



**DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE FILTRACIÓN ACTUAL EN EL ACUEDUCTO  
CHAPARRAL Y SU OPTIMIZACIÓN PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA**

María Elena López Cardona

Informe de prácticas presentado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Semestre de industria

Asesora

Astrid Lorena Macías Ospina, Ingeniera Sanitaria

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería ambiental

Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2024

---

<b>Cita</b>	(López Cardona y Macias Ospina, 2024)
<b>Referencia</b>	López Cardona, M. E., & Macias Ospina, A. L. (2024). <i>Diagnóstico del proceso de filtración actual en el acueducto chaparral y su optimización para la mejora de la calidad del agua</i> . Informe de prácticas. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios por darme la vida y las facultades necesarias para afrontar el reto. A mi madre que desde el amor y la templanza ha hecho hasta lo imposible por educarme y formarme como una buena persona, a mi padre que desde el cielo ilumina mis días y me da el soporte necesario para no caer y a mis hermanos que con ejemplo me han corregido y me enseñan cómo luchar por un futuro mejor, sin lugar a duda espero retribuir cada esfuerzo, tiempo y dedicación, porque mi familia es el mayor motivo de inspiración para mi vida.

## **Agradecimientos**

Mis más sinceros agradecimientos a la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral que con total disposición me permitieron recorrer su planta de tratamiento en búsqueda de material importante para la investigación, al fontanero Alberto Álzate que con su experiencia de largos años me proporciono ideas claves para desarrollar este trabajo, a mi asesora Astrid, ella guio cada parte de este proyecto con sabiduría y de nuevo a mi familia que día tras día apoyaron mi proceso.

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	9
Abstract .....	10
Introducción .....	11
1 Objetivos .....	13
1.1 Objetivo general .....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 Marco teórico .....	14
2.1. Potabilización del agua.....	14
Cribado:.....	14
Coagulación-floculación: .....	14
Filtración: .....	14
Desinfección: .....	15
2.2. Planta de potabilización del acueducto Chaparral.....	15
2.3. Proceso de filtración del agua .....	16
2.4. Lechos filtrantes de arena.....	17
2.5. Lechos de filtrado a base de zeolitas .....	18
3 Metodología .....	21
Entrevista.....	22
Investigación .....	23
Visita a campo.....	23
Análisis.....	23
4 Resultados .....	24
4.1. Diagnóstico de la Planta de Tratamiento Acueducto Chaparral.....	24
4.2. Entrevista.....	32

4.3. Investigación .....	33
4.4. Visita a campo .....	34
5 Análisis .....	37
6 Conclusiones .....	42
Referencias .....	44
Anexos .....	47

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades físicas de la zeolita.....	19
<b>Tabla 2</b> Análisis de laboratorio de agua cruda .....	38
<b>Tabla 3</b> Propuesta económica.....	40

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> proceso de potabilización del agua en el acueducto Chaparral .....	16
<b>Figura 2</b> Esquema de metodología para el desarrollo del proyecto .....	21
<b>Figura 3</b> Área de estudio .....	22
<b>Figura 4</b> Locación de PTAP Acueducto Chaparral.....	24
<b>Figura 5</b> Bocatoma el Volantín. ....	25
<b>Figura 6</b> Desarenador Bocatoma el Volantín.....	26
<b>Figura 7</b> Bocatoma el Chispero.....	26
<b>Figura 8</b> Desarenador bocatoma el Chispero .....	27
<b>Figura 9</b> Cuarto de almacenamiento y distribución de químicos .....	28
<b>Figura 10</b> Bombas dosificadoras análogas.....	28
<b>Figura 11</b> Zona de filtración de la PTAP .....	29
<b>Figura 12</b> Tanque de almacenamiento de agua potable .....	30
<b>Figura 13</b> Diagrama de flujo PTAP de la Asociación de usuarios del Acueducto Chaparral.....	31
<b>Figura 14</b> Diseño actual de los módulos de filtración.....	35
<b>Figura 15</b> Arenas de filtración nuevas VS Arenas de filtración con desgaste .....	36

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>PTAP</b>	Planta de tratamiento de agua potable
<b>IRCA</b>	Índice de riesgo de calidad del agua potable
<b>OMS</b>	Organización mundial de la salud
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia



## **Resumen**

La potabilización del agua es sin duda uno de los mejores procesos para garantizar el consumo humano, este se desarrolla mediante una secuencia de pasos uno de los más importantes es la filtración en la cual intervienen los lechos de filtrado, el más utilizado es el de arenas y gravas debido a su economía y fácil acceso, sin embargo para la actualidad se ha innovado con filtros de otro tipo como carbón activado, zeolitas entre otros, estos nuevos sistemas pueden garantizar la calidad del agua y la eficiencia en el proceso. Durante una serie de visitas realizadas a la PTAP de la asociación de usuarios del acueducto Chaparral se inició con esta investigación enfocada en la renovación de los lechos filtrantes actuales, a lo largo de este trabajo se desarrolla en primera instancia un diagnóstico general de la planta de tratamiento de agua potable, el cual permitió identificar una falencia latente en el sistema de filtración, a partir de los resultados obtenidos se elaboraron una serie de investigaciones sobre cual sistema de filtración se adapta más a las condiciones de la calidad del agua y diseño de la PTAP, analizando las posibilidades de implementar un nuevo sistema de filtración más avanzado como lechos filtrantes de zeolita pero sin dejar de lado sistemas más sencillos y convencionales como los lechos filtrantes de gravas y arenas. Durante la ejecución del estudio se hizo un comparativo entre los dos sistemas, teniendo en cuenta efectividad, resistencia, adaptabilidad y optando también por el análisis del costo beneficio de la implementación de cualquiera de estos dos sistemas de filtración en la planta de tratamiento de agua potable de la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral.

*Palabras clave:* Agua, Zeolitas, Filtración, Potabilización, lechos de filtrado.

### **Abstract**

The purification of water is undoubtedly one of the best processes to guarantee human consumption, it is developed through a sequence of steps, one of the most important is filtration in which filter beds intervene, the most used is sand. and gravel due to its economy and easy access, however currently there has been innovation with other types of filters such as activated carbon, zeolites among others, these new systems can guarantee water quality and efficiency in the process. During a series of visits made to the PTAP of the association of users of the Chaparral aqueduct, this investigation began, focused on the renewal of the current filter beds. Throughout this work, a general diagnosis of the water plant was first developed. drinking water treatment, which allowed identifying a latent failure in the filtration system, based on the results obtained, a series of investigations were carried out on which filtration system best adapts to the conditions of water quality and design of the PTAP, analyzing the possibilities of implementing a new, more advanced filtration system such as zeolite filter beds but without leaving aside simpler and conventional systems such as gravel and sand filter beds, during the execution of the study a comparison was made between the two systems, taking into account effectiveness, resistance, adaptability and also opting for the analysis of the cost-benefit of the implementation of any of these two filtration systems in the drinking water treatment plant of the Chaparral Aqueduct Users Association.

*Keywords:* Water, Zeolites, Filtration, Drinking water, filter beds.

## **Introducción**

El agua de todos los recursos presentes en nuestro planeta es indispensable para la vida y para el desarrollo de nuestras sociedades (Marsily ,2005), es sin lugar a duda un recurso preciado e importante. Aún en la actualidad que se cuenta con alta tecnología y sistemas diseñados por el hombre, el desabastecimiento de agua potable a nivel mundial sigue siendo una problemática que requiere soluciones por tanto se ha convertido en un tema de profundo interés obligando al hombre a incentivar la investigación e implementación de sistemas de tratamiento de potabilización de todo tipo y estructura para mejorar la calidad de vida de los habitantes en comunidades rurales o urbanas (Quintero & Alfèrez, 2008). El crecimiento de la población y el desarrollo industrial han multiplicado los problemas de contaminación en el agua tanto de procedencia superficial como subterránea (Chulluncuy,2011). La contaminación de los sistemas loticos está dada en mayor parte por los humanos debido a sus actividades diarias, cuándo los seres humanos beben el agua contaminada tienen a menudo problemas de salud (Guadamarra et al.,2016), por lo tanto, el cuidado del agua es un aspecto importante que se debe tener en cuenta ya que es un problema que involucra a toda la población mundial (Guadamarra et al.,2016). Es así como con el pasar de los años se han desarrollado estrategias y procesos que hacen el agua apta para consumo humano, esto se logra a través del proceso de potabilización del agua en las plantas de tratamiento.

Existen plantas convencionales y otras que son adaptadas de acuerdo con la necesidad de cada empresa. En este caso, la planta de tratamiento de la ASOCIACION DE USUARIOS DEL ACUEDUCTO CHAPARRAL potabiliza diariamente alrededor de 1000 m<sup>3</sup> de agua cruda que se distribuyen por la red a 1500 familias de la región. Durante el proceso de tratamiento el agua fluye a través de tres filtros, los cuales se encargan de la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) mediante un medio poroso llamado lecho de filtración, en el caso de estudio se utilizan gravas y arenas.

La filtración es una etapa de suma importancia en el proceso de potabilización, esta contribuye considerablemente para que el agua cumpla los estándares de calidad definidos en la Resolución 2115 de 2007 la cual fija los límites máximos permisibles para el agua potable encargándose del cálculo del IRCA (Índice de Riesgo de Calidad del Agua potable) además de señalar las características, instrumentos básicos y frecuencia en el control y vigilancia para la calidad del agua.

Desde el punto bacteriológico, los filtros tienen una eficiencia de remoción superior a 99% (Chulluncuy, 2011), sin embargo, la eficiencia del proceso depende directamente de la calidad del filtro. En el momento de realizar la instalación de una planta de tratamiento de agua potable es de vital importancia realizar estudios que determinen las características del agua cruda a tratar y de este análisis depende directamente el tipo de insumos que se utilizaran en los lechos filtrantes, por este motivo, es necesario preservar la calidad del agua desde la fuente para evitar no solo costos ecológicos y sociales sino también económicos (Chulluncuy, 2011). Es muy importante considerar aspectos como la dosificación de químicos ya sean para los procesos de coagulación y floculación como para el proceso de desinfección, una mala dosificación puede interferir directamente en el funcionamiento del sistema de tratamiento en general. En muchos casos en los cuales no se realizan estudios previos se encuentran tuberías taponadas y lechos filtrantes en estado crítico debido a la acumulación de sedimentos provenientes de una mala dosificación. Para evitar estos inconvenientes es importante realizar ensayos de prueba de jarras, que simulen las condiciones de coagulación y floculación de la planta de tratamiento de agua potable, para así obtener el floc de tamaño adecuado (pesado y compacto) que al ascender por los módulos de filtración quede retenido en la zona de sedimentación y que no se destruya al pasar por la sección de filtración.

