una caja de distribución que se encuentra centrada, la cual direcciona mediante dos tramos de canales horizontales hacia cada uno de los extremos de esta, alimentando una estructura rectangular que se encuentra provista en el fondo de una tubería de 6 pulgadas que conduce el líquido hasta el fondo de los filtros en donde se inicia el proceso de filtración ascendente. al final de la estructura se encuentra un canal de salida del agua donde se capta el agua de las dos unidades de filtración y una entrada adicional del bypass proveniente del floculador activada mediante una válvula, ver figura 11 y 12.



Figura 11. Filtro Rápido de Flujo Ascendente

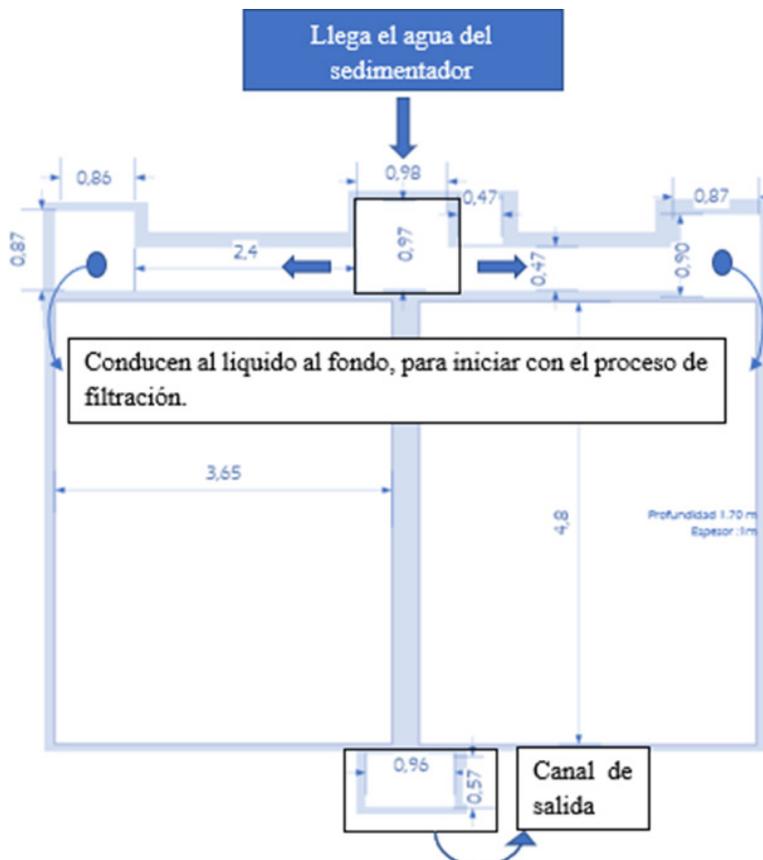


Figura 12. Filtro Rápido con Dimensiones

De la estructura del filtro rápido salen dos tubos de ocho (8) pulgadas, que se dirigen a la estructura de retrolavado, un tubo que corresponde a la unidad derecha y el otro tubo de la unidad izquierda del filtro. En la estructura de retrolavado se encuentran 2 llaves de bola para controlar el flujo de evacuación del retrolavado, hay dos orificios para el desagüe de cada unidad de filtración, se cierra la válvula de ingreso al filtro y mediante la apertura de las válvulas de bola, se da el retrolavado, mediante la evacuación de la película de agua filtrada que se ha depositado en la parte superficial del filtro, en sentido contrario (descendente) al de su funcionamiento habitual, evacuando los sedimentos retenidos por el lecho filtrante, dándose de esta manera el mantenimiento en la estructura de filtración rápida.

Seguido de la estructura de filtración rápida, se encuentra el filtro lento, que está comprendido por 2 unidades con un lecho filtrante de arena sílice o(silica), la estructura de filtración lenta es más grande que el filtro anterior, además de que como su nombre lo indica la velocidad de filtración es más baja, en la figura 13 se muestra una representación general del filtro lento y sus dimensiones.

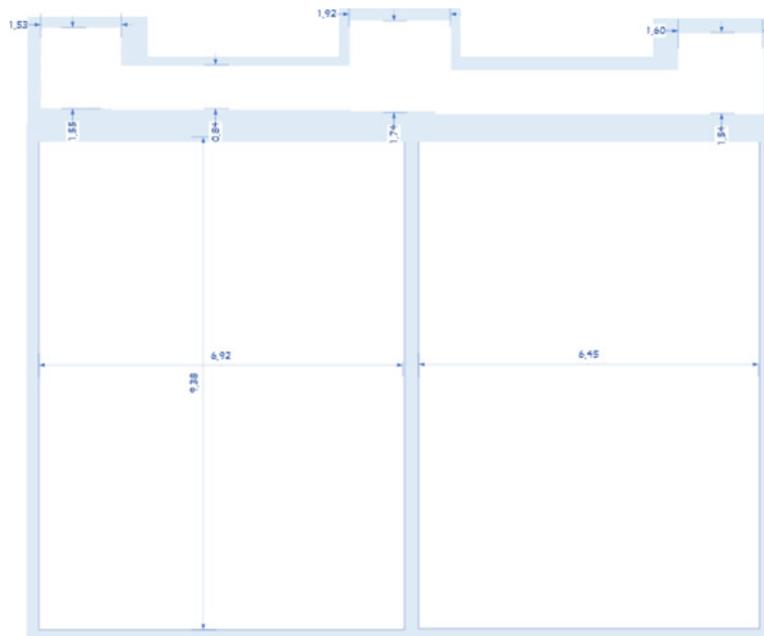


Figura 13. Estructura Filtro Lento y Dimensiones

## Desinfección



Figura 14. Unidad de Desinfección

La desinfección se realiza en una unidad ubicada después del filtro lento, y es el último proceso de la etapa de tratamiento del agua, cuyo objetivo es garantizar la calidad del agua desde un punto de vista microbiológico

y asegurar que no cause daño para la salud de los consumidores,<sup>(14)</sup> es una de las labores más importantes en una planta de tratamiento.

La desinfección consiste en la aplicación directa al agua de sustancias químicas o se usa un agente físico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades en el organismo del ser humano. En este caso en particular se aplica hipoclorito de calcio granulado, por medio de un tanque de PVC se realiza la respectiva solución de hipoclorito dependiendo de la dosis predeterminada para una correcta desinfección, en la figura 14 se muestra la estructura donde se realiza el proceso de desinfección.

### Etapa de Distribución

El tanque de almacenamiento o distribución ayuda a asegurar el abastecimiento de agua, al permitir almacenarla para utilizarla en las horas y épocas de mayor demanda.

Debido a la necesidad en las partes altas del casco urbano, de contar con un buen suministro de agua se ha requerido la implementación de dos tanques de almacenamiento de capacidad 250 m<sup>3</sup> y 100 m<sup>3</sup>, este último construido actualmente como se observa en la figura 15.



Figura 15. Tanque de Almacenamiento Nuevo

Funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema de potabilización

### Captación

#### Funcionamiento

En el proceso de captación se logra recibir una gran cantidad de líquido, los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua tales como hojas, ramas, troncos, piedras, plásticos

quedan retenidos gracias a una rejilla. En esta primera etapa es de suma importancia la limpieza de la rejilla puesto que estos materiales dificultan el paso del agua.

#### Operación

- Revisar variaciones de caudal y cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua.

La revisión del flujo es importante dado que para el buen funcionamiento de la planta se debe conocer el caudal que se tratara, puesto que, si el agua que entra a la planta sobrepasa su capacidad, conllevara a que no salga bien tratada, además la verificación de la fuente es de suma importancia, dado que el agua es un líquido cuyas propiedades cambian (épocas de invierno, verano, y que en su trayecto puede traer elementos que estén causando contaminación).

- De acuerdo con la capacidad de la PTAP abrir o cerrar la válvula o compuerta para regular el ingreso de agua al sistema.
- Verificar el funcionamiento de las válvulas en cada operación y lubricarlas periódicamente cada tres meses.
- Interrumpir el servicio cuando el agua esté muy turbia o tenga mucho lodo, principalmente cuando se presentan fuertes precipitaciones, en el cual se ven afectados los niveles de turbiedad.
- Programar actividades de limpieza o mantenimiento de los alrededores cada tres meses.

#### Mantenimiento

- Limpiar las rejillas.
- Remover con una pala la arena sedimentada en el interior de la bocatoma.
- El mantenimiento recomendado es que no sea inferior a una semana.

**Aducción**

*Operación*

La línea de aducción debe ser examinada en todo su recorrido para la detección de fugas y verificación de su estado una vez por semana, este se considera como una actividad preventiva, adicionalmente se debe tener en cuenta las condiciones del terreno cercanas a las líneas de aducción.

*Mantenimiento correctivo*

Reparación por rotura de tuberías, este mantenimiento es eventual, puesto que se desconoce el momento en que se pueda presentar daños en la tubería.

