



**Reestructuración del sistema de tratamiento de agua potable de la sede Usme de la  
Universidad Antonio Nariño**

**María Camila Núñez Guzmán  
Brandon Adrián Jaime Espinosa**

**Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil  
Ingeniería Ambiental  
Bogotá D.C.  
2021**

**Reestructuración del sistema de tratamiento de agua potable de la sede Usme de la  
Universidad Antonio Nariño**

Proyecto de investigación

**María Camila Núñez Guzmán  
Brandon Adrián Jaime Espinosa**

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**Ingeniero Ambiental**

Director

Ingeniero. Héctor Javier Luna Wandurraga

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de ingeniería ambiental y civil  
Ingeniería Ambiental  
Bogotá D.C.  
2021

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

NOTA DE ACEPTACIÓN

**Jurado**

**Jurado**

**Lugar de desarrollo del trabajo de grado:**

Bogotá, Colombia.

Universidad Antonio Nariño, Sede Sur.

**TUTOR DE TESIS**

Héctor Javier Luna Wandurraga

Bogotá D.C., mayo de 2021

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

*Quiero agradecer como primera medida a Dios por la oportunidad de ingresar y ahora culminar esta etapa universitaria que me deja tan gratos recuerdos y enseñanzas.*

*Por otro lado, Agradezco infinitamente el apoyo, cariño y confianza de mi familia, en especial, el de mis padres Luis Alberto Núñez Rojas y Claudia Jacquelin Guzmán Sánchez, quienes siempre depositaron su confianza en mí y creyeron que sin importar los obstáculos lo lograría.*

*A todos los docentes con los que tuve la oportunidad de aprender, compartir y crecer profesional y personalmente. A la Universidad Autónoma de Colombia por recibirme y contribuir en mi formación profesional; a la Universidad Antonio Nariño, institución que me acogió y pulió mis conocimientos para hoy ser un excelente profesional, Ingeniera Ambiental.*

*Un agradecimiento muy especial a los docentes Héctor Luna y Edison García quienes desde las clases me motivaron a la búsqueda de nuevos conocimientos; su apoyo y disposición fueron fundamental en el desarrollo de mi trabajo de grado.*

*A mis compañeros de estudio por su comprensión y cariño a lo largo de este camino, en especial a Adrián Jaime quien hizo parte junto conmigo de todo el proceso del trabajo. mis mejores deseos para su vida profesional.*

*Atentamente: María Camila Núñez Guzmán.*

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

*En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a Dios, a mi familia especialmente a mis padres Domingo Jaime Cáceres y Clara Inés Espinosa que siempre me apoyaron y creyeron en este sueño ya hecho realidad, al director de esta tesis el ingeniero Héctor Luna, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas y expresarle mi mayor admiración como persona y profesional.*

*Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad en la Universidad Antonio Nariño, asimismo agradezco a mis compañeros por su apoyo personal y humano, especialmente a María Camila Guzmán Nuñez que desde el principio estuvimos juntos apoyándonos en el desarrollo de este trabajo de grado, también agradezco al docente Edison Leandro García, quien fue una persona que marco mi vida profesional por su empeño por entregar su conocimiento para ayudarnos.*

*Un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Nuevamente gracias a mi familia, a mis padres y a mis hermanos, porque con ellos compartí ideas para que el día de hoy este escribiendo estas palabras. Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión. Pero, sobre todo, gracias a la mamá de mi hija Geraldine Calao y a mi hija Sara Catalina Jaime Calao, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo. A todos, muchas gracias.*

*Atentamente: Brandon Adrián Jaime Espinosa.*

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| Resumen   | 8  |
| Abstract  | 9  |
| 1.Introducción  | 10 |
| 2.Objetivos   | 14 |
| 2.1 Objetivo general                                    | 14 |
| 2.2 Objetivos Específicos                               | 15 |
| 3.Marco Teórico   | 15 |
| 3.1 Tipos de agua.                                      | 15 |
| 3.2 Características Del Agua                            | 16 |
| 3.3 Normatividad  | 17 |
| 3.4 Tecnologías para tratamiento.                       | 20 |
| 3.4.1 Tratamiento primario o preliminar.                | 20 |
| 3.4.1.1 Desbaste  | 20 |
| 3.4.1.2 Tamizado  | 21 |
| 3.4.1.3 Desarenador                                     | 22 |
| 3.4.1.4 Coagulación                                     | 22 |
| 3.4.2 Tratamiento Secundario                            | 23 |
| 3.4.2.1 Sedimentación                                   | 23 |
| 3.4.3 Tratamiento Terciario                             | 25 |
| 3.4.3.1 Membranas                                       | 25 |
| 3.4.3.1.1 Microfiltración                               | 26 |
| 3.4.3.1.2 Ultrafiltración                               | 26 |
| 3.4.3.1.3 Nano-filtración                               | 27 |
| 3.4.3.1.4 Osmosis Inversa                               | 27 |
| 3.4.3.1.5 Luz Ultravioleta                              | 27 |
| 4.Estado del Arte                                       | 28 |
| 5.Justificación   | 41 |
| 6.Metodología   | 42 |
| 6.1 Visita a la Sede Usme de la UAN                     | 42 |
| 6.2 Toma Y Análisis de la Muestra                       | 43 |
| 6.3 Medición del Caudal                                 | 44 |
| 6.4 Georreferenciación del Canal de Conducción del agua | 45 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.5   | Determinación de la Dosis de Cloro      | 45 |
| 7.    | Resultados y Análisis de los Resultados | 46 |
| 7.1   | Análisis y toma de la muestra           | 51 |
| 7.2   | Tren de tratamiento propuesto           | 53 |
| 7.3   | Estimación de la dosificación de cloro  | 56 |
| 7.4   | Caudal                                  | 60 |
| 7.4.1 | Estimación de la población              | 61 |
| 7.4.2 | Caudal de Diseño                        | 63 |
| 8.    | Conclusiones                            | 64 |
| 9.    | Referencias                             | 65 |
| 10.   | Recomendaciones                         | 75 |
| 11.   | Anexos                                  | 76 |

## Índice de Figuras

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Tipos de agua. Fuente Propia   | 8  |
| Figura 2.  | Dotación para consumo según el uso escolar. Fuente (Ministerio de ambiente, 2014)          | 36 |
| Figura 3 . | Dotación para consumo según el nivel de complejidad. Fuente (Ministerio de ambiente, 2014) | 36 |
| Figura 4.  | Recorrido de los puntos tomados. Fuente Propia   | 47 |
| Figura 5.  | Mapa de precipitaciones. Fuente (IDIGER, 2017)   | 40 |
| Figura 6.  | Turbiedad de la muestra. Fuente Propia   | 42 |
| Figura 7.  | Tren de tratamiento. Fuente propia   | 45 |
| Figura 8.  | Fórmula para cloración, Fuente (Fustamante, 2017)  | 51 |

## Índice de Tablas

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1. | Características del agua. Fuente Propia                      | 10 |
| Tabla 2. | Valor de las precipitaciones. Fuente (IDIGER, 2017)          | 41 |
| Tabla 3. | Resultados caracterización de Agua. Fuente propia            | 43 |
| Tabla 4. | Mediciones del caudal. Fuente Propia                         | 53 |
| Tabla 5. | Datos poblacionales de la sede Usme de la UAN. Fuente propia | 54 |

## Índice de Anexos

|  |    |
|--|----|
| Anexo A. Conservación natural de la sede. Fuente Propia              | 67 |
| Anexo B. Condiciones del día de la toma de la muestra. Fuente Propia | 67 |
| Anexo C. Desarenador de la sede. Fuente Propia                       | 68 |
| Anexo D. Materiales para la toma de la muestra. Fuente Propia        | 68 |
| Anexo E. Punto de la toma de muestra. Fuente Propia                  | 68 |
| Anexo F. Cuarto de bombas de la sede. Fuente Propia                  | 69 |
| Anexo G. Toma de muestra para análisis Físico-químico. Fuente Propia | 69 |
| Anexo H. Toma de muestra para análisis microbiológico. Fuente Propia | 70 |
| Anexo I. Punto de captación de agua. Fuente Propia                   | 70 |
| Anexo J. Canal de Abastecimiento de la sede. Fuente Propia           | 71 |

## Resumen

El agua es uno de los elementos vitales más importantes para nuestra sociedad actual, por tal motivo se hace necesario para ofertar el recurso tener un adecuado tratamiento de la misma; ya que la mala calidad del agua o el inadecuado tratamiento, pueden ser los precursores de enfermedades vehiculizadas por el agua (EVAS) en el ser humano; estas enfermedades son transmitidas a causa de las bacterias, virus, huevos de helmintos y protozoos que contiene el agua cruda y existen diversos tipos de dichas enfermedades como lo son: gastroenteritis, enfermedades diarreicas, arsenicosis, fluorosis, esquistomiasis, helmintiasis, paludismo, dengue, legionelosis, hepatitis A y E, poliomielitis, fiebre tiroidea, meningitis, entre otras.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra de agua de la sede Usme de la UAN identificando variables como la presencia de coliformes fecales y totales ,que no cumplen con la Resolución 2115



de 2007, determinando de esto que es importante tomar medidas de prevención contra enfermedades que son transmitidas por este medio, por esta razón se decide plantear conceptualmente la mejor opción costo-beneficio de planta de tratamiento de agua potable que satisfaga las necesidades del tipo de agua y población institucional..

*Palabras claves: Microorganismos, Carbón Activado, Agua Potable, Enfermedades, filtros, desinfección.*

## **Abstract**

Water is one of the most important vital elements for our current society, for this reason it is necessary to offer the resource to have an adequate treatment of it; since poor water quality or inadequate treatment can be the precursors of water-borne diseases (HAD) in humans; These diseases are transmitted by bacteria, viruses, helminth eggs and protozoa contained in raw water and there are various types of these diseases such as: gastroenteritis, diarrheal diseases, arsenicosis, fluorosis, schistomiasis, helminthiasis, malaria, dengue, legionellosis, hepatitis A and E, poliomyelitis, thyroid fever, meningitis, among others.

For the development of the research work, a physicochemical and microbiological analysis of the water sample from the Usme headquarters of the UAN was carried out, identifying variables such as the presence of fecal and total coliforms, which do not comply with Resolution 2115 of 2007, determining from this It is important to take preventive

measures against diseases that are transmitted by this means, for this reason it is decided to conceptually propose the best cost-benefit option for a drinking water treatment plant that meets the needs of the type of water and institutional population.

*Keywords: Microorganisms, Activated Carbon, Drinking Water, Diseases, filters, disinfection.*

## **1.Introducción**

Con el tiempo el estudio del tratamiento de agua potable ha venido incrementado significativamente, por tal razón se debe tener conciencia que una sociedad actual que no cuente con un suministro de agua potable, puede estar más vulnerable a contraer variedad de enfermedades de origen hídrico; por otro lado, es indispensable reconocer que las fuentes de abastecimiento para el suministro de agua son fuentes superficiales y subterráneas, por tal motivo no es recomendable que sea ingerida sin un tratamiento previo, ya que estas fuentes pueden presentar alteraciones naturales o antropogénicas que causan deterioro en la calidad del efluente (OMS, 2007).

El agua es uno de los elementos vitales más importantes de nuestra sociedad actual, por tal motivo es importante resaltar que vivimos en una época en donde la demanda de agua ha venido incrementado debido a la sobrepoblación (Moreno, 2019); esto ha llevado a que se convierta en un eslabón importante para los gobiernos hasta llegar al caso de explotar privatizando su acceso mediante la creación de las redes de acueducto rural y urbano para su potabilización beneficiando la salud de sus consumidores; sin embargo, no toda la población tiene el privilegio de acceder al recurso por este medio (Castañeda, 2016), por tal motivo una de las formas de ofertar este recurso a la población es mediante las fuentes de agua superficial (ríos, manantiales, lagos, entre otros); no obstante, estas requieren un tratamiento previo para ser apta para consumo humano,(Ambiente & Territorial, 2007) ya que por naturaleza las fuentes de agua superficial están sometidas a contaminaciones tanto de tipo natural como es el arrastre de materia orgánica (MSPS & INS, 2016; Nguyen et al., 2021) y contaminaciones de tipo antropogénico como descargas de aguas domésticas, residuales e industriales(Mena-Rivera et al., 2018); esta contaminación provoca alteraciones en las características físicas, químicas y biológicas del agua, lo cual implica el deterioro en la calidad del recurso. (Polo-Carrillo et al., 2020; Torres & Cruz, 2009)

El principal impacto de la mala calidad del agua recae sobre la salud pública (OMS, 2007), la inexistencia o el inadecuado tratamiento de agua y saneamiento básico, pueden ser los causantes de manifestación de enfermedades de origen hídrico en el ser humano, (Lavallén et al., 2017) estas enfermedades son transmitidas por el agua (EVAS), debido a las bacterias, virus, huevos de helmintos y protozoos que contiene el agua cruda, (INCA, 2019) pueden ser: gastroenteritis, enfermedades diarreicas, arsenicosis, fluorosis, esquistomiasis,

helmintiasis, paludismo, dengue, legionelosis, hepatitis A y E, poliomielitis, fiebre tiroidea, meningitis y cuando ya influyen vectores por ejemplo moscas o mosquitos que transmiten enfermedades que ellos obtuvieron en el agua contaminada o no contaminada de un río o cuerpo de agua.(Palomero González & Alvarino Serra, 2016).

Por lo mencionado anteriormente es necesario hacer un adecuado tratamiento de agua en pro de prevenir estas enfermedades vehiculizadas por el agua; por esta razón uno de los tratamientos más importantes durante el tratamiento de agua potable es el proceso de desinfección, ya que durante este se pretenden eliminar microorganismos y patógenos de agua que son los causantes de provocar dichas enfermedades (Villanueva et al., 2001), sin embargo antes de los procesos de desinfección es necesario eliminar ciertas características tanto físicas como químicas del agua mediante diferentes procesos como pueden ser la coagulación, floculación, sedimentación, filtros de arena, filtros de carbón activado entre otros tratamientos dependiendo de las características del agua a tratar; con el fin de disminuir la formación de subproductos durante el proceso de desinfección, debido a que usualmente el producto para este proceso es a base de compuestos clorados y si estos se combinan con otros compuestos del agua puede dar como resultado la formación de otros compuestos como trihalometanos, halofenoles, ácidos haloacéticos, entre otros que también se han considerado perjudiciales para la salud, ya que según estudios realizados estas sustancias pueden llegar a ser consideradas cancerígenas para el ser humano (Berdonces, 2008).

