



**DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA UNA COMUNIDAD DE LA VEREDA SAN ISIDRO,  
MUNICIPIO DE SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA, DEPARTAMENTO DE  
CUNDINAMARCA.**

**Javier Alejandro López Mendivelso**

Código 11231415115

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022



**Diagnóstico y diseño de una planta de tratamiento de agua potable para una comunidad de la vereda San Isidro, municipio de San Antonio del Tequendama, departamento de Cundinamarca.**

**Javier Alejandro López Mendivelso**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Ambiental**

Director (a):

Esp. Ing Marcos Ramos

Línea de Investigación:

Plantas de tratamiento

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado  
Diagnóstico y diseño de una planta de tratamiento de  
agua potable para una comunidad de la vereda San  
Isidro, municipio de San Antonio del Tequendama,  
departamento de Cundinamarca.  
Cumple con los requisitos para optar  
Al título de Ingeniero Ambiental.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

## Contenido

Pág.

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>5</b>
2.1 General .....	5
2.2 Específicos .....	5
<b>3. Justificación.....</b>	<b>6</b>
<b>4. Marco teórico .....</b>	<b>7</b>
4.1 Parámetros físico-químicos.....	7
4.2 Plantas de tratamiento. ....	9
4.2.1 Operaciones unitarias. ....	10
4.2.2 Tipos de plantas de tratamiento.....	12
<b>5. Diseño metodológico .....</b>	<b>15</b>
<b>6. Resultados y análisis de resultados .....</b>	<b>17</b>
6.1 Caracterización municipio.....	17
6.1.1 Descripción de la vereda San Isidro. ....	19
6.2 Caudal de diseño .....	23
6.3 Caracterización del agua .....	24
6.4 Diseño operaciones unitarias.....	27
6.4.1 Mezcla rápida. ....	27
6.4.2 Sedimentación. ....	38
6.4.3 Filtración.....	45
6.4.4 Desinfección. ....	49
<b>7. Discusión de resultados .....</b>	<b>51</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>54</b>

9. Recomendaciones .....	55
Anexos .....	57
Referencias Bibliográficas.....	65

### Lista de Imágenes

	<b>Pág.</b>
Imagen 1 Tipos de plantas. ....	13
Imagen 2 Ubicación municipio.....	17
Imagen 3 Distribución veredas. ....	18
Imagen 4 Ubicación comunidad. ....	19
Imagen 5 Bocatoma .....	20
Imagen 6 Tanque almacenamiento. ....	21
Imagen 7 Tanque de distribución.....	22
Imagen 8 Aforo caudal.....	23
Imagen 9 Toma de muestras. ....	25
Imagen 10 Análisis de laboratorio. ....	27
Imagen 11 Planos vertedero.....	29
Imagen 12 Diseño resalto hidráulico. ....	29
Imagen 13 Vista lateral vertedero .....	36
Imagen 14 Vista en planta vertedero. ....	37
Imagen 15 Vista 3D vertedero. ....	38
Imagen 16 Vista lateral sedimentador.....	43
Imagen 17 Vista 3D sedimentador.....	43
Imagen 18 Vista en planta sedimentador. ....	44
Imagen 19 Diseño filtro. ....	48

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1 Metodología.....	16

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Valores caudal.....	24
Tabla 2 Resultados análisis de agua.....	26
Tabla 3 Variación Cd.....	28
Tabla 4 Determinación de K en función de la temperatura y el pH. ....	49
Tabla 5 Valores permisibles parámetros del agua. ....	52



*(Dedicatoria)*

*Dedico este gran logro alcanzado a cada una de las personas que estuvo presente en el proceso que con cada palabra de apoyo, consejo y regaño, me encaminaron a la culminación de este gran paso en mi vida.*

*Especialmente se lo dedico a mi padre José Ignacio Lopez, quien siempre me apoyo en este largo y difícil camino, que al final logro los frutos que siempre soñamos y que es un motivo de orgullo para los dos.*

*A mi abuelita Elia Torres, por siempre creer en mis capacidades, a mi madre Luz Mendivelso, por el apoyo incondicional, a mi hermano Andres Felipe y a mi abuelito en el cielo Misael Mendivelso, por enseñarme a ser alguien la vida.*

*Javier Alejandro Lopez Mendivelso*



## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres, abuelos, familiares y amigos, que a lo largo de este proceso de formación estuvieron presentes con su apoyo incondicional, brindándome sus palabras de aliento, consejos y regaños, todo en busca de alcanzar este gran sueño que me trace para mi vida profesional.

A mi tutor Marcos Ramos, por su paciencia, apoyo y aporte de conocimiento para la correcta culminación del proyecto. A la universidad Antonio Nariño por brindarme el conocimiento de la mano de los mejores docentes e instalaciones y a la comunidad de la vereda San Isidro, por su disposición y apoyo en el desarrollo de las prácticas de campo.



## Introducción

El uso de las plantas de tratamiento de agua potable se ha vuelto necesario en el país ya que se debe garantizar que el recurso en buenas condiciones para el consumo humano de acuerdo con los parámetros establecidos en la normativa vigente, todo esto debido al aumento en la demanda de este recurso por el crecimiento poblacional que se presenta en las ciudades.

La vereda San Isidro se encuentra ubicada en el municipio de San Antonio del Tequendama, en el departamento de Cundinamarca. La comunidad actualmente se abastece de agua de un nacedero en la parte alta de la vereda, por medio de un sistema de captación, que consta de una boca toma, un tanque de almacenamiento y un tanque de distribución, esta se distribuye por medio de mangueras a 5 familias que tienen la concesión con la CAR para el uso de aguas superficiales.

La comunidad utiliza esta agua para el consumo humano y el riego de cultivos, los usuarios han identificado que el agua presenta color y turbiedad en diferentes momentos del día, aunque no es constante que se presenten estos inconvenientes, nos da una noción de los problemas que podría presentar en cuanto a calidad de agua. El tener un agua contaminada produce daños a la salud humana por infecciones y enfermedades que se pueden contraer por patógenos presentes.

La importancia de contar un buen sistema de tratamiento para estas aguas que son de consumo humano se vuelve imprescindible en esta comunidad, ya que traería un beneficio en la calidad de vida, además de volverse una guía para los habitantes del municipio para implementar estas PTAP en los diferentes sitios de captación.

## 1. Antecedentes

En la actualidad existen proyectos de plantas de tratamiento de agua potable, ya que, al ser el agua un recurso de suma importancia para el ser humano, es indispensable que su calidad sea la mejor. En Colombia, existen numerosos estudios con base al aprovechamiento de este recurso, entre ellos podemos encontrar los siguientes:

*Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamana, municipio de Melgar Tolima.* La investigación se realiza en la vereda de Cualamana, municipio de Melgar, en donde se realiza un análisis de calidad del agua al acueducto veredal el cual cuenta con una bocatoma y un tanque de distribución, este se limpia de forma manual cuando hay presencia de sedimentos. Esta caracterización se realiza para determinar los parámetros físico-químicos que afectan este recurso y así mismo poder realizar los diseños de la planta de tratamiento de agua potable. Los resultados que espera entregar el autor son los planos de ingeniería y de obra civil, además de dos propuestas de empresas que se encargan de fabricar plantas de tratamiento de agua potable compactas, además da su recomendación de cuál sería la opción más viable teniendo en cuenta la parte técnica y económica que más le convendría a la comunidad. (Cruz, 2019)

*Diagnóstico para el diseño de planta de tratamiento de agua potable para la Vereda Yunguilla-Municipio de la Florida Departamento de Nariño.* La autora se enfoca en la carencia de un sistema de acueducto en la vereda de Yunguilla y se pretende realizar un diagnóstico de acuerdo con las necesidades de la población, se elabora un análisis de la calidad del agua, determinando el caudal necesario para los habitantes de esta vereda. Según los análisis realizados la comunidad ve necesario la implementación de un sistema de

captación y de tratamiento para el agua que consumen, además de buscar estudios que se encaminen en la implementación de una planta de agua potable para esta comunidad. (Portilla Moica, 2021)

En el año 2018 estudiantes de la Universidad Católica de Colombia realizan un proyecto enfocado en la *Optimización del modelo de la PTAP del laboratorio de la universidad católica de Colombia*, donde utilizan un diseño implementado por ex estudiantes de la universidad. Lo primero que realizan es un diagnóstico de las condiciones de esta planta, luego recolectan información del funcionamiento de cada una de las operaciones unitarias existentes, para luego realizar la rehabilitación de la PTAP. Como principales resultados se obtuvieron la rehabilitación y optimización de la PTAP y el desarrollo de una guía práctica de laboratorio para analizar e identificar cada uno de los parámetros en cada una de las fases del modelo, además de un manual para el adecuado uso de la PTAP y así garantizar un tiempo de uso más prolongado. (Corregidor Cuevas & Torres Martínez, 2018)

Finalmente, en la ciudad de Bogotá estudiantes de ingeniería ambiental de la Universidad Libre plantean un *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para el municipio de Tipacoque, Boyacá*, en la cual este municipio cuenta con una planta de tratamiento la cual no se encuentra en uso, debido a que ya cumplió su vida útil, esto género que el municipio realice la captación del recurso hídrico de la Quebrada La Verde, sin realizar su tratamiento. De acuerdo con esto se desea determinar el caudal de la planta según el número de habitantes, para posteriormente realizar el diseño de la PTAP según los parámetros fundamentales que se encuentren en la caracterización del agua, además se realiza un informe de impacto ambiental con el fin de proponer métodos de mitigación para

la construcción y operación de la planta. Como resultados se obtiene el caudal para satisfacer las necesidades de la población el cual sería de 12,8 L/s, se realizan los diseños de la PTAP la cual sería muy sencilla, debido a que la captación se realiza cerca del nacedero donde no hay intervención del hombre. Se concluye que la anterior planta de tratamiento es obsoleta, ya que al evaluar el IRCA da un valor de 78.7% lo cual es un nivel de riesgo alto por lo cual es viable la implementación de la planta, los autores determinan impactos negativos en la etapa de construcción donde su intensidad es moderada, con duración temporal y mitigables.(Duarte Chaparro & Guerrero Tarquino, 2017)



## 2. Objetivos

### 2.1 General

Generar la caracterización y el diseño de una planta de agua potable para una comunidad de la vereda de San Isidro – San Antonio del Tequendama.

### 2.2 Específicos

Realizar el diagnóstico de la comunidad de la vereda San Isidro, evaluando si el caudal ofertado es el necesario.

Desarrollar la caracterización del agua para proponer el mejor diseño de la planta de tratamiento de agua potable.

Diseñar las operaciones unitarias necesarias para la planta de tratamiento de agua potable.

### 3. Justificación

La vereda San Isidro cuenta con un sistema de captación de aguas, donde se distribuye por medio de mangueras, en el tanque de distribución se presentan sedimentos los cuales son removidos por medio de limpiezas manuales aproximadamente cada 6 meses. Estas acciones no son suficientes ya que se ha evidenciado en los diferentes hogares como el agua presenta turbiedad y color.

Aunque se cuenta con una concesión con la CAR para la captación de aguas superficiales, en donde se especifican caudales y planos para los sistemas de captación como de los tanques de almacenamiento, estos en sus seguimientos no realizan una caracterización del agua que garantice que esta es totalmente potable. Los habitantes confían que el agua que consumen se encuentra en buenas condiciones sin considerar los riesgos que representan para su salud.

El diseño de esta PTAP beneficia a la comunidad en cuanto a sus condiciones de vida, ya que se evitarían problemas que pueda causar un agua en malas condiciones, como los son enfermedades e infecciones en las poblaciones de adultos mayores y niños menores de 7 años. Además de esto sería una guía para las comunidades vecinas que también aprovechan este recurso en diferentes nacimientos de agua del municipio.

#### 4. Marco teórico

El agua que no ha tenido un proceso de tratamiento, debe ser sometida a un análisis de características físicas, químicas y microbiológicas, las cuales al compararse con los decretos y normas establecidos nos definen la calidad del agua. Esto permite establecer los equipos y materiales por los cuales se debe someter en la planta de tratamiento de agua potable y que permitan cumplir con las normas de calidad del agua para consumo humano. (Ministerio de la protección social, 2007)

##### 4.1 Parámetros físico-químicos.

Entre los diferentes parámetros físico-químicos analizados en un laboratorio para determinar la calidad del agua encontramos la turbidez, la cual es una medida en la que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, mientras más se presenten más sucia parecerá esta y más alta será su turbidez, es considerada una buena medida para determinar la calidad del agua.

El color es uno de los parámetros analizados en calidad del agua, donde encontramos dos tipos, el color verdadero que se determina una vez se ha removido la turbidez y está asociado a las sustancias disueltas en especial las orgánicas. El color aparente es la muestra de agua tal cual como es captada donde se incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales, sino también el color asociado al material suspendido. (Romero Rojas, 2002)

El agua no debe presentar ni olor, ni sabor, pero este problema se da principalmente cuando existen algas y bacterias en el agua, aunque también se presenta a

causa de vertimientos de químicos y de aguas residuales que pueden alterar estos dos parámetros.(Romero Rojas, 2002)

La temperatura es importante en el análisis de laboratorio, debido a que la saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación de carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.

Los sólidos presentes en el agua se definen como el residuo de la evaporación y el secado bajo una temperatura entre 103-105 grados centígrados, comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales, pero también se encuentran los volátiles y sedimentables.(*Sólidos*, n.d.)