**Desarenador**

*Funcionamiento*

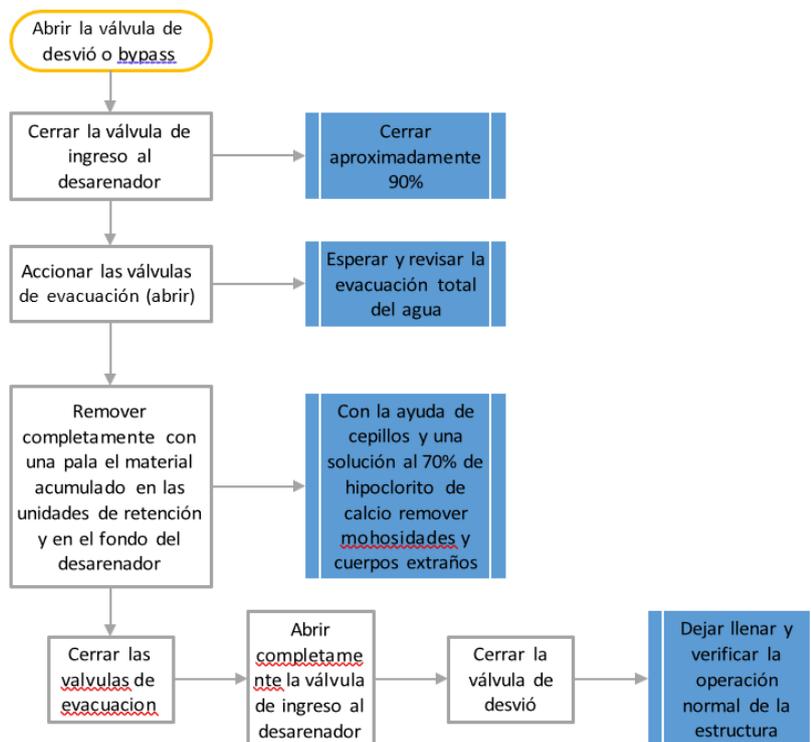
- El agua proveniente de la aducción ingresa por la tubería PVC 6 de pulgadas.
- El fluido desciende debido al muro de quietamiento y se sedimenta el material más grueso (arena-grava).
- En la zona de sedimentación las partículas más finas decantan hasta llegar a la zona de lodos.
- La zona de lodos retiene las partículas que fueron sedimentadas y pueden ser expulsadas al abrir la válvula de la tubería de lavado.
- La zona de salida del desarenador está constituida por un vertedero que se dirige a un canal abierto.
- El agua con menor cantidad de partículas gruesas sale hacia el siguiente proceso por medio de una tubería PVC 6 pulgadas.

*Operación*

En operación normal debe mantenerse cerradas las válvulas de bypass y de drenaje, y mantenerse abiertas las válvulas de entrada y salida al desarenador. Es importante decir que el desarenador está ubicado en una zona donde el ingreso de hojas es constante por tal motivo es necesario que el operador inspeccione y retire aquellos materiales que estén flotando en la superficie del agua, además se recomienda la instalación de un material protector (Polisombra) sobre la estructura a fin de mitigar el ingreso de objetos en el proceso.

Inspección de la estructura y su funcionamiento se inspecciona el estado y funcionamiento de la estructura y accesorios de entrada y salida que no cuenten con roturas (indicio de grietas) o presenten alguna anomalía.

*Mantenimiento*



**Figura 16.** Mantenimiento Desarenador

Cerrar aproximadamente en un 90 % la válvula de ingreso principal al desarenador, dejar un leve caudal de paso en la entrada para los posteriores enjuagues, seguir el esquema planteado en la figura 16 para realizar el mantenimiento al desarenador.

## Coagulación

### Funcionamiento

El agua procedente del desarenador ingresa por medio de una tubería PVC de 6 pulgadas al canal de recepción de la canaleta Parshall. El agua continua el trayecto hasta llegar a la zona convergente de la canaleta Parshall, en esta:

- Se realiza la medición del caudal gracias a una compuerta con una regla graduada.
- La dosificación del sulfato de aluminio se realiza por medio de una manguera que transporta la solución desde un recipiente dosificador de 1000 litros.
- Se acciona la bomba eléctrica cuya función es suministrar la cantidad de dosis optima programada y ajustada de acuerdo con los requerimientos calculados en el ensayo de jarras.
- Se verifica la ubicación de la manguera evidenciando que este ubicada antes del resalto para aprovechar y asegurar que la mezcla sea homogénea.
- Finalmente sigue hacia la zona divergente de la canaleta donde se dirige al floculador.

### Importancia del pH en el agua

En un sistema de abastecimiento de agua el potencial de hidrogeno (pH) con el que ingresa el agua, es de suma importancia, la escala está comprendida de 0-14, llamando pH ácido el rango comprendido de (0-7), un pH de 7 es considerado neutro y el rango que está de (7 -14) básico. El pH influye en el tratamiento como coagulación, desinfección y para el control de corrosión.<sup>(14)</sup>

En los procesos de dosificación para la regulación del pH se emplea soda caustica en hojuelas, esta sustancia se aplica por medio de una bomba dosificadora, manguera de inyección. La bomba dosificadora funciona por medio de electricidad. Esta se encarga de succionar la solución de soda caustica desde un tanque con capacidad de 1000 litros y se encarga de eyectarla por medio de una manguera hacia la zona divergente de la canaleta Parshall, la dosificación se gradúa acorde al resultado del ensayo de jarras.

### Operación

- Comprobar que haya suficiente inventario de reserva, en el depósito de químicos. El cual cubra el tiempo de reaprovisionamiento de los químicos empleados en la potabilización este se puede ajustar o estimar de acuerdo con las variaciones meteorológicas presentadas cumpliendo con los estándares de calidad para operar en la PTAP.
- Verificar la disponibilidad de agua tratada para formar la solución del coagulante, teniendo en cuenta que el tanque cuenta con una capacidad para 1000 litros.
- Comprobar el estado de funcionamiento del equipo dosificador.
- Inspeccionar el equipo para la realización del ensayo de jarras, pH metro, turbidímetro.
- Ajustar el dosificador según el caudal de entrada y la dosis que se aplicara, de acuerdo con el ensayo de jarras.
- Verificar que el recipiente de la solución se encuentre en óptimas condiciones (no presente fugas). Abrir la válvula de agua hasta suministrar el caudal necesario al recipiente para formar la solución del coagulante con la dosis optima.
- Verificar que no se encuentren obstrucciones en la tubería que conduce la solución de coagulante hasta la mezcla rápida.
- Verificar que la dosis optima se aplicó en la canaleta Parshall en el punto de mayor turbulencia.
- Medición del caudal en esta actividad el operario encargado ya tiene establecido el punto del caudal requerido, este se deberá tener en cuenta de acuerdo con el periodo de demanda durante la semana, puesto que los fines de semana por la actividad comercial tiende a un mayor requerimiento del suministro.
- Preparación y aplicación de coagulante (realizando el ensayo de jarras, verificando la dosis optima a aplicar de acuerdo con el cambio de la turbiedad presentada).
- Ajuste dosificación mediante bombas dosificadoras de soda cáustica y coagulante: se ajusta la rata de dosificación mediante el tornillo regulador de la bomba. Acorde al ensayo de jarras.
- Actividades periódicas: efectuar semanalmente la limpieza de los equipos del laboratorio.
- Actividades eventuales: calibrar los equipos periódicamente como intervalo mínimo una vez por mes.

### Mantenimiento

Limpieza de la estructura se lleva a cabo mediante el uso de cepillos metálicos por medio del cual se lleva a cabo la remoción de mohocidades y demás materiales adheridos a las paredes de la estructura, además se deberá limpiar la compuerta.

### Mantenimiento bombas

Mantenimiento en las bombas dosificadoras de soda cáustica y sulfato de aluminio tipo A, la frecuencia que se recomienda es cada 6 meses, y en caso de evidenciarse que estén presentando fallas por mínimas que parezcan, se deberá dar aviso, para programar el mantenimiento preventivo de estas en el menor tiempo para evitar daños mayores.

### Floculador

#### Funcionamiento

El agua ingresa a la primera cámara mediante conexión entre la canaleta Parshall y el floculador por medio de un orificio de 6 pulgadas para comenzar el proceso de mezcla lenta, ver figura 17.



Figura 17. Ingreso de Agua a la Primera Cámara del Floculador

Este proceso se lleva a cabo de manera vertical, como se ilustra en la figura 18, a continuación, se describe el funcionamiento del floculador tipo Alabama.

- El agua ingresa a la primera cámara (A) y desciende para introducirse por medio de una pantalla a la segunda cámara (B).
- Una vez el agua entra al codo de la segunda cámara (C) asciende a través de este para luego descender por el codo (D) y continua su recorrido a la tercera cámara (E) hasta completar el recorrido por las 12 cámaras. A medida que el agua sigue su trayectoria se van formando los flocs.

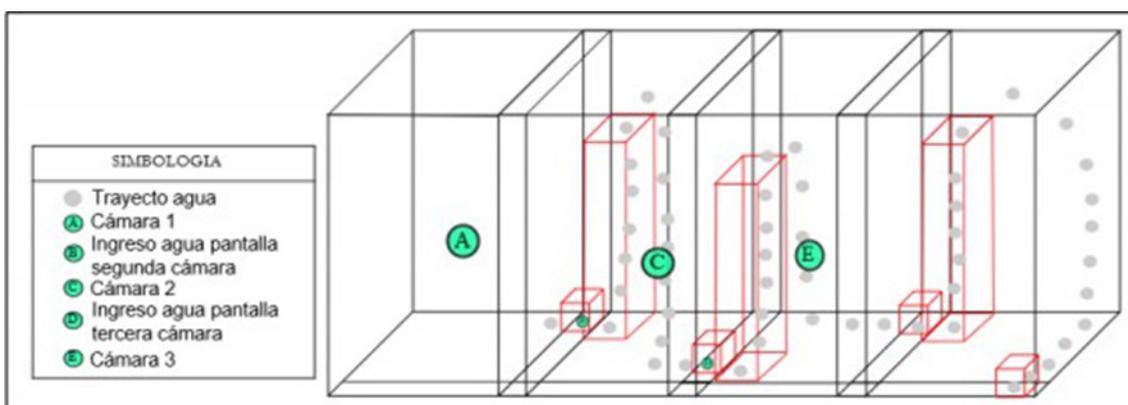


Figura 18. Trayecto del Agua en las 4 Primeras Cámaras del Floculador<sup>(12)</sup>

### Operación

- Debe verificarse que la dosificación y la mezcla rápida estén operando satisfactoriamente.
- Es necesario constatar que el nivel del agua en las cámaras, no varíe más del 10 % por arriba o por abajo del nivel de diseño (23 cm).
- Debe garantizarse que el tiempo de contacto en la unidad sea suficiente, para permitir que los flocúlos alcancen el tamaño y peso adecuado, lo cual es función de la dosis, el gradiente de velocidad y el tiempo que se mantenga la agitación en concordancia en el ensayo de jarras.