Sin lugar a duda la importancia de tener en buen estado las unidades de filtración en la Asociación de usuarios del acueducto Chaparral sería la garantía precisa para proporcionar una excelente calidad de agua al consumidor. Considerando la influencia que tiene el proceso de filtración en la PTAP, es esencial realizar un análisis que deje en consideración la utilización de los lechos filtrantes actuales y el estado actual en el que se encuentran. Durante algunos recorridos realizados en las instalaciones se ha evidenciado información de interés que permite proponer estrategias de mejora a la PTAP.

En el transcurso de las visitas a la PTAP se ha observado que los lechos actuales han sido utilizados dos veces más de su vida útil, lo que indica que podrían estar colmatados haciendo que el proceso de filtración no sea tan efectivo, con el fin de modernizar esta fase de potabilización se propone implementar nuevos lechos de filtración a base de zeolita, estas son un mineral de gran porosidad y de menor peso específico, comparado con la arena, dichas características le otorga ciertas ventajas en su uso como material filtrante (Petkova, 1997).

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Diagnosticar el estado actual de los lechos de filtrado en la planta de potabilización del acueducto Chaparral para proponer acciones de mejora.

### **1.2 Objetivos específicos**

Definir el estado actual de los lechos de filtrado de la planta de potabilización del acueducto Chaparral.

Determinar la efectividad de los lechos de filtrado a base de zeolita y su aplicación para la planta de potabilización del acueducto Chaparral.

Estimar el costo beneficio de la implementación de nuevos lechos de filtrado en la Asociación de usuarios del acueducto Chaparral.

## 2 Marco teórico

### 2.1. Potabilización del agua

La escasez del recurso hídrico ha llevado a que cada fuente sea aprovechada de forma adecuada, la manera de aprovechamiento más común es el consumo de agua por los humanos, según cálculos y estadísticas emitidas por la OMS el consumo de agua cruda causa enfermedades graves como diarrea, cólera, fiebre entre otras causantes de alrededor de 505.000 muertes al año (OMS, 2023). Para garantizar la sanidad a nivel mundial y disminuir la propagación de enfermedades, se inició de forma ancestral con la potabilización del recurso, datan los antepasados que desde los 1500 años hasta el 400 A.C el método de desinfección era hervir el agua, años más tarde en siglo XIX se construyó el primer sistema de agua potable para una ciudad, desde entonces a nivel mundial se han inventado todo tipo de sistemas de tratamiento que garanticen la calidad del agua para el consumo humano.

La potabilización del agua requiere de un tren de tratamiento, el cual convencionalmente incluye los siguientes procesos:

***Cribado:*** En este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua (ramas, madera, piedras, plásticos, etcétera) por medio de rejas, en las que estos materiales quedan retenidos (Chulluncuy,2011).

***Coagulación-floculación:*** Proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos, dicho proceso se usa para lograr:

Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica.

Remoción de color verdadero y aparente

Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, entre otros.

Eliminación de bacterias virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.

Destrucción de algas y plancton en general (Lorenzo,2006).

***Filtración:*** Este proceso se encarga de separar las partículas y microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. La filtración puede efectuarse de muchas formas: con baja carga superficial (Filtros lentos) o con alta carga superficial (Filtros rápidos); en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena,

antracita, granate o combinados); con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo, estos filtros pueden trabajar a presión o gravedad (Valencia et al., 2023).

**Desinfección:** Es el último proceso de tratamiento del agua, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos (Chulluncuy,2011), este proceso está orientado al control de bacterias, coliformes totales y fecales, los cuales son causantes de enfermedades que ponen en riesgo la salud pública. Los compuestos destinados para la desinfección son los derivados del cloro, cloraminas y ozono (Prada et al.,2021).

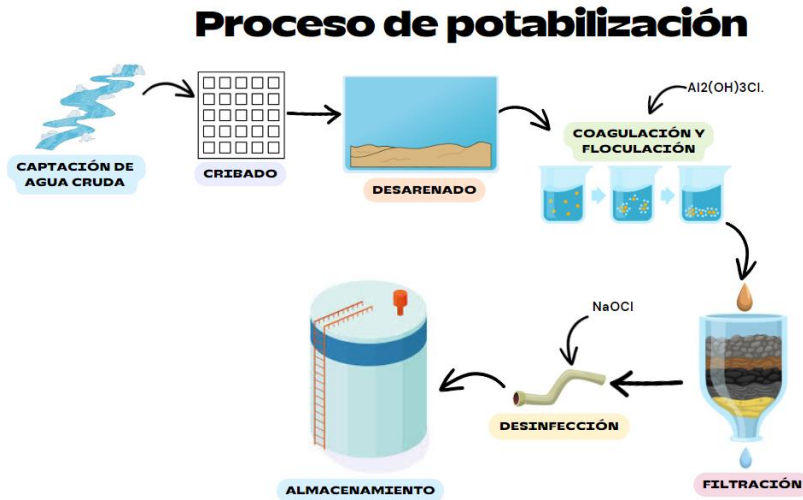
Es importante considerar que no todas las plantas de potabilización son iguales, cada una está diseñada de acuerdo con la necesidad del potabilizador. Según la tecnología usada se pueden clasificar en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente (Chulluncuy,2011).

## **2.2. Planta de potabilización del acueducto Chaparral**

Para iniciar el proceso de potabilización de agua en la asociación de usuarios del acueducto Chaparral se realiza la captación del agua cruda en las bocatomas, esta hace el recorrido un kilómetro de tubería hasta llegar a la zona de tratamiento. El proceso de potabilización comienza con la inyección del policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3$  para la formación del floc, esta agua transita por alrededor de 50 metros de tubería mientras el floculante realiza su tarea la cual puede tardar aproximadamente 50 segundos. Luego, el agua ingresa a la planta de tratamiento por la parte inferior de los módulos de filtración en los cuales asciende encontrando a su paso gravas de diferentes tamaños, en la zona superior del módulo encuentra arenas piscinas que se encargan de la filtración, al final de proceso el agua abandona el módulo por su parte superior. Una vez ha dejado los módulos de filtración para completar la potabilización se le inyecta el desinfectante hipoclorito de sodio al 15% NaOCl el cual es dosificado por bombas análogas que son configuradas para suministrar la cantidad exacta del químico. Al finalizar el tren de tratamiento, el agua es almacenada en los tanques de los cuales se distribuye directamente a cada hogar, el proceso anteriormente descrito se encuentra ilustrado en la **Figura 1**.

**Figura 1**

*proceso de potabilización del agua en el acueducto Chaparral*



La planta de tratamiento de la asociación de usuarios de acueducto Chaparral es una planta convencional y la composición de sus lechos filtrantes es principalmente arenas y gravas, este sistema de filtración ha sido efectivo en el tratamiento del agua cruda y control de microorganismos biológicos contaminantes por más de 150 años (Quintero & Alferez, 2008), siendo utilizado en todas las regiones del mundo.

### 2.3. Proceso de filtración del agua

La filtración consiste en la circulación del agua cruda a baja velocidad a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza (Aroca & Ruiz, 2010).

La limpieza y mantenimiento de los filtros dependen de la calidad del material que estos contengan y de las recomendaciones del fabricante. Los filtros utilizados en la planta de tratamiento del acueducto Chaparral, contienen materiales específicos como gravas gruesas en la parte inferior para que el agua al ingresar forme flocs, los siguientes lechos de filtración son de diferentes dimensiones distribuidas a lo largo del filtro desde partículas grandes hacia las partículas más



pequeñas. El proceso de esta planta es realizado por filtración ascendente, permitiendo que el agua durante el trayecto deje las impurezas y materiales particulados de diferentes micras, este proceso se desarrolla de forma natural sin necesidad de la aplicación de sustancias químicas, pero el éxito del proceso depende directamente de un buen diseño, una apropiada operación y cuidadoso mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica (Quintero & Alferez,200).

Los filtros de la planta de tratamiento del Acueducto Chaparral están en operación desde el año 2015, sin realizárseles ningún tipo de mantenimiento. El fabricante recomienda realizar revisión de los lechos cada seis meses, y recalca que tienen una vida útil de cuatro años lo que significa que para la fecha se tienen ocho años de funcionamiento continuo. Las arenas a lo largo del tiempo por su operación continúan tienden a colmatarse y a perder la capacidad del filtrado. El paso de un fluido por un medio poroso genera pérdida de energía, debido a la fricción existente dentro del módulo y generada con el material de la filtración contenido, si el fluido es solo agua la energía permanecerá constante durante el proceso, pero si contiene sólidos en suspensión o en disolución, como es el caso del ingreso de agua cruda a los módulos de filtración de la PTAP de la asociación, los sólidos se acumularán progresivamente sobre la superficie del lecho filtrante creando una capa que irá penetrando los poros de los lechos. Esta acumulación de material suspendido se manifiesta con una disminución de la porosidad del lecho filtrante y por consiguiente genera un aumento en la pérdida de capacidad filtrante del lecho (Mendoza et al,1989).

Con el paso del tiempo, la acumulación progresiva de sólidos y los años de operación de la PTAP se ha creado un sistema ineficiente o lento acarreado consigo a una problemática en la capacidad de filtración afectando directamente la salida de caudal hacia la sección de almacenamiento. Considerando la vida útil de los filtros y el crecimiento poblacional de la comunidad es importante realizar una evaluación de los lechos de filtrado actuales y considerar la implementación de un sistema más efectivo, como los lechos de filtración a base de zeolita.

#### **2.4. Lechos filtrantes de arena**

Los lechos filtrantes de arena son los filtros de más antigüedad usados en todo tipo de plantas de abastecimiento de agua potable, estos filtros fueron construidos por primera vez en el año 1829 por James Simpson (Quintero & Alferez, 2008). Los filtros de arena son como un tipo de

malla que se encarga de obstruir el paso de partículas que no se han logrado remover en procesos anteriores, durante la filtración los granos del medio filtrante retienen las partículas actuando como un tapón para el flujo de estas, por lo que requieren ser lavados periódicamente para evitar la obstrucción y la funcionalidad de estos.

Los filtros de arena son muy utilizados por su gran efectividad y bajo costo, permitiendo esto tener más eficacia operativa y menor inversión económica, durante la filtración el agua cruda que ingresa a la unidad permanece sobre la arena y durante su permanencia las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las partículas más ligeras se pueden aglutinar (Aguilar Hernandez, Daniel Fernando Portela Cuevas, Willian, 2009), lo que facilita la remoción. Las arenas se disponen a lo largo de la sección impidiendo el paso de las partículas, es un proceso sencillo, pero estudios realizados confirma que al realizarse la filtración con arena se pueden remover hasta el 99% de bacterias y partículas peligrosas para la salud.