En la actualidad según los informes de las autoridades ambientales que han asistido a la sede Usme de la UAN a realizar los respectivos análisis de los parámetros del agua

potable con el fin de reconocer si se da o no el cumplimiento a la resolución 2115, han estipulado que para el momento todavía no se da el cumplimiento en la totalidad de todos los parámetros, esto está asociado a que el tratamiento de agua actual con el que cuenta la sede Usme de la UAN es muy básico y rudimentario, su fuente de abastecimiento es el efluente del Río Tunjuelo (Griggs, 2020), posteriormente a una distancia aproximada de 300 metros desde la bocatoma se encuentra un desarenador por medio del cual se retiran arenas gruesas y finas, después el agua es transportada por medio de tuberías hasta el cuarto de bombeo, allí se distribuye el agua hasta el tanque de almacenamiento en el cual se hace proceso de coagulación y sedimentación, después de este proceso se bombea el agua hasta los tanques de almacenamiento de cinco mil litros y posteriormente se realiza la desinfección con hipoclorito de sodio, sin embargo no cuentan con una dosificación tanto de coagulante como desinfectante correcta, teniendo en cuenta las características del agua. Este proceso se realiza con el fin de abastecer el plantel educativo de aproximadamente 500 estudiantes, servicio de vigilancia y aseo, docentes y directivos, ya que en las instalaciones de la sede no cuentan con servicio de acueducto. Teniendo en cuenta lo anterior, debido al inadecuado tratamiento que posee la universidad en la actualidad puede tener como consecuencia afectaciones directas a la salud humana a causa de las enfermedades vehiculizadas por el agua (MSPS & INS, 2016).

Una de las comunidades de mayor foco de preocupación es la que está en el rango de edad de 3 a 5 años, estudiantes de grado preescolar que son en este momento 70 niños (UAN, 2021), población infantil más propensa a sufrir alteraciones en su salud por las enfermedades vehiculizadas por el agua, (MSPS & INS, 2016) posibles deformaciones, mal desarrollo cognitivo y demás afecciones a las que están vulnerables (Nguyen et al., 2021).

Por esta razón el principal objetivo de este proyecto es establecer un plan de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable de la sede USME de la UAN con el fin de dar cumplimiento a los parámetros establecidos por la resolución 2115 del 2007 (Ambiente & Territorial, 2007) por la cual se rige la normatividad para agua potable y saneamiento básico y reducir las probabilidades de contraer enfermedades por la mala calidad del agua.

Este proyecto se realizará teniendo en cuenta las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda proveniente del río Tunjuelo, la población a la cual se pretende abastecer teniendo en cuenta las especificaciones presentadas en el RAS, además de esto se analizarán las diferentes alternativas tecnológicas que son aplicadas para el tratamiento de agua potable. Conforme a los parámetros mencionados anteriormente se determinará cuales tratamientos son aplicables teniendo en cuenta una viabilidad técnico-económica, con el fin de que el agua pueda cumplir con los parámetros establecidos por las entidades reguladoras.

## **2.Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Establecer un plan de mejoramiento para el sistema de tratamiento de agua potable para la sede Usme de la universidad Antonio Nariño

## **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico con el fin de identificar los principales factores fisicoquímicos que alteran la calidad del agua
- Proponer un diseño conceptual de una PTAP a partir del diagnóstico y la población servida cumpliendo con la normatividad vigente
- Realizar un tren de tratamiento en el cual se plasme el diseño conceptual de la PTAP de la sede Usme de la UAN

## **3.Marco Teórico**

Para fines del trabajo, es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de agua como se muestra en la Figura 1, ya que dependiendo de las características de la misma se determina su proceso de tratamiento y su naturaleza

### **3.1 Tipos de agua.**

Las condiciones del agua se pueden clasificar en varias formas como, agua cruda, tratada, contaminada y potable (Ray et al., 2020a).



Figura 1. Tipos de agua. Fuente Propia

Teniendo en cuenta la figura anterior, se puede reconocer la naturaleza del agua y además las implicaciones de las mismas sobre la salud humana, es indispensable reconocer que tipo de agua se consume debido a que por medio de esta se pueden vehiculizar diferentes enfermedades como lo mencionamos anteriormente; además de esto es importante reconocer las diferencias entre estas ya que según las características del agua se tratan de manera diferente.

### 3.2 Características Del Agua

La caracterización del agua potable es un punto muy importante al momento de tomar la decisión de tratarla, el agua tiene características físicas y químicas muy distintas alrededor del mundo, entonces se debe hacer un estudio muy detallado del cuál es el tipo de agua que vamos a tratar en nuestra planta o simplemente que tratamiento básico se realizará, siempre y cuando con autonomía e integridad hacia la comunidad que va a servir este líquido. (Bone et al., 2020; Pan et al., 2016)



El agua es incolora, inodora y sin sabor pero en muchos casos presenta cambios, lo cual es importante determinarlo para el cuidado a la salud; estos cambios pueden asociarse a la contaminación fisicoquímica y microbiológica del agua, las físicas es cuando se presentan sólidos gruesos flotantes, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, que pueden ser coloides, la presencia de estos anteriores varia directamente de la ubicación de la toma de la muestra, los sólidos en un agua tomada de una zona “x” determinan las propiedades físicas de la misma y se pueden evaluar o percibirse por nuestros sentidos, y las químicas podemos destacar la Acidez, Alcalinidad, pH, Dureza, Hierro, Cloro Residual, Sulfatos. Los parámetros microbiológicos que se tienen en cuenta son Coliformes Totales y Fecales (Ray et al., 2020a), estos deben ser medidos a escala de laboratorios para tener una certeza de su peligro y existencia en la fuente.(Cotruvo, 2013)

Detallando lo anterior se argumenta que estos parámetros deben estar en los límites establecidos por la normatividad del país, en nuestro caso la normatividad vigente para potabilización de agua es la Resolución 2115 de 2007. (Ambiente & Territorial, 2007)

### **3.3 Normatividad**

La norma que rige en Colombia para el lineamiento de agua potable es la Resolución 2115 del año 2007 por medio de la cual se establecen los límites permisibles de las características físicas, químicas y biológicas del agua, además de esto se establecen

instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para dicha agua pueda considerarse apta para el consumo humano; dentro de los parámetros que se contemplan en esta resolución los que requieren mayor control son los que se muestran en la Tabla 1, teniendo en cuenta también los límites máximos permisibles para cada uno. (Ambiente & Territorial, 2007)

Tabla 1. Características del agua. Fuente Propia

| <b>CARACTERÍSTICA</b>  | <b>PARÁMETRO</b>   | <b>COMO SE DEFINE</b>   | <b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b> |
|------------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| <b>MICROBIOLÓGICAS</b> | Coliformes Totales | Son bacterias que se producen no solo por heces de animal o de ser humano, sino que también por el suelo o por los diferentes sedimentos que se depositan en las superficies del agua | 0 NMPEC en 100 cm <sup>3</sup>  |
|                        | E. Coli            | Son bacterias que se producen por heces de animal o de ser humano, que ya sea por medio de infiltración, escorrentía o deposiciones en el lugar llegan al cuerpo de agua.             | 0 NMPEC en 100 cm <sup>3</sup>  |
| <b>QUÍMICAS</b>        | Alcalinidad Total  | Es la capacidad que tiene el cuerpo de agua para neutralizar las sustancias ácidas que puedan entrar y de esta manera no permitir variaciones en el PH                                | 200 mg/L                        |
|                        | PH                 | Es la medida que indica la acidez o la alcalinidad del cuerpo de agua   | (6,5 - 9)                       |

|                       |  |                          |          |
|-----------------------|--|--------------------------|----------|
| Dureza Total          | Es el resultado de la suma de la dureza de magnesio, calcio, bario y estroncio expresada en forma de carbonatos o bicarbonatos | 300<br>CaCO <sub>3</sub> | mg/L     |
| Hierro Total          |  | 0,3                      | mg/L     |
| Cloro Residual Libre  | Hace referencia a del cloro que queda en el agua después de esta haber tenido contacto con sustancias que lo contengan         | (0,3 - 2)                | mg/L     |
| Cloruros              | Es un ion que normalmente se encuentra en el agua cruda y este depende del tránsito que lleve el cuerpo de agua                | 250                      | mg/L     |
| Sulfatos              |  | 250                      | mg/L     |
| Olor                  | No debería presentar Olor  |                          | Ausencia |
| Turbiedad             | Es la transparencia que pierde el agua al tener presencia de solidos suspendidos.  | 2                        | NTU      |
| <i><b>FÍSICAS</b></i> |  |                          |          |
| Sabor                 | No debería presentar Sabor   |                          | Ausencia |
| Color Aparente        | Es el color que refleja el agua ópticamente al tener presencia de solidos tanto disueltos como en suspensión                   | 15                       | UPC      |

---

### **3.4 Tecnologías para tratamiento.**

En la actualidad existen diversas tecnologías para el tratamiento de agua, estas se dividen en 3 ramas que son el tratamiento primario o preliminar, tratamiento secundario y tratamiento terciario o también llamado tratamiento avanzado. El uso de estos tratamientos depende primordialmente de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua y lo que se quiera remover de estas para que pueda considerarse agua potable (Manasfi, 2021).

#### **3.4.1 Tratamiento primario o preliminar.**

Son operaciones físicas o mecánicas, utilizadas primordialmente para la separación de materiales del agua ya que estos materiales ya sea por su tamaño o naturaleza pueden afectar tratamientos posteriores; dentro de estos tratamientos se encuentra principalmente: desbaste, tamizado, desarenador (Xu et al., 2020).

##### **3.4.1.1 Desbaste**

Mediante la utilización de rejillas, el principal objetivo de esta tecnología es lograr la retención y separación de materiales flotantes grandes y medianos que son arrastrados por el efluente de agua antes de llegar a la planta. Existen 3 tipos de desbaste, el desbaste fino en donde se retienen materiales más pequeños, la separación entre los barros de las rejillas están comprendidos entre (3 – 10) mm; el desbaste medio en el cual se retienen sólidos más grandes que en el anterior y la separación entre barros de la rejilla está comprendida entre (10 – 25) mm y por último el desbaste para sólidos grandes en donde quedan retenido sólidos

de mayor tamaño la separación entre los barros de la rejilla está comprendida entre (50 - 100) mm.(Muralikrishna & Manickam, 2017)

Debido a la alta retención de residuos sólidos flotantes que se pueden generar, es necesario realizar mantenimientos periódicos, estos se pueden hacer mediante rejillas manuales o automáticas. Las rejillas manuales están fabricadas de acero, en ocasiones verticales y con una leve inclinación sobre el eje vertical de (15 – 40), además de eso, poseen un rastrillo de limpieza y una placa perforada para almacenar los residuos resultantes de dicha limpieza temporalmente hasta su evacuación; las rejillas automatizadas funcionan con un motor que va sincronizado a un sensor, el cual puede funcionar de forma continua o intermitente cada vez que el caudal de captación predeterminado es bajo, el almacenamiento de residuos resultantes es transportado posteriormente (Gray, 2010; Muralikrishna & Manickam, 2017).

#### **3.4.1.2 Tamizado**

Es un proceso físico por medio del cual se separan partículas sólidas finas del agua a través de un tamiz, se conocen dos tipos dependiendo del tamaño de sus orificios, el macro tamizado con orificios superiores a 0.3mm que se utiliza para retener sólidos, como material en suspensión, flotantes o semiflotantes, insectos, residuos vegetales, y el micro tamizado con un tamaño inferior a 100 micras, utilizado para partículas más pequeñas, como aguas con contenido de plancton; a esta tecnología es necesario hacerle mantenimiento preventivo, existen 3 formas que son Tamices rotativos, Tamices fijos con rasquetas, Tamices de

autolimpieza (Gray, 2010; Muralikrishna & Manickam, 2017).

### **3.4.1.3 Desarenador**

Esta tecnología tiene como objetivo separar del efluente de agua las arenas, gravas y demás minerales que posean un tamaño mayor a 200 micras y además que se encuentren en suspensión; esta tecnología se aplica con el fin de evitar aglomerados o sedimentos en los canales de conducción del agua y para evitar daños en las bombas o equipos de la planta de potabilización (Ray et al., 2020b).

### **3.4.1.4 Coagulación**

Se entiende entre la interacción de un aditivo que se le agrega al agua, y este se encarga de desestabilizar las partículas, esta tecnología se realiza por lo general en un tanque en el que se mezcla, así generando una solución homogénea del coagulante y el agua al mismo tiempo. Este proceso sirve para eliminar del agua el color aparente, eliminación de algas y plancton, remover sustancias que modifiquen el olor y sabor, bacterias y virus (Tebbutt, 1998), en general materia orgánica e inorgánica que no se sedimenta fácilmente con los tratamientos previos.

Por lo general las aguas crudas contienen sólidos no sedimentables que están suspendidos y disueltos, para eliminar estos factores consiste en adicionar el químico coagulante a la cantidad exacta de almacenamiento, los químicos que se deben adicionar son sulfato de aluminio o cloruro férrico, también se utilizan sales polihidroxilasas, polímeros, la función principal de estos compuestos es aglutinar los sólidos suspendidos presentes en el

agua (Fitzpatrick & Gregory, 2003; Moran, 2018).

Los factores principales que afectan en el proceso de la coagulación se está relacionado directamente con las características del agua a tratar, siendo relevante el estado de la turbiedad, alcalinidad, pH, color, por otro lado también es dependiente el éxito del proceso, teniendo en cuenta el tipo de químico aplicable para realizar la coagulación, la cantidad exacta y concentración de la solución y además es primordial que el estado de la planta sea óptimo, para que la intensidad de la mezcla sea continua y el tiempo de retención sea el apropiado (Tebbutt, 1998).

### **3.4.2 Tratamiento Secundario**

En este tipo de tecnologías primarias, relacionándolas con la potabilización de agua, encontramos la sedimentación y filtros de carbón activado, (Gerba, 2009b) teniendo en cuenta que tiene variables en su rendimiento, dependiendo de la calidad de agua que se vaya a tratar (Ray et al., 2020b).

#### **3.4.2.1 Sedimentación**

Esta operación unitaria va después de la floculación, terminando el trabajo realizado por los dos procesos previos, su principal propósito es facilitar las filtraciones posteriores, eliminando el material en suspensión por gravedad o separación, en este proceso el agua pasa a través de una zona tranquila junto a el floc formado, siendo este sedimentado por su peso (Correia & Stafford, 2015) y saliendo por un deflector del vertedero (Chang, 2016).