- Debe observarse en la salida del floculador el tamaño del floculo y determinarse la turbiedad residual después de decantada y compararla con la obtenida bajo los mismos parámetros en el ensayo de jarras.
- Mantener el caudal de diseño constante, con el fin de garantizar un floc adecuado (tamaño) en el cual el efecto del sulfato de aluminio sea lo más optimo posible, permitiendo un mejor proceso de clarificación al separar las partículas coloidales.
- Revisar la formación de flocs al final del floculador, en el cual se evidencia que la dosis aplicada es la correcta tomando una muestra para compararlo con el obtenido previamente en el ensayo de jarras.

#### *Mantenimiento*

Lavar la unidad periódicamente, se debe programar cada tres (3) meses, debido a que afecta la operación de la PTAP (se requiere suspender el ingreso de agua) para el lavado de la unidad, cerrar la válvula de entrada y desaguar la unidad.

Retiro y disposición de lodos: Se aprovecha el momento de lavado del floculador y mediante la manipulación de los tapones de cada cámara se expulsan los lodos, aprovechando la presión del agua por la tubería de vaciado y lavado.

#### **Sedimentación**

##### *Funcionamiento*

Es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido, y que tengan peso específico mayor que el fluido. La sedimentación se realiza en decantadores. En ellos se produce la decantación del floculo, que precipitan al fondo del decantador formando lodos. Normalmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora. Los decantadores o sedimentadores en su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua que contiene menor turbiedad, por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración.

##### *Operación*

El floc queda atrapado en los módulos o colmenas de sedimentación, en donde se deslizan por las paredes de los canales, este proceso permite que queden atrapados en el fondo permitiendo que el agua clarificada sea impulsada a la superficie y canalizada por medio de los tubos perforados, mientras que el floc se acumule en el fondo para luego ser eliminados en la limpieza del sedimentador que se realiza cuando se observa que está sucio por su actividad operativa.

- Una distribución adecuada del caudal total entre las unidades de sedimentación
- Verificar la no existencia de placas rotas o desplazadas que pudiera aumentar la velocidad del agua a través de la zona de sedimentación.
- Una recolección uniforme del agua sedimentada, tanto entre los diferentes tubos o canales recolectores, como a lo largo de un mismo tubo o canal.

##### *Mantenimiento*

- Lavado de las unidades En esta actividad se expulsan los lodos retenidos por medio de una válvula de desagüe, igualmente se lava la estructura gracias a una manguera que expulsa agua a presión. Este lavado incluye la limpieza de las placas inclinadas. Se recomienda que este se lleve a cabo cada tres (3) meses en época de verano y cada mes en época de invierno.
- Para realizar el lavado de la unidad de sedimentación se debe programar con anterioridad y preferiblemente en época de verano. El lavado se inicia deteniendo el funcionamiento total PTAP, luego abriendo la válvula de entrada. Posteriormente cuando la unidad este completamente vacía, iniciar con la zona depósito de lodos y revisar canal de desagüe, empezando con el lavado usando agua a presión Lavar canaletas de recolección de agua sedimentada abrir las válvulas una vez terminado el lavado

#### **Filtración**

##### **Filtración Rápida**

##### *Funcionamiento*

Los filtros rápidos convencionales constan de una estructura donde se coloca un medio filtrante, en este caso grava, (diferente granulometría). En general, los materiales más gruesos se ubican a mayores profundidades y los materiales finos se usan en profundidades bajas. Como se mencionó en la descripción, el agua llega por las canaletas a las cámaras de entrada y se distribuye por la tubería perforada que hay en el fondo del filtro; de allí el agua sube a través de las capas de grava hasta la superficie, de donde es dirigida a la cámara de salida, para ser conducida al filtro lento.

## Filtración Lenta

### Funcionamiento

Este proceso se realiza en dos unidades, por medio de filtros lentos en arena, en la figura 19 se observa cuáles son los componentes del filtro, el agua ingresa por medio de una tubería a la estructura central, en la cual se realiza la distribución del líquido en cada uno de los dos módulos de filtración, el agua ingresa por la superficie de la arena, donde se ha desarrollado una capa biológica (como mínimo 2 meses de entrar en operación el filtro), cuya función principal es la eliminación de microorganismos y la reducción de los niveles de turbiedad, desciende a través del lecho filtrante compuesto de arena sílice (1,7 m de espesor), al llegar al fondo es captada por un sistema de drenaje que consiste en tuberías perforadas de diez (10) pulgadas, donde direccionan el fluido al proceso de desinfección. Su mantenimiento específico del lecho filtrante se realiza por medio de raspado cada año.

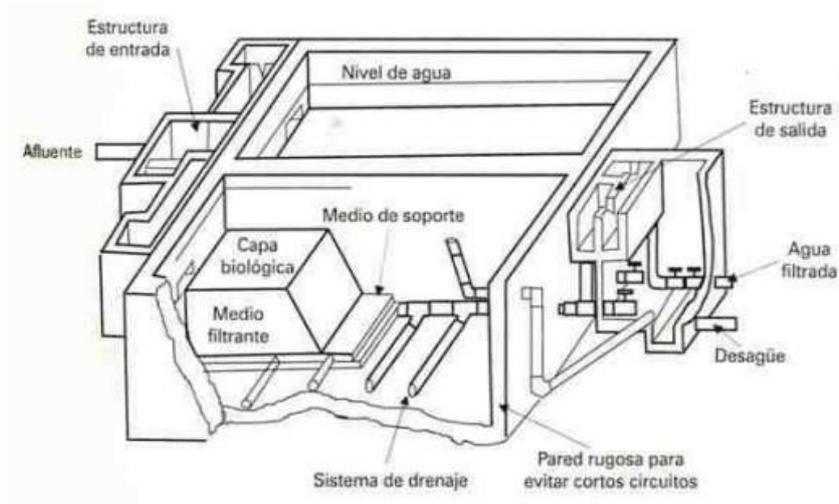


Figura 19. Componentes de Filtro lento<sup>(15)</sup>

### Operación

- Revisión de todos los elementos de operación del filtro
- Revisar cuidadosamente válvulas y compuertas, verificando el ingreso requerido de agua para la operación.
- Reponer la arena que se hubiere perdido en los lavados (filtro rápido).

### Mantenimiento

- Diariamente realizar el retrolavado del filtro rápido (5-10 min)
- Cambio de lecho filtrante eventualmente, cuando se observe deficiencias en el proceso.
- Realizar la reparación de la infraestructura cuando se presenten fisuras en las paredes, aplicar pintura anticorrosiva y material impermeabilizante, en el momento en el que el operario mediante inspección detecte que se están presentando estos sucesos.

### Cloración

Por medio de un tanque de PVC se realiza la respectiva solución de hipoclorito dependiendo de la dosis predeterminada para una correcta desinfección, del tanque sale una tubería que se dirige a la zona de cloración, donde se mezcla con el agua proveniente del filtro lento.

## Tanque de almacenamiento

### Funcionamiento

El tanque de almacenamiento sirve para compensar las variaciones de consumo en el día, mantener y equilibrar las presiones en la red, así como para almacenar cierta cantidad de agua que permita atender situaciones de emergencia o interrupciones provocadas por daños del acueducto.

### Operación

- Medir el caudal distribuido.
- Aforar el caudal de ingreso al tanque.
- Controlar la calidad del agua almacenada.
- Vaciar y lavar el tanque cuando se detecten sedimentos.

**Mantenimiento**

Lavado de los tanques Tres veces al año Los tanques son desocupados para realizar el procedimiento

**Descripción de los estándares de calidad**

En la tabla 3 se muestra, una clasificación de fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros de caracterización física, química y microbiológica y el grado de tratamiento mínimo que se recomienda.

La calidad del agua de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en periodo seco y de lluvia. Las pruebas de tratabilidad o también denominada prueba o ensayo de jarras son obligatorias para cualquier nivel de complejidad, no solo para el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta debido a que se presentan cambios en su calidad y pretenden simular 3 de los procesos que son centrales en el tratamiento de agua para el consumo humano que son la coagulación, floculación y sedimentación.

**Tabla 3. Calidad de la Fuente**

Nivel de calidad de acuerdo con el grado de contaminación				
Oxígeno disuelto mg/L	≥4	≥4	≥4	<4
Turbiedad (UNT)	<2	2-40	40-150	≥150
	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente deficiente	Fuente muy deficiente
Parámetros				
DBO 5 días				
Promedio mensual mg/L	≤1,5	1,5-2,5	2,5-4	>4
Máximo diario mg/L	1-3	3-4	4-6	>6
Coliformes totales (NMP/100mL)				
Promedio mensual	0-50	50-500	500-5000	>5000
PH promedio	6-8,5	5-9	3,8-10,5	
Color verdadero (UPC)	<10	10-20	20-40	≥40
Cloruros (mg/L-Cl)	<50	50-150	150-200	300
Fluoruros (mg/L-F)	<1,2	<1,2	<1,2	>1,7
Procesos de tratamiento utilizados	(1) =Desinfección +Estabilización	(2) =Filtración lenta o filtración directa+(1) FIME	(3) =Pretratamiento + [coagulación+ floculación + sedimentación +filtración rápida] FIME]+(1)	(4) = (3) +Tratamientos específicos

**Nota:** FIME Filtración en múltiples etapas

En la figura 20 se expone como llevar a cabo la obtención de la dosis optima de coagulante a aplicar de acuerdo a las condiciones, con las que ingresa el agua a la mezcla rápida

Los coagulantes son sustancias que al disolverse en un medio acuoso se disocian sus componentes desde un punto de vista químico en un medio acuoso y forman iones cargados, los de carga positiva denominados (cationes) y los de carga negativa (aniones), se ha indagado que estos iones cargados positivamente son afines con una serie de iones de carga contraria (aniones) como cloruros, sulfuros, sulfitos, nitratos, nitritos (las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas), finalmente por sus diferencias en términos de carga se van a unir y formaran lo conocido como coagulo.