## **2.5. Lechos de filtrado a base de zeolitas**

Las zeolitas son aluminosilicatos de metales alcalinos o alcalino-terrosos predominantemente de sodio y calcio (Clark, 1980). Además, presentan características relevantes, una estructura de microporos que le confiere propiedades adsorbentes y una gran capacidad de intercambio catiónico debido a un desequilibrio de cargas que es función de la relación Silicio (Si) y Aluminio (Al) (Curi et al., 2006). Para el caso del tratamiento de agua, la zeolita tiene múltiples beneficios económicos, ya que apuesta a la reducción de costos en el uso de materiales químicos como coagulantes. A continuación, en la **Tabla 1** se menciona algunas características físicas de la zeolita natural.

**Tabla 1***Propiedades físicas de la zeolita*

Propiedad física	Valor aproximado
Color	Blanco
Retención de humedad (%)	30-40
Porosidad (%)	30-55
Área de superficie (m <sup>2</sup> /gramo)	25
Absición superficial	Hidrofilica
Carga superficial	Negativa
Densidad específica (Kg/m <sup>3</sup> )	1830
Coefficiente de variación	2.45
Peso volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> )	725
Peso volumétrico varillado (Kg/m <sup>3</sup> )	780
Dureza (Mohs)	3
Estabilidad térmica (°C)	Hasta 500°

*Nota 1. Fuente (Mayra, 2018).*

La gran mayoría de los autores coinciden en la superioridad de las zeolitas naturales atendiendo a bajo costo, disponibilidad de grandes volúmenes y excelente estabilidad a los procesos (Englert & Rubio, 2005). Las zeolitas actúan como cribas moleculares y filtro profundo, están formadas por estructuras cristalinas rígidas que tienen afinidad por los iones con carga contraria, y también por partículas coloides y microorganismo lo cual es sin duda una propiedad efectiva para la retención de estas (Callejas, 2009). Además de estas características, las zeolitas son consideradas como un compuesto de suficiente efectividad para el tratamiento de agua y sedimentos, es un material inerte relativamente seguro que tiene una vida ambiental corta y no ejerce efectos nocivos o contrarios en la calidad del agua. Se ha demostrado progresivamente su compatibilidad para la eliminación de micro contaminantes en fuentes de agua potable y se ha informado como una estrategia eficaz para los tratamientos previos a la desinfección del agua crudas en las PTAP (Xiang et al., 2021). Es importante considerar que la zeolita debe aplicarse en la dosis correcta para obtener

los mejores resultados en los sistemas de filtración y para esto de deben realizar análisis de muestras de calidad en el agua cruda, para determinar los volúmenes de zeolita a aplicar en el sistema.

Conociendo cada aspecto abordado anterior mente se puede intuir que la implementación de nuevos lechos filtrantes no solo optimizaría los procesos, si no que mejoraría la calidad del agua de la población en general. La implementación de zeolitas en la planta de tratamiento del acueducto Chaparral permitirá incrementar la capacidad de filtración, neutralizar significativamente el pH del agua, atendiendo a un periodo de tres años de estabilidad, igualmente permite optimizar tiempo en el proceso de filtrado debido a que tiene la capacidad de filtrar un flujo cuatro veces superior a los de los medios filtrantes convencionales, esto permite atender con mayor prontitud la demandad del servicio y mejorar notablemente la calidad del agua. Es muy importante resaltar que las investigaciones con zeolitas naturales y sus aplicaciones en los trabajos relativos al medio ambiente están aumentando debido a sus propiedades y significativa incidencia (Englert & Rubio, 2005), además de la atención creciente que se le ha otorgado por el sector industrial (Melamed & Luz, 2006).

Teniendo en cuenta toda la información recopilada y explicada anteriormente es importante realizar un diagnóstico e investigación de los lechos filtrantes actuales de la planta de tratamiento de la Asociación de Usuarios del acueducto Chaparral, su estado actual y como podría mejorar el proceso de filtración si se implementasen lechos de filtrado a base de zeolita.

### 3 Metodología

En este estudio se empleó un enfoque cualitativo y descriptivo utilizando la entrevista, visita técnica a campo y la investigación como una base para la obtención de información relevante. Toda esta documentación obtenida se utilizó para el análisis crítico referente a las dinámicas de filtración de la planta de tratamiento del acueducto Chaparral y el impacto que los filtros actuales pueden estar teniendo en el proceso.

La metodología de este trabajo se presenta en la **Figura 2**.

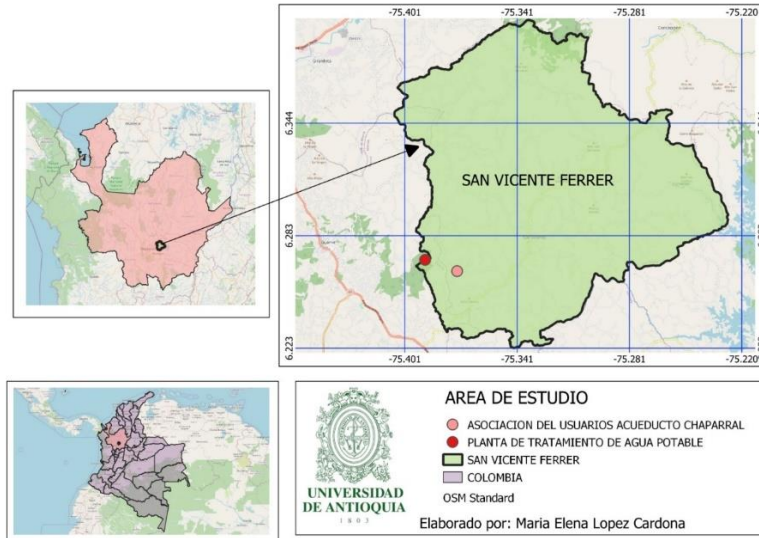
#### Figura 2

*Esquema de metodología para el desarrollo del proyecto*



El objetivo de esta investigación fue recolectar información sobresaliente sobre los sistemas de filtración en las plantas de tratamiento de agua potable, considerando puntos álgidos como la optimización del proceso de filtración de agua potable con lechos de zeolita, buscando casos exitosos que permitan determinar la viabilidad de la instalación de estos nuevos lechos de filtración para el caso específico del oriente antioqueño, municipio de San Vicente Ferrer (**Figura 3**) y la empresa potabilizadora de agua Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral.

**Figura 3**  
*Área de estudio*



Durante la investigación se recolecto información descriptiva utilizando:

### **Entrevista**

Se realizó a los funcionarios de la planta de tratamiento del acueducto Chaparral, en esta se invitó al personal encargado de la potabilización para dialogar sobre la entidad y el manejo que se la da a la planta de tratamiento de agua potable. Este tipo de recurso (entrevista) permite establecer un ambiente de confianza y seguridad entre el entrevistador y el entrevistado lo cual posibilita una mejor expresión y fluidez sobre las ideas u opiniones del tema a dialogar permitiendo hacer un análisis referente a las respuestas para encaminar la investigación hacia los puntos más críticos identificados en las respuestas del entrevistado, esta se dividió en dos secciones:

1. Acercamiento con el personal con entrevistado (Enfocada en establecer un dialogo ameno y un ambiente de confianza con el trabajador, para identificar las funciones que el desarrolla en la empresa).
2. Inicio de la investigación (Se recolecto la información proporcionada por el funcionario respecto al sistema de filtración de la planta de tratamiento).

La entrevista sin duda fue un medio para conocer más a fondo la información de la planta de tratamiento, y las falencias que en ella se presenta.

### **Investigación**

Durante el desarrollo de esta metodología se realizó la búsqueda de material que diera soporte a las respuestas emitidas por los funcionarios durante la entrevista, en esta sección se buscó documentación que reflejara la fecha de instalación de los filtros, los mantenimientos realizados a los filtros por la asociación durante los años de uso y las actas de mantenimiento que diligencian y entregan los asesores al momento de realizar las visitas. Esta búsqueda permitió elaborar un análisis hipotético del estado actual de sistema de filtración y de los lechos de filtrado.

### **Visita a campo**

Durante el desarrollo de la investigación y el análisis de la información encontrada se logró obtener por parte de la asociación una respuesta positiva ante la solicitud de una nueva visita técnica por parte de la compañía que instaló los sistemas de filtración de la PTAP. Esta visita permite evaluar y diagnosticar el sistema de filtración actual, su funcionamiento y la calidad de los lechos de filtración actual, el producto de esta visita se encontrará en la sección de resultados.

### **Análisis**

Este es el último filtro de la metodología el cual permite que mediante la información recolectada en los tres pasos se realice el estudio sobre el cambio de los lechos de filtración actual y se desarrolle una serie de cotizaciones sobre el costo de los lechos de zeolita y el costo de los lechos de arena, además se evalúa la duración de uno respecto a otro y el beneficio que cada uno trae para la PTAP, esto enfocado en la calidad del agua que se produce después de la filtración y en la eficiencia respecto al tiempo de filtrado que tienen ambos lechos.

## 4 Resultados

### 4.1. Diagnóstico de la Planta de Tratamiento Acueducto Chaparral

Para iniciar con el diagnóstico lo primero que se realizó fue un recorrido a las instalaciones de potabilización de la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral, con el objetivo identificar las falencias que en general tiene el sistema. La **Figura 4** representa la ubicación de la planta de tratamiento, en la cual se puede identificar los tanques de almacenamiento, la zona de filtración y el área de químicos.

#### Figura 4

*Locación de PTAP Acueducto Chaparral*



Durante la visita se recorrió cada una de las zonas que intervienen en el proceso de potabilización. La primera zona visitada fueron las fuentes de captación, la asociación se sirve de dos bocatomas, la primera está identificada como el Volantín, en esta bocatoma captan 5.0 L/s, el estado de la captación es bueno, la zona se encuentra en buen estado, el área de la bocatoma está en buenas condiciones y se tiene un buen caudal en la misma, la **Figura 5** evidencia el estado del lugar.



**Figura 5**

*Bocatoma el Volantín.*



En la **Figura 5** se identifican las dos rejillas de cribado o rejilla de seguridad que tiene instalada la bocatoma, esta impide el acceso de hojas o material de volumen considerable, en esta primera fase de remoción se garantiza el correcto funcionamiento de los equipos instalados en la zona de tratamiento. Esta bocatoma cuenta con un propio desarenador mostrado en la **Figura 6**, las dimensiones de la estructura son 4 metros de largo por 1 metros de ancho y 1.5 metros de fondo, este desarenador garantiza el asentamiento de arenas antes de que el agua cruda inicie su recorrido hacia la planta de potabilización.