- Suspendidos: son aquellas partículas de contaminantes sólidos insolubles que flotan y son visibles en el agua u otros líquidos+, las cuales son resistentes a los medios de remoción convencionales.(*Sólidos*, n.d.)
- Disueltos: son los que logran pasar por el medio filtrante en el momento que se determinan los sólidos suspendidos, estos están relacionados con la conductividad.(García, 2013)
- Totales: incluyen los sólidos disueltos y suspendidos, que resultan como residuo de materia después de una evaporación y secado a 103 y 105 grados centígrados. (Romero Rojas, 2002)
- Volátiles: son aquellos que alcanzan una volatilidad a una temperatura de 600 grados centígrados. (*Sólidos*, n.d.)
- Sedimentables: son sólidos suspendidos que se sedimentan fácilmente por efecto de la gravedad en condiciones de calma.(*Sólidos*, n.d.)

El pH nos indica la acidez o alcalinidad de un líquido, su definición más técnica es la medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno ( $H^+$ ). (García, 2013)

- Acidez: es la capacidad que tiene una muestra de agua para neutralizar un cambio de pH al reaccionar con una base fuerte. (García, 2013)
- Alcalinidad: es la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Se puede originar normalmente por los carbonatos ( $CO_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ), hidróxidos ( $OH^-$ ). (Ministerio de vivienda, 2013)

#### 4.2 Plantas de tratamiento.

El diseño de una planta de tratamiento de agua potable, tiene como objetivo integrar las operaciones unitarias necesarias, de una manera económica y práctica, donde su operación sea mínima y el mantenimiento solo sea preventivo, además de un abastecimiento continuo de agua tratada para la población beneficiada y cumplimiento de los parámetros físico-químicos previamente analizados. Según Jairo Romero en su libro de Purificación Del Agua se deben tomar algunas consideraciones para el diseño y ubicación de las plantas de tratamiento de agua potable son:

- El tipo de tratamiento a realizar depende de las condiciones de la fuente de abastecimiento, por lo tanto, se debe contar con un análisis detallado de los diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos. (Romero Rojas, 2000)
- Se debe tener en cuenta la vida útil de las estructuras y equipos, además de la facilidad de expansión de la planta y el crecimiento en el servicio brindado. (Romero Rojas, 2000)

- La localización de la planta debe tener un costo de terreno bajo, topografía, disponibilidad eléctrica, facilidad de acceso, buena ubicación con respecto a la fuente de abastecimiento y un sentido de pertenecía por parte de la comunidad.(Romero Rojas, 2000)
- Se deben garantizar materiales de construcción de buena calidad y durabilidad, teniendo en cuenta las plantas se usan por más tiempo, que la vida útil que pueda llegar a tener. (Romero Rojas, 2000)

#### 4.2.1 Operaciones unitarias.

Entre las operaciones unitarias más utilizadas en las plantas de tratamiento de agua potable actualmente, encontramos:

- Aireación: es el proceso donde el agua tiene un contacto con el aire, para modificar las concentraciones de sustancias volátiles. Entre las funciones más importantes de este proceso tenemos el de aumentar el oxígeno disuelto (OD), disminuir la concentración de CO<sub>2</sub>, oxidar hierro y manganeso, remover sustancias productoras de olor y sabor, entre otras.(Romero Rojas, 2000)
- Coagulación: es el proceso donde al agregar sustancias químicas al agua, sus partículas se agrupan en pequeñas masas con peso específico llamadas floc, las cuales son fácilmente sedimentables. Se usa principalmente para mejorar el proceso de sedimentación y así eliminar turbiedad y sustancias productoras de olor y sabor.(Salcedo Rodríguez, 2008)

Se realiza a través de mezcla rápida, ya sea por medios hidráulicos o mecánicos, entre los hidráulicos encontramos las canaletas Parshall, resaltos

hidráulicos, vertederos rectangulares. Por otro lado, tenemos los mezcladores mecánicos en línea, chorros químicos y tanques con equipos de mezcla rápida.(Romero Rojas, 2000)

- Floculación: es la aglomeración de partículas previamente coaguladas en partículas floculantes; es decir después de coagulación se provee mezcla suave de partículas para incrementar encuentros y colisiones sin romperse entre ellas y formar floc más pesados fácilmente removibles del agua.(Romero Rojas, 2000)

Una vez las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra, mediante agitación lenta prolongada, las partículas se van aglomerando, incrementan el tamaño y aumenta la densidad. Por tanto, cualquier floculador deberá tener cualquier medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención prolongado.(Romero Rojas, 2000)

- Sedimentación: es un fenómeno físico, mediante el cual sólidos más densos que se encuentran suspendidos en el agua, son separados debido al efecto de la gravedad.

Se clasifica según el tipo y concentración de los sólidos, entre los que encontramos partículas discretas y aisladas, partículas aglomeradas, soluciones de concentración intermedia y soluciones de alta concentración.(Arboleda, 2000)

Es un proceso que se debe realizar siempre que se realice coagulación, para remover la turbiedad o el color aparente, se puede realizar en sedimentadores de tipo vertical, de flujo horizontal, convencionales o de alta tasa.

- **Filtración:** es un proceso complementario a la sedimentación ya que algunos sólidos logran pasar por esta operación, en su mayoría flocs muy finos, los cuales necesitan una filtración de medio poroso, para remover la turbiedad. También es usado para la eliminación de microorganismos resistentes a la desinfección, esto se da ya que muchos de los microorganismos utilizan los sólidos suspendidos para protegerse de las acciones desinfectantes.
- **Desinfección:** es un proceso donde se destruyen los microorganismos patógenos por medio del cloro y sus compuestos (hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio), ya que es el desinfectante más usado a través de la historia.  
  
Es muy económico y fácil de conseguir además de que se encuentra en los tres estados de la materia (sólido, líquido, gas), garantiza un residual en el agua, por lo cual provee una protección a la red de acueducto y su eficiencia en la eliminación de microorganismos causante de enfermedades hídricas es muy alta.

#### 4.2.2 Tipos de plantas de tratamiento.

Las plantas de tratamiento de agua potable se eligen según su fuente de abastecimiento, ya que ninguna de estas, es igual en cuanto a los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados, además de su carga contaminante, esto debido a los diferentes factores que afectan el medio donde se encuentra el agua.

Aunque ninguna fuente de agua es igual a otra, se han generalizado procesos que deben llevar las plantas de tratamiento de agua potable, esto lo podemos observar en la imagen 1, donde Jairo Romero en su libro Purificación del Agua, nos muestra algunos de



los problemas más comunes de las fuentes de abastecimiento de agua o el uso que se le vaya a dar a esta, además las diferentes operaciones unitarias utilizadas para la solución de cada uno de estos.

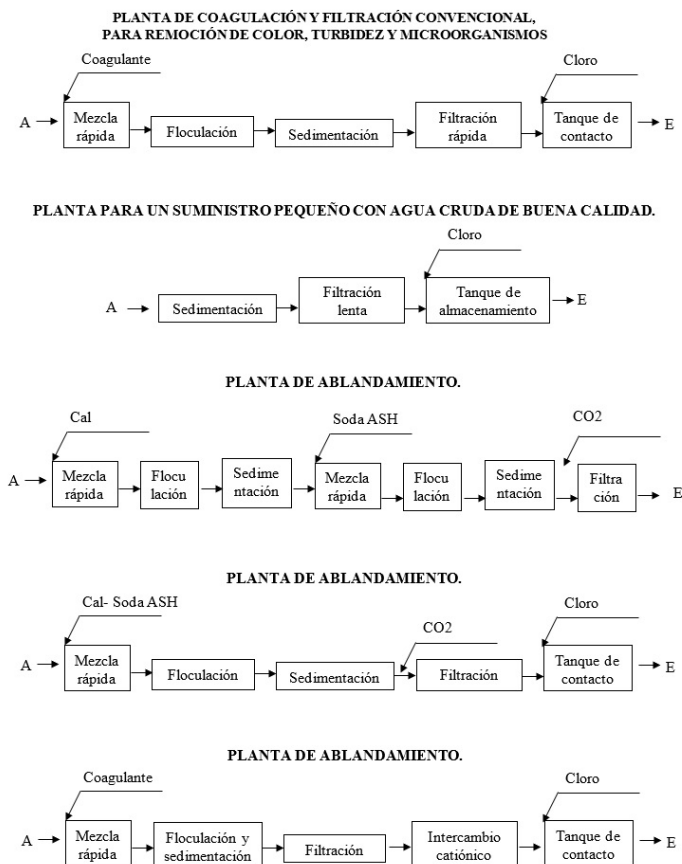


Imagen 1 Tipos de plantas.

Fuente: (Romero Rojas, 2000)

Se pueden identificar, las plantas de tratamiento de agua potable convencionales, las cuales cada uno de sus procesos se encuentran en estructuras diferentes y cuentan normalmente con coaguladores, floculadores, sedimentadores, filtros y desinfección.

También se encuentran, las plantas de tratamiento de agua compactas, son aquellas en donde los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, ocurren en una sola estructura para luego enviar el agua a los sistemas de filtración. Este tipo de plantas garantizan un suministro de agua a largo plazo, una alta calidad del recurso, tanto así que no es necesario procesos de desinfección en algunos casos, además que su funcionamiento es automático, disminuyendo el riesgo en fallas operacionales.

En las plantas de tratamiento de agua potable de tecnologías no convencionales encontramos la microfiltración y la ultrafiltración. La microfiltración se basa en el uso de membranas de tamaño de poro entre 0.1 y 1 micras, esto garantiza la eliminación de bacterias, quistes y otros parásitos, que tengan un tamaño mayor al poro de la membrana. (Mourato, n.d.)

La ultrafiltración al igual que la microfiltración utiliza un sistema de membranas, su diferencia es en el tamaño de poro que va entre 0.01 a 0.1 micras, este tipo de sistemas se usa mayormente en fábricas embotelladoras y envasadoras de agua o fabricas que necesiten una calidad de agua muy alta.(Mourato, n.d.)

## 5. Diseño metodológico

El proyecto se desarrolló en 5 fases principalmente, en donde se logrará identificar la zona y la población, caudal requerido, la calidad del agua, los diseños de las operaciones unitarias de la planta y sus planos, además de las recomendaciones necesarias. Cada una de las actividades a realizar en las fases, se especifican a continuación:

Fase 1 Reconocimiento comunidad: Se realizó el reconocimiento de la zona en donde se desarrolló el proyecto, con el fin de conocer las condiciones del sistema de captación y de los tanques de distribución existentes en la zona. También saber si el caudal ofertado es capaz de suplir las necesidades de la comunidad.

Fase 2 Analisis calidad del agua: Para determinar la calidad del agua, se realizó un muestreo in situ en la boca toma para luego ser analizado en el laboratorio e identificar los parámetros físico-químicos, como lo es el pH, turbiedad, color, salinidad, % de saturación oxígeno disuelto, conductividad, entre otros, los cuales no cumplan con la normativa en Colombia (Resolución 2115 de 2007).

Fase 3 Calculo de operaciones unitarias: De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente se realizó el cálculo matemático de cada una de las operaciones unitarias requeridas para la implementación de la planta de tratamiento de agua potable.

Fase 4 Diseño de la planta de tratamiento: Se presento el dimensionamiento básico de cada una de las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de agua potable, por medio del aplicativo SketchUp, para el desarrollo en futuras investigaciones.

Fase 5 Recomendaciones: Realizar las debidas recomendaciones para los diferentes diseños realizados en la planta de tratamiento de agua potable.

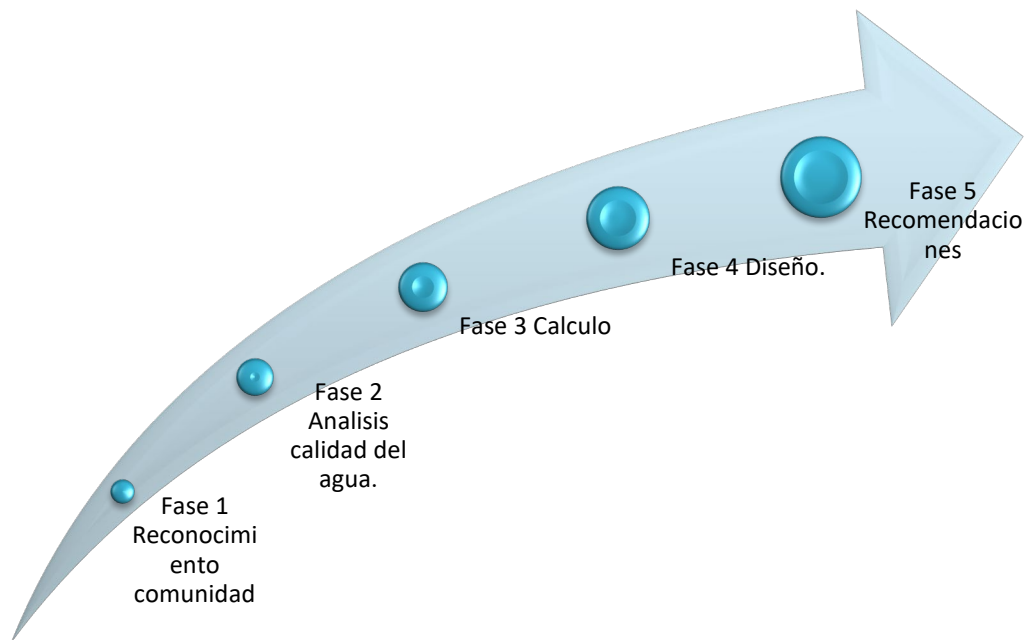


Ilustración 1 Metodología.