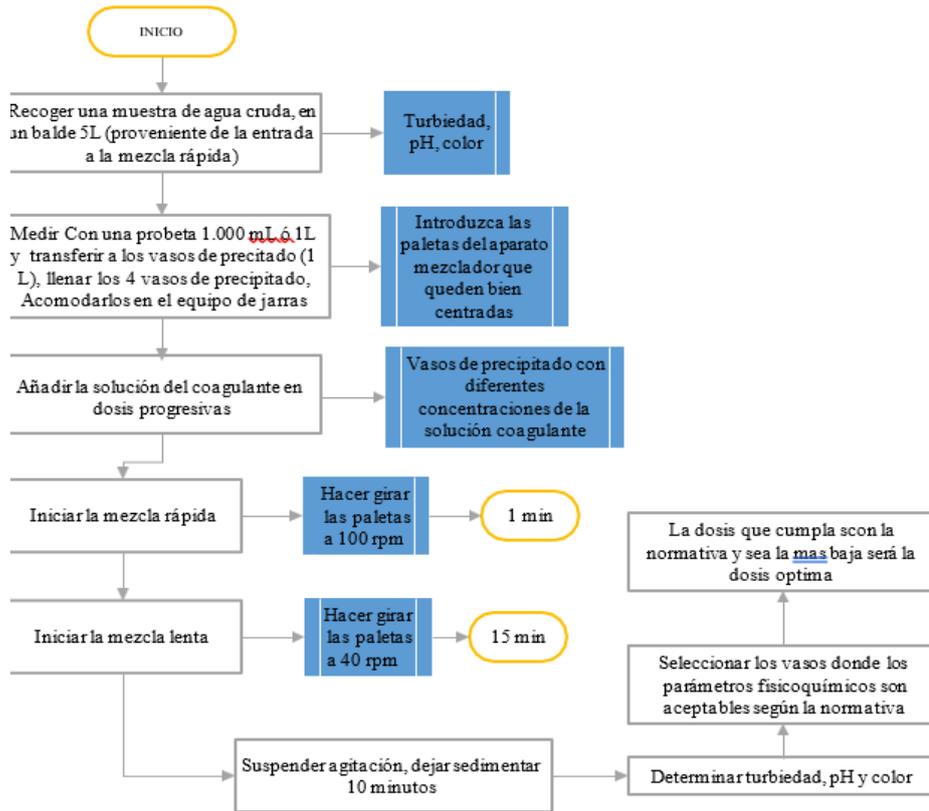


Figura 20. Metodología para la Obtención de la Dosis Optima de Coagulante

### Ensayo De Laboratorio

Para conocer las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de la fuente es necesario realizar ensayos de laboratorio. Mediante estas pruebas se permite evaluar las condiciones del agua cruda y por ende realizar los ajustes y procedimientos necesarios con el objeto de proporcionar a los consumidores un agua potabilizada apta para el consumo humano.

Una prueba de Jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor, las cuales son consideradas como características físicas a tener en cuenta para la evaluación de la calidad del agua, es por ello que a continuación nos adentramos en las características que se tienen que evaluar dentro de la normativa legal vigente establecida en la resolución 2115 del 22 de junio de 2007, por la cual se introduce el concepto del índice de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano (IRCA), por lo que se amerita brindar una profundización en cada una de las características presentes en la evaluación de la calidad del agua.

En el capítulo II de la resolución 2115 se muestran las características físicas las cuales se tienen en cuenta para la evaluación del IRCA para la PTAP el topacio, en la cual se verifica el cumplimiento de los parámetros establecidos, por lo cual se da a conocer mediante la tabla 4.

Tabla 4. Características Físicas del Agua para Consumo Humano		
Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color Aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no Aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Dentro de las características evaluadas encontramos también, las características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, y que se dan a conocer en la tabla 5, junto a su valor máximo aceptable.

**Tabla 5. Características Químicas que Tienen Reconocido Efecto Adverso en la Salud Humana**

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN <sup>-</sup>	0,05
Cobre	Cu	1
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Así mismo en las características químicas se tienen aquellas que, por sus efectos, es de gran importancia el tener en cuenta que un aumento en sus niveles requiere que se lleven a cabo toma de decisiones por parte del personal calificado (Ing. Químico) para hallar el tratamiento más adecuado y disminuir los niveles en los mismos.

**Tabla 6. Compuestos Químicos que Tienen Implicaciones Sobre la Salud Humana**

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresados como	valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10
Fluoruros	F <sup>-</sup>	1,0

**Tabla 7. Características Químicas que Tienen Mayores Consecuencias Económicas e Indirectas sobre la Salud Humana**

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>+3</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,5

Así mismo contamos dentro de las características a tener en cuenta, las de tipo microbiológico, las cuales se deben encontrar dentro de unos rangos aceptables, para no presentar riesgos en la salud humana.

<b>Técnicas Utilizadas</b>	<b>Coliformes Totales</b>	<b>Escherichia Coli</b>
Filtración por Membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sulfato Definido	0 microorganismos en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismos en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia - Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

Por consiguiente, se puede ver reflejada la consideración de factores anteriormente descritos tanto en características físicas, químicas como en las microbiológicas, por medio del llamado Índice de Riesgo de la Calidad del Agua Para Consumo Humano-IRCA, presente en la resolución 2115 de 2007, en donde se aprecia las clasificaciones de algunos factores básicos a tener en cuenta, y en donde se evidencia de acuerdo con la ponderación dada sobre una sumatoria total máxima de 100 puntos, como se muestra en la tabla 9.

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

La sumatoria del IRCA representa la viabilidad del consumo del agua en cuanto a la calidad, y en sí, se tienen en cuenta características físicas, químicas y microbiológicas expuestas en la resolución 2115 de 2007, y las cuales se puede detallar en la tabla 10, en donde se tiene que la ponderación (0) corresponde al nivel en el cual se cumple en todas las características evaluadas, mientras que al llegar a los 100 puntos se tiene como el riesgo más alto en la cual no se cumple con ninguno de los parámetros establecidos, reflejando el riesgo en el cual se encuentra expuesto el consumidor final y mediante la tabla 11 se puede evidenciar los cinco rangos en los cuales se encuentra dividido y clasificado el nivel de riesgo, especificando las entidades intervinientes, y las consecuencias o medidas a implementar en caso correspondiente.

**Tabla 10. Clasificación IRCA Según el Nivel de Riesgo**

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantara la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80,1-100	Inviabile Sanitariamente	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35,1-80	Alto	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14,1-35	Medio	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5,1-14	Bajo	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0-5	Sin Riesgo	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Dentro del funcionamiento de una planta de tratamiento de agua potable, la importancia del IRCA radica en que podemos apreciar la variación en cada una de las características evaluadas durante un periodo de tiempo, y por ende a partir de esta se pueden realizar los ajustes correspondientes en la etapa del proceso o etapas incidentes, es allí en donde se plantea el grado de riesgo y mediante su correcta interpretación se llegan a obtener los ajustes correspondientes para la aplicación de las medidas, tanto por fallas en la infraestructura, carencias en el proceso, falta de mantenimiento, factor humano, como otras posibles causas a evaluar, por lo que se amerita que tanto los operarios como todo el equipo de trabajo intervinientes en la potabilización del agua, logren identificar el funcionamiento, mantenimiento y operación en cada una de las estructuras anteriormente presentadas, esto a fin de no afectar la calidad del agua, dando reconocimiento a los estándares de calidad exigidos por la normativa nacional vigente y cumpliendo con la mayor responsabilidad posible frente a los consumidores por el alto impacto en la calidad de vida de los habitantes del casco urbano del municipio de Bochalema.

Por tanto, de acuerdo con las directrices dadas en la resolución 2115 del 2007, en donde nos muestra la frecuencia y el número de muestras que se deben aplicar para contar con un correcto seguimiento de las características y por ende el mantenimiento y mejoramiento de la calidad del agua cuando lo requiera.

La población en la zona urbana del municipio de Bochalema se encuentra en un nivel de complejidad medio, conforme a lo estipulado en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

**Tabla 11. Frecuencia de Toma de Muestras del Seguimiento a la Calidad del agua**

Población atendida por persona prestadora por municipio (habitantes)	Características	Frecuencia mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
2501 a 10 000	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado	Mensual	1
	COT, Fluoruros y residual del coagulante utilizado.	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo.	De acuerdo con lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo con lo exigido en el mapa de riesgo

#### Fichas de seguridad y Calibración de equipos

Teniendo en cuenta que en todo proceso en el cual se empleen sustancias químicas es de suma importancia, tener el conocimiento necesario para su manipulación y almacenamiento, dado que por falta de información se puede llegar a ocasionar accidentes o daños en la integridad física del operario.

Por consiguiente, se debe tener en cuenta que dichas sustancias deben almacenarse en un cuarto de reactivos, independiente de las demás actividades del laboratorio, bajo unas condiciones óptimas propias de los insumos empleados, por lo tanto, se recomienda ubicarlos sobre estantes y/o estibas por separado y clasificándolos de



### 3. Identificación de peligros

En los ojos causa irritación. En la piel produce leve irritación.

El material fino puede ser inhalado y producir irritaciones en mucosas. No es un producto combustible, pero emite vapores al ser incinerado.

Riesgo para el medio ambiente: puede ser dañino a la vida acuática.

### 4. Primeros auxilios

Instrucciones generales

Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.

En caso de inhalación

Tomar aire fresco

Si se sienten molestias, acudir al médico.

En caso de contacto con la piel

Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón. Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.

En caso de contacto con los ojos

Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos. Tratamiento médico necesario.

En caso de ingestión

No provocar el vómito. Si la persona está consciente y alerta beber abundante agua (2-4 vasos de agua) Requerir inmediatamente ayuda médica.

### 5. Medidas de lucha contra incendios

El producto no arde por sí mismo.