**Figura 6**

*Desarenador Bocatoma el Volantín*



La bocatoma numero dos identificada como el Chispero capta 1.2 L/s en esta bocatoma solo se tiene instalada una rejilla de cribado, esto debido a que la fuente es un poco más pequeña y está menos propensa al arrastre de materiales de gran volumen. La zona de captación se encuentra en buen estado, con una buena infraestructura y un excelente funcionamiento, esta valoración se puede identificar en la **Figura 7**.

**Figura 7**

*Bocatoma el Chispero*





Al igual que la bocatoma el Volantín, el Chispero cuenta con su propio desarenador es un poco más pequeño debido a la menor cantidad de agua captada, las dimensiones de la estructura son 2 metros de largo por 1 metro de ancho y 1 metro de fondo este se evidencia en la **Figura 8**.

**Figura 8**

*Desarenador bocatoma el Chispero*



Es importante resaltar que ambos desarenadores se encuentran protegidos bajo techo y cerrados con seguridad.

Para continuar, se inicia el recorrido en la planta de tratamiento, en este lugar se visita en primera instancia la zona de almacenamiento y distribución de los químicos, la **Figura 9** ilustra el espacio, este cuenta con dos tanques de 500 litros en los cuales se dosifica policloruro de aluminio  $Al_2(OH)_3Cl$  e hipoclorito  $NaOCl$ .

**Figura 9**

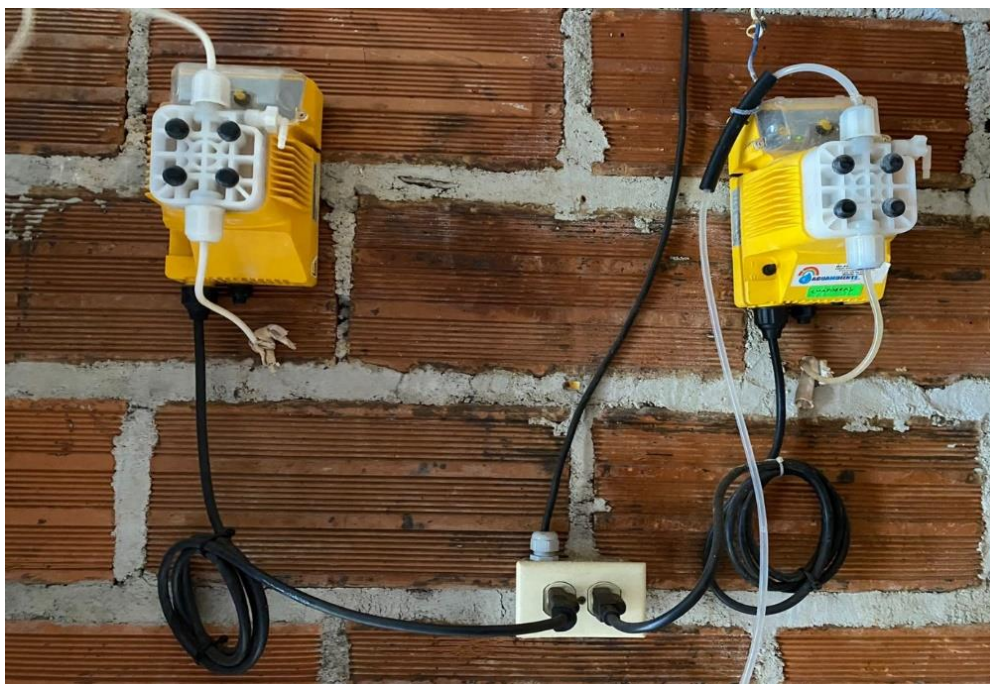
*Cuarto de almacenamiento y distribución de químicos*



La dosificación se hace de forma manual, sin embargo, la inyección de los químicos al agua se realiza mediante bombas dosificadoras análogas las cuales están representadas en la **Figura 10**.

**Figura 10**

*Bombas dosificadoras análogas*





Después de aplicar el químico coagulante  $Al_2(OH)_3Cl$  al agua cruda, se procede al sistema de filtración, en esta zona se observan tres cilindros compactos en los cuales se realiza el proceso de forma ascendente (**Figura 11**). El operador de la planta durante el recorrido comenta que la planta no se revisa con frecuencia y que lleva alrededor de 10 años sin ser examinada por un experto, también indica que, durante época de sequía, aunque las fuentes tengan el suficiente caudal, la planta se agota al momento de la filtración y no logra abastecer el tanque de almacenamiento para el consumo de los usuarios.

**Figura 11**  
*Zona de filtración de la PTAP*



Para finalizar la visita a la planta de tratamiento se visitan los tanques de almacenamiento (**Figura 12**). La asociación cuenta con dos tanques, el primero tiene una capacidad de  $140\text{ m}^3$ , está recubierto en fibra de vidrio y se encuentra en excelente estado, es un tanque subterráneo y fue el primer tanque construido por la asociación. El segundo tanque de almacenamiento cuenta con capacidad de  $300\text{ m}^3$  es un tanque nuevo que fue instalado hace poco tiempo, se encuentra en óptimas condiciones, en total la asociación cuenta con capacidad de almacenamiento para  $440\text{ m}^3$  de agua potable.

**Figura 12**

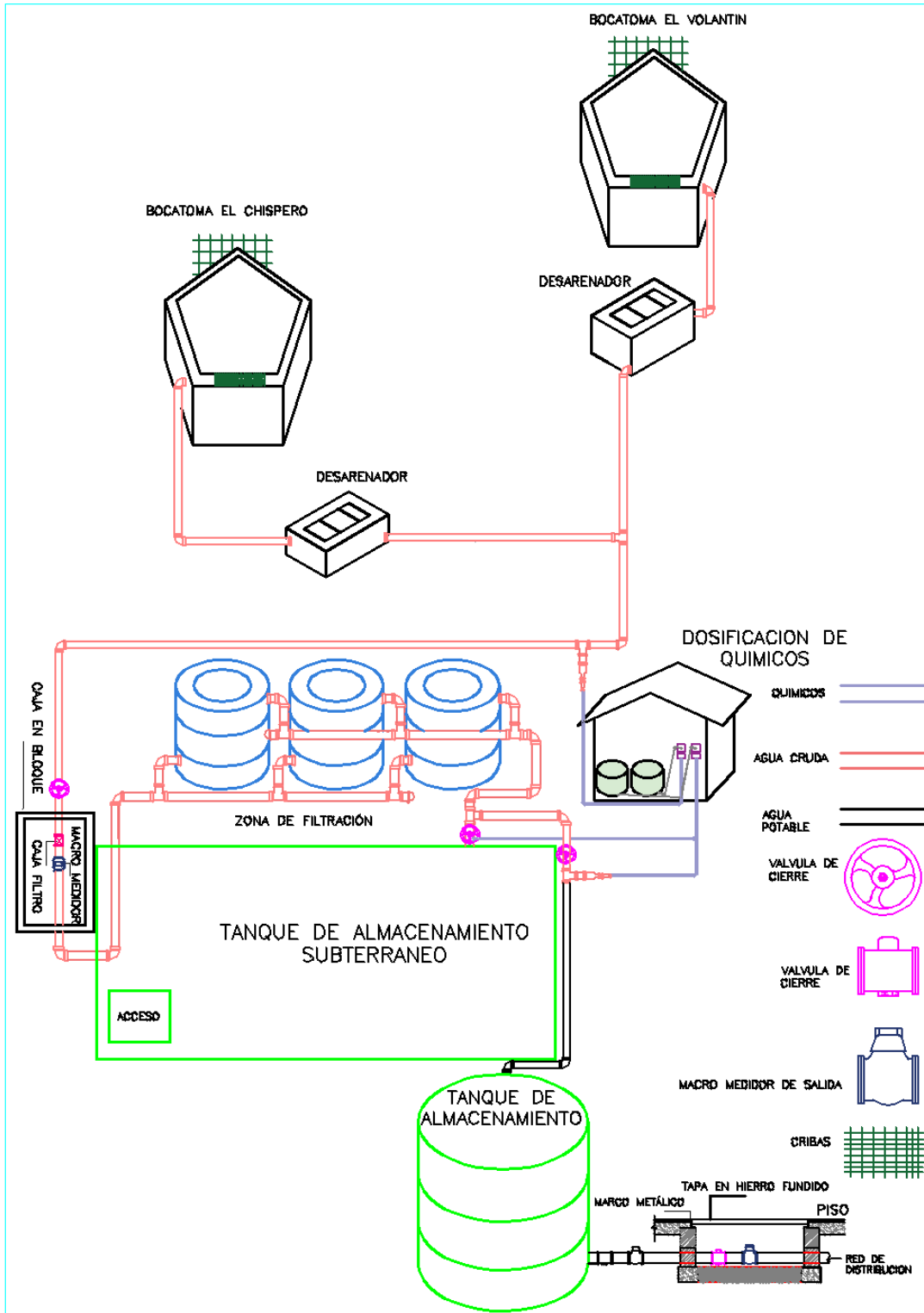
*Tanque de almacenamiento de agua potable*



Después de haber recorrido la planta en su totalidad se genera un diagrama de flujo de la PTAP el cual se encuentra consignado en la **Figura 13**. Este diagrama permite hacer un reconocimiento previo a la planta de tratamiento, a través de él se puede realizar un recorrido visual de cada una de las unidades que conforman el proceso de potabilización del agua en la asociación, además permite que de forma remota se explique en general cual es el recorrido que debe hacer el agua desde la fuente de captación hasta su disposición final en el abastecimiento, para el diseño de este diagrama de flujo se utilizó el programa de dibujo para ingenieros AutoCAD del software de Autodesk.

**Figura 13**

*Diagrama de flujo PTAP de la Asociación de usuarios del Acueducto Chaparral*



Realizando un diagnóstico inicial a la PTAP se identificó que uno de los aspectos a mejorar se encuentra en el área de filtración, de acuerdo con lo comentado por el potabilizador es posible inferir que los filtros no funcionan bien y por tal motivo se inicia la investigación pertinente enfocada en los sistemas de filtración, para esto es necesario desarrollar la metodología descrita en la sección anterior y la cual se describirá detalladamente en el presente documento.