### **3.4.2.2 Filtros de carbón activado**

Este tratamiento es utilizado para eliminar contaminantes, como materiales orgánicos de origen natural, productos como el cloro, compuestos que afectan el olor y el sabor del agua, el funcionamiento de estos filtros se da cuando el agua pasa a través del filtro y los contaminantes quedan adheridos al carbón activado, su eficacia varía directamente de la presión y la temperatura teniendo en cuenta que el ambiente óptimo de funcionamiento es con una baja presión y agua fría (Singh et al., 2020). Otro factor importante es el tamaño de las partículas del filtro, siendo diferentes en el carbón activado granulado y bloques de carbón, en el primero no tienen ningún límite ya que el material es totalmente poroso, mientras que en el de bloque suele tener los poros entre 0.5 a 10 micras, el problema varía en que por el tamaño de los poros el flujo de agua se reduce (Faust & Aly, 1987; Jun & Baozhen, 1988).

### **3.4.2.3 Filtros de Arena**

Los procesos que se llevan a cabo mediante la utilización de esta tecnología son retención, la filtración y sedimentación; estos son utilizados cuando existen cargas medias o bajas de contaminantes en el efluente, estos filtros sirven para controlar las partículas en suspensión, microorganismos entre otros que son características del agua a tratar; estos contaminantes son retenidos mediante el paso del agua por el lecho filtrante de arena (Maurya et al., 2020). Sin embargo, es importante tener en cuenta que cuando el filtro tenga exceso de impurezas se debe regenerar el lecho mediante un lavado a contracorriente. En esta tecnología la calidad de la filtración depende de varios factores, entre ellos la forma del filtro,



la altura del lecho filtrante, las características y granulometría del material filtrante y de la velocidad de filtración (Scholz, 2016).

### **3.4.3 Tratamiento Terciario**

El tratamiento terciario es la fase final para la depuración del agua, en esta fase se lleva a cabo el proceso de desinfección con compuestos clorados o luz ultravioleta; esto con el fin de la eliminación de patógenos y microorganismos presentes en el agua. Por otro lado, en esta fase existen diversas series de operaciones unitarias como lo son la filtración por membranas, microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, osmosis inversa entre otras encargadas de remover fosforo, nitrógeno, metales casi en su totalidad. Dichas tecnologías por ser tan eficientes son de elevado costo y para el momento en Colombia son pocos los tratamientos que se realizan mediante la utilización de estas (Brandt et al., 2017a).

#### **3.4.3.1 Membranas**

La tecnología de membrana nace tras la necesidad de tener una solución para la remoción de componentes que no pueden ser removidos en su totalidad ni por el tratamiento primario, ni por el secundario; además por medio de esta tecnología se garantizar la potabilización total del agua, sin embargo, la utilización de estas no es un auge para Colombia ya que el costo de inversión para implementar este tratamiento es muy elevado. No obstante, es necesario saber que este tipo de tecnología se requiere principalmente cuando hay presencia de parásitos u otro tipo de patógenos en el agua, cuando hay niveles altos de color, carbono orgánico total, hierro y manganeso; además de esto estas tecnologías poseen otras ventajas como menor requerimiento de energía, cloro para la desinfección, poca necesidad

de productos químicos durante el tratamiento y reducción en el tamaño de la planta (Mourato, 1998).

#### **3.4.3.1.1 Microfiltración**

La micro filtración es un proceso que no requiere altas presiones, por medio del cual se eliminan contaminantes disueltos del fluido. Este tratamiento consiste en la utilización de un filtro que contiene en su interior membranas de tipo microporos de un tamaño de su poro que oscila entre  $(0,1 - 1) \mu\text{m}$ ; (Brandt et al., 2017b) por medio de estos poros se permite el flujo de agua y a su vez se retienen materia orgánica disuelta, coloides, virus, bacterias, entre otros. Cabe destacar que este tipo de tecnologías debe tener un tratamiento previo para evitar el ensuciamiento o ruptura de las membranas (Sharma & Sharma, 2021).

#### **3.4.3.1.2 Ultrafiltración**

Es un tratamiento por medio del cual se eliminan sólidos suspendidos, bacterias, virus, sedimentos, solutos de alto peso molecular, entre otros con el fin de garantizar una alta pureza en el agua tratada; esta tecnología se basa en la utilización de la presión hidrostática para forzar que el agua pase por un filtro que contiene membranas de poros más pequeños que en la micro- filtración, capaces de retener partículas que oscilan entre  $(0,001 - 0,1) \mu\text{m}$ , (Brandt et al., 2017b) además de esto se tienen que realizar constantes retro lavados para garantizar el funcionamiento de las membranas y no permitir por medio de estos el taponamiento de las mismas (Sharma & Sharma, 2021).

#### **3.4.3.1.3 Nano-filtración**

Este tratamiento se utiliza cuando el agua a tratar contiene baja cantidad de sólidos disueltos totales. La tecnología de nano-filtración consiste en la eliminación de materia orgánica natural, materia orgánica sintética, dureza, entre otros, mediante una filtración en donde el fluido pasa en paralelo al filtro (filtración cruzada), (Brandt et al., 2017b) el poro de la membrana utilizado en este filtro es de aproximadamente 1 nm, por tal motivo retiene partículas más pequeñas que la ultrafiltración (Sharma & Sharma, 2021).

#### **3.4.3.1.4 Osmosis Inversa**

Es un tratamiento avanzado en el cual los sólidos disueltos, sales y minerales presentes en el agua, generan una presión sobre la membrana quedando retenidos en ella y permitiendo solamente el paso del agua tratada (Brandt et al., 2017b). Para que este proceso se dé, la presión del sistema debe ser mayor a la presión osmótica es decir que se debe presurizar el agua, además de esto en paralelo al trabajo de las membranas se debe hacer una limpieza a estas mismas con el fin de evitar la acumulación de contaminantes y la saturación de las membranas (Gupta & Ali, 2013). Cabe resaltar que la duración de las membranas de esta tecnología oscila entre los 3 a 5 años, por tal motivo es recomendable hacer los mantenimientos periódicos correspondientes (Sharma & Sharma, 2021).

#### **3.4.3.1.5 Luz Ultravioleta**

Esta tecnología es eficiente para la eliminación de patógenos, sin embargo, es necesario que las tecnologías previas garanticen la eliminación de la turbiedad del agua, ya que esta tecnología requiere que la luz ultra violeta pueda atravesar el flujo del agua a tratar, (Gerba, 2009a) (Li et al., 2019) usualmente las longitudes de onda que se trabajan para este

tratamiento están entre los (200 - 300) nanómetros (Purewater Colombia SAS|, 2021).

#### **3.4.3.1.6 Hipoclorito de sodio**

Para liberar de bacterias y microorganismos el agua que pueden ser nocivos para la salud y volverla potable el mejor agente químico que puede existir es el cloro el cual lo podemos encontrar de forma líquida, gaseoso o granular, (ACUQUIMI, 2020) este procedimiento depende de las anteriores fases ya que el agua debe estar sin turbiedad, se puede encontrar en concentraciones de 0.5% a 10%, (Cahoon, 2018) la concentración y la dosis dependerá de la claridad o turbiedad del agua, es importante que para esta fase el agua debe estar en un estado de 0% materia orgánica ya que su contacto con el cloro puede tener como subproductos de la desinfección los trihalometanos, que representan una gran problemática en la salud (Hariganesh et al., 2020).

## **4.Estado del Arte**

Los diferentes avances acerca de la potabilización del agua han permitido abordar la investigación sobre nuevas tecnologías y las aplicaciones que se le pueden atribuir a estas dependiendo de las características del agua a tratar (Muralikrishna & Manickam, 2017).

La potabilización del agua, es un tema que ha tenido auge en los últimos años; ya que no es solo un tema de salubridad pública, sino que además es un derecho que poseen todas las personas; en la actualidad se estipula en el artículo 64, del literal 63 de la Organización de las Naciones Unidas de saneamiento de agua potable (ONU, 2010), que es una obligación

del estado colombiano ofertar a la población el servicio de acueducto de calidad con una cobertura del 100%, sin dejar de un lado la conservación de las fuentes de agua y la sostenibilidad del medio ambiente (Echeverría-Molina & Anaya-Morales, 2018). Sin embargo, la corrupción, la falta de instituciones enfocadas al correcto tratamiento de la gestión del agua, la inequidad en la distribución del recurso ha permitido que los sectores más vulnerables no cuenten con la cobertura de agua y de esta manera afectando así su dignidad humana y calidad de vida (Torres & Cruz, 2009).

Para los sistemas de abastecimiento de agua es indispensable tener atención específica al momento de ser tratada, las características fisicoquímicas que se pueden obtener de una muestra de agua ayudan a identificar su naturaleza y como esta puede influir en la salud del ser humano (Lavallén et al., 2017), el agua es considerada como un recurso esencial para la vida y su acceso juega un papel importante en la producción de alimentos, desarrollo de la economía, reducción en los niveles de pobreza y bienestar social (ONU, 2010). Sin embargo, desafortunadamente en el mundo aproximadamente el 20% de la población no cuenta con el acceso a agua potable; aunque algunas regiones se ven más afectadas por la falta del recurso que otras, es un problema de preocupación global ya que las cifras de defunciones por año a causas de enfermedades relacionadas con la falta de acceso al recurso hídrico potabilizado, ha ido incrementando siendo 3.4 millones de adultos y 1,4 millones de niños. (Ajiboye et al., 2021)

Dicho lo anterior es necesario hacer énfasis en que el agua necesita un tratamiento especial y controlado para considerarse apta para el consumo, (Gray, 2010) a lo largo del

tiempo se han implementado varias tecnologías y métodos que ayudan a salvaguardar la integridad de una comunidad, teniendo como primera medida el proceso de tratamiento primario, el cual no es suficiente para determinar si es potable o no, ya que después de los tratamientos primarios que concierne el desbaste, tamizado, desarenador, coagulación y floculación y sedimentación. (Zhao et al., 2019), quedan algunos sólidos flotantes o materia orgánica soluble que no es fácilmente removida con los procesos previos, por esta razón las comunidades desarrolladas y subdesarrolladas en la actualidad han tomado como opción la aplicación tecnologías que nos brindan la seguridad de tener una óptima calidad de agua (Hu et al., 2021).

La preocupación de crear nuevas tecnologías que garanticen una buena calidad del agua ha incrementado a lo largo del tiempo y por ende se han desarrollado estudios para determinar cuál es el mejor tratamiento costo-beneficio que se puede aplicar, pero esta selección está limitada por costos, tiempo y lugar de aplicación y caracterización del agua a tratar, (Molinos-Senante et al., 2011) existen tratamientos muy costosos, pero de un rendimiento superior y existen tratamientos menos automatizados que también son una opción viable y económica, entre ellos destacando los filtros de carbón activado en polvo o bloque (Servais et al., 1994), y como los más avanzados y de mayor inversión están las membranas en las cuales se destacan la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa y la desinfección por rayos UV (Sutherland, 2008).

Las aguas naturales contienen en ellas elementos disueltos y material suspendido que pueden ser de origen inorgánico u orgánico, para fines de la potabilización de agua es necesario retirar estos sólidos previamente al tratamiento, el proceso más común es la

coagulación seguida de una sedimentación (Lorenzo-Acosta, 2006). Las partículas en suspensión en el agua tienen un tamaño y una densidad específica dependiendo de su naturaleza lo cual facilita o impide su sedimentación (Bourgeois et al., 2004), sin embargo, la sedimentación de las partículas suspendidas en el agua depende principalmente de las cargas eléctricas de las mismas y del coagulante, ya que al tener la misma electronegatividad genera una repulsión entre ellas impidiendo la formación de flocs que sean fácilmente sedimentables; para estos casos se hace necesario adicionar un líquido electrolito que se encargue de neutralizar las cargas y se pueda completar el proceso de sedimentación (Lorenzo-Acosta, 2006).

En todos los procesos de tratamiento de agua, la coagulación se puede definir como la interacción electroquímica entre el agua y la adición del coagulante, (Moran, 2018) esta reacción se produce en la mayoría de los casos instantánea, los coagulantes que se usan frecuentemente son sales de hierro o aluminio que por su carga eléctrica neutralizan las cargas negativas, (Fitzpatrick & Gregory, 2003) en se desestabiliza el material suspendido, (Lorenzo-Acosta, 2006); al verificar el agua tratada esta debería estar clara pero si se evidencia material suspendido después de la primera adición, se debe volver a aplicar más dosis, como se dijo anteriormente este proceso va por etapas que las nombraremos en cuatro sucesos, (Dayarathne et al., 2021) siendo el primero la hidrólisis de los coagulantes y desnaturalización de las partículas que estén en suspensión, el segundo suceso es la formación de componentes químicos y su precipitación, la tercera fase es la adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides que es el momento en que empieza la atracción entre las partículas y la cuarta es el barrido de estos flocos aglomerados (Jiang,

2015).

Al momento de escoger el coagulante óptimo para el tipo de agua se deben tener en cuenta varios factores que afectan su rendimiento, los cuales son la naturaleza o el tipo de materia orgánica (Dayarathne et al., 2021), ya que si el material en suspensión o materia orgánica del agua es de bajo peso molecular se necesitan generalmente dosis más altas de coagulante, debido a que sus moléculas son más pequeñas y tienden a ser más polares y un poco más solubles, por este motivo no es viable utilizar esta tecnología para estos casos si no que por lo general se utilizan tecnologías más avanzadas como filtración de membranas y métodos oxidativos (Dayarathne et al., 2021), por el contrario, si el material en suspensión del agua es de alto peso molecular se necesitan dosis más reducidas del coagulante debido a que sus moléculas son más hidrofóbicas (Ghernaout, 2014). Por otro lado, el pH es un apartado muy importante para la elaboración de un tratamiento efectivo, ya que, si tenemos una varianza en el pH bastante alta, se puede modificar el peso molecular de la materia orgánica a retirar, (Qin et al., 2006) por eso es un aspecto importante a evaluar cuando se va a utilizar este tratamiento, si tenemos un pH muy bajo puede reducir la carga orgánica de nuestro efluente a tratar y por ende el rendimiento de coagulante va a disminuir y la naturaleza de la carga orgánica va a variar a tal caso que ya no se pueda tratar con esta tecnología afectando en un proyecto a gran escala los costos de operación, hay que tener en cuenta que dependiendo del pH se puede escoger el coagulante ya que todos no funcionan en el mismo nivel de potencial de hidrogeniones. La turbiedad es otro factor importante al momento de la dosificación de la sal coagulante ya que si tenemos un nivel de turbidez de  $> 100$  NTU la dosis a adicionar va a ser menor a la que es requerida por una muestra de agua con 5 - 10



NTU (Gregor et al., 1997), una explicación a esto es que en el agua que es más turbia la colisión entre más partículas es muy frecuente en comparación con la que tiene menor turbidez, por ende la alta interacción es la responsable a estos resultados , además la temperatura también varia la eficiencia del coagulante, es entendible que este parámetro de temperatura no es fácilmente controlable y que puede variar el resultado del tratamiento drásticamente , además depende del tipo de coagulante, una solución a este inconveniente es recomendable variar su dosificación dependiendo de las estaciones.(Dayarathne et al., 2021). A pesar del uso tan importante para potabilizar agua, se encuentran unos inconvenientes a resaltar en el uso de coagulantes, una de ellas es su gran volumen de lodos, subproductos residuales de alto costo y que su optimización depende de varios factores (Wei et al., 2018), además que dependiendo de su composición química resultan varias afecciones a la salud por los residuos presentes en el agua tratada, por esta razón existe literatura sobre coagulaciónes avanzadas que lo son como el zirconio, la moringa oleífera, la piedra pómez y los nanotubos de carbono, pero estos son relativamente costosos (Sun et al., 2019). Siendo este un proceso fundamental en el tratamiento de agua potable, siendo de los principales para tener una sedimentación óptima que nos ayude a reducir la cantidad de elementos disueltos en el agua, es primordial destacar que este tratamiento es indispensable para que los otros procesos se lleven a cabalidad con mucha más facilidad y puedan desempeñarse con un rendimiento mayor, la coagulación trabaja de la mano con varios tratamientos que complementan una buena calidad de agua, entre ellos tenemos los filtros de carbón activado, (Faust & Aly, 1987; Korotta-Gamage et al., 2021) que pueden funcionar como filtros biológicos por los biofilms que se ubican en la superficie del filtro, esto puede ser beneficio o no, ya que dependiendo del efluente y sus características podemos tener variedad de

microorganismos en el filtro, además de tener variedad tenemos aglomeraciones perjudiciales para el tratamiento futuro del efluente, por la razón que los filtros se saturan y no tienen el mismo rendimiento (Korotta-Gamage et al., 2021), con esta idea se puede argumentar que los microorganismos en los filtros BAC son necesarios hasta un punto para la depuración de materia orgánica por parte del filtro y los organismos sitiados en él, pero se debe hacer un mantenimiento riguroso de retro lavado para mantener al margen la proliferación excesiva de microorganismos (Zhang et al., 2019).