Los restos del incendio, así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor. Evite inhalar vapores desprendidos.

### 6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

El material en estado sólido es inofensivo. Se debe rociar cal sobre los residuos que queden después de recoger el material derramado, para evitar acidificación del suelo cuando haya corrientes de agua.

### 7. Manipulación y almacenamiento

Almacenar sobre estibas, en un lugar protegido de la humedad y protegidas del calor y la luz directa del sol, lejos de sustancias oxidantes y reductoras fuertes, ácidos y bases fuertes, sustancias combustibles e inflamables y solventes orgánicos.

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

Condiciones de almacenamiento seguro: lugares ventilados, frescos y secos. Evitar vertimientos a los cursos de agua.

### 8. Control de exposición y medidas de protección personal

Emplear gafas protectoras y mascarillas para evitar inhalar el material fino

### 9. Propiedades físicas y químicas

Formula Química:  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$

Aspecto : Granular o Polvo

Color: Blanco o ligeramente amarillo

Olor: Inodoro

Sabor : Astringente y ligeramente dulce Solubilidad en agua: 70 g en 100g de agua a 20° Peso Molecular: 342,15 g/mol

Punto de fusión : ND Temperatura de ignición: ND

El material no es corrosivo cuando está seco; es moderadamente corrosivo cuando se disuelve en agua.

### 10. Estabilidad y reactividad

El producto es estable en condiciones normales de almacenamiento. Reacciona con agentes quelantes. Libera gases tóxicos en caso de incendio.

### 11. Información toxicológica

El producto es tóxico por vía oral en cantidades superiores a 9000 mg/kg (DL50, rata) El producto puede ser irritante en las mucosas, pero no letal.

### 12. Información ecológica

El producto aporta aluminio al suelo, que es un inconveniente en suelos con fines agrícolas. Es tóxico para los peces en una concentración superior a 6,5 g/m<sup>3</sup>.

No contribuye a la DQO en los cursos de agua. No permanece en la cadena alimenticia.

### 13. Eliminación de residuos

El producto no es un desecho peligroso. Su disposición en un relleno sanitario no es peligrosa.

### 14. Información relativa al transporte

El material no es peligroso en caso de accidente.

Mientras se transporte en un empaque original, el producto no libera material fino al ambiente.

### 15. Información Reglamentaria

La utilización de este producto no es sujeta de controles específicos.

#### 16. Información Adicional

El producto se ha clasificado de baja reactividad, no inflamable e inofensivo para la salud. No tiene condiciones especiales de manejo, la dilución en agua no es peligrosa. El producto disuelto en agua puede oxidar el hierro metálico.

#### Responsabilidad

Es difícil anticiparse a la utilización de este producto y por lo tanto la información aquí contenida debe ser tomada como una orientación y aplicarla en el contexto apropiado.

Principales usos: tratamiento de agua potable, tratamiento de aguas residuales, tratamiento de piscinas entre otros.

El sulfato de aluminio es uno de los productos más empleados en el tratamiento de agua, al ser una sal metálica reacciona formando flóculos de hidróxido de aluminio al contacto con la alcalinidad de las aguas a tratar.

### Hidróxido De Sodio ó Soda Caustica

Se aplica en la parte divergente de la canaleta Parshall y se da mediante bomba dosificadora y su aplicación se da al evidenciarse cambios en el pH fuera de los estándares establecidos, principalmente cuando se producen precipitaciones y en temporada de verano.

### Hoja de Seguridad de Hidróxido De Sodio

Tabla 13. Hoja de Seguridad de Hidroxiido de sodio

#### Pictograma



#### Identificación nfpa



Salud: azul  
Inflamabilidad: rojo 0  
Reactividad: amarillo 1  
Riesgo especial: blanco

#### 1. Identificación del producto y de la empresa

Producto	Soda caustica escamas 99 % cristal hidróxido de sodio, hidrato de sodio, lejía
Fabricante/distribuidor	MultiQuimicos S.A.S
Dirección	Calle 45 No. 25-30 Bucaramanga
País	Colombia
Número de teléfono	6321673 3166922233

#### 2. Composición/información de los componentes

Especificación: resultados

NaOH: 99 % MIN

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ppm: 0,2 % MAX

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 9 % MAX

PESO MOL:40 g/mol

#### 3. Identificación de peligros

**Inhalante severo:** Los efectos por inhalación del polvo o neblina varían desde una irritación moderada hasta serios daños en el tracto respiratorio superior dependiendo de la severidad de la exposición, severa neumonitis y edema pulmonar.

**Ingestión:** fuerte dolor abdominal. Causa irritación gastrointestinal o ulceración y severas quemaduras de la boca, labios, lengua y garganta que pueden resultar en vomito con grandes cantidades de mucosa y sangre.

**Piel:** causa quemaduras de piel severa

**Ojos** la gravedad del daño depende del tiempo de exposición. Puede causar irritación severa con lesiones en la córnea o desintegración de la conjuntiva y resultar en ceguera.

**Efectos crónicos:** dermatitis y al estar en continuo contacto con la piel puede producir quemadura o ulceración profunda. El contacto repetido o prolongado de los ojos con pequeñas concentraciones causa conjuntivitis

#### 4. Primeros auxilios

**Instrucciones generales**

Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.

**En caso de inhalación**

Tomar aire fresco, suministrar oxígeno y mantener la víctima abrigada y en reposo Si se sienten molestias, acudir al médico.

**En caso de contacto con la piel**

Retirar la ropa y el calzado contaminados, lavar la zona afectada con abundante agua y jabón durante 15 minutos como mínimo. Si la irritación persiste repetir el lavado y buscar atención medica

**En caso de contacto con los ojos**

Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste busque atención medica En caso de ingestión

Lavar la boca con agua. si está consciente suministrar abundante agua no inducir el vómito, si este se presente inclinar la víctima hacia adelante. buscar atención medica inmediatamente

**5. Medidas de lucha contra incendios**

Peligros de incendio/o explosión es incombustible, sin embargo, en agua se calienta y reacciona con productos orgánicos, en contacto con metales libera hidrogeno que mezclado con aire puede causar fuego o explosión.

Producto de la combustión: por descomposición produce hidrogeno

Precauciones para evitar incendio: los contenedores pueden explotar cuando se calientan. Evitar el contacto con materiales incompatibles y con la humedad.

Agentes extintores del fuego: polvo químico seco, espuma o dióxido de carbono. No use Halón ni chorro de agua

**6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental**

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Usar equipo de protección personal, ventilar el área. Eliminar toda fuente de ignición.

**7. Manipulación y almacenamiento**

Almacenamiento: lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de Fuentes de calor e ignición. Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados.

Tipo de recipiente: para la manipulación usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo.

Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de etiquetas antes de usar producto. Rotular los recipientes adecuadamente.

**8. Control de exposición y medidas de protección personal**

Uso normal: gafas de seguridad con protector lateral, careta, casco con visor, guantes y botas de caucho, overol y respirador con filtro para polvo

Control de emergencias: equipo de respiración autónoma (SCBA) y ropa de protección total

**9. Propiedades físicas y químicas**

Formula Química: NaOH

Aspecto : terrones, escamas o copos blancos, inodoro. Absorbe agua y dióxido de carbono del aire

Color: Blanco

Olor: Inodoro

Sabor: Astringente y ligeramente dulce

Solubilidad: solubilidad en agua, alcohol y glicerol.

Peso Molecular: 40 g/mol

Punto de ebullición: 1390 °C

Punto de fusión : 318 °C

Temperatura de ignición: ND

pH: 12-14

**10. Estabilidad y reactividad**

Estabilidad: Es inestable bajo condiciones normales

Incompatibilidades o materiales a evitar. Agua: si; aire: no; otras: ácidos, líquidos inflamables, hidrocarburos halogenados, metales (aluminio, estaño, zinc), nitrocompuestos y metanol.

**11. Información toxicológica**

Irritante severo puede causar edema pulmonar y sus síntomas puede llegan a manifestarse solo a pocas horas de exposición. LDLO(oral, conejo)=500mg/Kg DL50(intraperitoneal , ratón)=40 mg/kg. No listado como cancerígeno.

**12. Información ecológica**

No biodegradable. No causa déficit de oxígeno, posible muerte de peces

**13. Eliminación de residuos**

Eliminar los residuos con bastante agua, luego neutralizar con ácido (Acético) las trazas remanentes de caustico

**14. Información relativa al transporte**

Información de transporte: Etiqueta blanca de corrosivo con el número 8. No transporte con sustancias de las siguientes clases: explosivos, solidos que en contacto con el agua liberan gases venenosos o inflamables, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, materiales reactivos, ni con alimentos. Suspensión de la licencia de conducción Información sobre transporte.

Clase riesgo: etiqueta blanca-negra de sustancia corrosiva. No transportar con sustancias explosivas, sustancias que en contacto con agua pueden desprender gases inflamables, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, materiales radiactivos, sustancias incompatibles ni alimentos.

15. Información Reglamentaria

Código nacional de tránsito terrestre. Decreto 1344/7, modificado por la Ley 33/86. Artículo 48: transportar cargas sin las medidas de protección, higiene y seguridad. Artículo 49: transportar materiales inflamables explosivos o tóxicos al mismo tiempo que pasajeros o alimentos.

16. Información Adicional

La información relacionada con este producto puede no ser válida si este es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular.

Es difícil anticiparse a la utilización de este producto y por lo tanto la información aquí contenida debe ser tomada como una orientación y aplicarla en el contexto apropiado.

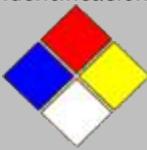
PRINCIPALES USOS: neutralización de ácidos, refinación del petróleo, manufactura del papel, celulosa, textiles plásticos, explosivos, pintura y removedor de pintura.

**Hipoclorito de Calcio al 70 %**

El hipoclorito de calcio al 70 %, se aplica en la etapa de desinfección, en la cual se encarga de oxidar los agentes orgánicos los cuales son los responsables de enfermedades causadas por los patógenos que aún se encuentran en el proceso de potabilización del agua, se da en la caseta de desinfección por medio de una bomba dosificadora.