#### **4.2. Entrevista**

Durante la entrevista realizada al funcionario encargado de la planta de potabilización de la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral se identificó información que permitió iniciar la investigación propuesta, durante esta entrevista se realizaron preguntas claves que permitieron reconocer las falencias que tiene la PTAP a la actualidad, este material obtenido indica algunas variables importantes entre ellas está la descripción de los módulos de filtración, estos son definidos como cilindros compactos en los cuales se desarrollan tres procesos importantes para la potabilización:

1. Floculación
2. Sedimentación
3. Filtración

El proceso de ingreso del agua al sistema se hace desde la base del cilindro y realiza su recorrido de forma ascendente hasta llegar al rebose del filtro el cual se encuentra en su parte superior. El proceso de lavado de los filtros se realiza diariamente, teniendo en cuenta que se tienen tres filtros, se realiza el lavado a uno por día, lo cual sugiere el lavado de cada filtro cada dos días, este es un proceso que se realiza con motobomba, calificado el proceso como eficiente al momento de la eliminación del lodo del cilindro. Sin embargo, no solo este proceso es importante al momento de evaluar el funcionamiento de los módulos, también es importante considerar el mantenimiento a la planta de tratamiento, el cual debe ser de forma preventiva. En la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral la última visita realizada por el departamento de ingeniería de aguas fue en el 2015, debido al tiempo transcurrido desde la fecha es importante investigar el funcionamiento de la PTAP.



### **4.3. Investigación**

Para iniciar la investigación fue necesario hacer un recuento a través de la historia. La Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral fue fundada 1977, desde la fecha inicio surtiendo de agua cruda a unas pocas familias de la vereda, después de 21 años de trabajo se logró instalar la planta de potabilización el 10 de diciembre de 1998, a partir de la fecha se inició con la capacitación de su personal apuntando en el sistema de potabilización y en la dosificación de químicos para mejorar la prestación del servicio continuamente, de esta forma operó la planta durante los siete años siguientes a la instalación.

Para el año 2005 se realizó la primera visita técnica por el departamento de ingeniera de agua S.A.S, en la fecha se encontró la planta estaba diseñada para 450 usuarios, abasteciendo a 520 usuarios. Aunque su funcionamiento era correcto, la recomendación de los ingenieros fue realizar una ampliación implementado un nuevo módulo de filtración que permitiera filtrar agua para alrededor 700 usuarios, a partir de entonces se realizó la ampliación de la PTAP y se continuó con la prestación del servicio durante los 10 años siguientes. En el transcurso de ese tiempo no se realizaron mantenimientos preventivos en la planta, por tal motivo en el año 2015 la PTAP de la asociación sufrió un colapso y se necesitó de carácter urgente una visita por parte del departamento de ingeniería de aguas. La visita técnica se llevó a cabo el 13 de octubre del año en cuestión, ese año el diagnóstico por parte de los técnicos fue crítico puesto que la planta presentó un flujo lento en la filtración esto para cada una de las unidades instaladas. Adicionalmente, se encontraron lodos acumulados en la parte baja del sistema de floculación, arenas redondeadas y lechos filtrantes colmatados en su totalidad. Después de la visita el reporte fue claro y contundente, este apuntando al cambio inmediato de los lechos filtrantes y al lavado de cada una de las unidades que conformaban el sistema de la PTAP, desde entonces han pasado ocho años en los cuales el funcionamiento de la planta ha sido el correcto, pero no se han realizado revisiones periódicas que prevean el esta actual de la PTAP.

Realizando un análisis a la información recolectada se evidencia que la PTAP ampliada en el año 2005 fue diseñada para abastecer a 700 usuarios, en la actualidad la asociación de usuarios del Acueducto Chaparral cuenta con 1038 suscriptores, lo cual significa que realizando un promedio de tres personas por vivienda la PTAP, está abasteciendo alrededor de 3114 usuarios lo cual representa que la planta está surtiendo cinco veces más la capacidad para la cual está diseñada.

Adicional es evidente que desde la última visita técnica y cambio de lechos filtrantes ha pasado el suficiente tiempo de funcionamiento y operación continua para que estos se encuentren desgastados de nuevo, la empresa fabricante recomienda que el cambio de lechos se realice cada 4 años, los lechos actuales tienen el doble de su vida útil. Por todo lo anteriormente descrito se hizo necesaria una solicitud para una nueva visita técnica y así evaluar el estado actual de los filtros y del sistema de potabilización en general de la planta de la asociación de usuarios del acueducto Chaparral.

#### **4.4. Visita a campo**

Se realizó una solicitud a la compañía Ingeniería de aguas S.A.S para el trámite de visita técnica a la planta, el objetivo de esta visita fue realizar la revisión de los lechos filtrantes actuales y evaluar la capacidad actual de la planta.

La visita técnica se desarrolló el día 16 de mayo de 2024, durante la misma se realizó la revisión general de la PTAP. Cada unidad en su forma externa se encuentra en excelente estado, la planta funciona de forma adecuada, pero al momento de revisar los lechos filtrantes actuales se encontraron con evidente desgaste, las aristas de las arenas están perdidas en su totalidad evidenciándose arenas redondas debido a los años de uso, por otro lado, las unidades de tratamiento actuales están diseñadas para un total de 700 usuarios. Teniendo en cuenta el incremento de la población, se recomendó la ampliación de la planta para así obtener más capacidad de filtración, y abastecer de forma más eficiente a la demanda de los usuarios actuales.

En el transcurso de la visita se le realizaron preguntas claves al ingeniero encargado de la visita técnica Francisco Estrada, estas preguntas estuvieron enfocadas directamente en los módulos de filtración y los lechos filtrantes de zeolita para analizar las posibilidades existentes de la implementación de este mineral en la PTAP.

Lo primero y más importante es entender el funcionamiento de los módulos de filtración, cada módulo en su interior posee tres cavidades a las cuales ingresa el agua por su base de forma independiente, estas cavidades tan estructuradas por gravas de los siguientes tamaños:

- Gravas de 1/2
- Gravas de 1/4
- Gravas de 1/8

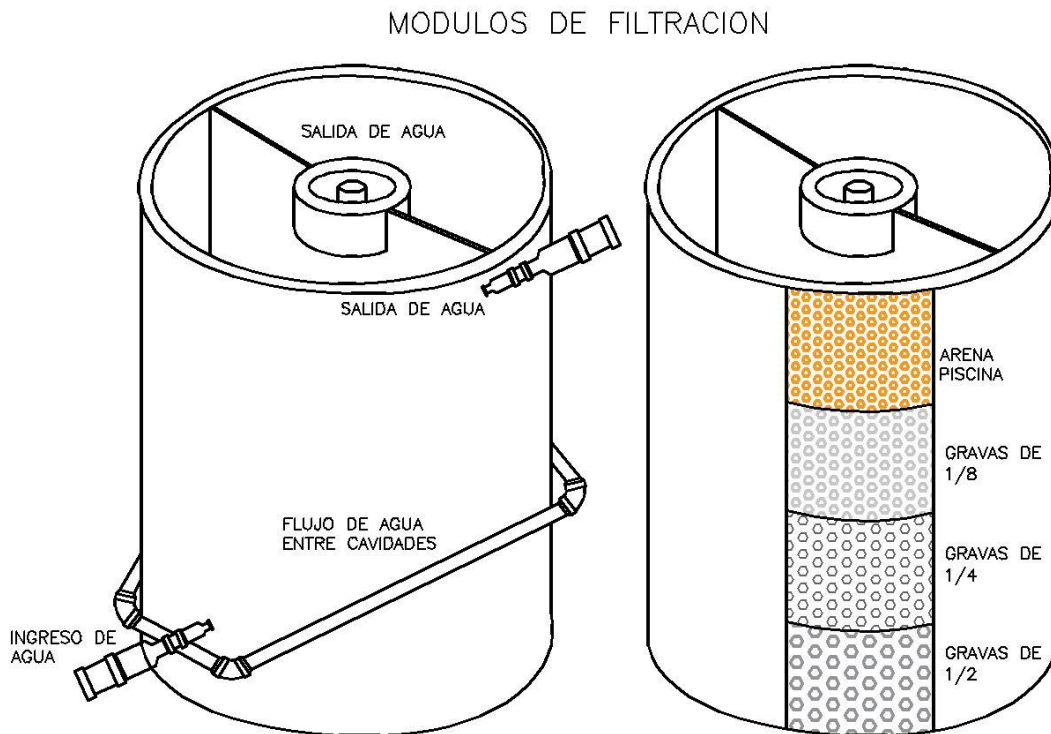
Para los lechos filtrantes se tienen:

- Arenon grueso
- Arenon fino
- Arena de filtración

Estas tres composiciones de arena en su totalidad tienen el nombre de arena piscina (**Figura 14**). Una vez ingresa el agua con el floculante aplicado previamente inicia un recorrido ascendente en forma de zigzag en el cual se van dejando los flóculos a medida que el agua avanza su recorrido por el módulo, una vez llega a la zona de filtración se terminan de purificar el agua hasta que rebosa en el tubo de salida de los módulos. La **Figura 14** muestra el esquema de los filtros actuales, el cual fue realizado por la herramienta AutoCAD del software de Autodesk.

**Figura 14**

*Diseño actual de los módulos de filtración*



Los lechos filtrantes de arena son muy efectivos para el tratamiento de aguas que tiene buena calidad desde su afluente, estos lechos y filtros se deben lavar con periodicidad, al menos

cada cuatro meses, sin embargo, en la PTAP de la asociación de usuarios del Acueducto Chaparral se lavan con una frecuencia de dos días, lo cual es bueno.

El lavado y mantenimiento de los módulos es sencillo, pero tiene que ser efectivo para evitar la colmatación del material. Un lavado adecuado se hace de tal forma que los lechos queden suspendidos en el agua, es decir que leviten en ella de tal forma que tenga la movilidad suficiente para que los lodos se remuevan y puedan ser removidos, durante el proceso de lavado las arenas se rozan entre sí y la cizalladura entre las mismas provocan la pérdida de las aristas, es decir, las arenas se van redondeando y hacen que se pierda la efectividad del lecho de filtrado.

En la **Figura 15** se puede apreciar las arenas extraídas de los módulos de filtración de la asociación, el diagnóstico del estado actual de los lechos filtrantes es contundente, debido al desgaste observado, las arenas se aprecian redondas con aristas perdidas, lo cual entorpece el proceso de filtración. En esta figura se hace un comparativo entre las arenas extraídas y arenas nuevas, en este símil se evidencia completamente como es una arena con desgaste, estas son redondas, mientras que una arena nueva tiene aristas perfectamente definidas.

### **Figura 15**

*Arenas de filtración nuevas VS Arenas de filtración con desgaste*



## 5 Análisis

Los lechos de filtración de arenas son los más comunes en el mercado por su economía y accesibilidad, estos son utilizados muy a menudo por su efectividad al momento de la filtración, además son muy atractivos porque a comparación de otros son menos costosos y tiene más años de vida útil. Durante el análisis de toda la información recolectada en el documento es importante resaltar que el diseño de la PTAP de la asociación de usuarios del acueducto chaparral fue realizado para que la planta filtrara su caudal de forma ascendente, antes de diseñar la PTAP se deben realizar análisis sobre la calidad del agua que se va a potabilizar y así definir el tipo de PTAP utilizar en la **Tabla 2** se puede evidenciar el resultado de dicha muestra.