Un gran margen responsable de contaminación del agua son los microorganismos, necesitando de un tratamiento especializado para su potabilización dependiendo de su naturaleza, (Cahoon, 2018) además, se les da una importancia superior ya que la contaminación por microorganismos tiene problemas inmediatos en la salud por eso se les da una prioridad más alta, mientras que la contaminación química son más problemas y enfermedades a largo plazo, (ONU, 2010) el gran referente de evidencia que existen microorganismos es la existencia de e-coli, es decir que si en una muestra de agua cruda se encuentra este microorganismo es señal de que pueden existir muchos más organismos patógenos para la salud como Giardia, Cryptosporidium, Shigella y demás que conforman el parámetro de coliformes fecales que son producidos por heces de ganado, vida silvestre y humano (Ajiboye et al., 2021), destacando así que por esta razón es que se usa a menudo como referente la E-coli para determinar la pureza del agua y para el análisis de muestras de agua que contienen coliformes fecales más allá de los niveles permisibles, además se argumenta que la calidad del agua puede variar directamente del clima, ya que cuando existe abundancia de agua esta se encarga de arrastrar todo tipo de materia orgánica aumentando

más la carga orgánica diluida en el recurso hídrico (Nguyen et al., 2021), los sistemas de abastecimiento y tratamiento de agua potable se deben diseñar teniendo en cuenta los escenarios más extremos de contaminación y arrastre de MO.

Por tal razón, la tecnología conocida como filtros de arena ayudan a eliminar patógenos presentes en el agua, además el lecho superficial biológico en muchas ocasiones denominado *schmutzdecke* (matuzahroh et al., 2020) el cual puede ser altamente eficiente para la eliminación de E-coli del agua; el *schmutzdecke* está compuesto por una matriz gelatinosa de biopelículas de bacterias, hongos, protozoos, rotíferos y una gama de larvas de insectos acuáticos, sin embargo según estudios realizados son más eficientes los filtros de arena lentos ya que tienen un porcentaje de eficiencia de remoción de E. Coli del 99,95% comparado con los filtros de arena de desbaste que tienen tan solo un porcentaje del 88,23%. (matuzahroh et al., 2020), el agua de río que generalmente se utiliza como fuente de abastecimiento para agua potable tiene variaciones en sus características, esto está asociado a diferentes procesos como la lluvia, las épocas de sequía, los vertimientos entre otros factores que alteran dichas características; (Nguyen et al., 2021) la diferencia de las concentraciones de turbidez, nitrógeno total y fosforo total en el agua alteran el rendimiento de la capa biológica superficial de los filtros de arena (*schmutzdecke*) por tal motivo se hace necesario buscar alternativas que impidan estas variaciones en el rendimiento, una de estas alternativas es la utilización de geo textiles, consiste en fibras en forma de polímeros hidrófobos que mejoran el rendimiento de los filtros de arena lentos en la eliminación de contaminantes y a la disminución de la turbidez en el agua ya que los geotextiles pueden servir como una superficie de unión para los microorganismos presentes en el filtro (Fitriani

et al., 2020), otra razón por la cual los filtros de arena lentos son utilizados constantemente para la tratamiento de agua potable son su bajo consumo de energía, baja cantidad de químicos utilizados, alta eficiencia y su fácil operación; (Agrawal et al., 2021) esta tecnología se basa en la eliminación de materia orgánica, partículas en suspensión, microorganismos presentes en el agua mediante procesos fisicoquímicos y microbiológicos, no obstante no se tiene una certeza total de qué tipo de comunidades microbianas son las que conforman la parte superficial de los filtros de arena (Chen et al., 2021).

Se resalta la existencia de investigaciones haciendo referencia a la potabilización de agua usando filtros de carbón activado antes del proceso de desinfección para evitar la combinación de materia orgánica con hipoclorito de sodio, teniendo en cuenta que se pueden generar varios subproductos que son perjudiciales para la salud, (Srivastav et al., 2020) además, el filtro de carbón activado sea en polvo o en bloque, funciona como retenedor de olores, sabores, formación de contaminantes clorados evitando así subproductos en el post proceso de la desinfección, estos filtros son muy recomendables para tratar aguas superficiales ya que tiene una interacción bastante amplia con los microorganismos así creando superficies denominadas carbón activado biológico (D. Y. Zhang et al., 2011).

Para fines de la potabilización del agua se hace necesario realizar un proceso de desinfección con el objetivo de eliminar patógenos e inhibir el crecimiento microbiano; los desinfectantes más comunes son a base de cloro, estos pueden ser dióxido de cloro y sales de hipoclorito (H. Zhang et al., 2019). Estos desinfectantes son utilizados principalmente por su bajo costo, fácil manipulación, alta eficiencia en la eliminación de patógenos, mejora del

sabor del agua y la alta persistencia en la red de distribución, sin embargo, estos compuestos químicos generan subproductos de desinfección debido a factores como dosis del agente desinfectante, pH, tiempo de contacto, temperatura y a la combinación de los compuestos clorados ya sea con materia orgánica natural, materia orgánica de algas, contaminantes de origen antropogénico como (pesticidas, farmacéuticos, detergentes, entre otros), compuestos bromados o yodados, esto implica posibles efectos adversos y riesgos para los seres humanos. (Sarmiento et al., 2003) Por tal motivo se han desarrollado otras formas de desinfección con el objetivo de inhibir la presencia de los subproductos estos tratamientos se hacen mediante la utilización de ozono, ultravioleta, iones de plata, electro cloración, lo cual implica altos costos relacionados tanto con el equipo como con el consumo de energía. (Gilca et al., 2020). Uno de los subproductos más comunes de la desinfección son los trihalometanos, estos son considerados perjudiciales para la salud, por esta razón en el agua no deben superar los 100 µg/L (Sarmiento et al., 2003). Una manera de disminuir la formación de subproductos es mediante la utilización de productos de desinfección alternativos como el dióxido de cloro, el permanganato de potasio y los procesos avanzados de oxidación. No obstante, según estudios realizados una de las formas más eficientes de mantener y mejorar la eficiencia de desinfección y reducir la formación de los subproductos es la dosificación combinada tanto de hipoclorito de sodio como de dióxido de cloro ya que existe una sinergia cuando se usan dos o más desinfectantes, es decir, la inactivación general es mayor que la suma de la inactivación lograda para cada desinfectante individualmente (Godo-Pla et al., 2020).

Unas de las características para que el agua pueda considerarse potable es la ausencia

de sabor y olor, sin embargo, la presencia de algas verde azuladas altera el agua provocando un mal sabor y olor de la misma; es por ello que uno de los métodos para la adsorción de dichas algas es la utilización de Carbón activado en polvo. No obstante, para la utilización de este tratamiento es necesario tener en cuenta la concentración de contaminantes en el afluente, el tiempo de contacto dentro de la planta del carbón activado con la sustancia que se va adsorber y la dosificación de carbón activado que se debe suministrar ya que en exceso puede provocar aumento en los costos del tratamiento y en dosis insuficientes no eliminará el sabor del agua (Brandt et al., 2017b). Esta dosis se obtiene utilizando una constante de concentración inicial vs la dosis de carbón activado con el fin de tener las isothermas de adsorción y ver por medio de estas cuando se alcanza el equilibrio entre las dos; además de esto también es necesario utilizar un modelo como por ejemplo el de difusión superficial homogénea con el fin de tener en cuenta la cinética de adsorción ya que por medio de esta se determina la propagación de la molécula desde la superficie externa de la partícula adsorbente hasta el punto de su adsorción. Cabe resaltar que según estudios que se han realizado a medida que la turbidez del agua sea mayor es decir que los flóculos presentes en el agua sean más grandes y densos, la dosis de carbón activado en polvo debe ser mayor ya que habrá una reducción en el tiempo de contacto de la sustancia adsorbente (Carbón activado en polvo) con la sustancia adsorbida (algas). (Cook et al., 2001)

Por otro lado, el carbón orgánico disuelto (COD) o también materia orgánica es otro de los responsables de presencia de olor, color y sabor del agua, ya que este es el responsable del recrecimiento de bacterias en la red de distribución, (Servais et al., 1994) por tal motivo es necesario disminuir en el afluente los niveles de COD y con ello disminuir el crecimiento

bacteriano. Una de las formas de controlar el crecimiento bacteriano es mediante la utilización de cloro, sin embargo cuando existe una alta carga de materia orgánica la demanda de cloro es mayor y puede generar en el agua tratada cloro residual, además de esto la reacción entre la materia orgánica y el cloro puede conllevar a la formación de compuestos organoclorados que pueden traer implicaciones en la salud humana, por esta razón para el tratamiento de agua es recomendable primero eliminar la materia orgánica y dejar la cloración para la etapa final (Hariganesh et al., 2020). Uno de los métodos para la adsorción de la materia orgánica son los filtros de carbón activado granular, pero a su vez también el carbón activado es un buen material para el desarrollo de bacterias adheridas lo cual favorece a eliminación de la materia orgánica ya que en estos filtros esta eliminación es provocada como resultado de la actividad de las comunidades microbianas que colonizan el exterior del filtro y los macro poros de las partículas de carbón activado granular (Servais et al., 1994).

Además de lo mencionado anteriormente se tuvieron en cuenta dos estudios los cuales se asemejan mucho a la problemática del trabajo. El primero se denomina ¿El agua potable directa es segura para los niños? ¿Un análisis de la calidad del agua potable directa y sus factores de riesgo en las escuelas primarias y secundarias de Shanghai?; este estudio se hizo para verificar si en realidad el agua que es servida en las escuelas primarias y secundarias es potable, teniendo en cuenta que utilizan tecnologías muy eficientes para potabilizarla, el análisis se hizo mediante la toma de muestras de agua de 81 Escuelas primarias y 102 intermedias; en total se recolectaron 549 muestras de agua potable directa, con el fin de determinar: unidades formadoras de colonias (UFC), cloro residual, DQO, turbidez y además los factores de riesgo se analizaron mediante una regresión lineal simple y múltiple; los

tratamientos utilizados en estos centros académicos son filtración con arena, antracita, que eliminan las impurezas del agua; purificación avanzada mediante la absorción por Carbón activado y filtración por membrana elimina color, sabor, olor, microorganismos, cloro residual; desinfección con ozono o ultravioleta; osmosis inversas, ultrafiltración, microfiltración, como resultado a los análisis realizados, según la regresión lineal simple las (UFC) aumentaron cuando la temperatura estaba entre  $(25 - 60)^\circ$  y se redujo a temperaturas  $> 60^\circ$ ; las cantidades de UFC fue mayor en las escuelas primarias que en las intermedias debido a la calidad de los grifos y la tecnología del tratamiento de agua (Hu et al., 2021) . El segundo estudio que se tuvo en cuenta se denomina, estacionalidad de las fuentes de agua potable y el impacto de agua potable en las infecciones entéricas entre los niños de Limpopo, Sudáfrica, en este estudio se hacen análisis con el fin de identificar las fuentes de abastecimiento de agua que tienen en esta localización, teniendo en cuenta que, por la variación Climática, las fuentes de abastecimiento son diferentes, se pueden denominar también fuentes de agua mejoradas, (agua corriente, glifo público, tubería vertical, pozo excavado o manantial protegido y aguas lluvias) y no mejoradas (pozos, manantiales excavados sin protección, camiones cisterna, aguas superficiales de ríos, presas, lagos, estanques, canales, arroyos), con el fin de investigar el cómo se ve afectada la salud de los niños menores a 5 años de enfermedades como diarrea, infecciones críticas, retraso de crecimiento, ansiedad, depresión y muerte. Para este estudio se tuvieron en cuenta 18 aldeas, como resultados de dicho trabajo se tuvo que: la calidad del agua está asociada al mal desarrollo fisiológico de los niños de Limpopo, la calidad del agua se ve más afectada cuando se presentan mayores precipitaciones y Limpopo necesita urgentes políticas de saneamiento de agua potable (Nguyen et al., 2021).



## **5. Justificación**

La calidad del agua es algo muy importante por lo cual la sociedad actual a lo largo de los años se le ha dado una gran importancia para el desarrollo sostenible de un país, es vital en nuestra actualidad tener una óptima calidad de agua como la que consumimos y el tratamiento que se le da a la que devolvemos a el alcantarillado, ya que en muchos casos va directamente a cuerpos de agua, en nuestro país tenemos un tema muy especial con el tema de tratamiento del agua, el nivel de conocimiento sobre la temática de potabilización de agua abarca grandes técnicas, empezando desde un pretratamiento fisicoquímico a un tratamiento microbiológico, hasta tecnologías de alto nivel a grandes costos, para la universidad es importante tener proyectos de investigación de este tema, ya que la línea de conocimiento académica que se enfoca en tratamiento de aguas es muy completa en la institución y complementarla con una solución a un problema real asociado directamente de la universidad es muy gratificante para nosotros como estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental, a nivel social ante la comunidad presente en la zona, es de gran importancia por los beneficios en calidad de vida que tendrían, problemas de salud nulos referentes a enfermedades por ingesta de agua cruda o mal tratada, una vida optima y salubre en las instalaciones de la sede Usme de la UAN, teniendo en cuenta que el acceso a agua potable es rudimentario, teniendo un canal abierto para su suministro, es un deber como comunidad universitaria dar una solución para nuestra Universidad en la sede Usme a esta problemática que indirectamente nos hace responsables de la situación (C.A.R, 2020).