Fuente: Autor.

## 6. Resultados y análisis de resultados

### 6.1 Caracterización municipio.

San Antonio del Tequendama se encuentra ubicado en la Serranía del Subía, cuenca baja del río Bogotá. Sus límites están dados por el norte con el municipio de Tena, por el occidente con los municipios de Bojacá y Soacha, por el oriente con el municipio de El Colegio y por el sur con el municipio de Granada.



Imagen 2 Ubicación municipio.

Fuente: (Zamora et al., 2012)

Cuenta con 24 veredas en su zona rural en la que encontramos: Chicaque, Laguna Grande, Cubsio, Caicedo, Patio de Bolas, Quebrada Grande, Santa Fe, La Unión, La María, Arracachal, Las Angustias, Vancouver, La Rápida, Nápoles, La Rambla, Sebastopol, Quintas Colombia, El Cajón, San José, Ponchos, San Agustín, Santivar, Zaragoza y San Isidro. (Zamora et al., 2012)

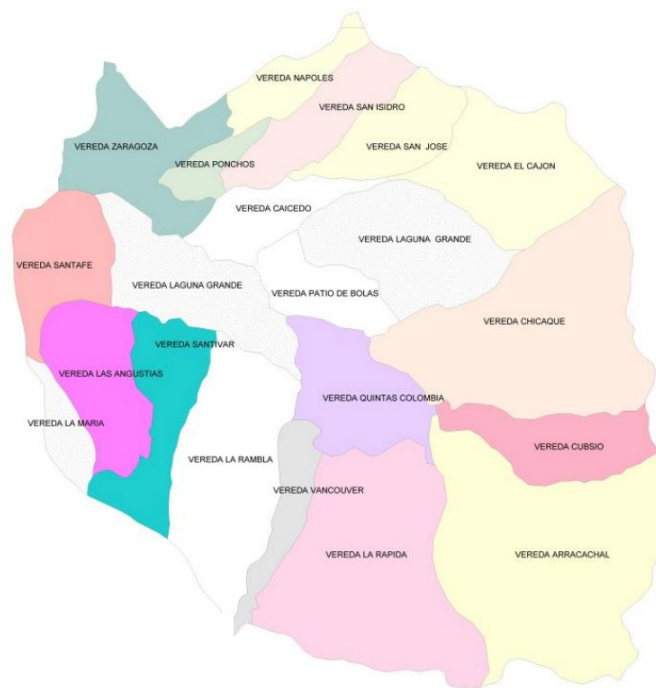


Imagen 3 Distribución veredas.

Fuente: (Zamora et al., 2012)

La altura de San Antonio del Tequendama está dada por su cota máxima en los límites con el municipio de Soacha a 2400 msnm y su cota mínima en los límites con los municipios de Tena y el Colegio con una altitud e 1100 msnm. Su cabecera municipal se encuentra a una altura de 1500 msnm aproximadamente.(Zamora et al., 2012)

El clima de San Antonio del Tequendama varía entre clima frío, clima medio y clima cálido, la temperatura media esta entre 22,0°C y 25.1°C; la temperatura máxima se encuentra entre 25°C y 27.5°C; la temperatura mínima fluctúa entre 20.4°C a 23.2°C. Su temperatura media es de 20°C. El régimen de lluvias es de carácter bimodal y sus periodos lluviosos están dados en los meses de abril - junio y octubre – diciembre. Su precipitación varía entre 900 y 1.700 mm anuales, siendo su precipitación media anual 1500 mm. Teniendo en cuenta lo anterior es importante considerar que los bosques nublados aumentan la precipitación

neta, muestran bajas tasas de evapotranspiración y regulan el régimen hídrico, es por esto que la oferta hídrica para las microcuencas de este sector se mantiene estable, debido a las frecuentes lluvias en el sector de peñas blancas. (Zamora et al., 2012)

### 6.1.1 Descripción de la vereda San Isidro.

La vereda San Isidro se encuentra ubicada en el municipio de San Antonio del Tequendama, en el departamento de Cundinamarca, actualmente cuenta con una concesión otorgada por la CAR para el uso de las aguas superficiales, donde se especifica el caudal permitido para la captación y los diseños de la bocatoma y tanque de distribución.

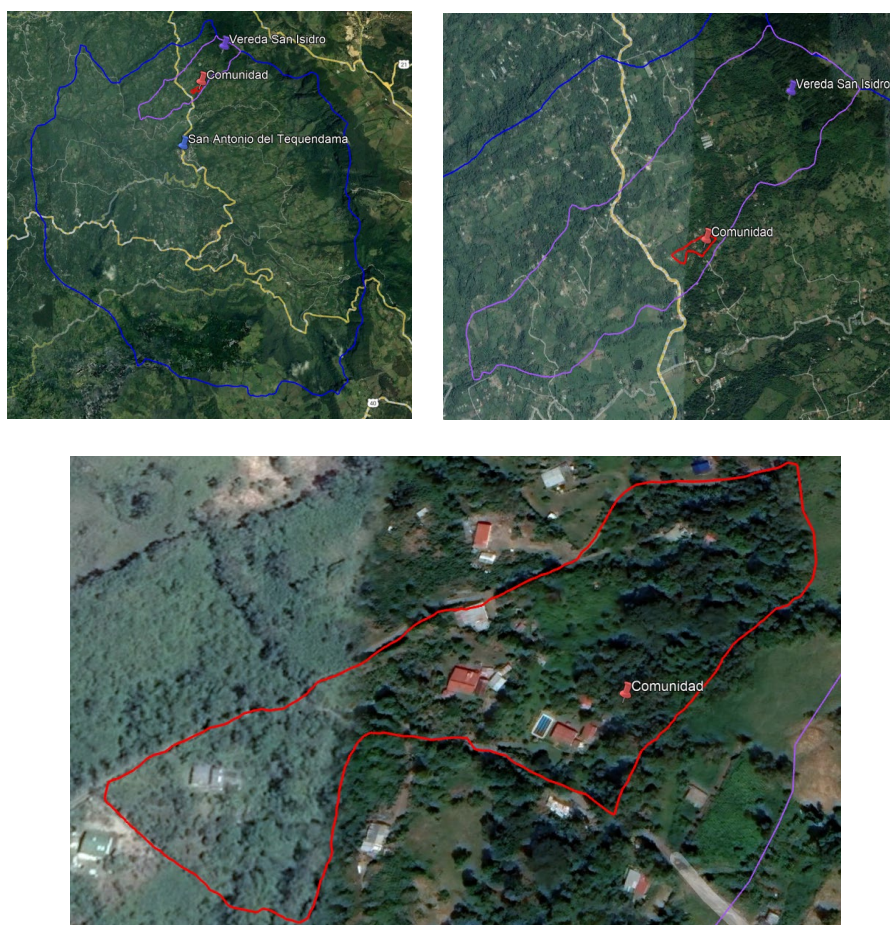


Imagen 4 Ubicación comunidad.

Fuente: Google Earth.

Esta comunidad está compuesta por 5 familias las cuales cuentan con un promedio de 6 habitantes por cada una, pero al ser también fincas recreativas el número de habitantes puede aumentar considerablemente, también realizan siembras de cultivos de café, naranja, aguacate, plátanos, limones, entre otros, además de la crianza de animales para consumo y venta, entre ellos encontramos cerdos, pollos, pavos y gallinas. Cada una de las fincas cuenta con tanques de almacenamiento para las temporadas de verano a estos se les realizan limpiezas manuales como también al tanque principal de distribución alrededor de cada 6 meses.



Imagen 5 Bocatoma

Fuente: Autor.

Como se puede evidenciar en las imágenes, la comunidad cuenta con una bocatoma la cual se encuentra a unos 200 metros aproximadamente del tanque de distribución, esta requiere de acondicionamientos hidráulicos según los requerimientos de la CAR en la



concesión de aguas superficiales que se les fue otorgada, entre los que encontramos que el exceso de agua debe volver a su cauce natural, además de la impermeabilización interna de la bocatoma.



Imagen 6 Tanque almacenamiento.

Fuente: Autor.

En el recorrido hacia el tanque de distribución, encontramos un primer tanque de almacenamiento con capacidad de 1 m<sup>3</sup>, este se encuentra construido sobre el cauce natural del agua por lo tanto los excesos de agua volverán a este y no se presentará desperdicios o uso irracional del agua.



Imagen 7 Tanque de distribución.

Fuente: Autor.

Luego encontramos el tanque de almacenamiento y distribución el cual tiene unas medidas de 1.57m X 1.74m X 1.2m, para una capacidad de 3.3 m<sup>3</sup>, los cuales son distribuidos a cada beneficiario por medio de mangueras que cuentan con sus respectivos registros para el control del caudal, cada uno de estos cuenta con tanques de almacenamiento con sus respectivos flotadores y accesorios hidráulicos para su distribución interna.

Como es evidente no se encuentra ningún sistema de tratamiento de agua que garantice las condiciones mínimas para el consumo humano, los habitantes de este sector se han ido acondicionando a la calidad del agua ya que hasta el momento no se han presentado

daños a la salud, pero el desarrollo del municipio ha permitido identificar construcciones cerca de la zona de captación, lo que nos llevaría a un futuro deterioro de las condiciones del agua, sabiendo que actualmente no son las mejores ya que a simple vista se puede observar turbiedad y color en algunos momentos del día y sobre todo en las épocas de invierno por desprendimiento de sólidos.

## 6.2 Caudal de diseño

De acuerdo a la infraestructura que ya se encuentra en el lugar de trabajo, se realiza un aforo del caudal mediante el método volumétrico, el cual consiste en llenar un recipiente con un volumen conocido durante un tiempo establecido, se recomienda realizarlo más de 3 veces para obtener mayor exactitud en el promedio que se realiza en los cálculos. El procedimiento se realiza en la tubería que se encuentra antes del tanque de distribución, consistió en llenar un recipiente aforado durante 10 segundos, este proceso se realiza 5 veces para así obtener un promedio entre los valores.



Imagen 8 Aforo caudal

Fuente Autor.

En la siguiente tabla se relacionan los valores obtenidos en campo:

Prueba	Volumen (litros)	Tiempo(segundos)
1	2.7	10
2	2.9	10
3	3.2	10
4	3.5	10
5	3.6	10

Tabla 1 Valores caudal.

Fuente: Autor

De acuerdo a los valores obtenidos se realiza un promedio de ellos.

$$V = \frac{2.7L + 2.9L + 3.2L + 3.5L + 3.6L}{5}$$

$$V = 3.18L$$

Este valor lo dividimos entre los 10 segundos que se demoró el llenado para obtener el caudal, se realiza la conversión de unidades a m<sup>3</sup>/día.

$$Q = \frac{3.18L}{10s}$$

$$Q = 0.318 L/s$$

$$Q = 0.318 L/s \times \frac{1m^3}{1000L} \times \frac{86400 s}{1 día}$$

$$Q = 27.48 m^3/día$$

Según los datos obtenidos tenemos que para el diseño de las operaciones unitarias que se utilizaran en la planta de tratamiento de agua potable, se manejara un caudal de 27.48 m<sup>3</sup>/día.

### 6.3 Caracterización del agua

Para determinar las características iniciales del agua a tratar, se realiza un muestreo simple en la bocatoma que posee el sistema de captación, se recolectan en envases de

vidrio, para luego ser conservadas con ácido sulfúrico y en refrigeración, además recolectar un envase en fresco para determinar ciertos valores que se puedan alterar por el ácido, luego son transportadas al laboratorio de la Universidad Antonio Nariño.



Imagen 9 Toma de muestras.

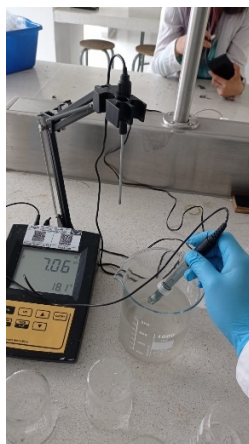
Fuente: Autor

Una vez en el laboratorio se realiza el análisis de los parámetros físico-químicos, se obtienen los siguientes resultados:

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
pH.		7.06
% Saturación de O.D.	%	56.2
Concentración de O.D.	mg/L	4.39
Conductividad.	$\mu\text{s}/\text{cm}$	115
TDS.	mg/L	658
Salinidad.	PSU	0.66
Turbiedad.	NTU	7.8
Test de jarras	ml-coagulante aniónico	1.5
Color	UPC	76

Tabla 2 Resultados análisis de agua.

Fuente: Autor.



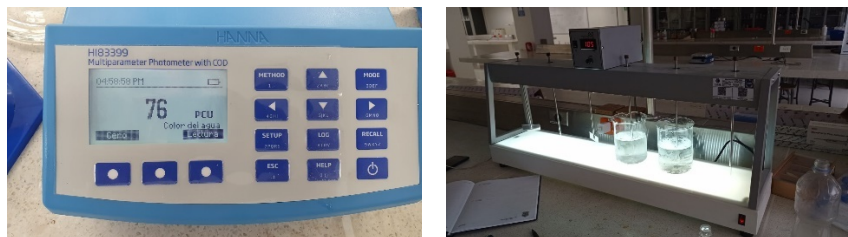


Imagen 10 Análisis de laboratorio.

Fuente: Autor.

#### 6.4 Diseño operaciones unitarias

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio, se procede a realizar los diseños para una planta convencional, la cual consta de mezcla rápida o coagulación, sedimentación y filtración. Para este caso no se utilizará la floculación ya que, de acuerdo al test de jarras, la cantidad de floculante es mínima o despreciable y los resultados son los mismos con este o sin este químico.