**Tabla 2**  
*Análisis de laboratorio de agua cruda*

Parámetro	Unidades	Metodología de referencia	Valores de referencia	Valores obtenidos	Conformidad
Coliformes totales	UFC/100 mL	Filtración por membrana	0	9800	NA
<i>E.coli</i>	UFC/100 mL	Filtración por membrana	0	8200	NA
Olor	Aceptable/ no aceptable	-----	Aceptable	Aceptable	NA
PH	Unid de PH	Electrométrico	6.5-9.0	6.69	NA
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	potenciométrico	$\leq 1000$	19.57	NA
Color aparente	U.P.C	espectrofotométrico	15	12.0	NA
Turbiedad	UNT	nefelométrico	2	1.32	NA
Alcalinidad	mg/CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico	200	<20	NA
Dureza	mg/CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico	300	<6.0	NA
Cloruros	mg/LCl <sup>-</sup>	Titulométrico	250	<6.0	NA
Sulfatos	mg/LSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Titulométrico	250	<10.0	NA
Hierro	mg/LFe <sup>-</sup>	Colorimétrico	0.3	0.144	NA
Manganeso	mg/LMn	Test Manganeso	0.1	<0.050	NA
Ortofosfatos	MgPO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	Ácido ascórbico	0.5	<0.060	NA
Nitritos	Mg/LNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> N	colorimétrico	0.1	<0.050	NA
Nitratos	mgNO <sub>3</sub> -N/L	Electrodo Nitrato Modificado	10	0.303	NA

*Nota 2. Fuente Libros de muestra Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral.*

Analizando más a fondo el resultado de esta muestra se pueden evidenciar que:

- Para el parámetro de dureza cuando se considera valores entre 0 – 79 mg CaCO<sub>3</sub>/L se dice que el agua del afluente es blanda, para este caso el resultado es < 6.0 mg CaCO<sub>3</sub>/L lo cual indica lo anterior.
- Para el parámetro de turbiedad si se considera la norma de agua potable se tendría que el máximo permisible es 2 UNT, el resultado de la muestra indica 1.32 UNT.
- Analizando el color aparente la norma indica máximo 15 U.P.C, el resultado indica 12 U.P.C
- Analizando los parámetros de coliformes totales y *E.coli*, es evidente que los valores obtenidos son demasiado altos, sin embargo, estos parámetros no hacen parte del análisis para la instalación del sistema de filtración de la PTAP, ya que en este caso la remoción de esta bacterias contaminantes se realizan al momento de la adición del desinfectante, en este caso hipoclorito de sodio al 15%.

Las zeolitas al ser un mineral poroso tienen gran capacidad de absorción para metales alcalinos. Evaluando la alcalinidad del agua cruda de las bocatomas es posible inferir que si el pH de la muestra fuera mayor a 8 el agua sería alcalina, sin embargo, el resultado de esta muestra indica un pH de 6.69. La alcalinidad máxima permitida es de 200, la muestra arroja un resultado de alcalinidad < 20 mg/CaCO<sub>3</sub>, todo esto indica que la aplicación de zeolitas para filtrar estas aguas no es necesaria. También es importante tener en cuenta que las zeolitas comúnmente son utilizadas para el tratamiento de aguas con gran porcentaje de dureza, como se describió anteriormente esta agua al tener < 6.0 mg CaCO<sub>3</sub>/L es blanda por lo cual utilizar este tipo de lechos sería innecesario. En conclusión, la calidad del agua cruda que se tiene en las bocatomas de la asociación es buena y con los filtros de arenas es más que necesario para su tratamiento. Considerando otros puntos de vista se debe tener en cuenta aspectos como la densidad del material, por ejemplo, la zeolita es un mineral demasiado liviano que solo puede ser implementado en filtros descendentes, por tal motivo si se implementase en los módulos de filtración ascendente al momento del lavado como los lechos filtrantes quedan suspendidos en el agua para garantizar la separación de los lodos, la zeolitas tendrían la capacidad de flotar y al momento de la expulsión del agua la factibilidad de salir por el tubo de lavado del filtro sería alta y para este caso la inversión sería una pérdida.

Una vez considerado los aspectos de calidad del agua cruda, densidad el material filtrante, también es importante realizar una revisión del aspecto económico sobre la implementación de los lechos, la regeneración de la zeolita se tiene que realizar al menos cada dos años, mientras que la regeneración de arenas se hace entre los cuatro y cinco años posteriores a la instalación, esto indica que los lechos filtrantes de zeolita tiene tres años menos de funcionamiento y durabilidad en comparación con los lechos filtrantes de arena, esto generaría más gastos económicos a la asociación ya que los cambios y revisiones serían más periódicos.

Tras la visita técnica de la empresa ingeniería de aguas S.A.S se compartieron cuatro propuestas económicas, que se presentan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3**

*Propuesta económica*

Concepto	Valor	Tipo de lecho	Total
Cambio de lechos filtrantes actuales	38.877.300		
Implementación de dos módulos filtrantes ascendentes	75.858.643	Arenas	114.735.943
Implementación de tres módulos filtrantes descendentes	95.480.562		
Implementación de módulos filtrantes descendentes	105.543.908	Zeolitas	201.024.470

El cambio de lechos filtrantes en arena y la implementación de los dos nuevos módulos suman un total de 114.735.943, si se evalúa existen dos opciones viables para la instalación de un filtro descendente con lechos de zeolita

1. Diseño de un módulo de gran tamaño que funcione como receptor del agua filtrada proveniente de los tres primeros filtros ascendentes, al realizar la recepción de este volumen de agua se procedería a una segunda filtración de forma descendente con lechos de zeolita.



2. Diseño de tres módulos de filtración descendente con lechos de filtración a base de zeolita, estos filtros actuarían con receptores de agua filtrada proveniente de los lechos filtrantes de arena generándose una doble filtración.

La propuesta económica para estos filtros tiene valor estimado de 95.480.562 sumando esta propuesta con el cambio de los lechos filtrantes actuales y la implementación de los dos nuevos módulos filtrantes de arenas sumaría un total de 210.216.505 considerando esta cifra tan elevada y la poca utilidad que prestarían los filtros de zeolita se descarta la idea de la implementación de este nuevo sistema y entra en aprobación por parte de la junta directiva el cambio de los lechos filtrantes de arenas y la implementación de dos nuevos módulos filtrantes la cual tendría un costo total de ejecución de **114.735.943**, la propuesta empezaría su puesta en marcha en el mes de agosto del año presente.

## 6 Conclusiones

En el transcurso de la investigación y elaboración del proyecto fue posible identificar las principales falencias que tiene la asociación de usuarios en su PTAP, cabe resaltar que aunque se encuentra en buen estado físico todas sus unidades es imprescindible ir más allá de lo que aprecian los ojos, por estos hechos fue posible concluir que la PTAP se encontró con un desgaste significativo en la unidades internas de filtración y que debido a esto se está entorpeciendo en totalidad el abastecimiento de los tanques de almacenamiento.

Se encontraron las unidades de filtración colmatadas, esto permite concluir que el tiempo de ejecución del proceso esta reducido y por tal motivo en caudal de entrada al tanque de almacenamiento es mucho menor que el caudal de salida para la red de distribución causando una interferencia directa en el funcionamiento del servicio de agua potable para los usuarios, en consecuencia, se debe ejecutar el cambio de lechos filtrantes actuales.

La zeolita es un mineral con muchas características importantes para la etapa de filtración, pero en el caso específico de la PTAP de la asociación de usuarios del Acueducto Chaparral se determina que son inútiles por varios motivos:

1. La vida útil de las zeolitas apunta a dos años, mientras que la vida útil de las arenas es entre cuatro y cinco años.
2. Al pensar en implementar los lechos filtrantes de zeolita se hace necesario un rediseño de la PTAP de la Asociación lo cual es innecesario por que durante los años de funcionamiento la planta actual ha cumplido a cabalidad con los estándares requeridos por la ley para la potabilización del agua.
3. A pesar de que la filtración con lechos de arenas es aparentemente sencilla es muy efectiva, las zeolitas se deben utilizar en PTAP donde los afluentes cuenten con características específicas como gran porcentaje de dureza, alcalinidad o nitratos, caso contrario de los afluentes de la asociación.
4. Atendiendo al aspecto económico costo beneficio se puede concluir que al implementar unos nuevos lechos filtrantes a base de zeolita la asociación estaría invirtiendo 125.165.827 más que implementado solo la filtración tradicional, con este dinero se

podrían desarrollar otro tipo de inversiones de mayor importancia y utilidad en la asociación.

Para finalizar se concluye que la PTAP de la Asociación de usuarios del Acueducto Chaparral se encuentra operando con una capacidad menor a la cual debería, por este motivo se debe realizar una ampliación de las instalaciones para así garantizar eficiencia en el proceso de filtración, mayor cantidad de caudal de entrada de agua potable al tanque de almacenamiento y así lograr satisfacer de forma eficiente la demanda actual de los consumidores.

### Referencias

- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería industrial*, 0(029), 153. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Clarke, C. (1980). Zeolites: Take off for the Tuff Guys.
- contreras, I. e. v. (2021). “comparación de eficiencias de dos filtros lentos usando zeolita y antracita como medios filtrantes para el tratamiento del efluente de un reactor uasb. universidad nacional de ingeniería .
- Curi, A., Granda, W. J. V., Lima, H. M., & Sousa, W. T. (2006). Las Zeolitas y su Aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. *cit informacion tecnologica*, 17(6), 111–118. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000600017>
- Daniel A. H & William P.C.,. (2009). diseño y montaje del laboratorio de filtro lento de arena para agua potable. *corporacion universitaria minuto de dios facultad de ingenieria*.
- De Marsily, G. (2005). *El Agua. Siglo XXI*.
- Efficiency of industrial minerals on the removal of mercury species from liquid effluents. (s/f). *Science of The Total Environment*.
- Englert, A. H., & Rubio, J. (2005). Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite. *International Journal of Mineral Processing*, 75(1–2), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2004.01.003>
- ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. (n.d.). Redalyc.org. Retrieved April 4, 2024, from <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Hasan, M. M., Haque, M. M., Hasan, N. A., Bashar, A., Ahammad, A. K. S., & Hossain, M. T. (2023). Assessing the impacts of zeolite on water quality, growth performance, heavy metal content and health condition of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 31(101678), 101678. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101678>
- Mayra, V. R. M. T. (2018). Aplicación de una batería de filtros empacados en zeolita (Clinoptilolita), para la remoción de hierro y manganeso del agua de la microcuenca Juninguillo la Mina a escala piloto Moyobamba. *Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto*.
- Martínez-Hernández, C. M., Sánchez-Jassa, J. A., Martínez-Flores, N. R., & Gómez-Ríos, I. (2022). Aplicación de filtros lentos de arena para la descontaminación de efluentes de lagunas de oxidación. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 31(4).