El tratamiento de aguas es un tema importante por la calidad de vida que da a la población, tener agua potable ya que ayuda a evitar enfermedades, contagios relacionados

con salud pública, lo cual si tenemos el control sobre estos factores se garantizaría una mejora en calidad de vida.

Con lo anterior podemos destacar que, para el desarrollo socioeconómico de una comunidad, es muy importante que pueda brindarse el acceso al agua potable, que sea apta para su consumo ya que directamente las personas lo necesitan para su subsistencia y calidad de vida. En la actualidad la sede Usme de la Universidad Antonio Nariño no cuenta con servicio de acueducto por tal motivo es indispensable la implementación de un tratamiento de agua que garantice a los miembros de la institución una óptima calidad de agua.

La indiferencia de la sociedad y falta de interés nos hace llegar a este punto de preocupación, lo cual económicamente no es viable para nuestra institución y comunidad universitaria ya que tiene que gastar gran parte de su presupuesto para buscar maneras óptimas y rentables de tratar este efluente o comprar agua tratada para el consumo de ellos mismos, por esta razón desde la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Antonio Nariño como estudiantes de pregrado nos queremos apersonar de la situación presente en la universidad y poner en práctica todo el conocimiento desarrollado y adquirido sobre el tema, alrededor de nuestro pregrado.

## **6. Metodología**

### **6.1 Visita a la Sede Usme de la UAN**

Mediante una solicitud se hizo la petición a la coordinadora de la sede Usme para poder ingresar a realizar el respectivo recorrido desde la parte de la bocatoma hasta la

distribución del agua, además de eso tomar las respectivas muestras para realizar los análisis correspondientes de las mismas. Por otro, logramos la comunicación con el Ingeniero Alcibiades Bohórquez el cual en el momento es el encargado de llevar a cabo y controlar el proceso de tratamiento de agua de la sede, el docente se comprometió a acompañarnos el día de la visita a realizar todo el recorrido teniendo en cuenta que por ser el encargado conoce con más detalle el recorrido del canal de abastecimiento; además nos suministró información acerca del estado actual para poder realizar un análisis del mismo y tener en cuenta en los procesos que se llevan a cabo en el momento para el tratamiento de agua.

## **6.2 Toma Y Análisis de la Muestra**

Teniendo la aprobación para el día 15 de marzo del año 2021 del ingreso a la sede Usme de la UAN, tomamos cotización de 2 laboratorios especializados en realizar procesos de análisis de agua, el primero denominado Enzipan y el segundo Analquim. Sin embargo, analizando las dos cotizaciones se tomó la decisión de llevar las muestras al laboratorio Enzipan debido a que estaba más completo el análisis microbiológico que ofertaba este laboratorio, por tal motivo nos comunicamos con el mismo se hizo efectiva la cancelación de la mitad de la cotización para que nos realizaran la entrega de los materiales para la toma de la muestra cómo se observa en el Anexo D y nos comprometimos a realizar el resto del pago el día de la entrega de las muestras correspondientes, se cotizo el análisis para los siguientes parámetros, olor y sabor, color aparente, sustancias flotantes, pH, cloro residual libre, conductividad, hierro total, alcalinidad, cloruros, dureza total, turbiedad, coliformes totales y fecales.

### 6.3 Medición del Caudal

Teniendo en cuenta que las unidades de caudal, son unidades de volumen sobre unidades de tiempo se llevó un balde de volumen fijo de 12 Litros y mediante la utilización de dispositivos electrónicos se cronometró el tiempo de llenado del mismo; por medio de esta metodología se obtuvieron 6 datos diferentes los cuales se muestran en la Tabla 4 correspondiente a los resultados.

Además, con el fin de tener el caudal de diseño de la planta teniendo en cuenta la población perteneciente a la sede tanto de alumnos como del cuerpo docente y trabajadores, se harán los respectivos cálculos de caudal, teniendo como base las especificaciones del RAS 2000 correspondiente a la parte uso escolar como se observa en la Figura 2 y por medio de este se sacarán los cálculos del caudal de los estudiantes. Por otro lado, teniendo en cuenta las especificaciones para la dotación de agua según el nivel de complejidad como se muestra en la Figura 3 se harán los cálculos correspondientes al caudal de consumo por parte del cuerpo docente y los trabajadores de la sede. Por último, la suma de estos caudales será el caudal de diseño de la planta.

**Tabla B.2.8 Consumo para uso escolar**

| Tipo de instalación        | Consumo de agua     |
|----------------------------|---------------------|
| Educación elemental        | 20 L/alumno/jornada |
| Educación media y superior | 25 L/alumno/jornada |

*Figura 2. Dotación para consumo según el uso escolar. Fuente (Ministerio de ambiente, 2014)*

**Tabla B.2.3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema**

| Nivel de complejidad del sistema | Dotación neta (L/hab•día )<br>climas templado y frío | Dotación neta (L/hab•día )<br>clima cálido |
|----------------------------------|--|--|
| Bajo                             | 90   | 100  |
| Medio                            | 115  | 125  |
| Medio alto                       | 125  | 135  |
| Alto                             | 140  | 150  |

*Figura 3 . Dotación para consumo según el nivel de complejidad. Fuente (Ministerio de ambiente, 2014)*

#### **6.4 Georreferenciación del Canal de Conducción del agua**

Antes de realizar la visita de campo se realizó mediante la utilización del programa Google Earth un aproximado del canal de abastecimiento, teniendo en cuenta lo que nos había comentado el docente Alcibíades. Sin embargo, con el fin de tener exactitud del recorrido del canal de abastecimiento se descargó en el smartphone la aplicación de Android “Mis coordenadas GPS” para el día de la visita poder tomar coordenadas de cada punto y así poder establecer de mejor manera el recorrido.

#### **6.5 Determinación de la Dosis de Cloro**

Para fines de determinar la dosificación de cloro para cada tanque se realizó el análisis basado en la guía metodológica manual para la cloración de agua en sistemas de agua potable en el ámbito rural (Fustamante, 2017). Además, se tuvieron en cuenta para los respectivos cálculos parámetros establecidos en dicho manual, estos cálculos serán anexados en los resultados del trabajo.

## **7.Resultados y Análisis de los Resultados**

Se realizó una visita de campo a la sede Usme de la UAN mediante la cual, se hizo el reconocimiento del canal de abastecimiento de agua desde la parte de la bocatoma hasta la zona de distribución, por otra parte, también se realizó un análisis del respectivo tratamiento actual que la sede tiene para la potabilización del agua. Además de esto, se identificó en la parte alta y baja del canal de abastecimiento que el terreno por medio del cual se moviliza el efluente tiene la particularidad de ser un terreno ondulado con presencia de pendientes y en la parte media y baja del canal presenta procesos de regeneración y conservación natural como se puede observar en la fotografía tomada en campo del Anexo A.

Debido a las inundaciones del terreno como se observa en la fotografía del Anexo B, a causa de las condiciones climatológicas de los días anteriores a la toma de muestra, no se logró ir hasta el punto concreto donde se encuentra la bocatoma del canal de abastecimiento de la sede, sin embargo, se logra ver en el Anexo I, la desviación de una parte del cauce del río Tunjuelo por medio del cual se alimenta el canal de abastecimiento.

Además, durante esta visita se validó la ubicación del desarenador en el canal de abastecimiento como se evidencia en el Anexo C; además también se procedió a tomar las medidas correspondientes al de largo y ancho del mismo (13x9) y además se georreferencio el punto para tenerlo en cuenta en el recorrido realizado con el GPS.

Cuando se llegó al punto que nos impidió el acceso a la bocatoma como se evidencia en el Anexo B, se procedió a georreferenciar punto a punto con la aplicación de Android

“Mis coordenadas GPS” ejecutada en un smartphone “Motorola One Visión”, para poder hacer un trazado del canal de conducción del agua, tomando las coordenadas de los puntos; por razones de la señal de nuestros Smartphone se nota cierta desviación en los datos obtenidos, aun así, se logra ver su recorrido en la Figura 4.



Figura 1. Recorrido de los puntos tomados. Fuente Propia

En la visita realizada se logró identificar que días anteriores se habían presentado grandes precipitaciones con la simple vista al río Tunjuelo como se puede evidenciar en el Anexo I en donde se corrobora que transportaba un caudal bastante alto, además el canal de abastecimiento estaba lleno y en muchas partes del recorrido desbordado como se puede observar en el Anexo J, por esta razón como se mencionó anteriormente el recorrido no se pudo complementar hasta la bocatoma por la inundación de la zona sino que solo se llegó hasta el punto donde se logró evidenciar la desviación del cauce como se muestra en el Anexo I.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se realizó la respectiva investigación con las estaciones de monitoreo de pluviometría y se identificó una estación

que se encuentra ubicada en la zona de estudio y se denomina “UAN USME” (IDIGER, 2017), por medio de la cual se tomaron los datos de precipitación de 14 días anteriores a la toma de muestra, los cuales se encuentran diligenciados en la Tabla 2, por otro lado, se tuvo en cuenta un mapa como modelo de ilustración para las precipitaciones del día de la toma de la muestra cómo se observa en la Figura 5.

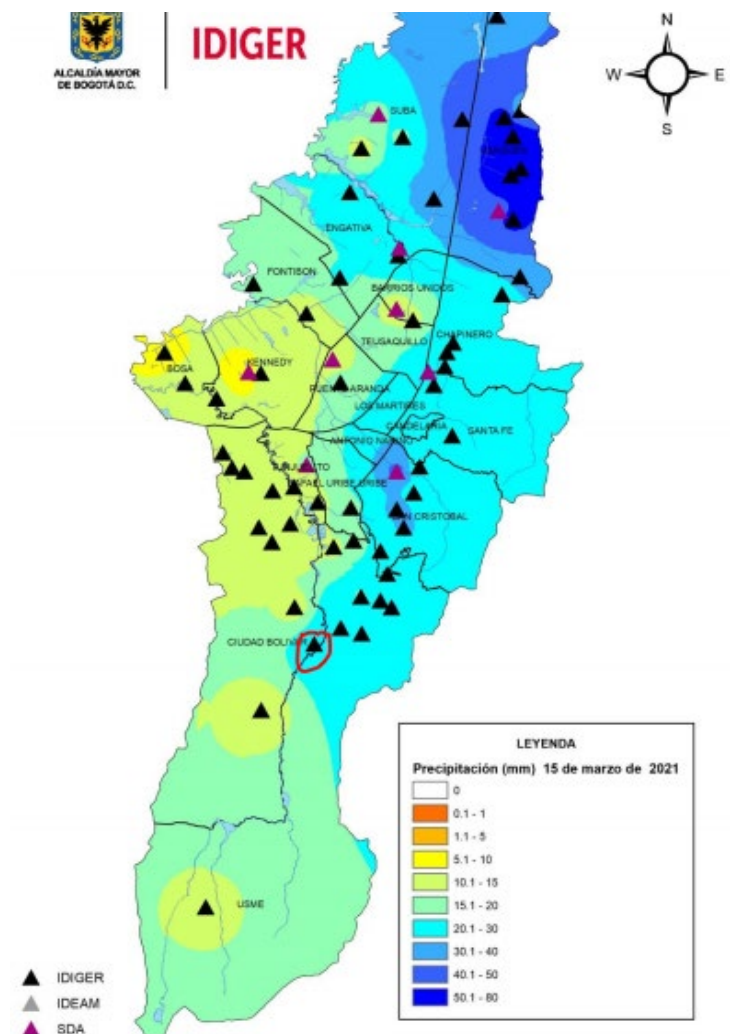


Figura 5. Mapa de precipitaciones. Fuente (IDIGER, 2017)

La estación que se encuentra encerrada en el mapa mediante un círculo rojo,



representa la UAN USME, por medio de la leyenda del mapa de la Figura 5, se evidencia que la estación está en color púrpura, lo cual indica que las precipitaciones oscilan en un rango entre (20-30) mm, (IDIGER, 2017) correspondientes para el día 15 de marzo del 2021, día en el cual se realizó la toma de la muestra. Además, en la Tabla 2 se presentan los datos de las mediciones de precipitación de la estación para 15 días, de los cuales 14 de estos días corresponden a días antes de la muestra y el ultimo día fue corresponde a el de la toma de muestra.

*Tabla 2. Valor de las precipitaciones. Fuente (IDIGER, 2017)*

| Estación UAN Usme       |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| <b>Fecha de Lectura</b> | <b>Acumulado (mm)</b> |
| 01/03/2021              | 5,4                   |
| 02/03/2021              | 0,1                   |
| 03/03/2021              | 0,6                   |
| 04/03/2021              | 3,1                   |
| 05/03/2021              | 1,4                   |
| 06/03/2021              | 0,9                   |
| 07/03/2021              | 4,3                   |
| 08/03/2021              | 4,8                   |
| 09/03/2021              | 1,7                   |
| 10/03/2021              | 0                     |
| 11/03/2021              | 2,9                   |
| 12/03/2021              | 5,7                   |
| 13/03/2021              | 0,9                   |
| 14/03/2021              | 3,1                   |
| 15/03/2021              | 22                    |

Efectivamente mediante la estación de monitoreo se logra corroborar que para el día 15/03/21 en el cual se realizó la respectiva toma de la muestra, se produjo una precipitación más alta en la zona, ya que teniendo en cuenta los datos de la estación pluviométrica del IDIGER denominada “UAN USME“ la medición para este día de las precipitaciones fue de 22mm, dando como resultado el estado inundado del canal de abastecimiento, una turbiedad del agua notable como se observa en la Figura 6 y el caudal fuerte que transportaba el río Tunjuelo para ese día como se observa en el Anexo I. Además, se tuvieron en cuenta los datos de las precipitaciones de los días anteriores con el fin de poder corroborar las inundaciones causadas en la zona a causa de las lluvias, sin embargo, aunque para los días anteriores las precipitaciones no fueron tan altas no se puede pasar por alto ya que también son responsables de las precipitaciones acumuladas de la zona, por otro lado, estos valores permiten diseñar el tratamiento de agua potable con los niveles de tratamiento más extremos, ya que el agua está alterada en aspectos físico y químico naturalmente.