##### 6.4.1 Mezcla rápida.

La primera operación a realizar en la planta de tratamiento de agua potable será la mezcla rápida, la cual se ejecutará por medio de un mezclador hidráulico de vertedero, ya que se cuenta con una buena área de trabajo, además de que no es necesario de personal para su operación.

La ecuación general para un vertedero triangular este dado por:

$$Q = \frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}} \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal del vertedero.

Cd = Coeficiente en función del ángulo del vertedero.

$\theta$  = Angulo de abertura del vertedero.

H = Altura de lámina sobre el vertedero.

Conociendo el caudal podemos despejar H de la ecuación:

$$H = \left( \frac{Q}{\frac{8}{15} * Cd \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^{\frac{2}{5}}$$

El Cd varía según el ángulo de abertura del vertedero, los valores más usados de ángulos para vertederos con su respectivo Cd esta dado por la siguiente tabla:

Angulo $\theta$	Cd
15	0.75
30	0.72
45	0.69
60	0.54
90	0.60

Tabla 3 Variación Cd

Fuente:(Melo Parra & Herrera Delgado, 2016)

Para el caso del vertedero del caso de estudio se utilizará una abertura de  $60^\circ$ , reemplazando en la formula los valores obtenemos:

$$H = \left( \frac{27.48 \text{ m}^3/\text{dia} * \frac{1 \text{ dia}}{86400 \text{ s}}}{\frac{8}{15} * 0.54 \sqrt{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \tan\left(\frac{60^\circ}{2}\right)} \right)^{\frac{2}{5}}$$

$$H = 0.045\text{m}$$



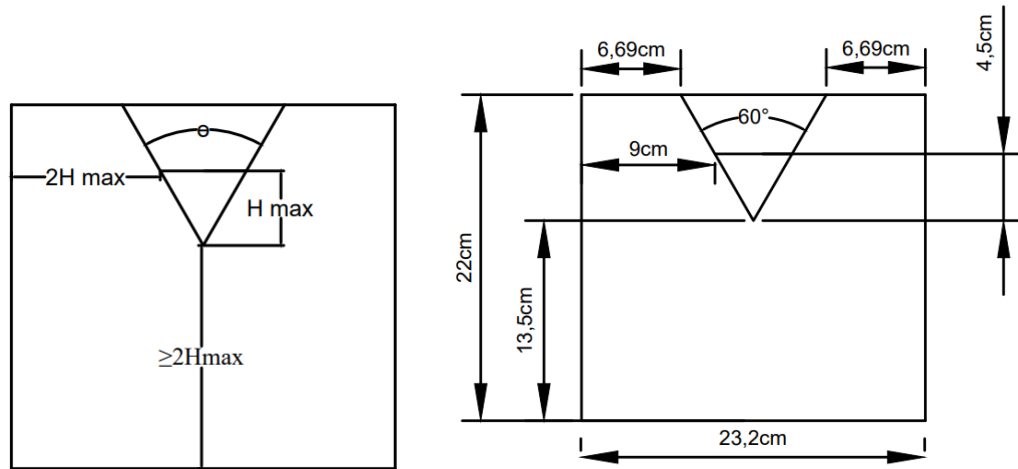


Imagen 11 Planos vertedero.

Fuente: Autor

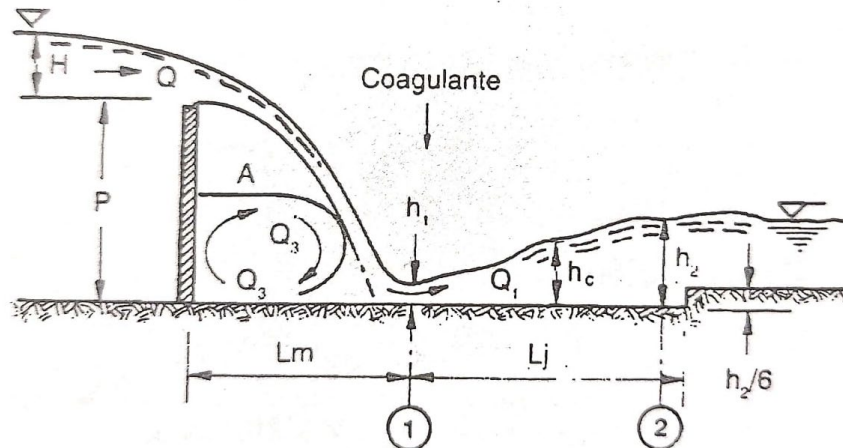


Imagen 12 Diseño resalto hidráulico.

Fuente: (Romero Rojas, 2000)

Para el cálculo del vertedero encontramos el siguiente procedimiento, que se da a partir de las siguientes formulas y de los datos anteriormente obtenidos:

➤ Caudal unitario.

$$q = \frac{Q}{B} \quad (2)$$

Donde:

$q$  = Caudal unitario.

$Q$  = Caudal total.

$B$  = Ancho de la lámina del agua en la cresta del vertedero.

$$q = \frac{0.000318 \text{ m}^3/\text{s}}{0.232\text{m}}$$

$$q = 0.00137 \text{ m}^3/\text{s} * m$$

➤ Altura critica.

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

Donde:

$h_c$  = Altura critica

$q$  = Caudal unitario

$g$  = Gravedad

Reemplazando:

$$h_c = \left(\frac{(0.00137 \text{ m}^3/\text{s} * m)^2}{9.81 \text{ m}/\text{s}^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 0.00576\text{m}$$

➤ Profundidad después del vertedero.

$$h_1 = \frac{h_c\sqrt{2}}{1.06 + \left(\frac{H}{h_c} + 1.5\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

Donde:

$h_1$  = Altura de lámina después del vertedero.

$H$  = Altura de lámina de agua sobre el vertedero.

$h_c$  = Altura critica

Reemplazando:

$$h_1 = \frac{0.00576m\sqrt{2}}{1.06 + \left(\frac{0.045m}{0.00576m} + 1.5\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$h_1 = 0.00198m$$

➤ Velocidad al inicio del resalto.

$$v_1 = \frac{q}{h_1} \quad (5)$$

Donde:

$V_1$  = Velocidad inicial.

$h_1$  = Altura de lámina después del vertedero.

$q$  = Caudal unitario.

Reemplazando:

$$v_1 = \frac{0.00137 \text{ m}^3/\text{s} * \text{m}}{0.00198m}$$

$$v_1 = 0.692 \text{ m/s}$$

➤ Numero de Froude.

Para que el resalto del vertedero permanezca estable es necesario que el resultado del número de Froude se encuentre entre 4.5 y 9.0.

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{g*h_1}} \quad (6)$$

Donde:

$F$  = Numero de Froude

$g$  = Gravedad

$V_1$  = Velocidad inicial.

$h_1$  = Altura de lámina después del vertedero.

Reemplazando

$$F = \frac{0.692 \text{ m/s}}{\sqrt{9.81 \text{ m/s}^2 * 0.00198 \text{ m}}}$$

$$F = 4.965$$

➤ Altura después del resalto.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \sqrt{1 + 8F^2} \quad (7)$$

Donde:

$h_2$  = Altura después del resalto.

$h_1$  = Altura de lámina después del vertedero.

$F$  = Numero de Froude.

Reemplazando

$$h_2 = \frac{0.00198 \text{ m}}{2} * \sqrt{1 + 8 * 4.965^2}$$

$$h_2 = 0.0139 \text{ m}$$

➤ Energía disipada en el resalto.

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2} \quad (8)$$

Donde:

$h_p$  = energía disipada en el resalto.

$h_2$  = Altura después del resalto.

$h_1$  = Altura de lámina después del vertedero.

Reemplazando

$$h_p = \frac{(0.0139m - 0.00198m)^3}{4 * 0.00198m * 0.0139m}$$

$$h_p = 0.0154m$$

➤ Velocidad final del resalto.

$$v_2 = \frac{q}{h_2} \quad (9)$$

Donde:

$V_2$  = Velocidad final.

$h_2$  = Altura después del resalto.

$q$  = Caudal unitario

Reemplazando

$$v_2 = \frac{0.00137 \text{ m}^3/\text{s} * m}{0.0139m}$$

$$v_2 = 0.0985 \text{ m/s}$$

➤ Longitud del resalto.

$$L_m = 6 * (h_2 - h_1) \quad (10)$$

Donde:

$L_m$  = Longitud del resalto.

$h_2$  = Altura después del resalto.

$h_1$  = Altura de lámina después del vertedero.

Reemplazando

$$L_m = 6 * (0.0139m - 0.00198m)$$

$$L_m = 0.0715m$$

- Distancia a sección estable.

$$L_j = 4.3 * H * \left(\frac{h_c}{H}\right)^{0.9} \quad (11)$$

Donde:

$L_j$  = Distancia del vertedero a sección estable.

$H$  = Altura de lámina de agua sobre el vertedero.

$h_c$  = Altura crítica

Reemplazando

$$L_j = 4.3 * 0.045m * \left(\frac{0.00576m}{0.045m}\right)^{0.9}$$

$$L_j = 0.0304m$$

- Velocidad promedio en el resalto.

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (12)$$

Donde:

$V_1$  = Velocidad inicial.

$V_2$  = Velocidad final.

$V_m$  = Velocidad media.

$$v_m = \frac{0.692 \text{ m/s} + 0.0985 \text{ m/s}}{2}$$

$$v_m = 0.395 \text{ m/s}$$

- Tiempo de mezcla

$$T = \frac{L_m}{V_m} \quad (13)$$

Donde:

$V_m$  = Velocidad media.

$L_m$  = Longitud del resalto

$T$  = Tiempo de mezcla.

$$T = \frac{0.0715m}{0.395 \text{ m/s}}$$

$$T = 0.181s$$

➤ Gradiente de velocidad.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T}} \quad (14)$$

Donde:

$G$  = Gradiente de velocidad.

$T$  = Tiempo de mezcla.

$\gamma$  = Peso específico del agua

$\mu$  = Viscosidad dinámica

$h_p$  = energía disipada en el resalto.

$$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$$

$$\mu = 1.139 \times 10^{-3} \text{ N*s/m}^2$$

Reemplazando

$$G = \sqrt{\frac{9810 \text{ N/m}^3 * 0.0154m}{1.139 \times 10^{-3} \text{ N*s/m}^2 * 0.181s}}$$

$$G = 856.04s^{-1}$$

➤ Canal de estabilización.

$$L_c = t * v_2 \quad (15)$$

Donde:

$L_c$  = Longitud del canal.

$V_2$  = Velocidad final.

$t$  = Tiempo de retención.

Se asume un tiempo de retención de 10s.

Reemplazando

$$L_c = 10s * 0.0985 \text{ m/s}$$

$$L_c = 0.985m$$

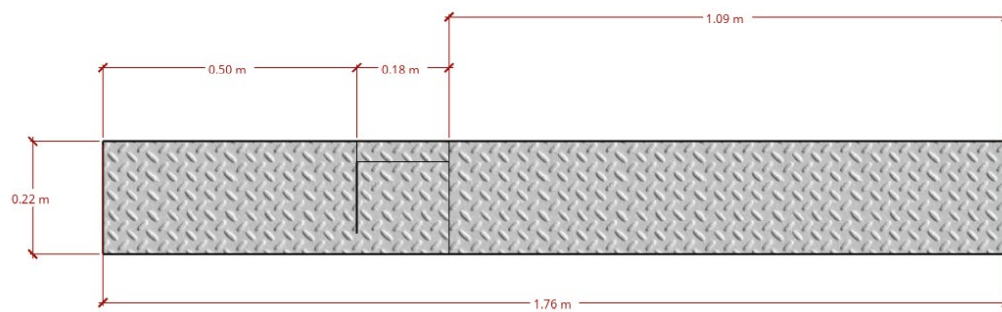


Imagen 13 Vista lateral vertedero

Fuente: Autor.



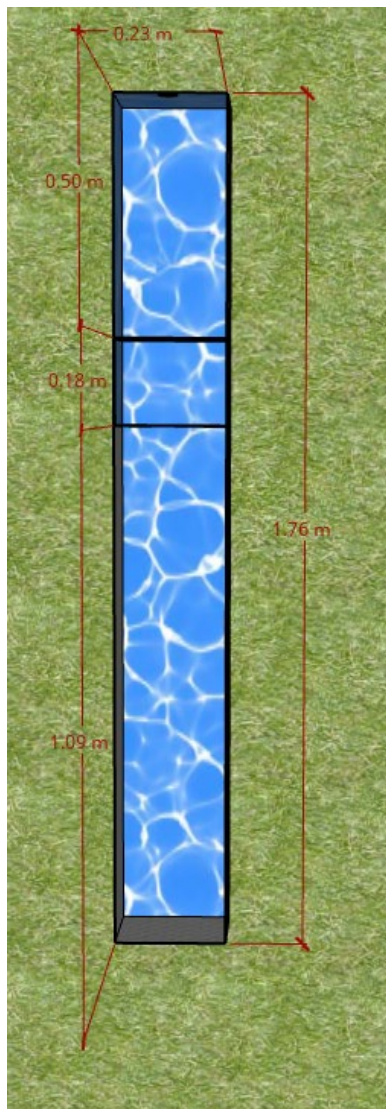


Imagen 14 Vista en planta vertedero.