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S207100542022000400006&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207100542022000400006&lng=pt&nrm=iso&tlng=es)

Mendoza Roncancio, G., Pinilla E., F. A. and Martínez Q., F. (1989). *Evaluación de filtros de arena y de malla para riego por goteo*. Ingeniería e Investigación.

*módulo de filtración con zeolita*. (2023, august 10). ingeaguas. módulo de filtración con zeolita - ingeaguas

OMS. (2023). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Petkova, V. (1997). Uso de zeolitas naturales en la remoción de manganeso. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(3), 41–49. <https://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/775>

Quintero, D. F., & Alfèrez, G. A. (2008). Evaluación de la eficiencia de filtros lentos de arena Vs filtros de fique en el tratamiento de agua lluvia y agua subterránea. Universidad de La Salle.

Salas-Salgado, G. y. (s/f). Contaminación del agua. Ecorfan.org. Recuperado el 27 de marzo de 2024, de [https://ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol2num5/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V2\\_N5\\_1.pdf](https://ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf)

Valencia, J. A., León, I. A. B., & Gómez, L. A. J. (2023). Teoría y práctica de la purificación del agua potable. Tomo 2. Ecoe Ediciones.

View of Evaluación de filtros de arena y de malla para riego por goteo. (s/f). Edu.Co. Recuperado el 27 de marzo de 2024, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/19672/20742>

Vista de evaluación de la calidad del proceso de desinfección de agua potable basado en el uso de compuestos de cloro. (n.d.). Acofipapers.org. Retrieved April 4, 2024, from <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1650/1691>

Vista de Tratamiento de agua para consumo humano. (s/f). Edu.pe. Recuperado el 27 de marzo de 2024, de [https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria\\_industrial/article/view/232/208](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/232/208)

Vista de Uso de zeolitas naturales en la remoción de manganeso. (s/f). Org.mx. Recuperado el 27 de marzo de 2024, de <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/775/768>

(S/f). Academia.edu. Recuperado el 27 de marzo de 2024, de [https://www.academia.edu/33347678/tesis\\_final\\_planta\\_purificadora\\_de\\_agua?uc-g-sw=31389977](https://www.academia.edu/33347678/tesis_final_planta_purificadora_de_agua?uc-g-sw=31389977)

Xiang, S., Han, Y., Jiang, C., Li, M., Wei, L., Fu, J., & Zhu, L. (2021). Composite biologically active filter (BAF) with zeolite, granular activated carbon, and suspended biological carrier for treating algae-laden raw water. *Journal of Water Process Engineering*, 42(102188), 102188. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102188>

(N.d.-a). Academia.edu. Retrieved March 27, 2024, from [https://www.academia.edu/33347678/tesis\\_final\\_planta\\_purificadora\\_de\\_agua?uc-g-sw=31389977](https://www.academia.edu/33347678/tesis_final_planta_purificadora_de_agua?uc-g-sw=31389977)

(N.d.-b). Retrieved April 4, 2024, from <http://file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-LaImportanciaDeLasZeolitas-3760692.pdf>

## Anexos

### Anexo 1. Entrevista a funcionarios de la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral

Evaluación del sistema de filtración de la planta de tratamiento de agua potable de la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral



**Nombre:** Luis Alberto Álzate

**Cargo o función que desempeña en la empresa:** Fontanero

**Tiempo de ejecución de la labor:** 25 años

La potabilización del agua es sin duda uno de los mejores procesos para garantizar el consumo humano de este recurso, la potabilización se desarrolla mediante una secuencia de pasos, uno de los más importantes es la filtración en la cual intervienen los lechos de filtrado, por tal motivo es importante elaborar un análisis base de las condiciones actuales del sistema de filtración de la Asociación de Usuarios del Acueducto Chaparral, para esta ejecución se realizarán una serie de preguntas enfocadas en el tema:

¿Cómo es el sistema de filtración de la planta de tratamiento de agua potable?

El sistema de filtración de la PTAP del acueducto Chaparral consta de tres módulos cilíndricos compactos en los cuales se desarrollan tres procesos:
Floculación
Sedimentación
filtración
El sistema de filtración de la PTAP se desarrolla de forma ascendente y los lechos de filtración están compuestos de gravas y arenas.

¿Con que regularidad realizan el mantenimiento preventivo al sistema de filtrado?

A la PTAP no se le realiza mantenimiento preventivo con cierto tiempo de regularidad, solo si identifica un comportamiento extraño en el funcionamiento de la planta se programa un mantenimiento con personas especializadas en el tema.
---

¿Cuántos litros/ segundo de agua se filtran en la planta de tratamiento de agua potable?

La planta está diseñada para filtrar 10.5 L/Sg
--

¿Con que regularidad se lavan los filtros de la planta de tratamiento de agua potable?

En la PTAP de la asociación de usuarios del acueducto Chaparral se lava un filtro por día, al
---

existir tres filtros el lavado de cada filtro se realiza cada dos días, el lavado de un filtro ascendente en la mayoría de las plantas se desarrolla de forma manual, sin embargo, en la planta de la empresa se ha instalado un mecanismo de lavado con moto bomba para generar más presión y así eliminar la mayor cantidad de lodos posibles.
--

¿Cree que los filtros actuales están funcionando de forma correcta?

El funcionamiento de los filtros actuales es correcto, el agua que entregan al tanque de almacenamiento cumple con los estándares de calidad establecidos por la ley, sin embargo se nota que la planta está agotada esto por falta de más módulos de filtración.
---

¿Cuándo fue la última vez que se realizó el cambio de los lechos de filtración?

El ultimo cambio de lechos en la PTAP se realizó en el año 2015.
--



## Anexo 2. Análisis de muestra de la bocatoma el Chispero

Consecutivo: 23-3080 VERSION 1; 01-04-2014      Página 1 de 2

Reporte de Análisis No:      CN-04082305

### Información del Usuario

<b>Cliente:</b>	ACUEDUCTO CHAPARRAL
<b>Solicitado por:</b>	ACUEDUCTO CHAPARRAL
<b>Dirección:</b>	San Vicente, Antioquia 312
<b>Teléfono:</b>	794 65 24

### Identificación de las Muestras Recibidas

<b>Estado del tiempo:</b>	Seco	<b>Muestreado por:</b>	Diego Quintero
<b>Fecha Toma de Muestra:</b>	04-03-2024	<b>Hora muestreo:</b>	11:25
<b>Fecha de Recepción:</b>	04-03-2024	<b>Tipo de muestreo:</b>	Puntual
<b>Reporte de Análisis</b>	<b>Lugar Toma de Muestra</b>	<b>Matriz</b>	<b>Características</b>
<b>CN-04082305</b>	Acueducto Chaparral Bocatoma el Chispero	Agua Natural	Propias de la muestras

### Análisis de Laboratorio

#### Resultados Pruebas de Microbiología

Parámetro	Unidades	Metodología de referencia	Valores de referencia	Fecha de análisis	Valores Obtenidos	Conformidad
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Filtración por Membrana SM – 9222 J	0	04-03-2024	4600	NA

<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	Filtración por Membrana SM – 9222 J	0	04-03-2024	2800	NA
----------------	------------	-------------------------------------	---	------------	------	----

C: Conforme NC: No Conforme NA: No Aplica

Consecutivo: 23-3080 VERSION 1; 01-04-2014      Página 2 de 2

### Resultados Pruebas de Fisicoquímica

Parámetro	Unidades / Expresadas	Método de Referencia	Valores de referencia	Fecha de análisis	Valores Obtenidos	Conformidad
Olor	Aceptable / No aceptable	-----	Aceptable	04-03-2024	Aceptable	NA
pH	Unid de pH	Electrométrico SM – 4500 H <sup>+</sup> B	6.5 - 9.0	04-03-2024	6.45	NA
Conductividad	µS/cm	Potenciométrico SM – 2510 B	≤1000	04-03-2024	9.92	NA
Color Aparente	U. P. C	Espectofotométri co SM - 2120 C	15	04-03-2024	13.0	NA
Turbiedad	UNT	Nefelométrico SM - 2130 B	2	04-03-2024	0.73	NA
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico SM – 2320 B	200	05-03-2024	< 20.0	NA
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico SM – 2340 C	300	05-03-2024	< 6.0	NA
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	Titulométrico SM – 4500-Cl <sup>-</sup> B	250	05-03-2024	< 6.0	NA
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> -	Turbibimétrico	250	05-03-2024	< 10.0	NA

		SM-4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E				
Hierro	mg/L Fe <sup>-</sup>	Colorimétrico SM – 3500-Fe B	0.3	05-03-2024	0.052	NA
Manganeso	mg/L Mn	Test Manganeso Merck – 226	0.1	05-03-2024	< 0.050	NA
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	Ácido Ascórbico SM 4500-P E	0.5	05-03-2024	< 0.060	NA
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> N	Colorimétrico SM –4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B	0.1	05-03-2024	< 0.050	NA
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N/L	Electrodo Nitrato Modificado SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> D	10	05-03-2024	< 0.200	NA

C: Conforme NC: No Conforme NA: No Aplica

### Confidencialidad

Los resultados anteriores son válidos únicamente para la muestra analizada en el laboratorio, y son de carácter confidencial y de propiedad del cliente.

### Observaciones

Este informe no se puede reproducir en forma parcial, solo en forma total con autorización de Omniambiente SAS

Los resultados son comparados con los valores de referencia de la Resolución 2115/2007 sobre Aguas Potables.