**Hoja de Seguridad de Hipoclorito de Calcio**

Tabla 14. Hoja de seguridad de Hipoclorito de calcio 70 %

<p><b>Pictograma</b></p> 	<p><b>Identificación NFPA</b></p>  <p>Salud: azul 1              inflamabilidad: rojo 0              reactividad: amarillo 0              riesgo especial: blanco</p>
<p>1. Identificación del producto y de la empresa</p> <p>Producto: HIPOCLORITO DE CALCIO 70 % (cloro granulado)</p> <p>Fabricante/distribuidor: CFC INOVEL A Camlin Fine Sciences Company</p> <p>Dirección: Transversal 93 No 53-32 bodega 40 parque empresarial el Dorado-Bogotá</p> <p>País: Colombia</p> <p>Número de teléfono: 2239944</p> <p>E-mail: inovel@dresen.com.mx</p>	
<p>2. Composición/información de los componentes</p> <p>Material: composición</p> <p>Hipoclorito de calcio: 70 %</p> <p>Humedad: 5-10</p> <p>Aspecto físico: Polvo granular</p> <p>Olor: Típico del cloro o Hipoclorito Granulometría (malla 14-50): 90 %</p>	
<p>3. Identificación de peligros</p> <p>¡Peligro!</p> <p>Agente altamente oxidante. Mezcle solo con agua. La contaminación del producto puede ocasionar incendio o explosiones. No añada este producto a ningún utensilio de servir que contenga residuos de otros productos.</p> <p>¡Precauciones! Puede ocasionar lesiones o la muerte si se traga, no se lleve a los ojos, la piel, ni la ropa. puede causar quemaduras. Evite respirar el polvo. Es un irritante de la nariz y la garganta. Lávese las manos después de manipular el producto. Manténgase fuera del alcance de los niños.</p>	
<p>4. Primeros auxilios</p>	

**Instrucciones generales**

Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.

**En caso de inhalación**

Lleve a la persona que haya inhalado el producto a un área donde haya aire fresco, si la respiración es dificultosa suministre oxígeno. Solicite atención médica.

**En caso de contacto con la piel**

Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón durante 15 minutos mientras (retirar ropa y zapatos si están contaminados)

En caso de contacto con los ojos Solicite de inmediato atención medica

**Ingestión**

Si se traga el producto suministre entre 3-4 vasos de agua o leche. Solo Si la persona está consciente y alerta. No inducir al vomito.

**5. Medidas de lucha contra incendios**

Medios de extinción: solo agua.

Procedimientos especiales de extinción de incendios: el producto se descompone a 180°C desprendiendo gas oxígeno. Los bomberos deben usar aparato de respiración autónomo a presión, aprobado por la organización NIOSH. Este aparato debe poseer una máscara que cubra la cara entera para impedir posibles exposiciones a gases nocivos.

**6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental**

Elimine todas las fuentes ignición. Mantenga el agua alejada del material derramado. Ventile el área de la fuga o derrame. Use el equipo de protección personal apropiado (sección 8).

Derrames: limpie los derrames de una manera que no disperse polvo al aire. Utilice herramientas y equipos que no produzcan chispas. Recoja el derrame para su recuperación o descarte y colóquelo en un envase cerrado. No lo selle herméticamente.

**7. Manipulación y almacenamiento**

Mantenga en un recipiente fuertemente cerrado, almacene en área fresca, seca y ventilada. Proteja del daño físico y de la humedad. Aísle de toda fuente de calor o ignición. Evite almacenarlo en madera. Separe de materiales incompatibles, combustibles, orgánicos u otros materiales fácilmente oxidables. Observe todas las advertencias precauciones listadas para el producto.

Los recipientes de este material pueden ser peligrosos al vaciarse puesto que retienen residuos del producto.

**8. Control de exposición y medidas de protección personal**

Respiradores personales :(aprobados por NIOSH) En condiciones de uso donde la exposición a polvos o rocíos es aparente, se debe usar un respirador contra polvos/rocíos que cubra medique a cara. En emergencia o en situaciones donde no se conocen los niveles de exposición, use un respirador cubra toda la cara.

Protección de la piel: use vestimenta protectora impermeables, incluyendo botas, guantes, ropa de laboratorio, delantal o monos para evitar contacto con la piel.

Protección para los ojos: utilice gafas protectoras contra productos químicos y/o un protector de cara completa donde el contacto sea posible. Mantener en el área de trabajo una instalación destinada al lavado, remojo y enjuague rápido de los ojos.

**9. Propiedades físicas y químicas**

Formula Química:  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Aspecto : Polvo granular

Color: Blanco o blanco grisáceo

Olor: Olor a cloro o hipoclorito de sodio

Solubilidad: Soluble en agua; reacciona, liberando gas de cloro

Peso específico: 2,35 a 20°C

Punto de ebullición: No se encontró información

Punto de Fusión : Se descompone sobre los 177°C (350°F)

Estado físico: Polvo granular

**10. Estabilidad y reactividad**

Estabilidad: se descompone rápidamente al exponerse al aire. Podría descomponerse violentamente si se expone al calor a la luz directa del sol. Térmicamente inestable, se descompone a los 177 °C. Incompatibilidades: el hipoclorito de calcio es un oxidante fuerte. Reacciona con aguas y ácidos liberando gas de cloro. Forma compuestos explosivos con amoniaco y aminos. Incompatible con materias orgánicas, compuestos de nitrógeno y materiales combustibles. Condiciones a evitar: calor, llamas, humedad, polvo, fuentes de ignición y choque e incompatibles.

**11. Información toxicológica**

Calcium hypochlorite: LD50 oral en ratas: 850 mg/Kg. Ha sido investigado como tumorigeno y mutagénico

Agencia internacional para la investigación sobre el cáncer (IARC): categoría 3

**12. Información ecológica**

No se encontró información

**13. Eliminación de residuos**

Lo que no se pueda conservar para recuperación o reciclaje debe ser manejado como desecho peligroso y enviando a una instalación para desechos aprobadas por RCRA. El procesamiento, utilización o contaminación de este producto puede cambiar las opciones de manejo del desecho. Deseche el envase y el contenido no USADO de acuerdo con los requerimientos federales, estatales y locales

## 14. Información relativa al transporte

Carretera (Tierra, D.O.T)

Nombre legal del embarque: Calcium Hypochlorite Mixture, Dry Clase peligrosa: 5,1

UN/NA: UN1748

Grupo de empaque: II

## 15. Información Reglamentaria

No se encuentra

## 16. Información Adicional

Clasificaciones NFPA:

Salud: 3 inflamabilidad: 0 Reactividad: 1 otro: OXIDIZER

Etiqueta de advertencia de peligro: ¡PELIGRO! Oxidante fuerte, en contacto con otro material puede provocar fuego. Corrosivo. causa quemaduras a cualquier área de contacto. Daño si se tragase o inhalase agua reactiva.

Etiqueta de precauciones: no permita contacto con vestimenta y otros materiales combustibles. Almacene en un recipiente asegurando que quede cerrado. Quitarse y lavar vestimenta contaminada rápidamente. No almacene cerca de materiales combustibles.

No respirar polvo o vapor Mantenga recipiente cerrado

Utilice solamente con ventilación adecuada

Responsabilidad

Es difícil anticiparse a la utilización de este producto y por lo tanto la información aquí contenida debe ser tomada como una orientación y aplicarla en el contexto apropiado.

**Cloro al 91 %**

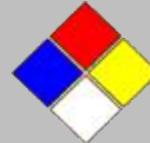
Se usa para la eliminación de algas que se forman en la infraestructura de la planta y que puedan llegar a obstruir las tuberías de distribución o las conexiones existentes entre las etapas del proceso, este se aplica manualmente en los módulos, se tiene en cuenta que este es más estabilizado que el cloro al 70 %.

**Hoja de Seguridad de Cloro**

Tabla 15. Hoja de Seguridad de Cloro al 91 %



Identificación nfpa



Salud: azul 2

Inflamabilidad: rojo

Reactividad: amarillo 2

Riesgo especial: blanco

## 1. Identificación del producto y de la empresa

Producto : Cloro al 91 %  
 Fabricante/distribuidor : QUÍMICOS PANAMERICANOS E- U P.Q.P  
 Dirección : Cra 25 No41-25 of.103 Bucaramanga  
 País : Colombia  
 Número de teléfono Email : (7)6327596  
 : químicospanamericanosppq@gmail.com

## 2. Composición/información de los componentes

Cloro disponible:91 %

## 3. Identificación de peligros

Inhalación: Los efectos por inhalación del polvo o neblina varían desde una irritación moderada hasta serios daños en el tracto respiratorio superior dependiendo de la severidad de la exposición, severa neumonitis y edema pulmonar.

Ingestión: fuerte dolor abdominal. Causa irritación gastrointestinal o ulceración y severas quemaduras de la boca, labios, lengua y garganta que pueden resultar en vomito con grandes cantidades de mucosa y sangre.

Piel: causa quemaduras de piel severa

Ojos la gravedad del daño depende del tiempo de exposición. Puede causar irritación severa con lesiones en la córnea o desintegración de la conjuntiva y resultar en ceguera.

Efectos crónicos: dermatitis y al estar en continuo contacto con la piel puede producir quemadura o ulceración profunda. El contacto repetido o prolongado de los ojos con pequeñas concentraciones causa conjuntivitis.

## 4. Primeros auxilios

**Instrucciones generales**

Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.

**En caso de inhalación**

Poner a la víctima en aire fresco. Asistir la respiración si es necesario. Acudir al médico

**En caso de contacto con la piel**

Lávese la piel con abundante agua durante al menos 15 minutos, en caso de que el producto este húmedo. Acudir al médico.