Fuente: Autor

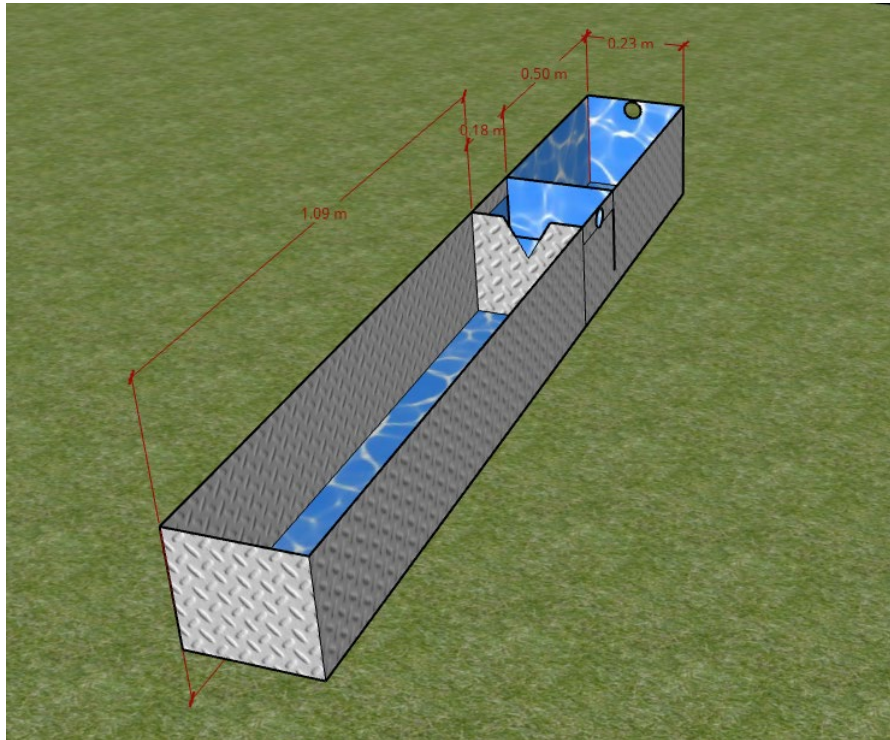


Imagen 15 Vista 3D vertedero.

Fuente: Autor

#### 6.4.2 Sedimentación.

Para el diseño del sedimentador manejaremos un caudal de 0.318 L/s, una carga superficial mínima de 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d y un tiempo de retención hidráulica de 2 horas. Se recomienda el diseño de dos sedimentadores, donde se pueda realizar mantenimientos y limpiezas, sin la necesidad de suspender el proceso de la planta de tratamiento de agua potable. (Romero Rojas, 2000)

➤ Volumen del sedimentador.

$$V = Q \times TRH \quad (16)$$

Donde:

V = Volumen.

Q = Caudal.

TRH = Tiempo de retención hidráulica.

$$V = 27.48 \text{ m}^3/\text{dia} \times 2 \text{ horas} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ horas}}$$

$$V = 2.29 \text{ m}^3$$

El volumen se divide en 2, ya que se utilizarán dos sedimentadores en paralelo. Por lo tanto:

$$V = \frac{2.29 \text{ m}^3}{2}$$

$$V = 1.145 \text{ m}^3$$

➤ Área superficial del sedimentador.

$$A_s = \frac{Q}{c_s} \quad (17)$$

Donde:

$A_s$  = Área superficial.

$Q$  = Caudal.

$C_s$  = Carga superficial.

$$Q = 0.318 \text{ L/s} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}$$

$$Q = 27.48 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$A_s = \frac{27.48 \text{ m}^3/\text{dia}}{20 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{dia}}$$

$$A_s = 1.37 \text{ m}^2$$

El área superficial se divide en 2, ya que se utilizarán dos sedimentadores en paralelo. Por lo tanto:

$$A_s = \frac{1.37 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_s = 0.685 \text{ m}^2$$

➤ Altura útil.

$$H = \frac{V}{A_s} \quad (18)$$

Donde:

H = Altura útil.

V = Volumen de cada unidad.

As = Área superficial de cada unidad.

$$H = \frac{1.145 \text{ m}^3}{0.685 \text{ m}^2}$$

$$H = 1.67 \text{ m}$$

Se dejará 0.23m de borde libre, por lo tanto, la altura total será de 1.90m.

➤ Relación del tanque ancho/largo

Para tanques rectangulares se recomienda una relación largo:ancho de 1:3 a 1:5,

en este caso se utilizará una relación 1:3(Romero Rojas, 2000). Por lo tanto:

$$L = 3B$$

$$A_s = (3B) \times B$$

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3}} \quad (19)$$

Donde:

L = Largo.

As = Área superficial de cada unidad.

B = Ancho.

$$B = \sqrt{\frac{0.685 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B = 0.48\text{m}$$

$$L = 3B$$

$$L = 3 \times 0.48\text{m}$$

$$L = 1.43\text{m}$$

➤ Velocidad de flujo.

$$V_f = \frac{Q}{B \times H} \quad (20)$$

Donde:

$V_f$  = Velocidad de flujo.

$Q$  = Caudal.

$L$  = Largo.

$H$  = Altura útil.

$$V_f = \frac{27.48 \text{ m}^3/\text{dia}}{0.48\text{m} \times 1.67\text{m}} \times \frac{1\text{dia}}{86400\text{s}} \times \frac{100\text{cm}}{1\text{m}}$$

$$V_f = 0.0396 \text{ cm/s}$$

Para un óptimo rendimiento se recomienda mantener la velocidad de flujo menor a 1 cm/s. (Romero Rojas, 2000)

➤ Carga de rebose en el vertedero.

$$L_v = \frac{Q}{C_r} \quad (21)$$

Donde:

$L_v$  = Longitud del vertedero

$Q$  = Caudal de cada unidad.

$C_r$  = Carga de rebose.

La longitud del vertedero será el mismo valor del ancho de cada unidad de sedimentación,  $L_v = 0.48$  m.

$$C_r = \frac{Q}{L_v}$$

$$C_r = \frac{(3.18 \text{ l/s} \div 2)}{0.48 \text{ m}}$$

$$C_r = 3.31 \text{ l/s} * \text{ m}$$

La carga de rebose en el vertedero debe estar entre 1.7 a 3.6 l/s\*m, por lo tanto, se puede manejar la relación entre el ancho de cada unidad de sedimentación y la longitud del vertedero.(Romero Rojas, 2000)

➤ Zona de lodos.

La pendiente para la zona de lodos debe ser mayor a la 2%.(Romero Rojas, 2000). Se utilizará una pendiente del 3%.

$$h = p \times L \quad (22)$$

Donde:

$h$  = Altura de la tolva.

$p$  = Pendiente.

$L$  = Longitud del sedimentador.

$$h = 3\% \times 1.43 \text{ m}$$

$$h = 0.0429 \text{ m}$$

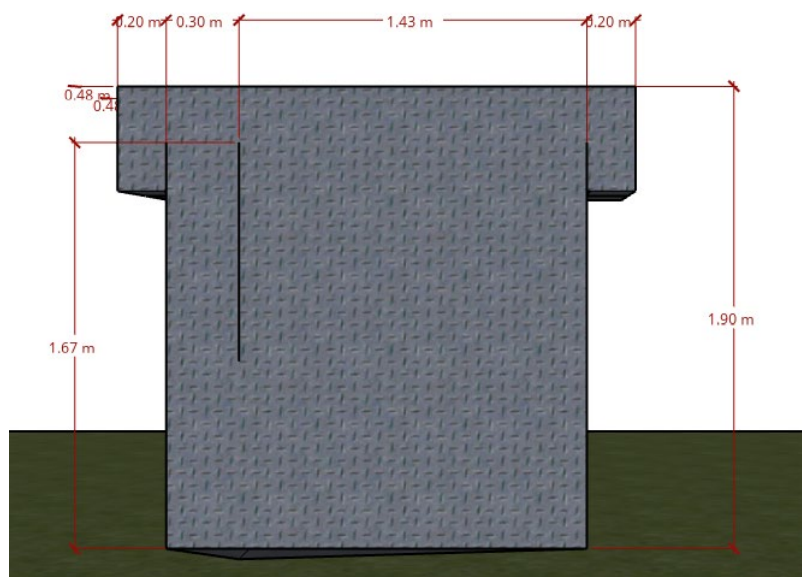


Imagen 16 Vista lateral sedimentador.

Fuente: Autor

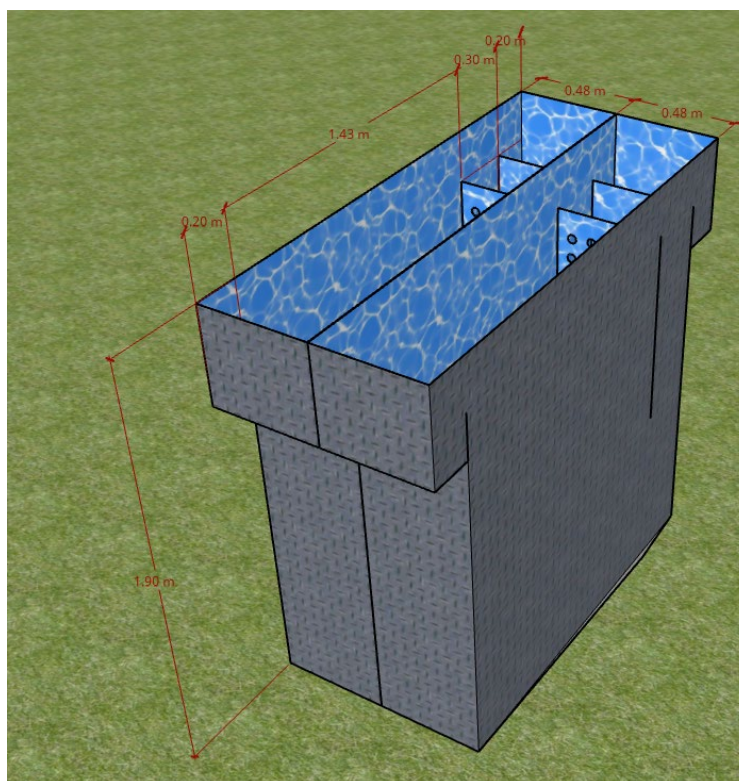


Imagen 17 Vista 3D sedimentador.

Fuente: Autor.

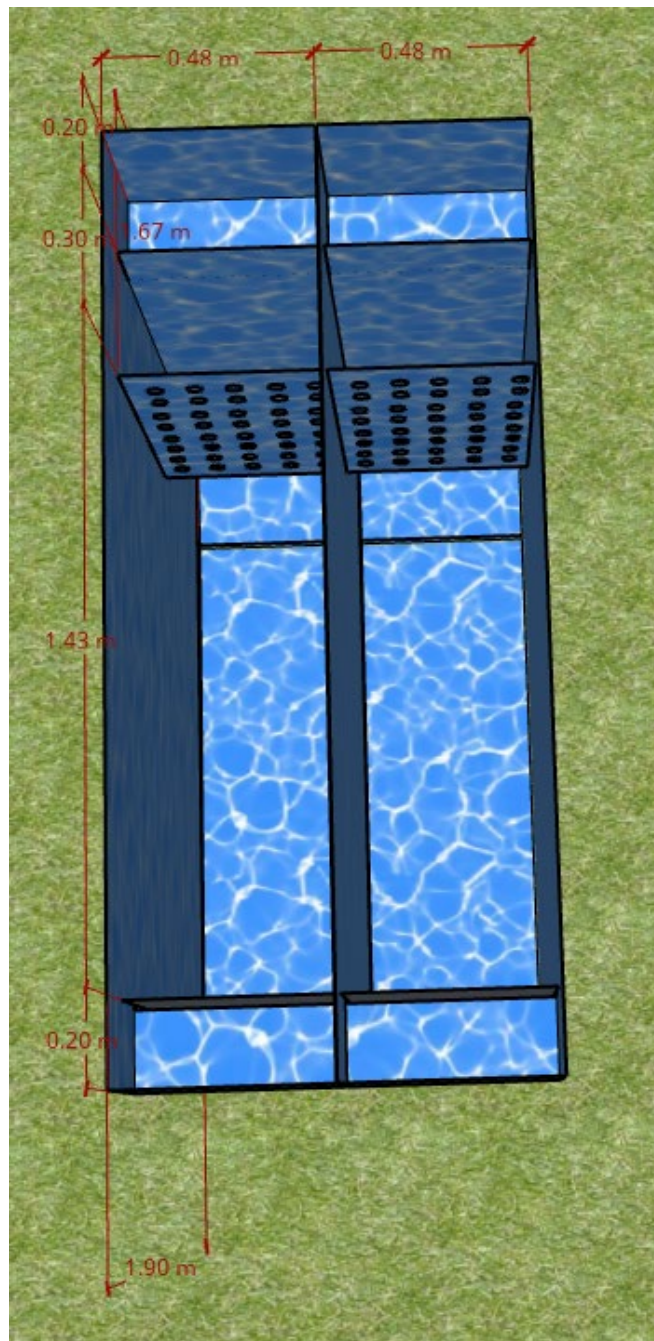


Imagen 18 Vista en planta sedimentador.

Fuente: Autor.



### 6.4.3 Filtración.

- Numero de filtros

$$n = 0.44 \times \sqrt{Q} \quad (23)$$

Donde:

n = número de filtros.

Q = Caudal.

$$n = 0.44 \times \sqrt{27.48 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$n = 0.23 \approx 1 \text{ filtro}$$

Para una mejor operatividad de la planta se realizarán dos unidades de filtro, esto con el fin de no interrumpir el flujo de agua cuando sea necesario el mantenimiento de la operación unitaria.