FIN DEL INFORME

### Anexo 3. Análisis de muestra de la bocatoma el Volantín

Reporte de Análisis No: CN-04082304

#### Información del Usuario

<b>Cliente:</b>	ACUEDUCTO CHAPARRAL
<b>Solicitado por:</b>	ACUEDUCTO CHAPARRAL
<b>Dirección:</b>	San Vicente, Antioquia
<b>Teléfono:</b>	312 794 65 24

#### Identificación de las Muestras Recibidas

<b>Estado del tiempo:</b>	Seco	<b>Muestreado por:</b>	Diego Quintero
<b>Fecha Toma de Muestra:</b>	04-03-2024	<b>Hora muestreo:</b>	11:30
<b>Fecha de Recepción:</b>	04-03-2024	<b>Tipo de muestreo:</b>	Puntual
<b>Reporte de Análisis</b>	<b>Lugar Toma de Muestra</b>	<b>Matriz</b>	<b>Características</b>
<b>CN-04082304</b>	Acueducto Chaparral Bocatoma el Volantin	Agua Natural	Propias de la muestras

#### Análisis de Laboratorio

##### Resultados Pruebas de Microbiología

Parámetro	Unidades	Metodología de referencia	Valores de referencia	Fecha de análisis	Valores Obtenidos	Conformidad
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Filtración por Membrana SM – 9222 J	0	04-03-2024	9800	NA
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	Filtración por Membrana SM – 9222 J	0	04-03-2024	8200	NA

C: Conforme      NC: No Conforme      NA: No Aplica

##### Resultados Pruebas de Fisicoquímica

Parámetro	Unidades Expresadas	Método de Referencia	Valores de referencia	Fecha de análisis	Valores Obtenidos	Conformidad
-----------	---------------------	----------------------	-----------------------	-------------------	-------------------	-------------

Olor	Aceptable / No aceptable	-----	Aceptable	04-03-2024	Aceptable	NA
pH	Unid de pH	Electrométrico SM – 4500 H <sup>+</sup> B	6.5 - 9.0	04-03-2024	6.69	NA
Conductividad	μS/cm	Potenciométrico SM – 2510 B	≤1000	04-03-2024	19.57	NA
Color Aparente	U. P. C	Espectofotométrico SM - 2120 C	15	04-03-2024	12.0	NA
Turbiedad	UNT	Nefelométrico SM - 2130 B	2	04-03-2024	1.32	NA
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico SM – 2320 B	200	05-03-2024	< 20.0	NA
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titulométrico SM – 2340 C	300	05-03-2024	< 6.0	NA
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	Titulométrico SM – 4500-Cl <sup>-</sup> B	250	05-03-2024	< 6.0	NA
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Turbibimétrico SM-4500-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> E	250	05-03-2024	< 10.0	NA
Hierro	mg/L Fe <sup>-</sup>	Colorimétrico SM – 3500-Fe B	0.3	05-03-2024	0.144	NA
Manganeso	mg/L Mn	Test ManganesoMerck – 226	0.1	05-03-2024	< 0.050	NA
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L	Ácido Ascórbico SM 4500-P E	0.5	05-03-2024	< 0.060	NA
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Colorimétrico SM –4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B	0.1	05-03-2024	< 0.050	NA
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L	Electrodo Nitrato Modificado SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> D	10	05-03-2024	0.303	NA

C: Conforme NC: No Conforme NA: No Aplica

### Confidencialidad

Los resultados anteriores son válidos únicamente para la muestra analizada en el laboratorio, y son de carácter confidencial y de propiedad del cliente.

### Observaciones

Este informe no se puede reproducir en forma parcial, solo en forma total con autorización de OmniambienteSAS

Los resultados son comparados con los valores de referencia de la Resolución 2115/2007 sobre Aguas Potables.

FIN DEL INFORME

**Anexo 4. Análisis de muestra de agua potable**

Reporte de Análisis No: CT-08022405

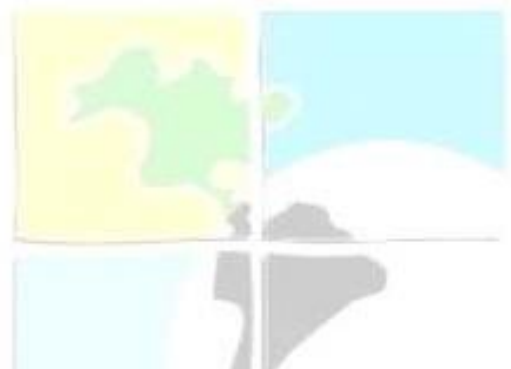
Consecutivo: 24-0411

INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
Cliente	ASOCIACIÓN DE PEQUEÑOS PRESTADORES SAN VICENTE
Solicitado por	Marco Aurelio Rojas
Dirección	San Vicente Ferrer, Antioquia
Teléfono	312 794 6524

INFORMACION DE LA MUESTRA			
Tipo de muestra:	Tratada	Tipo de muestreo:	Simple
Fecha Inicio	de08-02-2024 / 09:20	Fecha Fin de Toma/Hora:	08-02-2024 / 09:20
Toma/Hora:			
Fecha de Recepción	/08-02-2024 / 11:30	Muestreado por:	Alberto Alzate
Hora:			
Lugar de Toma:	Acueducto Chaparral	Punto de muestreo:	Punto 0004

ANÁLISIS DE LABORATORIO MICROBIOLÓGICO							
Parámetro	Método	Técnica	Valor Norma	Resultado	Unidad	Conformidad	Fecha
Coliformes totales	SM-9222 J	Filtración por Membrana	0	0	UFC/100 ml	C	08-02-2024
Escherichia coli	SM-9222 J	Filtración por Membrana	0	0	UFC/100 ml	C	08-02-2024

C: Conforme NC: No Conforme NA: No Aplica



ANÁLISIS DE LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO							
Parámetro	Método	Técnica	Valor Norma	Resultado	Unidad	Conformidad	Fecha
pH	SM – 4500 H <sup>+</sup> B	Electrometría a	6.5-9.0	7.15	Unidad pH	C	08-02- 2024
Color Aparente	SM – 2120 C	Fotometría	15	5.0	U. P. C	C	08-02- 2024
Turbiedad	SM – 2130 B	Nefelometría	2	0.54	UNT	C	08-02- 2024
*Cloro libre	SM – 4500-Cl G	Fotometría	0.3 – 2.0	0.6	mg/L	C	08-02- 2024

#### **Declaración de Conformidad:**

Los resultados emitidos por el laboratorio en el presente informe son comparados con los límites establecidos en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social para darle conformidad o no conformidad.

#### **Observaciones Técnicas:**

El SM: Standard Methods for Examination Water and Wastewater Edition 23 del 2017.

El cliente es responsable por la información suministrada de la muestra.

La muestra recibida cumple con los requisitos de análisis.

Cuando el cliente proporciona el material, realiza la toma de muestras y los análisis in situ, OMNIAMBIENTE SAS no se hace responsable de la información suministrada y/o desviaciones que se puedan presentar durante la realización de los análisis de laboratorio.

#### **Observaciones:**

Resultados validos solo para la muestra analizada y son de propiedad exclusiva del cliente.

El resultado no se puede reproducir sin la autorización escrita del laboratorio.





OMNIAMBIENTE SAS se abstiene de realizar interpretaciones personales, recomendaciones o informes escritos relacionados con los resultados obtenidos y emitidos.

El análisis de cloro libre fue analizado por el cliente




Anexo 5. Reporte de visita técnica realizada por Ingeniera de agua S.A.S

 	
FORMATO F-0219 INFORME TÉCNICO	
FECHA	16-05-2024
NOMBRE DEL CLIENTE	Asociación de Usuarios del Acueducto de Loma Verde, Chaparral.
LUGAR DE REUNION	PTAP
ACTIVIDAD A REALIZAR	Revisión arenas de filtración y posibilidad de ampliación
CONCLUSIONES, TAREAS, COMPROMISOS	
- El acueducto cuenta con una planta modular compuesta de Ingeaguas con formado por tres módulos ascendentes de diámetro 1.6 m y altura de 2.35 m. con una capacidad de tratamiento de 10.5 l/s. La planta funciona adecuadamente y el agua tratada cumple las normas vigentes para agua potable.	
- Las arenas de filtración del sistema tienen unos 8 años de funcionamiento y presentan desgaste, se ven redondeadas, han perdido las aristas; se autorizó su cambio.	
- Se verificó que se cuenta con el espacio terreno, que habría que adecuar para la instalación de módulos	
DIAGRAMA, ESQUEMAS	para tratar 5.0 l/s adicionales: dos módulos de 2.5 l/s cada uno. El acueducto cuenta con energía, y con agua para abastecer los dos módulos adicionales.

**Anexo 6. Cotización cambio de lechos filtrantes**

21/5/24, 12:10
Cotización - ISIigo



**INGENIERIA DE AGUAS S.A.S**  
**INGEAGUAS S.A.S.**  
 NIT 890.932.848-7  
 CR 54 72 A 185 SEC SANTA MARIA CENTRO  
 INDUSTRIAL VALLE SUR  
 Tel: (604) 3330505  
 Itagui - Colombia

**Cotización**  
 No. C-1-1238

**Para :** ASOCIACION DE USUARIOS  
 DEL ACUEDUCTO DE  
 CHAPARRAL MUNICIPIO DE  
 SAN VICENTE  
 DEPARTAMENTO DE  
 ANTIOQUIA

**Nit :** 811.041.436-5

**Fecha :** 2024-05-20

Elaborado por Sliigo S.A.S NIT: 830.048.145-8

**Total Bruto** 32,670,000.00

**Subtotal** 32,670,000.00

**IVA 19% - G. Ventas** 6,207,300.00

**Total a Pagar** 38,877,300.00

1/2

Anexo 7. Cotización implementación de nuevos módulos

**4. PROPUESTA ECONÓMICA**

<b>SUMINISTRO, TRANSPORTE, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE PTAP COMPLETA PARA Q = 5,0 L/S</b>	<b>CANT.</b>
<b>Válvula mariposa con actuador eléctrico de 4"</b> para automatización de los eléctricos	<b>1</b>
<b>Válvula solenoide de 1/2"</b>	<b>1</b>
<b>Sistema de automatización simple:</b> suiche de control de nivel anclado a la válvula solenoide	<b>1</b>
<b>Bombas dosificadoras eléctricas de diafragma</b> de 7 LPH	<b>3</b>
<b>Módulos de floculación, sedimentación y filtración de flujo ascendente,</b> fabricados en PRFV de $\varnothing = 60''$ y H = 2,4 m	<b>2</b>
<b>Tablero eléctrico</b> de control, operación y protección de eléctricos	<b>1</b>
<b>Sistema de empalmes hidráulicos y eléctricos:</b> conexiones entre equipos (no se incluyen acometidas hidráulicas y eléctricas de entrada y salida)	<b>Global</b>
<b>Programa de puesta en marcha:</b> pruebas de tratabilidad para ajustar las dosis de los químicos, expedición del manual de operación y mantenimiento, curso de capacitación y toma de muestra de agua tratada para análisis fisicoquímico y microbiológico de garantía	<b>Global</b>
<b>Subtotal</b>	<b>\$71.387.530</b>
<b>Utilidad</b>	<b>\$ 3.757.238</b>
<b>IVA sobre Utilidad</b>	<b>\$ 713.875</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$75.858.643</b>