*Figura 6. Turbiedad de la muestra. Fuente Propia*

La turbiedad del agua durante la toma de la muestra representa una alteración física

del agua como se puede observar en la Figura 6, ya que no es incolora como debería ser, esto está asociado a las fuertes precipitaciones que se muestran en la Tabla 2 que se presentaron en la zona días anteriores.

### **7.1 Análisis y toma de la muestra**

Para fines de reconocer cual es el tratamiento óptimo para la potabilización del agua de la sede Usme de la UAN, se hizo necesario tener en cuenta un análisis de laboratorio, por tal motivo se tomaron 3 muestras en la tubería que se encuentra antes de ingresar el agua al cuarto de bombeo como se observa en los Anexos E y F. Se tomaron dichas muestras mediante la utilización de los materiales que se encuentran en la fotografía del Anexo D. Para la primera muestra se tomó una botella de 500 mL por medio del cual se realizó el análisis microbiológico como se observa en el Anexo H. Las otras dos muestras se tomaron en dos bolsas Whirl Pack que contenía cada una pastilla de tiosulfato de sodio como se evidencia en el Anexo G, estas fueron utilizadas para hacer el respectivo análisis físico-químico del agua. Por último estas muestras se colocaron en una nevera de icopor que contenía 2 bolsas de gel congelado para el enfriamiento de la muestra y posteriormente estas muestras fueron transportadas a las instalaciones del laboratorio Enzipan ubicado en la carrera 53 # 68-52 de la ciudad de Bogotá en donde se realizaron los respectivos análisis. Los resultados obtenidos de estos análisis se presentan en la Tabla 3 y se comparan con los límites permisibles por la normatividad.

Tabla 3. Resultados caracterización de Agua. Fuente propia

| <b>Parámetro</b>     | <b>Valor obtenido en el análisis realizado por el laboratorio Enzipan</b> | <b>Valor permisible por la resolución 2115 del 2007</b> |
|----------------------|---|---|
| Olor y Sabor         | ACEPTABLE   | ACEPTABLE   |
| Color Aparente       | 70 UPC  | 15 (UPC)  |
| Sustancias Flotantes | PRESENTE  | AUSENTE   |
| pH                   | 6,79  | (6,5 - 9)   |
| Cloro Residual Libre | 0,02 (mgCl <sub>2</sub> /L)   | 0,03 - 2 (mgCl <sub>2</sub> /L)                         |
| Conductividad        | 73 (µs/cm)  | -   |
| Hierro Total         | 0,4 (mg Fe/L)   | 0,3 (mg Fe/L)   |
| Alcalinidad          | 2,5 (mg CaCo <sub>3</sub> /L)   | 200 (mg CaCo <sub>3</sub> /L)                           |
| Cloruros             | 12,41 (mg Cl <sup>-</sup> )   | 250 (mg Cl <sup>-</sup> )                               |
| Dureza Total         | 25 (mg CaCo <sub>3</sub> /L)  | 300 (mg CaCo <sub>3</sub> /L)                           |
| Turbiedad            | 1,09 (NTU)  | 2 (NTU)   |
| Coliformes Totales   | 9000 (NMP/100ml)  |   |
| Coliformes Fecales   | 5000 (NMP/100ml)  |   |

Se logra evidenciar que el análisis de la muestra de agua cruda presenta indicadores que la hacen no apta para el consumo humano, debido a que no cumple con los límites permisibles de algunos parámetros establecidos por la normatividad, siendo los de mayor preocupación la presencia de microorganismos en el agua, esto puede estar asociado a vertimientos domésticos, heces fecales, entre otros aguas arriba a donde se realizó la toma de

la muestra, por tal motivo es indispensable tener un tratamiento ya que dichos microorganismos pueden ser los precursores de las enfermedades vehiculizadas por el agua, sin embargo, existen otros parámetros que se resaltan por no dar cumplimiento a la norma como color aparente esto puede estar asociado como se mencionó anteriormente a que la muestra de agua se tomó en condiciones extremas ya que debido a las precipitaciones había presencia de turbiedad y el hierro total, este último tiene la capacidad de causar mal olor, sabor a agua y color al agua, por esta razón debe ser tratado antes de ofertarla para consumo.

## 7.2 Tren de tratamiento propuesto

Por lo mencionado anteriormente con el fin de cumplir con todos los parámetros y garantizar una óptima calidad de agua al consumidor se hace necesario desarrollar un tren de tratamiento para potabilizar el agua, como se ilustra en la Figura 7.

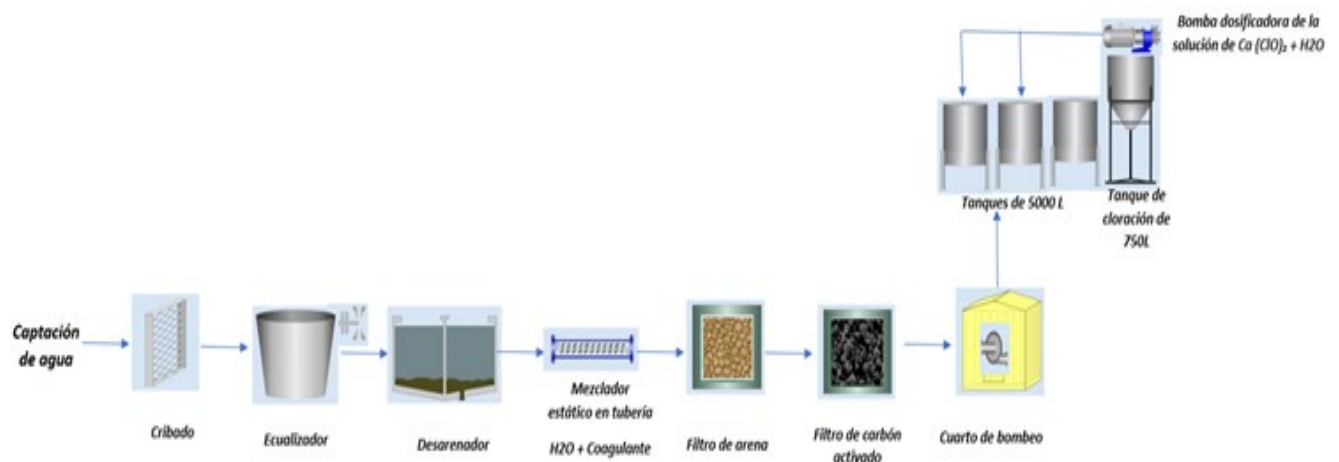


Figura 7. Tren de tratamiento. Fuente propia

Teniendo en cuenta que la captación de agua es de una fuente superficial “Río Tunjuelo” y estas por lo general contienen en ellas elementos disueltos y material suspendido

que pueden ser de origen inorgánico u orgánico y producido de forma natural como arrastre de materia orgánica o de origen antropogénico como vertimientos domésticos e industriales se hace necesario poner un cribado (Voutchkov, 2017) con el fin de retener material sólido suspendido de mayor tamaño que son vertidos en la parte alta de la cuenca del Río (Lorenzo-Acosta, 2006).

Posterior a esto el agua cruda es pasada por un tanque ecualizador, siendo este el responsable de retener caudales elevados y así controlar el caudal del influente para que los siguientes tratamientos se realicen con un caudal constante (Queinnec et al., 2004), posteriormente un desarenador con el objetivo de retener arenas gruesas y finas que puede arrastrar el efluente; este proceso es necesario ya que por ser material de tipo más fino puede generar taponamiento en las bombas del cuarto de bombeo, y así se podría generar un incremento en los costos de producción de la planta ya que se tendrían que hacer constantemente mantenimiento o cambio de las respectivas bombas. (Romero Rojas, 2002).

Mediante tuberías por gravedad el agua es llevada desde la zona del desarenador hasta la tubería de mezclado estático ya que en este se hace la mezcla rápida del agua con el coagulante formando de esta manera una homogeneidad entre los dos (Lorenzo-Acosta, 2006) a un costo más bajo que si se utilizaran tanques de mezcla rápida; el fin de hacer el proceso de coagulación con alumbre es desestabilizar las partículas para posteriormente hacer la filtración directa, (Restrepo Osorno, 2009) por otro lado teniendo en cuenta que la turbiedad del agua es de 1 NTU es decir una turbiedad baja no se hace necesario el proceso sedimentación ni el de floculación, otro aspecto a tener en cuenta es la alcalinidad que no

supera los 2,5 (mg CaCo<sub>3</sub>/L), esto beneficia la coagulación por barrido, (RODRIGUEZ SALCEDO, 2008). Posteriormente se realiza un proceso de filtración con arena por medio de la cual se pretende reducir la presencia de microorganismos como bacterias, virus y demás microbios del agua, teniendo en cuenta que el análisis microbiológico de la muestra presentó datos de 9000 (NMP/100ml) en coliformes totales y 5000 (NMP/100ml) de coliformes fecales; por tal motivo, esto beneficiaría el rendimiento del filtro (Collins et al., 1992), facilitando un acondicionamiento rápido de los microorganismos en el mismo, aumentando su efectividad, además la baja turbiedad de 1 NTU es óptima para que el filtro no presente taponamiento por obstrucción de sólidos, ayudando a que tenga una vida útil más prolongada con mantenimientos a bajo costo. Seguido se decide colocar un filtro de carbón activado encargado principalmente de absorber contaminantes químicos y orgánicos del agua evitando la reacción con el cloro en la fase de desinfección disminuyendo la generación de trihalometanos y por último un proceso de desinfección con hipoclorito de calcio con el fin de garantizar la eliminación total de patógenos presentes en el agua, se escogió este desinfectante por la razón que tiene una alta efectividad, estabilidad, es comercial y de bajo costo (CAWST, 2012), en relación con otras tecnologías como el ozono, microfiltración, osmosis inversa, rayos UV, dióxido de cloro, dicloro isocianurato es de costo bajo costo y de mantenimiento y operación simple. (Solsona, F. and Méndez, 2002).

Para fines del tratamiento se hace necesario plantear la solución conceptual posterior para encontrar las dosis correctas del tratamiento con el coagulante y el desinfectante, como se dijo anteriormente en los análisis de la muestra de agua, la turbiedad que se obtuvo fue de 1 NTU, de esto se podría decir que no está incumpliendo la normatividad vigente, Resolución

2115 del 2007 donde indica que el parámetro no debe ser mayor a 2 NTU (Ambiente & Territorial, 2007), por otro lado se debe tener en cuenta que para días anteriores antes de la toma de la muestra se presentaron precipitaciones en la zona permitiendo que tengamos datos extremos en el análisis de la muestra, asimismo se tomaron los datos 14 días antes de la visita de inspección para corroborar la información climatología en relación a lluvias fuertes como se muestra en la Tabla 2, es de destacar también que la muestra de agua se tomó después del desarenador esto beneficiando los sólidos presentes en la muestra de agua, ayudando que la turbiedad mostrará valores relativamente bajos en el análisis fisicoquímico en comparación a los que encontraríamos aguas arriba antes del desarenador; respecto a lo explicado anteriormente se evidencia que no se tendrá proceso de sedimentación ni floculación ya que aumentaría los costos de operación de la planta respecto a la turbiedad muy baja volviendo estos dos tratamientos innecesarios, además, teniendo en cuenta que sin tener estos dos procesos es imposible realizar un test de jarras para determinar la dosificación correcta sin embargo, se propone que para fines óptimos de este trabajo es necesario hacer pruebas de campo, con la dinámica de aplicar dosis de coagulante aleatoriamente tomando la turbiedad inicial antes de los filtros de arena y carbón activado y después de estos mismo, con el fin de determinar cuál es el umbral de dosificación correcto para la eliminación de la turbiedad.

### **7.3 Estimación de la dosificación de cloro**

Teniendo en cuenta que el desinfectante escogido fue el hipoclorito de calcio y basados en una guía teórica para el sector rural y con turbiedades bajas (Fustamante, 2017), se procede a calcular la dosificación de hipoclorito de calcio basados primeramente en el



peso molecular de  $Ca(ClO)_2$ , realizando el cálculo que se encuentra a continuación teniendo en cuenta que el Ca tiene un peso molecular de 40 gr/mol, el Cl de 35,5 gr/mol y el O de 16 gr/mol se procede a calcular el peso molecular del  $Ca(ClO)_2$ :

$$Ca(ClO)_2 = 40 \frac{mg \text{ de Ca}}{ml \text{ mol } Ca(ClO)_2} + 2(35,5) \frac{mg \text{ de Cl}}{ml \text{ mol } Ca(ClO)_2} + 2(16) \frac{mg \text{ de O}}{ml \text{ mol } Ca(ClO)_2} = 143 \frac{mg \text{ de } Ca(ClO)_2}{ml \text{ mol } Ca(ClO)_2}$$

Por otro lado, para determinar la cantidad de cloro que existe en un mol de  $Ca(ClO)_2$  se hace necesario realizar las siguientes relaciones estequiométricas:

$$\frac{1 \text{ ml mol } Ca(ClO)_2}{143 \text{ mg } Ca(ClO)_2} * \frac{2 \text{ ml moles de Cl}}{1 \text{ ml mol de } Ca(ClO)_2} * \frac{35,5 \text{ mg Cl}}{1 \text{ ml mol de Cl}} = 0,49 \frac{mg \text{ Cl}}{mg \text{ } Ca(ClO)_2}$$

La relación de  $0,49 \frac{mg \text{ Cl}}{mg \text{ } Ca(ClO)_2}$  indica el porcentaje de cloro para una pureza del 100%, sin embargo, el hipoclorito de sodio comercial posee un 80% de pureza, por tal motivo se deben tener en cuenta otros parámetros establecidos en la guía para la realización de cálculos posteriores. El manual indica que la concentración de cloro en la solución clorada que se encuentra en un rango de (200-5000) mgCl/L, para nuestro caso se escoge una concentración de 200 mgCl/L y el volumen del tanque de cloración que por cuestiones prácticas según el manual es de 750L.

Cuantos gramos de  $Ca(ClO)_2$  se necesitan agregar por cada litro de agua

$$[Cl \text{ en la solución clorada}] * \frac{\text{Peso del } Ca(ClO)_2}{\text{Peso del Cl}}$$

Para desarrollar la ecuación anterior se debe tener en cuenta que el manual especifica un rango para la concentración de cloro que va desde los 200 hasta 5000 mgCl/L, además se debe tener el peso de los compuestos y la relación estequiométrica entre estos. Para nuestro caso se tomó como valor de concentración de cloro 200mgCl/L.

$$200 \frac{mgCl}{L} * \frac{143 mg Ca(ClO)_2}{71 mg Cl} = 403 \frac{mgCa(ClO)_2}{L}$$

Para fines prácticos se realiza la conversión del  $403 \frac{mg Ca(ClO)_2}{L}$  en  $\frac{g Ca(ClO)_2}{L}$  dando esto como resultado  $0.403 \frac{g Ca(ClO)_2}{L}$ .