- Área superficial requerida.

La resolución 0330 de 2017 recomienda mantener una tasa de filtración menor a 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d, para este caso se elige una tasa de 55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d.

$$A_s = \frac{Q}{c_h} \quad (24)$$

As = Área superficial.

Q = Caudal.

Ch = Tasa de filtración.

$$A_s = \frac{27.48 \text{ m}^3/\text{dia}}{55 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}}$$

$$A_s = 0.5 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{0.5 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_s = 0.25 \text{ m}^2$$

$$L = B$$

$$A_s = B * B$$

$$B = \sqrt{A_s}$$

$$B = \sqrt{0.25 \text{ m}^2}$$

$$B = 0.5m$$

Para la altura del medio filtrante se utilizarán las recomendaciones de la resolución 0330 de 2017, y será de 0.6 m, por lo tanto, la altura del filtro estará dada por los siguientes datos:

Falso fondo: 0.20 m

Medio filtrante: 0.6 m

Lámina de agua: 0.3 m

Borde libre: 0.2 m

Altura total: 1.3 m

➤ Velocidad de lavado.

$$V_l = 0.1V_t \quad (25)$$

$$V_t = 10D_{60} \quad (26)$$

$$D_{60} = Cu * Te \quad (27)$$

Donde:

$V_l$  = Velocidad de lavado.

$V_t$  = Velocidad de arrastre.

$Cu$  = Coeficiente de uniformidad.

$Te$  = Tamaño efectivo de la partícula.

Para un medio filtrante de arena sílice tenemos que  $Cu=1.70$  y él

$Te=0.52mm$ .(OASR, 2020)

$$D_{60} = 1.70 * 0.52$$

$$D_{60} = 0.884$$

$$V_t = 10 \times 0.884$$

$$V_t = 8.84 \text{ m}/\text{min}$$

$$V_l = 0.1 \times 8.84 \text{ m}/\text{min}$$

$$V_l = 0.884 \text{ m}/\text{min}$$

➤ Caudal de lavado.

$$Q_l = V_l * A \quad (28)$$

$Q_l$  = Caudal de lavado.

$V_l$  = Velocidad de lavado.

$A$  = Área del filtro.

$$Q_l = 0.884 \text{ m}/\text{min} * 0.25 \text{ m}^2$$

$$Q_l = 0.221 \text{ m}^3/\text{min} \times \frac{1}{60 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Q_l = 3.68 \text{ l}/\text{s}$$

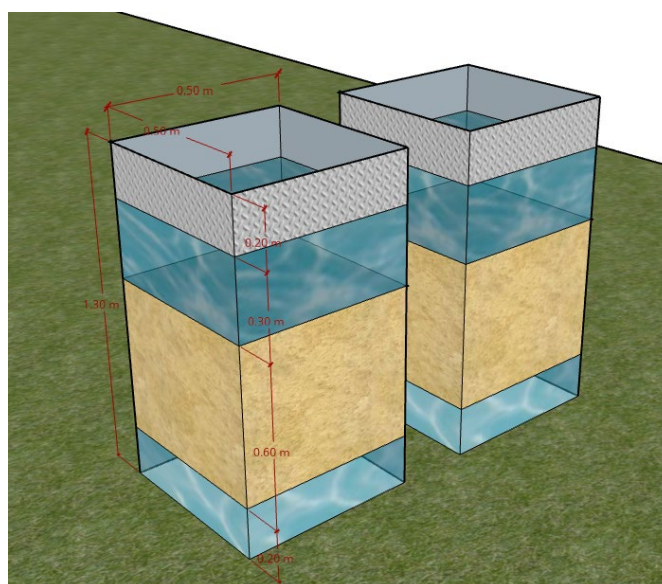
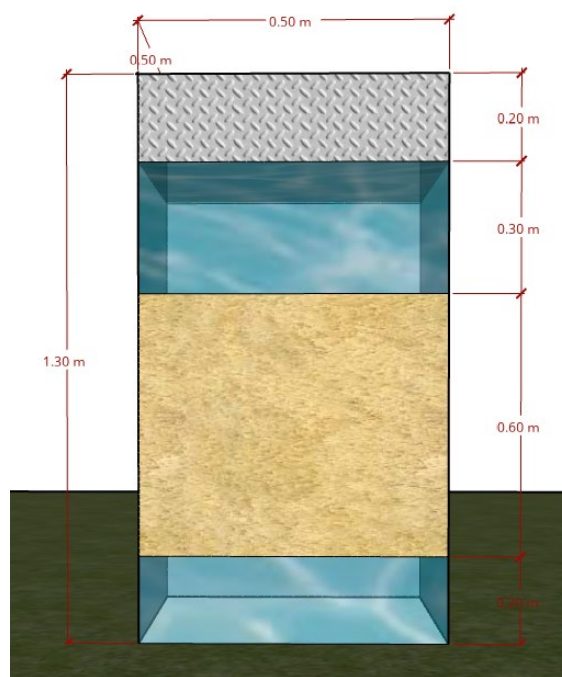


Imagen19 Diseño filtro.

Fuente: Autor.

#### 6.4.4 Desinfección.

Según la resolución 0330 de 2017, este proceso se debe incluir en cualquier sistema de potabilización de agua. El sistema de desinfección será por cloración, por medio de su compuesto hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ), el cual encontramos en estado sólido en el mercado con un 70% de cloro activo. (Resolución 0330, 2017)

Se recomienda un tanque de contacto, antes del de almacenamiento, con un tiempo de contacto mínimo de 20 minutos. Para determinar la dosis optima de cloro, debe emplearse el valor de Ct - concentración aplicada por tiempo de retención igual a K, según la siguiente tabla. (Resolución 0330, 2017)

<b>Valores de Ct = K (mg-min/l) para inactivación de Coliformes totales por Cloro para Log3</b>																
<b>Dosis de cloro aplicada mg/l</b>	<b>10°C</b>				<b>15°C</b>				<b>20°C</b>				<b>25°C</b>			
	<b>pH</b>				<b>pH</b>				<b>pH</b>				<b>pH</b>			
	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>
<b>&lt;=0,40</b>	37	44	52	63	25	30	35	42	18	22	26	31	12	15	18	21
<b>0,6</b>	38	45	54	64	25	30	36	43	19	23	27	32	13	15	18	22
<b>0,8</b>	39	46	55	66	26	31	37	44	20	23	28	33	13	16	19	22
<b>1,0</b>	40	47	56	67	27	32	38	45	20	24	28	34	13	16	19	23
<b>1,2</b>	40	48	57	69	27	32	38	46	20	24	29	35	14	16	19	23
<b>1,4</b>	41	49	58	70	28	33	39	47	21	25	29	35	14	17	20	24
<b>1,6</b>	42	50	60	72	28	33	40	48	21	25	30	36	14	17	20	24
<b>1,8</b>	43	51	61	74	39	34	41	49	22	26	31	37	15	17	21	25
<b>2,0</b>	44	52	62	75	29	35	42	50	22	26	31	38	15	18	21	25
<b>2,2</b>	45	53	64	77	30	35	43	51	22	27	32	39	15	18	21	26
<b>2,4</b>	45	54	65	79	30	36	43	53	23	27	33	39	15	18	22	26
<b>2,6</b>	46	55	66	80	31	37	44	54	23	28	33	40	16	19	22	27
<b>2,8</b>	47	56	67	82	31	37	45	55	24	28	34	41	16	19	23	27
<b>3,0</b>	48	57	69	83	32	38	46	56	24	29	34	42	16	19	23	28

Tabla 4 Determinación de K en función de la temperatura y el pH.

Fuente: (Resolución 0330, 2017)

Tendremos como datos de entrada el pH:7.06 y una temperatura de: 18°C, para lo cual tendríamos un Ct = 29 mg\*min/l y una dosis optima de 1.2 mg/l.

- Tiempo de retención hidráulica.

$$TRH = \frac{29 \text{ mg} * \text{min} / \text{l}}{1.2 \text{ mg} / \text{l}}$$

$$TRH = 24.17 \text{ min}$$

- Volumen del tanque.

$$V = Q \times TRH$$

Donde:

V = Volumen.

Q = Caudal.

TRH = Tiempo de retención hidráulica.

$$V = 27.48 \text{ m}^3 / \text{dia} \times 24.17 \text{ min} \times \frac{1 \text{ dia}}{1440 \text{ min}}$$

$$V = 0.46 \text{ m}^3$$

Se recomienda un tanque plástico de 500 litros, el cual se encuentra distribuido por diferentes marcas en el mercado.

## 7. Discusión de resultados

La comunidad de la vereda San Isidro al contar con una concesión de aguas superficiales otorgada por la CAR Cundinamarca, ya contaba con un sistema de captación el cual fue asesorado por la entidad y les permite una distribución adecuada del agua para cada una de las 5 viviendas. El valor en promedio del caudal está en 0.1 L/s y está dado por la resolución No: 1117 del 23 de abril del 2012, emitida por la CAR, este valor es aforado en cada una de las mangueras que están dispuestas después del tanque de almacenamiento y distribución.

Según la resolución 0330 de 2017 la dotación neta máxima por habitante en función de la altitud del municipio, es de 130 L/hab\*día, en promedio la población es de 30 habitantes, por lo tanto, es necesario una dotación de 3900 L/día o 3.9 m<sup>3</sup>/día. Para el aforo realizado antes del tanque de distribución tenemos un caudal de 27.48 m<sup>3</sup>/día, por lo tanto, el caudal ofertado es suficiente para la población actual de la comunidad y un futuro aumento.

Luego de obtener los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de agua realizadas, se verifica si los valores de los parámetros analizados están dentro de los rangos establecidos por la resolución 2115 de 2007, se obtienen los siguientes resultados:

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>	<b>VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES (RES 2115-2007)</b>
pH.		7.06	6.5 – 9.0
Conductividad.	μs/cm	115	1000
Turbiedad.	NTU	7.8	2
Color	UPC	76	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable	Aceptable

Tabla 5 Valores permisibles parámetros del agua.

Fuente: Autor

A simple vista se observa que se maneja una buena calidad de agua, sin embargo, se debe realizar un proceso de purificación y clarificación que nos garantice el cumplimiento de la norma. La teoría consultada nos indica que para un buen tratamiento a un agua de esta calidad se debe realizar una planta convencional, la cual se compone de mezcla rápida o coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

Para la coagulación se diseñó una mezcla rápida hidráulica por medio de un vertedero triangular, el cual nos garantiza una óptima mezcla del coagulante aniónico, además de que su costo de fabricación es bajo, así como el de operación ya que no necesita de suministro eléctrico para su funcionamiento. En este proceso garantizamos que las partículas se agrupen y sean de mayor tamaño para facilitar su sedimentación.

El proceso de sedimentación se realizará por medio de un sedimentador convencional, el cual consta de 2 unidades lo que nos permite realizar mantenimientos, limpiezas y purga de lodos, sin interrumpir el suministro de agua. A la salida de esta operación unitaria se obtendrá un agua con menor turbiedad y color.

La filtración se realizará por un filtro de arena sílice como medio filtrante, se realiza para un pulimiento de agua, ya que en procesos anteriores se puede producir



arrastre de sólidos, que si pasan a la desinfección pueden servir como protectores de microorganismos.

En la desinfección garantizamos que no se presenten microorganismos patógenos, que produzcan enfermedades en los habitantes de la comunidad, se realizara por medio de cloración ya que es el medio comúnmente utilizado, por lo tanto, es muy asequible al público en sus diferentes estados.

De acuerdo con el dimensionamiento de cada una de las operaciones unitarias y analizando el lugar donde se podría realizar el proyecto, se considera que es viable la construcción de la planta de tratamiento de agua potable, ya que se cuenta con un área lo suficientemente grande, un suministro eléctrico para algunos equipos adicionales requeridos para la operación de esta PTAP y personal que se pueda hacer cargo tanto del mantenimiento como de la operación de equipos cuando sea requerido.

Aunque la comunidad hasta el momento no ha reportado casos de enfermedades por el consumo de agua de esta fuente de abastecimiento, la construcción de este tipo de proyectos, garantiza que, si a futuro el agua llegase recibir una carga contaminante más alta, esta se pudiese tratar sin ningún problema y así mantener las condiciones de salud de la población.

## 8. Conclusiones

El caudal ofertado era el adecuado debido a que la comunidad contaba con una concesión de aguas superficiales otorgada por la CAR, esto garantizaba una adecuada captación y distribución del agua para cada una de las familias, estas obras facilitaron el aforo del caudal ofertado y de diseño, en el punto donde está previsto realizar la PTAP.

La falta de disponibilidad de equipos para el análisis en campo, nos dificulta obtener mejores resultados en los parámetros físico – químicos, ya que en la toma de muestras se pueden cometer erros tanto en el transporte, como en la preservación.

Debido a que el muestreo se realizó en temporada seca la turbiedad que se obtuvo fue baja y se podría haber eliminado solo utilizando un filtro, pero al diseñar el sedimentador nos permite una mayor flexibilidad para tratar este parámetro en temporada de lluvias donde se presenta mayor arrastre de sólidos.

En los diseños no se considera el uso de la floculación, debido a los resultados obtenidos en el test de jarras, donde el uso de floculante no representó eficiencia en la sedimentación.

Se presenta el dimensionamiento básico de cada una de las operaciones requeridas para el tratamiento de agua por medio del aplicativo SketchUp.