**En caso de contacto con los ojos**

Lavarse los ojos con abundante agua durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste busque atención médica

**En caso de ingestión**

No administrar ningún tipo de sustancia si la persona se encuentra inconsciente

Ingiera grandes cantidades de agua, leche y/o clara de huevo. No provoque el vómito. Ir al médico inmediatamente.

Información clínica evite el lavado gástrico y los eméticos administre sustancias alcalinas (gel de hidróxido de magnesio, leche de hidróxido de magnesio). No dar ni carbonatos ni bicarbonatos

**5. Medidas de lucha contra incendios**

Medios de extinción a usar: usar agua abundante. no intentar apagar el fuego sin equipos respiratorios especiales (sección 7). No usar extintores ABC ni otros similares de producto químico seco. Ni que contengan nitrógeno. Riesgo de reacción química violenta. Limpiar el equipo inmediatamente tras su uso. Riesgos producidos por la combustión: no inflamable, pero calentado sobre los 230°C desprende

gas tóxico y corrosivo: cloro gaseoso Cl<sub>2</sub> incrementa la ignición de materias combustibles

**6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental**

Precauciones individuales: es necesario utilizar equipo respiratorio especial (sección 8) incluso con pequeñas cantidades vertidas. Evitar el contacto con los ojos y la piel.

Precauciones para la protección del medio ambiente: extremadamente tóxico para la fauna y flora acuática.

Métodos de limpieza: limpiar con materiales secos y exclusivos a este efecto. Colocar el producto en lugar propio

**7. Manipulación y almacenamiento**

Manipulación: usar guantes de goma y máscara o gafas protectoras. Después de la manipulación, lavar bien el material y ropa usados en el manejo

Almacenamiento: no usar envases o contenedores metálicos o de madera. Almacenar en lugar seco, cuya temperatura no exceda los 52°C mantener el recipiente cerrado. Si se va almacenar con otros productos tener la precaución de compartimentar. Este producto se ha de dejar cerca de la puerta de salida y sin impedimentos que las obstruyan en caso de tenerlos que sacar al exterior rápidamente.

**8. Control de exposición y medidas de protección personal**

Protección respiratoria: utilizar equipos respiratorios homologados cuando se sobrepase el riesgo de exposición. Se recomienda usar un equipo facial completo

Protección de las manos: usar guantes. Es conveniente tener un espacio cercano donde lavarse la piel en caso de contacto

Protección de los ojos: usar gafas de seguridad.

**9. Propiedades físicas y químicas**

Formula Química: C<sub>3</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>

Aspecto : Sólido (granular y pastillas)

Color: Blanco

Olor: a cloro, semejante a la lejía

Sabor: Astringente y ligeramente dulce Solubilidad en agua:

hidrosolubilidad: 1,2 g/cm<sup>3</sup>

Peso Molecular: 232,5 g/mol P

unto/intervalo de ebullición: no aplicable

Punto/ intervalo de fusión: 230 °C con descomposición

Temperatura de ignición: ND

pH: 3 al 25°C

densidad aparente: 1,6 g/cm<sup>3</sup>

inflamabilidad: >250°C

**10. Estabilidad y reactividad**

Estabilidad: es estable en condiciones normales de almacenamiento, aunque la pérdida de cloro activo puede ser del 0,1 % por año a temperatura ambiente de cloro. No hay riesgo de polimerización.

Condiciones a evitar: humedad y altas temperaturas (no exponer a más de 50°C)

Materias a evitar: las s-triazinatriones cloradas son agentes altamente oxidantes y clorantes. Por lo tanto, se presentará incompatibilidad con: metales, ácido y anhídrido acético, alcoholes: metílico, etílico, isopropílico, compuestos alifáticos y aromáticos no saturados aminorados, amidas, amoníaco y sales amónicas, hipoclorito de calcio, Dimetilhidrazina, esteroides fungicidas, glicerina, aceites y grasa, pintura peróxidos (de hidrogeno, sodio, calcio, magnesio, fenoles, disolventes: toluenos, xilenos etc. Productos de descomposición peligrosos:

-húmedo desprende Cl<sub>2</sub> (cloro gas) y NCl<sub>3</sub>(tricloruro de nitrógeno)

- En presencia de gas amoníaco o soluciones amoniacales, se generan cantidades peligrosas de  $\text{NCl}_3$ , gas muy explosivo
- El peróxido de hidrógeno reacciona violentamente
- La adición de aceites y grasas descompone el producto formado  $\text{Cl}_2$  y  $\text{CO}_2$

#### 11. Información toxicológica

En las ratas se produce irritación de ojos y nariz, dificultad respiratoria y aumento de la adrenalina. Se producen cambios en los parámetros químicos de la sangre al repetir la inhalación durante 4 semanas. Toxicidad oral aguda:  $\text{LD}_{50}=600\text{mg/Kg}$  ligeramente tóxico. Especie: rata

Toxicidad dérmica agua:  $\text{LD}_{50}=7600\text{ mg/Kg}$  prácticamente no tóxico. Especie: conejo Toxicidad oral  $\text{LD}_{50}$  humano:  $3570\text{ mg/Kg}$

Irritación de piel y ojos: corrosivo

#### 12. Información ecológica

Información general sobre el comportamiento de la sustancia en el medio ambiente:

Muy tóxico para peces y algas. No verter directamente sobre ríos y lagos. Se hidroliza en disolución acuosa diluida, dando ácido hipocloroso y ácido cianúrico.

#### 13. Eliminación de residuos

Eliminar los residuos con bastante agua, luego neutralizar con ácido (Acético) las trazas remanentes de caústico

#### 14. Información relativa al transporte

Etiqueta para el transporte: vehículo: etiqueta "agente oxidante" 5,1

Clasificación de peligro: (ADR) vehículo: panel naranja n° superior. 50 n° inferior: 2468 clase UN:5,1 n°2468. Grupo de embalaje II

#### 15. Información Reglamentaria

Ley 769/2002. Código nacional de tránsito terrestre. Artículo 32. La carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada y embalada y cubierta conforme a la normatividad.

Decreto 1609 del 31 de Julio de 2002. por el cual se reglamenta el transporte y manejo de materiales peligrosos por carretera.

#### 16. Información Adicional

Esta HDS ha sido confeccionada de acuerdo con las características de riesgo informadas por el fabricante. Los datos consignados en esta hoja de seguridad están basados en nuestra mejor opinión acerca del uso y manejo adecuado del producto en condiciones normales. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados. Cualquier uso del producto que no esté de acuerdo con la información contenida en la etiqueta o en combinación con cualquier otro producto o proceso es responsabilidad del usuario.

#### Responsabilidad

Es difícil anticiparse a la utilización de este producto y por lo tanto la información aquí contenida debe ser tomada como una orientación y aplicarla en el contexto apropiado.

## Calibración de Equipos

### *pH metro*

Se realizará en su lugar habitual de trabajo y dentro de los márgenes de temperatura adecuados.

Primero se realizará su puesta a punto habitual o diaria utilizando las disoluciones tampón al efecto de que dispone el usuario. Para ello se seguirá el siguiente proceso:

El sistema de medida del pH debe estar funcionando durante al menos 30 minutos antes de iniciar el proceso de calibración.

Ajuste de la compensación manual de temperatura en el valor al cual será realizada la puesta a punto de las soluciones tampón. Este valor se determina midiendo con el termómetro la temperatura de las soluciones tampón.

Examinar el electrodo para comprobar que no existe defecto alguno o presencia de burbujas de aire en su interior, en el caso de que las hubiere sacudir el electrodo de forma similar a los termómetros clínicos para bajar la temperatura. Limpiar el electrodo exteriormente con abundante agua destilada.

Sumergir el electrodo (o electrodos si no son combinados) en la solución tampón a temperatura controlada. La solución utilizada debe ser la de pH más próximo al pH interno del electrodo de vidrio, que suele ser pH 7.

Esperar el equilibrio térmico durante aproximadamente 1 minuto. Una vez estabilizada la lectura, accionar el mando de punto neutro calibración-estandarización-asimetría hasta conseguir una indicación del pH de la solución tampón.

Retirar el electrodo/s de la disolución y lavarlos con abundante agua destilada o con la solución tampón que será utilizada a continuación. Pueden secarse los electrodos sin frotar. Sumergir el electrodo en otro vaso que contenga otra disolución tampón de pH diferente a la anterior (suele utilizarse pH 4).

Esperar el equilibrio térmico durante aproximadamente 1 minuto. Una vez estabilizada la lectura, accionar el mando de pendiente-escala para ajustar la indicación al valor de pH de la solución tampón utilizada.

De esta forma el aparato queda ajustado en toda su escala y listo para realizar medidas de pH sobre

sustancias de pH desconocido. La escala ha quedado ajustada en dos puntos de la recta que relaciona los potenciales (mV) generados por el electrodo en función del pH de las disoluciones en que se sumerge.

Si se requiriese el ajuste empleando además otro punto de calibración (por ejemplo, pH 9) deberán repetirse los puntos de 7 a 9.

#### *Turbidímetro*

Introducir en el compartimento la solución estándar 0,1 NTU en el Turbidímetro HACH, alineando la marca de orientación, cerrar la tapa y encender el equipo.

Seguidamente pulsar el botón “CAL” y esperar a que se realice la cuenta regresiva de 60 segundos. Este proceso permite al equipo calcular el factor de corrección para las posteriores lecturas.

Pasados los 60 segundos, figurara en la pantalla el valor 20, que indica que el equipo requiere realizar la lectura de la solución estándar de 20 NTU.

Introducir dicha solución y pulsar el botón “READ”. El equipo contara nuevamente los 60 segundos y guardara el valor de turbidez leído. Seguidamente aparecerá en la pantalla el valor “100” que indica que se debe leer la solución estándar de 100 NTU.

Introducir la celda con la solución estándar de 100 NTU (con la marca de posición alineada) y pulsar el botón “READ” para que el equipo realice la cuenta regresiva de 60 segundos.