De acuerdo con el manual en la mayoría de casos se utiliza un tanque de cloración con un volumen de 750L, teniendo en cuenta esto se realiza la relación entre este volumen y el cálculo anterior para determinar los kilogramos de  $Ca(ClO)_2$  que se deben añadir al tanque clorador para una pureza del 100%.

$$0.403 \frac{g Ca(ClO)_2}{L} * 750L = 302.25g Ca(ClO)_2$$

Para fines prácticos se realiza la conversión del dato anterior diciendo por 1000 para que el valor quede en unidades de kg; este valor es 0.302 kg  $Ca(ClO)_2$

Debido a que el hipoclorito de calcio en forma comercial viene al 80% de pureza se procede con base en el anterior resultado a calcular la dosis si fuera del 100%.

$$\frac{0.302 \text{ kg } Ca(ClO)_2 * 20}{100} + 0.302 \text{ kg } Ca(ClO)_2 = 0.363 \text{ kg } Ca(ClO)_2$$

De la fórmula anterior se corrobora que por ser de menor pureza hay que dosificar una mayor cantidad, por último, para determinar la dosis de cloro se toma como base la relación propuesta en la Figura 8.

$$D \times Q = d \times q$$

- D: Dosis de cloro a aplicar al agua en mg/L.
- Q: Caudal de agua a desinfectar en L/s.
- d: Concentración de cloro en la solución clorada en mg/L.
- q: Caudal de solución clorada a aplicar en L/s.

Figura 8. Fórmula para cloración, Fuente (Fustamante, 2017)

Debido a que ya se tienen calculados los datos, se despeja la dosis de cloro a aplicar al agua, quedando de la siguiente manera.

$$D = \frac{d * q}{Q}$$

El parámetro para el caudal de solución clorada a aplicar según el manual puede ser (1,2,4,6,8)L/h para este caso se escoge 1L/h, sin embargo para poder aplicar la relación de la Figura 8 se debe hacer la conversión dividiendo por 60 para tener las unidades en L/s; este valor es de 0.017 L/s, además como se tendrán dos tanques para desinfección el caudal de diseño el cual 16m<sup>3</sup>/día se divide en 2, dando como resultado un caudal de 8m<sup>3</sup>/día; no obstante, para utilizar la relación se debe tener las unidades de caudal en L/s por lo tanto se

aplica el siguiente cálculo.

$$8 \frac{m^3}{dia} * \frac{1 dia}{86400s} * \frac{1L}{0.001m^3} = 0.093 \frac{L}{s}$$

Cumpliendo ya con las unidades de la ecuación se procede a remplazar para determinar la dosis de cloro:

$$D = \frac{\frac{200mgCl}{L} * 0.017 \frac{L}{s}}{0.093L s} = 36 \frac{mg}{L}$$

#### 7.4 Caudal

En la visita realizada se tomaron seis mediciones de caudal como se muestra en la Tabla 4, con el objetivo de tener en cuenta el caudal disponible, para posteriormente poder calcular teniendo en cuenta el RAS el caudal de diseño de la planta y así poder establecer la relación para que por medio de un ecualizador se distribuya un caudal constante al tratamiento.

*Tabla 4. Mediciones del caudal. Fuente Propia*

| <b>VOLUMEN (L)</b> | <b>TIEMPO (min)</b> | <b>Q (L/min)</b> |
|--------------------|---------------------|------------------|
| 12                 | 0,227               | 52,86            |
| 12                 | 0,228               | 52,63            |
| 12                 | 0,238               | 50,42            |
| 12                 | 0,244               | 49,18            |

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 12 | 0,213 | 56,33 |
| 12 | 0,218 | 55,04 |

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 4 se utilizó el software MiniTab y se obtuvieron los datos de caudal mínimo el cual fue de 53,59 L/min, mediana de 55,33 L/min y máximo de 56,33 L/min.

#### 7.4.1 Estimación de la población

Teniendo en cuenta que para la actualidad están inscritos al colegio de la sede Usme de la UAN; 70 estudiantes en preescolar, 251 estudiantes en básica primaria y 221 estudiantes en secundaria, además de eso el cuerpo docente, el personal de seguridad y de servicios generales suma un total de 40 personas y para un total de 582 personas. Sin embargo, para fines del diseño de la planta de tratamiento se debe tener en cuenta que no es necesario tener una proyección de la población puesto que como se muestra en la Tabla 5 por ser una institución educativa no aumenta significativamente el crecimiento poblacional, sino que se mantiene casi constante. La opción para tener un mayor crecimiento de la población objetivo está en función del crecimiento en la infraestructura y por ahora esto no se tiene proyectado dentro de la universidad.

Tabla 5. Datos poblacionales de la sede Usme de la UAN. Fuente propia

| <i>Año</i> | <i>Población de estudiantes</i> | <i>Cuerpo docente y trabajadores</i> | <i>Población total por año</i> |
|------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 2018       | 495                             | 40                                   | 535                            |
| 2019       | 519                             | 40                                   | 559                            |

|      |     |    |     |
|------|-----|----|-----|
| 2020 | 515 | 40 | 555 |
| 2021 | 542 | 40 | 582 |

Ya que para este año se tiene la población de acuerdo con el grado cursado se hace posible establecer el porcentaje de estudiantes para los cursos haciendo una respectiva regla de tres como se muestra en los siguientes cálculos:

$$\frac{70 \text{ alumnos} * 100\%}{542 \text{ alumnos}} = 12,91\%$$

- El porcentaje de estudiantes en preescolar es del: **12,9 %**

$$\frac{251 \text{ alumnos} * 100\%}{542 \text{ alumnos}} = 46,3\%$$

- El porcentaje de estudiantes de estudiantes en básica primaria es del **46,3 %**
- Por último, el porcentaje actual de estudiantes en bachillerato es de

$$100\% - 46,3\% - 12,9\% = \mathbf{40,8\%}$$

Teniendo en cuenta que la población no tiene gran variación, para criterio de diseño se dejará una población estándar de 600 personas, de las cuales 40 de ellas serán fijas ya son el personal de trabajo de la institución y las otras 560 se dividirán de acuerdo a los porcentajes obtenidos anteriormente.

$$\frac{560 \text{ alumnos} * 12,9 \%}{100 \%} = 72 \text{ alumnos}$$

- Para preescolar se estima que la cantidad de estudiantes sea de: **72 alumnos**

$$\frac{560 \text{ alumnos} * 46,3\%}{100 \%} = 259 \text{ alumnos}$$

- Para básica primaria se estima que la cantidad de estudiantes sea de: **259 alumnos**
- Por último, para bachillerato se estima que la cantidad de estudiantes sea de:

$$560 - 72 - 259 = \mathbf{229 \text{ alumnos}}$$

#### 7.4.2 Caudal de Diseño

Basados en la cantidad de alumnos establecida por nivel escolar y teniendo presente también los trabajadores de la universidad, además de esto que la jornada escolar es de 8 horas. Se hace la respectiva relación entre la población y el caudal de dotación establecido por el RAS presente en las Figuras 2 y 3, para posteriormente hallar el caudal de diseño mediante los siguientes cálculos:

- Educación elemental:

$$72 \text{ alumnos de preescolar} + 259 \text{ alumnos de primaria} = 331 \text{ alumnos}$$

$$Q1 = 20 \frac{l}{\text{alumno/Jornada}} * 331 \text{ alumnos} = 6620 \frac{L}{\text{jornada}}$$

- Educación Media

$$Q2 = 25 \frac{l}{\text{alumno/Jornada}} * 229 \text{ alumnos} = 5725 \frac{L}{\text{jornada}}$$

- Caudal estimado para personal de trabajo

$$Q3 = 90 \frac{l}{\text{hab/dia}} * 40 \text{ hab} = 3600 \frac{L}{\text{dia}}$$

Teniendo en cuenta los caudales calculados anteriormente el caudal de diseño será:

$$QD= 6620 \frac{L}{dia} + 5725 \frac{L}{dia} + 3600 \frac{L}{dia} = \mathbf{15945} \frac{L}{dia}$$

Teniendo en cuenta lo anterior el caudal para suministro es de  $0,66 \frac{m^3}{h}$

## 8.Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el análisis se logra evidenciar que el efluente en estudio tiene una gran carga de contaminación orgánica, presentando niveles muy altos de patógenos responsables de enfermedades vehiculizadas por el agua, esto aumenta la probabilidad de llegar a afectar la salud pública de la población institucional, principalmente a los menores de 3 a 5 años ya que es un margen de población más vulnerable por su etapa de crecimiento y desarrollo. Por otro lado, teniendo en cuenta los análisis de agua, se pretenden eliminar otros compuestos como sustancias flotantes, color y sabor, pH, Turbiedad, que no están incumpliendo con la norma, pero alteran las características físicas del agua, por tal motivo se tuvieron en cuenta también para el tratamiento para que en un futuro este tipo de variables no se vean afectadas por el crecimiento poblacional de la zona.

Teniendo en cuenta el parámetro de turbidez con una medición de 1 NTU, podemos indicar que la turbiedad está demasiado baja, sabiendo que la muestra de agua viene de un canal superficial y se tomó en un día crítico, ya que la noche anterior se habían presentado grandes precipitaciones en la zona, este resultado se le atribuye al desarenador que esta después del punto de la captación de agua, además al recorrido que tiene el agua desde el



desarenador hasta el cuarto de bombas, ya que este en su mayoría se hace por tubería y esto ayuda a que se sedimente gran parte de estos sólidos flotantes.

El tren de tratamiento de diseño con dos filtros, uno de arena previo a uno de carbón activado para lograr tener una calidad de agua más alta basándonos en fundamentos teóricos, además se hace enfoque en la metodología de desinfección para que sea lo más efectiva posible utilizando métodos numéricos para llegar al dato respectivamente exacto teniendo en cuenta el contexto del trabajo de grado.

## 9.Referencias

- ACUQUIMI. (2020). *No Title*. Tratamiento de Agua Potable.  
[http://www.aququimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion\\_agua/agua\\_potable\\_cloro.html#sodio](http://www.aququimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion_agua/agua_potable_cloro.html#sodio)
- Agrawal, A., Sharma, N., & Sharma, P. (2021). Designing an economical slow sand filter for households to improve water quality parameters. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1582–1586. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.450>
- Ajiboye, T. O., Babalola, S. O., & Onwudiwe, D. C. (2021). Photocatalytic inactivation as a method of elimination of e. Coli from drinking water. *Applied Sciences*

- (Switzerland), 11(3), 1–26. <https://doi.org/10.3390/app11031313>
- Ambiente, M. D. E., & Territorial, V. Y. D. (2007). *Ministerio de la protección social de ambiente , vivienda y desarrollo sostenible: Resolución 2115*. 23.  
<https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#>
- Berdonces, J. L. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable. *Medicina Naturista*, 2(2), 69–75.
- Bone, S. E., Steinrück, H. G., & Toney, M. F. (2020). Advanced Characterization in Clean Water Technologies. In *Joule* (Vol. 4, Issue 8, pp. 1637–1659). Cell Press.  
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.06.020>
- Bourgeois, J. C., Walsh, M. E., & Gagnon, G. A. (2004). Treatment of drinking water residuals: Comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios. *Water Research*, 38(5), 1173–1182.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.018>
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017a). Disinfection of Water. In *Twort's Water Supply* (pp. 475–511). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00011-9>
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017b). Specialized and Advanced Water Treatment Processes. In *Twort's Water Supply* (pp. 407–473). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100025-0.00010-7>
- Cahoon, L. B. (2018). Chapter 15 - Water Purification: Treatment of Microbial Contamination. In *Advances in Water Purification Techniques: Meeting the Needs of Developed and Developing Countries* (pp. 385–395). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00015-6>
- Castañeda, G. R. (2016). Acceso equitativo a servicios de agua potable y alcantarillado una oportunidad para el activismo judicial y social a nivel local. *Revista de Derecho*, unknown(46), 257–291.
- CAWST. (2012). *Manual de construcción del filtro de bioarena*.  
<https://resources.cawst.org/construction-manual/a90b9f50/biosand-filter-construction-manual>

- Chang, Q. (2016). Sedimentation. In *Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control* (pp. 23–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809315-3.00003-7>
- Collins, M. R., Eighmy, T. T., Fenstermacher, J. M., & Spanos, S. K. (1992). Removing Natural Organic Matter by Conventional Slow Sand Filtration. *Journal - American Water Works Association*, *84*(5), 80–90. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1992.tb07357.x>
- Cook, D., Newcombe, G., & Sztajn bok, P. (2001). The application of powdered activated carbon for mib and geosmin removal: predicting pac doses in four raw waters. *Water Research*, *35*(5), 1325–1333. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00363-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00363-8)
- Correia, J. J., & Stafford, W. F. (2015). Sedimentation Velocity: A Classical Perspective. In *Methods in Enzymology* (Vol. 562, pp. 49–80). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2015.06.042>
- Cotruvo, J. A. (2013). Waterborne Zoonoses: Identification, Causes and Control. *Water Intelligence Online*, *12*. <https://doi.org/10.2166/9781780405865>
- Dayarathne, H. N. P., Angove, M. J., Aryal, R., Abuel-Naga, H., & Mainali, B. (2021). Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. *Journal of Water Process Engineering*, *40*(December 2020), 101820. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101820>
- Echeverría-Molina, J., & Anaya-Morales, S. (2018). The human right to drinking water in Colombia: Decisions by the state and private actors | El derecho humano al agua potable en Colombia: Decisiones del estado y de los particulares. *Vniversitas*, *67*(136), 2. [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/VJ/136\(2018-I\)/82555137003/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/VJ/136(2018-I)/82555137003/)
- Faust, S. D., & Aly, O. M. (1987). Biological Activated Carbon Treatment of Drinking Water. In *Adsorption Processes for Water Treatment* (pp. 433–470). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-409-90000-2.50012-1>
- Fitzpatrick, C. S., & Gregory, J. (2003). Coagulation and filtration. In *Handbook of Water and Wastewater Microbiology* (pp. 633–655). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012470100-7/50039-X>
- Fustamante, N. (2017). Manual Para La Cloración Del Agua En Sistemas De

- Abastecimiento De Agua Potable En El Ámbito Rural. *Corporación Alemana Para La Cooperación Internacional (GIZ)*, 91. <http://www.buenagobernanza.org.pe/>
- Gerba, C. P. (2009a). Disinfection. In *Environmental Microbiology* (pp. 539–552). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.00026-2>
- Gerba, C. P. (2009b). Drinking Water Treatment. In *Environmental Microbiology* (pp. 531–538). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.00025-0>
- Ghernaout, D. (2014). The hydrophilic/hydrophobic ratio vs. dissolved organics removal by coagulation - A review. In *Journal of King Saud University - Science* (Vol. 26, Issue 3, pp. 169–180). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.09.005>
- Gilca, A. F., Teodosiu, C., Fiore, S., & Musteret, C. P. (2020). Emerging disinfection byproducts: A review on their occurrence and control in drinking water treatment processes. *Chemosphere*, 259, 127476. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127476>
- Godo-Pla, L., Rodríguez, J. J., Suquet, J., Emiliano, P., Valero, F., Poch, M., & Monclús, H. (2020). Control of primary disinfection in a drinking water treatment plant based on a fuzzy inference system. *Process Safety and Environmental Protection*, 145, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.07.037>
- Gray, N. F. (2010). Water Treatment and Distribution. In *Water Technology* (pp. 301–327). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-705-4.00010-1>
- Gregor, J. E., Nokes, C. J., & Fenton, E. (1997). Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation. *Water Research*, 31(12), 2949–2958. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00154-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00154-1)
- Griggs, J. (2020). Wholesome water, and natural water sources. In *Sustainable Water Engineering* (pp. 31–48). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816120-3.00016-6>
- Gupta, V. K., & Ali, I. (2013). Water Treatment by Reverse Osmosis Method. In *Environmental Water* (pp. 117–134). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-59399-3.00004-0>
- Hariganesh, S., Vadivel, S., Maruthamani, D., & Rangabhashiyam, S. (2020). Disinfection by-products in drinking water: detection and treatment methods. In *Disinfection By-*

*products in Drinking Water* (pp. 279–304). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102977-0.00013-5>

Hu, F., Yang, J., Li, P., Qiu, W., Hou, X., Wei, X., Wang, H., Kauffman, A. E., Xiao, S., Liao, Z., Kimura, S. Y., Zheng, W., Lin, J., & Zhu, S. (2021). Is direct-drinking water safe for children? An analysis of direct-drinking water quality and its risk factors in Shanghai elementary and middle schools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 231(November 2020), 113650.