## 9. Recomendaciones

El óptimo funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable depende de la dosificación adecuada tanto del coagulante aniónico como del cloro, es por esto que se hace necesario agregar a los diseños, tanques de almacenamiento de estos productos, estos se pueden encontrar en el mercado en diferentes tamaños y marcas. Esto garantiza que la operación sea mínima y solo sea requerida en los momentos de preparación de cada uno de estos productos.

Se debe realizar un muestreo en temporada de lluvia el cual nos permita rectificar la dosis óptima de coagulante y si es necesario el uso de un floculador para mejorar el proceso de sedimentación.

En cuanto a los equipos eléctricos se recomienda el uso de bombas dosificadoras, una para cada uno de los químicos anteriormente mencionados, esto permite que se agregue al agua la dosis óptima para el adecuado funcionamiento y eficiencia del proceso.

Para obtener un mejor resultado en la eliminación de microorganismos patógenos, se recomienda realizar el análisis microbiológico en laboratorio, con todas las medidas de preservación que se requieran. Si bien el sistema cuenta con una desinfección, esta se realiza asumiendo que existen estos microorganismos y se diseña como una forma de prevenir que estos microorganismos lleguen al consumo humano. El análisis da una mayor certeza en la dosis que se deba aplicar en el proceso.

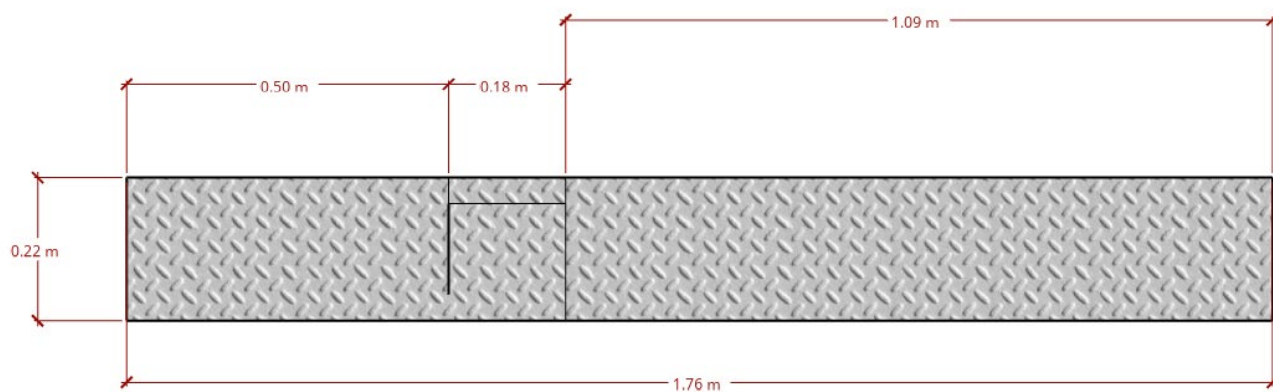
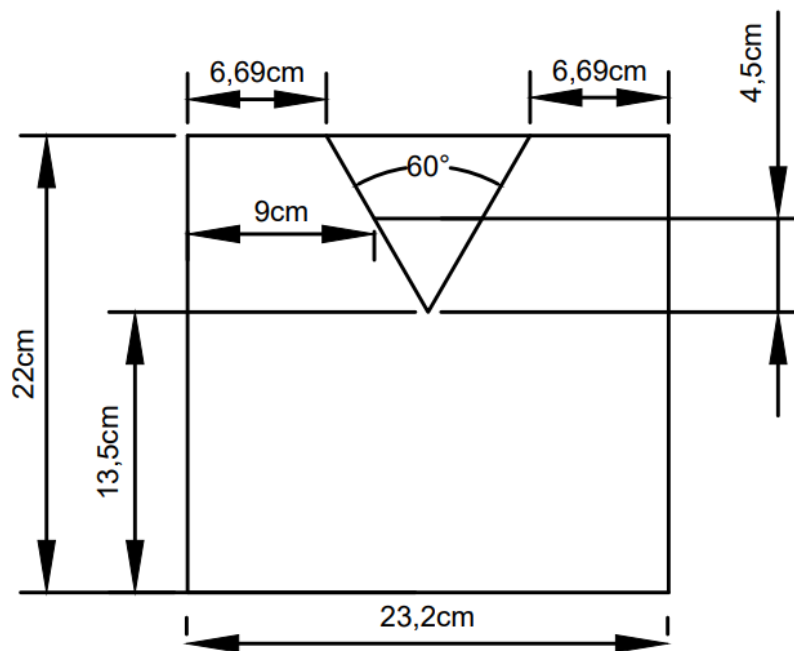
Los resultados del análisis de laboratorio se pueden corroborar, mediante equipos de análisis in situ, como lo es el multiparámetro que nos determina una gran cantidad de parámetros físico - químicos necesarios en este tipo de investigaciones y que nos da un

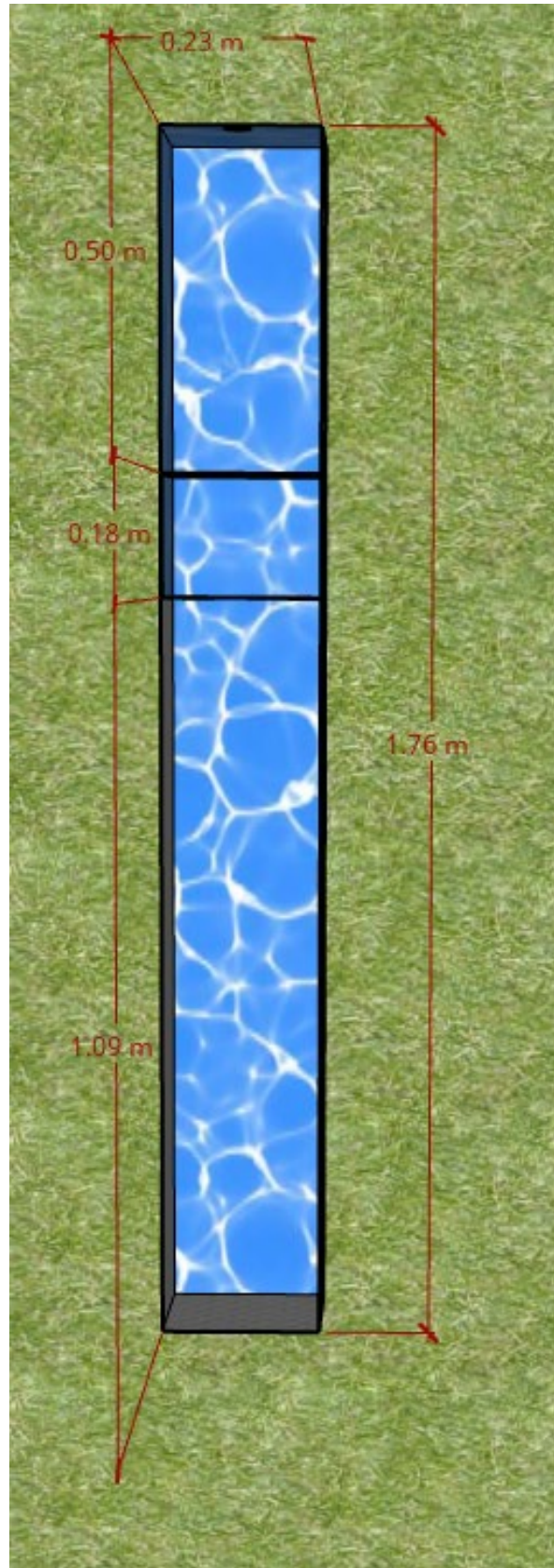
mejor estudio de la calidad del agua. Esto con el fin de evitar errores humanos que se puedan cometer tanto en el transporte y preservación de las muestras que se recolectaron.

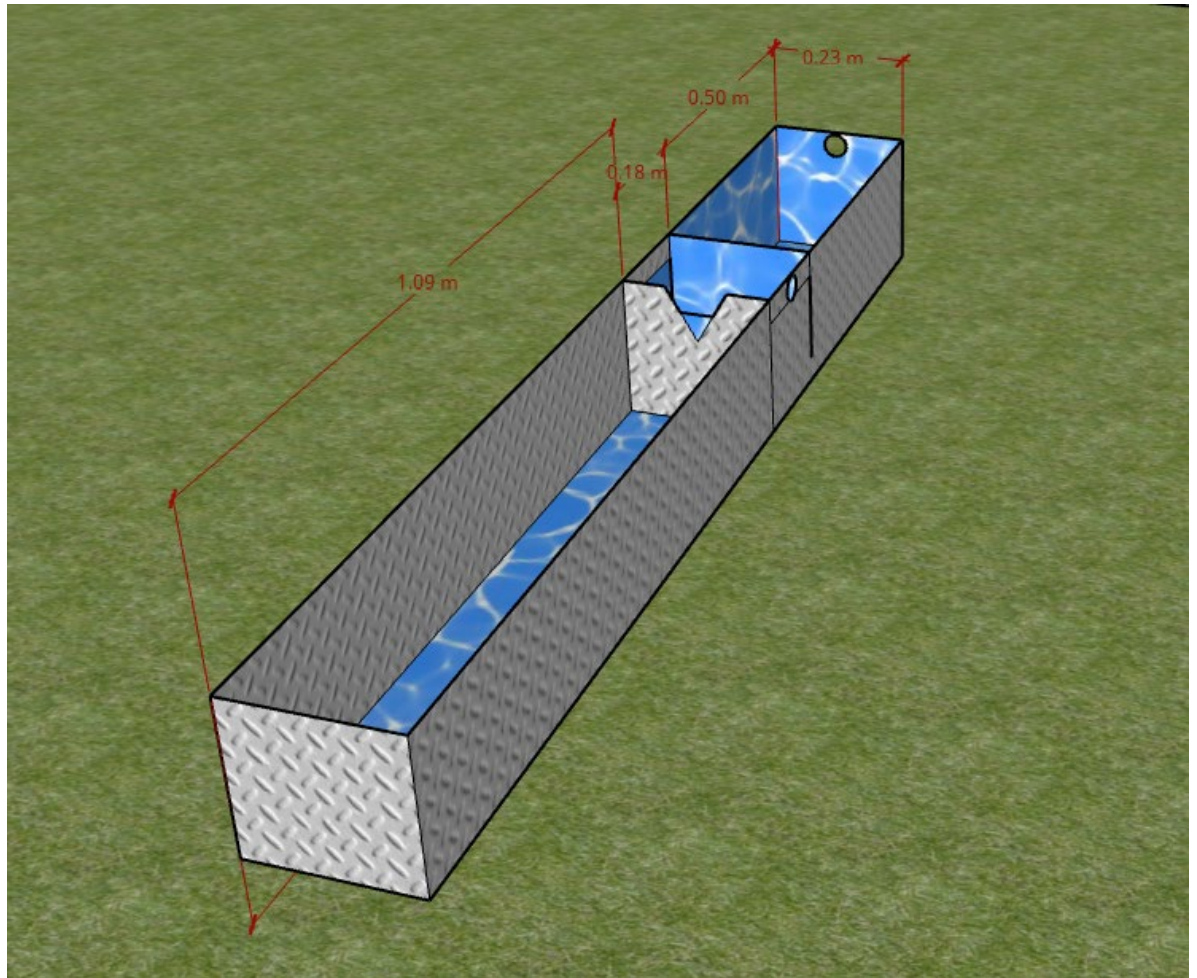
Se recomienda que la fabricación de cada una de las operaciones unitarias sea en acero al carbón, en calibre 14, esto facilita el transporte de materiales al lugar, debido a las condiciones del terreno.

## Anexos

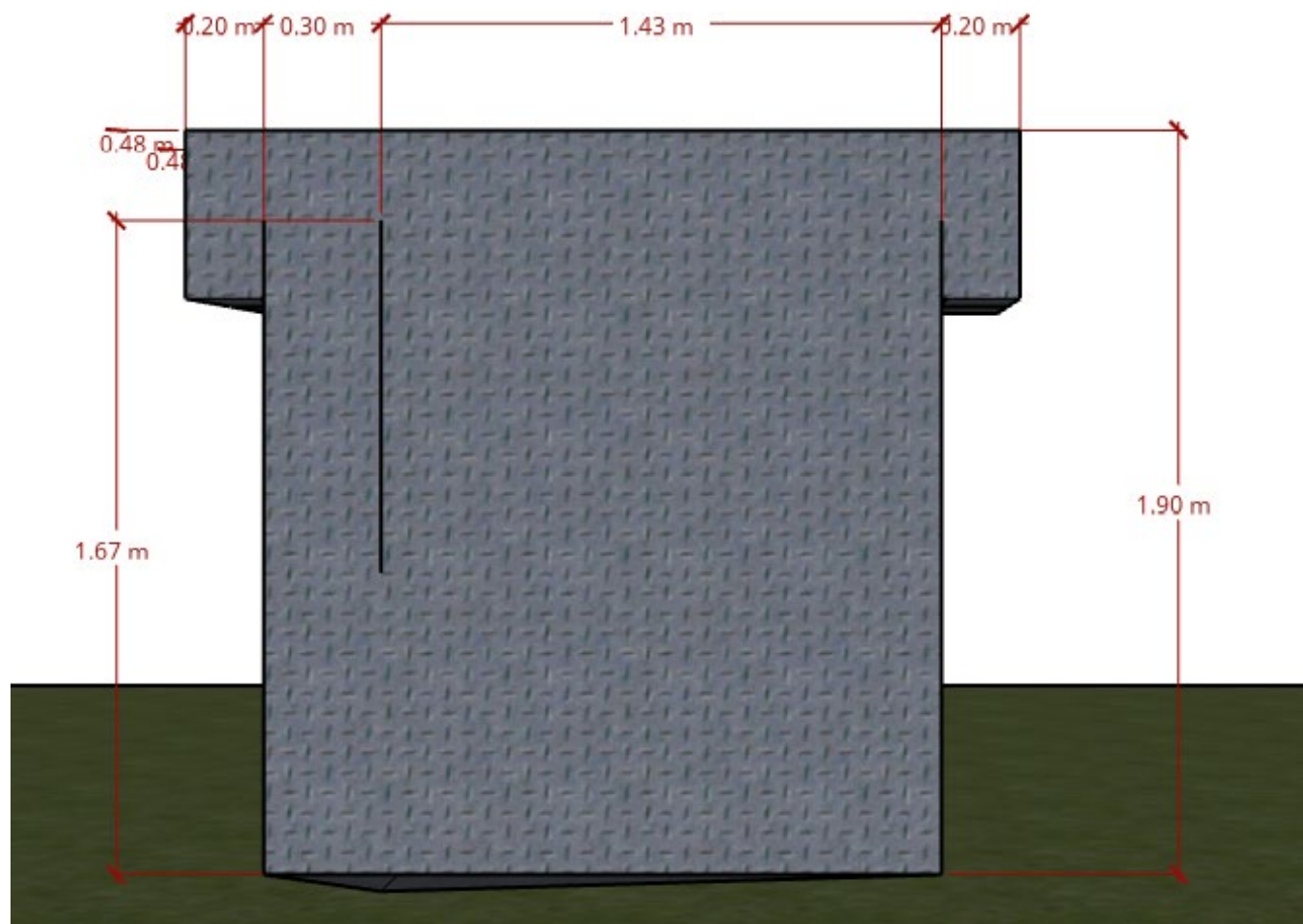
Anexo 1: Mezcla rápida.