Finalmente figurara en la pantalla el valor de 800 NTU que indica que se debe introducir dicha solución estándar. Igualmente introducir la celda en el compartimento y pulsar el botón “READ”. Inicialará la cuenta regresiva de 60 segundos.

El equipo mostrara el icono “SO”. Retirar la última celda de calibración y pulsar el botón “CAL”.<sup>(16)</sup>

#### *Fotómetro*

Se enciende el equipo Se espera a que esté listo.

Presionamos el botón CAL CHECK.

Se toma la muestra calibrada como A zero, se limpia el envase.

Se coloca en el compartimento de zelda del que dispone el fotómetro Se prime el botón denominado ZERO.

Se espera hasta que se indique una lectura en la pantalla.

Posteriormente se retira la zelda y se introduce la zelda marcada como HI96771 Se oprime el botón READ.

Se espera hasta que se muestre la lectura del estándar.

Se procede a realizar la modificación de la fecha y hora en la que se lleva a cabo el proceso de calibración.

Se oprime el botón RANGE/GLP.

La calibración se almacena y se dirige a la pantalla de emisión en donde se indica que ya se puede proceder a realizar las lecturas de la muestra.

#### *Conductímetro*

Se enciende el equipo y esperamos unos segundos Se espera a que esté listo

Configuramos con el botón range, hasta estar en 0,00 milisiemens/cm Presionamos el botón CAL MEAS.

Se toma la muestra calibrada como 12,88 mS/cm Se introduce dentro de la muestra

Se oprime el botón denominado HOLD/ENTER Se ha calibrado y está listo para usarse.

## **CONCLUSIONES**

En este trabajo se elaboró un manual de operación y funcionamiento de la planta de tratamiento convencional, del casco urbano del municipio de Bochalema-Norte de Santander, este se logró al cumplir con los objetivos específicos empezando por la descripción de las etapas del proceso de potabilización, así como de la infraestructura que está presente en el proceso, en este orden de ideas fue posible evidenciar que la PTAP en general se encuentra con sus estructuras en buen estado, sin embargo presenta algunas deficiencias en cuanto al mantenimiento, las cuales deben ser corregidas para evitar daños en la operación y o calidad del agua. En esta etapa se evidenció daño en la estructura del proceso de sedimentación, específicamente en el módulo de sedimentación, por rotura de algunas placas tipo colmena, lo cual puede afectar la velocidad del flujo de los sedimentos, ocasionando fallas o sobrecarga en los siguientes procesos.

Se logró la descripción de las actividades de operación y mantenimiento de las estructuras involucradas en el proceso de potabilización, dado que de estas depende el buen funcionamiento del sistema de potabilización, instruyendo al operario, en las labores que debe ejecutar, teniendo presente que un manual permite ejercer eficientemente el trabajo del operador, pero no limitan las labores alternas o complementarias que puedan ejecutar.

Se instruyó al personal en los estándares requeridos para el consumo del agua potable, según la normativa nacional vigente, asimismo en el control y seguimiento de la calidad con la cual se evidenció que la unidad de servicios públicos se encuentra ante un desafío y mejora continua para brindar un suministro de agua que no

represente riesgos para su consumo.

Se elaboró las fichas de seguridad de los insumos químicos empleados por los operarios en la PTAP, recalando la importancia de la información que estas poseen, para evitar posibles accidentes por desconocimiento o la incorrecta manipulación.

Finalmente Se requiere la continua capacitación de los operarios debido a los nuevos procesos e infraestructuras empleados luego de la optimización de la planta.

## RECOMENDACIONES

Realizar la instalación de cubierta total en todos los módulos, con polisombra o material similar, con el fin de mitigar el ingreso de material vegetal de los árboles aledaños a estas y otros elementos que sean transportados por las corrientes de aire, que puedan contaminar el proceso.

Capacitar a todo el personal que interviene en la operación y mantenimiento de forma periódica.

Suministrar los implementos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento en cada una de las estructuras de forma adecuada y efectiva.

Realizar un plan de mantenimiento periódico, en el cual se tenga en cuenta los cambios meteorológicos durante cada año.

En caso de que alguna de las estructuras, equipos o elementos empleados en el proceso de potabilización presenten fallas o daños, realizar la solicitud de reparación o cambio de los elementos afectados en la mayor brevedad posible.

Se debe realizar una señalización de todas las estructuras y módulos, la evacuación y normas de seguridad, así, como mejorar la iluminación en la planta, sus alrededores más próximos y principalmente en la zona del laboratorio.

Así mismo se requiere realizar el encerramiento con malla eslabonada del 50 % faltante de la planta, mejorando las condiciones de seguridad y evitando el ingreso de personal no autorizado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Castro H, Rubio M, Rodríguez J. Análisis y perspectivas de las coberturas de acueducto y alcantarillado en el Departamento del Meta. Orinoquia. 2014;18:121-9. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89640734010>

2. Marín L. Plan de mejora de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en los campamentos Tacuá y Cuní del Proyecto Hidroeléctrico Ituango. 2020. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89640734010>

3. Díaz A. Importancia de la capacitación empresarial. 2016. <http://www.sincal.org/articulo31-importancia-de-la-capacitacion-empresarial.html>

4. DAG Ingeniería. Informe diagnóstico - Municipio de Bochalema. 2014. [http://www.pdanorte.co/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME\\_DIAGNÓSTICO\\_BOCHALEMA.pdf](http://www.pdanorte.co/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGNÓSTICO_BOCHALEMA.pdf)

5. Unidad de Servicios Públicos de Bochalema. Plan de contingencia para eventos de riesgo relacionados con los sistemas de acueducto y alcantarillado. Bochalema: Unidad de Servicios Públicos; 2013.

6. Unidad de Servicios Públicos de Bochalema. Visita técnica 2016. 2016. <http://www.simijaca-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/Dependencias/Paginas/Unidad-de-Servicios-Publicos-Domiciliarios.aspx>

7. Ministerio de la Protección Social. Decreto Número 1575 de 2007. Bogotá: República de Colombia; 2007.

8. Corcho F, Duque J. Acueductos: teoría y diseño. 3ª ed. Medellín: Sello Editorial Universidad de Medellín; 2005.

9. Saldarriaga J, Álvarez H. Cámaras de quiebre: sistemas de alcantarillado con alta caída. 2010.

10. Mesa L, Sanabria C. Propuesta de diseño y evaluación del acueducto del municipio Suaita - Santander, desde la captación hasta el tanque de almacenamiento. Bogotá: Universidad Católica de Colombia; 2018.

11. Lozano W, Lozano G. Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio. 1ª ed. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia; 2015.

12. Garzón D, Piraquive D. Elaboración del manual de operación y de mantenimiento del sistema de

acueducto de la cabecera municipal de San Francisco de Sales - Cundinamarca. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2017.

13. Martínez E, Estrada J. Sedimentador laminar en el tratamiento de agua para consumo humano. 2011. <https://docplayer.es/77344591-Sedimentador-laminar-en-el-tratamiento-de-agua-para-consumo-humano.html>

14. Chulluncuy N. Tratamiento de agua para consumo humano. *Ing Ind.* 2011;29:153-70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>

15. Ministerio de Desarrollo Económico, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Programa de capacitación y certificación del sector de agua potable y saneamiento básico. 2ª ed. Bogotá: SENA; 1999. <http://biblioteca.sena.edu.co/>

16. Tarazona O. Instructivo de verificación de la calibración del turbidímetro. 2019. [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTIVO\\_DE\\_CALIBRACION\\_TURBIDIMETRO\\_HACH.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTIVO_DE_CALIBRACION_TURBIDIMETRO_HACH.pdf)

17. Armenta D. Diseño de un manual de operación de equipos para la planta de tratamiento de agua potable Jerusalén en el municipio de Río de Oro - Cesar, Colombia [tesis]. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander; 2012.

18. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento utilizadas en el ámbito rural. 2006. <http://sial.segat.gob.pe/documentos/alternativas-tecnologicas-agua-saneamiento-utilizadas-ambito-rural>

19. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). Plan estratégico ambiental regional. Cúcuta: Sistema de Información Ambiental; 2016. [https://corponor.gov.co/PLANES/PLAN%202016\\_2035/3.%20CAPITULO%20DIAGNOSTICO-PLANEAR.pdf](https://corponor.gov.co/PLANES/PLAN%202016_2035/3.%20CAPITULO%20DIAGNOSTICO-PLANEAR.pdf)

20. Corporación Nueva Sociedad de la Región Nororiental de Colombia (CONSORNOC). Generalidades del municipio de Bochalema. 2015. <http://consornoc.org.co/wp-content/uploads/2014/11/cartilla-bochalema-julio7.pdf>

21. Fässler E. Optimización de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad del Chambo. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2014.

22. Gracia B. Turismo en el municipio de Bochalema, Colombia. [https://colombiaextraordinaria.com/somos\\_colombia/turismo/municipios/Bochalema](https://colombiaextraordinaria.com/somos_colombia/turismo/municipios/Bochalema)

23. Labprocess. Guía del proceso de calibración de pHmetro. 2015.

24. López A, Jiménez F. Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua potable San Antonio - Asociación Sucuneta [tesis]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2016.

25. Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 2007. Bogotá: República de Colombia; 2007. [http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución\\_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES](http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES)

26. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Título C: Sistema de potabilización. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico; 2000.

27. Ministerio de Educación Nacional. Orientaciones para la construcción o ajuste en los establecimientos educativos del manual de normas de seguridad en los laboratorios de química y física. 2015. [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355749\\_recurso\\_normatividad.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355749_recurso_normatividad.pdf)

28. Ramón R, Sepúlveda R, Villalobos F. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. México: Plaza y Valdés; 2003.

29. Sanabria A. Operación y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua. 2010.

#### **FINANCIACIÓN**

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

#### **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

#### **CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA**

*Conceptualización:* Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

*Curación de datos:* Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

*Análisis formal:* Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

*Redacción - borrador original:* Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.

*Redacción - revisión y edición:* Sara Esther Sanchez Carrillo, Ana María Rosso Cerón.