<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113650>

IDIGER. (2017). *Lluvias Diarias y Acumuladas – 2017. Distribución Espacial*.

INCA. (2019). *Inca, 2019*. [www.inca.gov.br](http://www.inca.gov.br)

Jiang, J. Q. (2015). The role of coagulation in water treatment. In *Current Opinion in Chemical Engineering* (Vol. 8, pp. 36–44). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.coche.2015.01.008>

Jun, Y., & Baozhen, W. (1988). THE EFFICACY AND MECHANISM OF REMOVAL OF ORGANIC SUBSTANCES FROM WATER BY OZONE AND ACTIVATED CARBON. In *Water Pollution Research and Control Brighton* (pp. 1735–1737).

Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4832-8439-2.50175-9>

Korotta-Gamage, S. M., Sathasivan, A., & Bal Krishna, K. C. (2021). Effect of backwashing biologically activated carbon on coagulability of organics in surface water. *Science of The Total Environment*, 785, 147165.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147165>

Lavallén, C., Brignani, B., Riesgo, K., Rojas, A., Colace, G., Biscaychipi, M., Chicote, E., Giuntini, C., Kifer, M., del Río, M. E., Denegri, G., & Dopchiz, M. (2017).

Enteroparasitoses and Toxocarosis Affecting Children from Mar del Plata City, Argentina. *EcoHealth*, 14(2), 219–233. <https://doi.org/10.1007/s10393-017-1238-9>

Li, X., Cai, M., Wang, L., Niu, F., Yang, D., & Zhang, G. (2019). Evaluation survey of microbial disinfection methods in UV-LED water treatment systems. In *Science of the Total Environment* (Vol. 659, pp. 1415–1427). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.344>

Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-

- floculación. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 40(2), 10–17.
- Manasfi, T. (2021). Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. In *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 92, pp. 85–111). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>
- matuzahroh, N., Fitriani, N., Ardiyanti, P. E., Kuncoro, E. P., Budiyanto, W. D., Isnadina, D. R. M., Wahyudianto, F. E., & Radin Mohamed, R. M. S. (2020). Behavior of schmutzdecke with varied filtration rates of slow sand filter to remove total coliforms. *Heliyon*, 6(4), e03736. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03736>
- Maurya, A., Singh, M. K., & Kumar, S. (2020). Biofiltration technique for removal of waterborne pathogens. In *Waterborne Pathogens* (pp. 123–141). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818783-8.00007-4>
- Mena-Rivera, L., Vásquez-Bolaños, O., Gómez-Castro, C., Fonseca-Sánchez, A., Rodríguez-Rodríguez, A., & Sánchez-Gutiérrez, R. (2018). Ecosystemic assessment of surface water quality in the Virilla River: Towards sanitation processes in Costa Rica. *Water (Switzerland)*, 10(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w10070845>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico. (2014). RAS 2000 Título “B” Sistemas de Acueducto. In *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000*.  
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB030714.pdf>
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2011). Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for spanish wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 92(12), 3091–3097. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.023>
- Moran, S. (2018). Engineering science of water treatment unit operations. In *An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design* (pp. 39–51). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811309-7.00004-7>
- Moreno, J. M. (2019). Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovacion y Sostenibilidad. *Congreso Nacional Del Agua Orihuela. Innovacion y Sostenibilidad*.

<https://doi.org/10.14198/congreso-nacional-del-agua-orihuela-2019>

- Mourato, D. (1998). *MICROFILTRACIÓN Y NANOFILTRACIÓN EN EL ÁREA DE AGUA POTABLE*. D. Mourato, Ph.D. ZENON Environmental Inc. Burlington, Ontario, Canadá.
- MSPS & INS. (2016). *Enfermedades Vehiculizadas por Agua e Índice de Riesgo de la Calidad del Agua en Colombia 2015*. Ministerio de Salud y Protección Social. Instituto Nacional de salud.
- Muralikrishna, I. V., & Manickam, V. (2017). Principles and Design of Water Treatment. In *Environmental Management* (pp. 209–248). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811989-1.00011-7>
- Nguyen, K. H., Operario, D. J., Nyathi, M. E., Hill, C. L., Smith, J. A., Guerrant, R. L., Samie, A., Dillingham, R. A., Bessong, P. O., & Rogawski McQuade, E. T. (2021). Seasonality of drinking water sources and the impact of drinking water source on enteric infections among children in Limpopo, South Africa. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 231(July 2020), 113640. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113640>
- OMS. (2007). Lucha contra Las enfermedades transmitidas por el agua en Los hogares. *OMS*, 36. [http://www.who.int/household\\_water/advocacy/combating\\_disease\\_es.pdf](http://www.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf)
- ONU. (2010). El derecho humano al agua y el saneamiento. *Naciones Unidas, Asamblea General*, 1(1), 1–3. <https://doi.org/10.18268/bsgm1908v4n1x1>
- Palomero González, J. A., & Alvarino Serra, P. (2016). La importancia del Higienismo y la Potabilización del agua en la ciudad de Valencia (1860 -1910). *Investigaciones Geográficas*, 65, 45. <https://doi.org/10.14198/ingeo2016.65.03>
- Pan, Y., Li, H., Zhang, X., & Li, A. (2016). Characterization of natural organic matter in drinking water: Sample preparation and analytical approaches. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 12, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2016.11.002>
- Polo-Carrillo, E., Morales-Simancas, G., Cabarcas-Ariza, Y., & Valle Rodríguez, J. (2020). Analysis of the water quality risk index for human consumption in urban areas of the department of Bolívar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,

- 844(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012047>
- Purewater Colombia SAS|. (2021). *Microfiltración, Ultrafiltración, Nanofiltración y Ósmosis Inversa*. 8/04/21. <https://purewater.com.co/microfiltracion-ultrafiltracion/>
- Qin, J. J., Oo, M. H., Kekre, K. A., Knops, F., & Miller, P. (2006). Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water. *Separation and Purification Technology*, 49(3), 295–298. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.09.016>
- Queinnec, I., Harmand, J., & Tarbouriech, S. (2004). Analysis and control of a wastewater equalization system. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 37(3), 493–498. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)32630-7](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)32630-7)
- Ray, S. S., Gusain, R., & Kumar, N. (2020a). Classification of water contaminants. In *Carbon Nanomaterial-Based Adsorbents for Water Purification* (pp. 11–36). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821959-1.00002-7>
- Ray, S. S., Gusain, R., & Kumar, N. (2020b). Water purification using various technologies and their advantages and disadvantages. In *Carbon Nanomaterial-Based Adsorbents for Water Purification* (pp. 37–66). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821959-1.00003-9>
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. *UNAL*, 1, 1–109. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7>  
[http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/1112](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112)  
<https://www.bps.go.id/dynamictable/2018/05/18/1337/persentase-panjang-jalan-tol-yang-beroperasi-menurut-operatornya-2014.html>
- RODRIGUEZ SALCEDO, C. F. (2008). USO Y CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACION EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE. *UNIVERSIDAD DE SUCRE*, 1–97.
- Romero Rojas, J. A. (2002). *Potabilizacion Del Agua.pdf* (p. 306). file:///C:/Users/Andres Ramirez/Downloads/314629477-Romero-Rojas-Jairo-Alberto-Potabilizacion-Del-Agua.pdf
- Sarmiento, A., Rojas, M., Medina, E., Olivet, C., & Casanova, J. (2003). Trihalomethanes



- in the drinking water of Carabobo State, Venezuela. *Gaceta Sanitaria / S.E.S.P.A.S*, 17(2), 137–143. [https://doi.org/10.1016/s0213-9111\(03\)71711-7](https://doi.org/10.1016/s0213-9111(03)71711-7)
- Scholz, M. (2016). Rapid Filtration. In *Wetlands for Water Pollution Control* (pp. 69–75). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00011-3>
- Servais, P., Billen, G., & Bouillot, P. (1994). Biological Colonization of Granular Activated Carbon Filters in Drinking-Water Treatment. *Journal of Environmental Engineering*, 120(4), 888–899. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(1994\)120:4\(888\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(1994)120:4(888))
- Sharma, V. P., & Sharma, P. (2021). Environmental Contaminants: Treatment, Threats, Toxicity, and Tools for Sustainability. In *Wastewater Treatment* (pp. 93–102). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821881-5.00005-2>
- Singh, R. K., Mishra, S. K., Velramar, B., & Kumar, P. R. (2020). Development of biologically-based activated carbon for advanced water and wastewater treatment process. In *Bioremediation of Pollutants* (pp. 215–225). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819025-8.00009-0>
- Solsona, F. and Méndez, J. P. (2002). *Desinfeccion de agua*. 60–98.
- Srivastav, A. L., Patel, N., & Chaudhary, V. K. (2020). Disinfection by-products in drinking water: Occurrence, toxicity and abatement. In *Environmental Pollution* (Vol. 267, p. 115474). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115474>
- Sutherland, K. (2008). Drinking water: Pretreatment processes for fresh water. *Filtration & Separation*, 45(2), 22–25. [https://doi.org/10.1016/s0015-1882\(08\)70421-x](https://doi.org/10.1016/s0015-1882(08)70421-x)
- Tebbutt, T. H. Y. (1998). Coagulation. In *Principles of Water Quality control* (pp. 151–161). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-075063658-2/50013-6>
- Torres, P., & Cruz, C. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín ÍNDICES*, 1–16. <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>
- UAN. (2021). *Universidad Antonio Nariño*. <https://www.uan.edu.co/>
- Villanueva, C. M., Kogevinas, M., & Grimalt, J. O. (2001). Cloración del agua potable y efectos sobre la salud: Revisión de estudios epidemiológicos. *Medicina Clinica*,

117(1), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0025-7753\(01\)72000-3](https://doi.org/10.1016/S0025-7753(01)72000-3)

Voutchkov, N. (2017). Pretreatment by Screening. In *Pretreatment for Reverse Osmosis Desalination* (pp. 95–111). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809953-7.00005-x>

Wei, H., Gao, B., Ren, J., Li, A., & Yang, H. (2018). Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. In *Water Research* (Vol. 143, pp. 608–631). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.029>

Xu, D., Lee, L. Y., Lim, F. Y., Lyu, Z., Zhu, H., Ong, S. L., & Hu, J. (2020). Water treatment residual: A critical review of its applications on pollutant removal from stormwater runoff and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 259(September 2019), 109649. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109649>

Zhang, D. Y., Li, W. G., Zhang, S. M., Liu, M., Zhao, X. Y., & Zhang, X. C. (2011). Bacterial community and function of biological activated carbon filter in drinking water treatment. *Biomedical and Environmental Sciences*, 24(2), 122–131. <https://doi.org/10.3967/0895-3988.2011.02.006>

Zhang, H., Tian, Y., Kang, M., Chen, C., Song, Y., & Li, H. (2019). Effects of chlorination/chlorine dioxide disinfection on biofilm bacterial community and corrosion process in a reclaimed water distribution system. *Chemosphere*, 215, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.181>

Zhao, Z., Sun, W., Ray, M. B., Ray, A. K., Huang, T., & Chen, J. (2019). Optimization and modeling of coagulation-flocculation to remove algae and organic matter from surface water by response surface methodology. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 13(5). <https://doi.org/10.1007/s11783-019-1159-7>

## **10. Recomendaciones**

Es recomendable para las personas que quieran seguir trabajando en esta misma línea que se realice una prueba de test de jarras con el fin de determinar de mejor manera tanto la dosificación de cloro ya que para este trabajo se hizo mediante un modelo matemático que puede presentar un margen de error. Por otro lado, el test de jarras permite plantear una alternativa cuando los niveles de turbiedad sean mayores a los analizados en dicho trabajo.

Otra recomendación para hacer el diseño del filtro de carbón activado es realizar mediante un diseño experimental un ensayo de las isothermas de absorción, con el fin de calcular la constante máxima de absorción y con esta constante poder realizar el diseño del filtro.

## 11.Anexos



*Anexo A. Conservación natural de la sede. Fuente Propia*



*Anexo B. Condiciones del día de la toma de la muestra. Fuente Propia*



*Anexo C. Desarenador de la sede. Fuente Propia*



*Anexo D. Materiales para la toma de la muestra. Fuente Propia*



*Anexo E. Punto de la toma de muestra. Fuente Propia*



Anexo F. Cuarto de bombas de la sede. Fuente Propia



Anexo G. Toma de muestra para análisis Físico-químico. Fuente Propia



Anexo H. Toma de muestra para análisis microbiológico. Fuente Propia



Anexo I. Punto de captación de agua. Fuente Propia



Anexo J. Canal de Abastecimiento de la sede. Fuente Propia