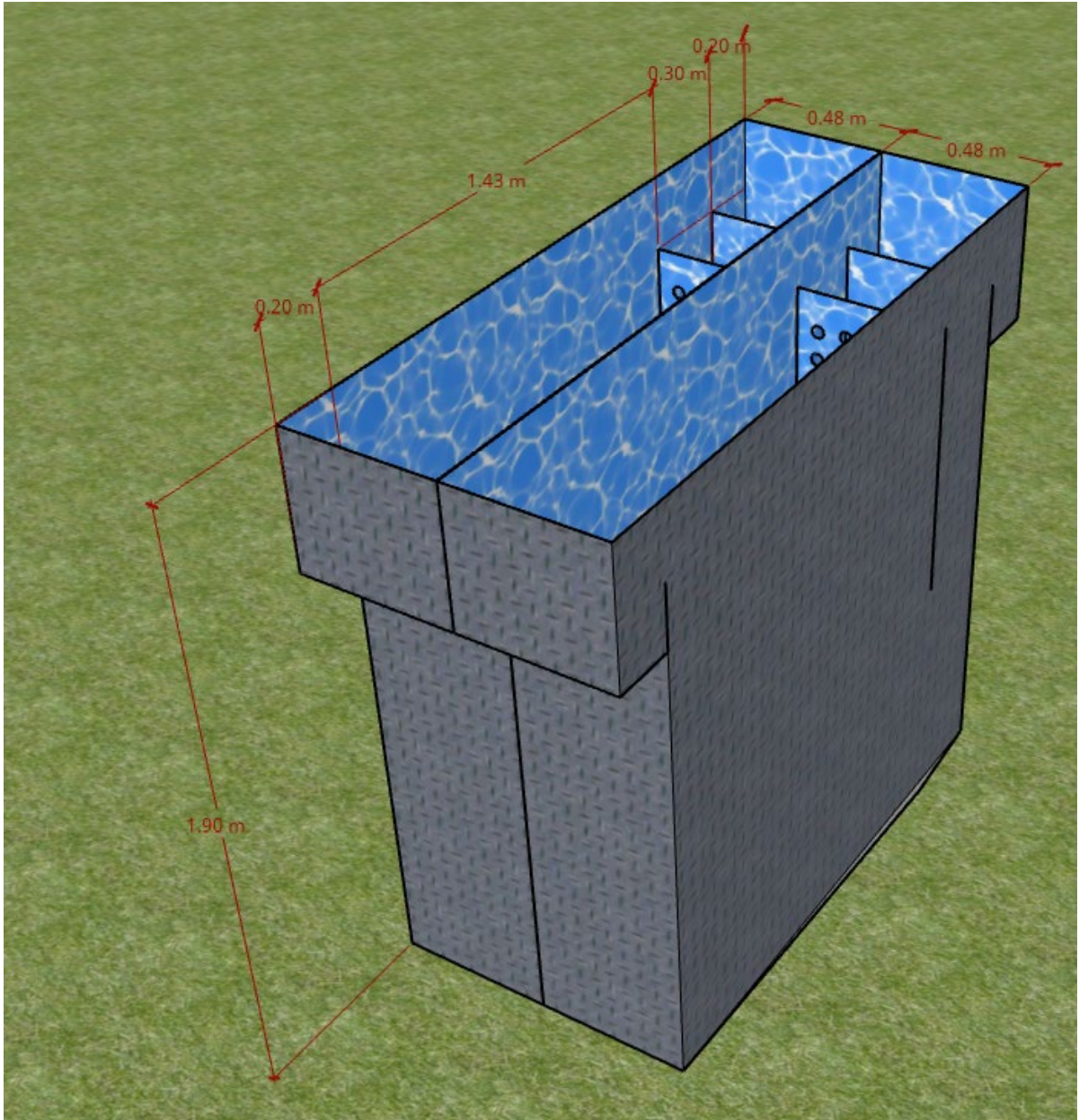


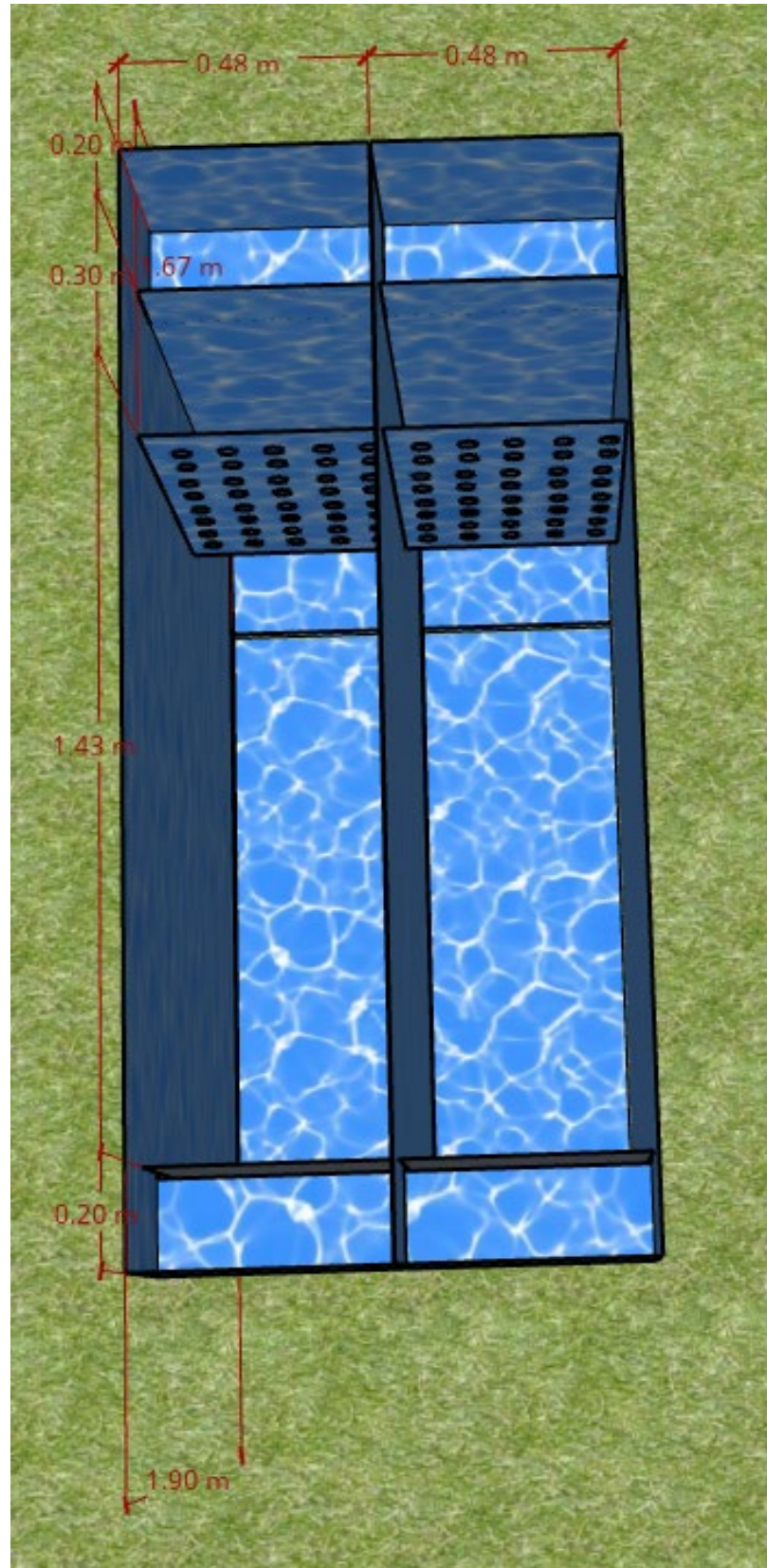


## Anexo 2: Sedimentador

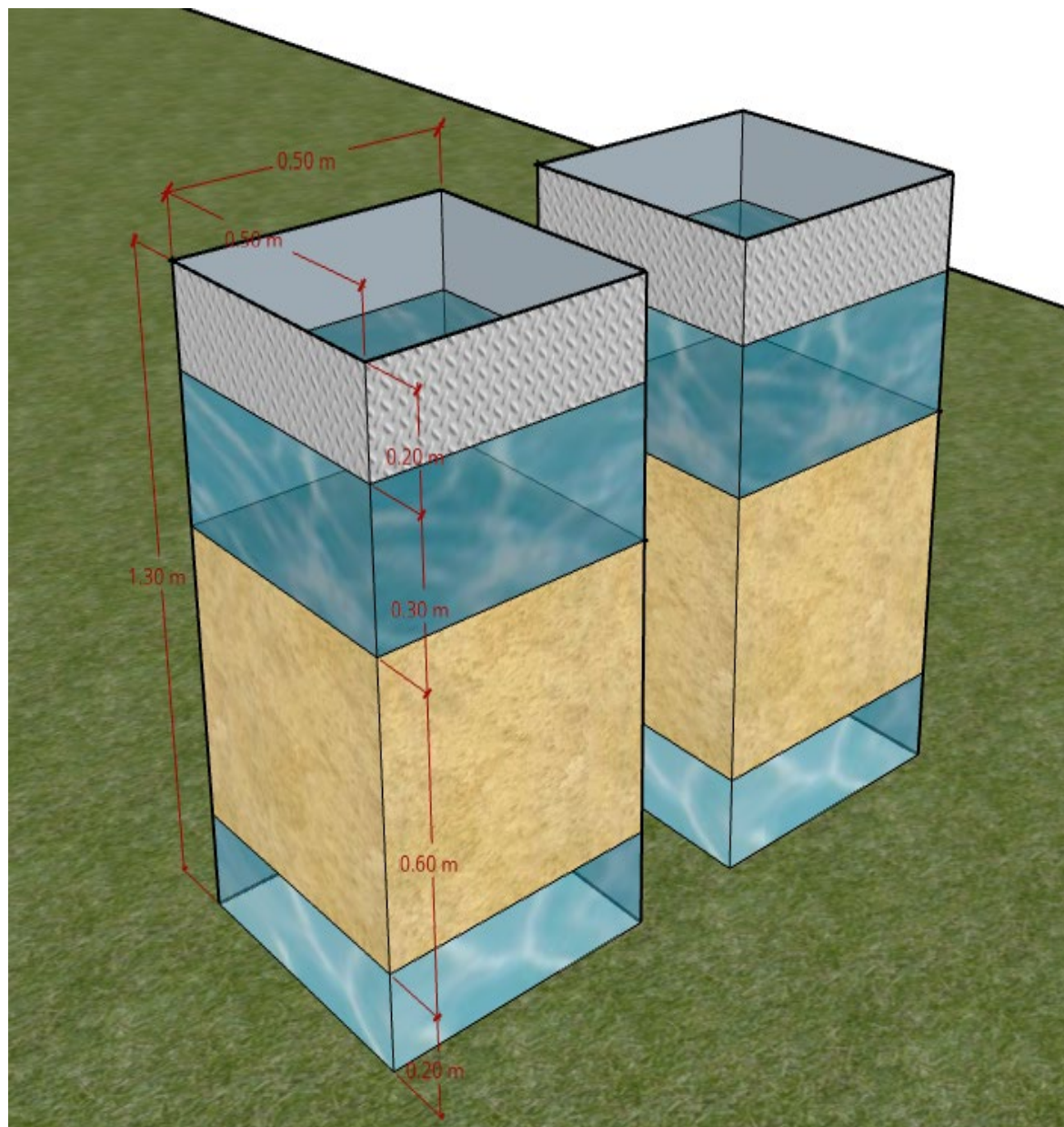


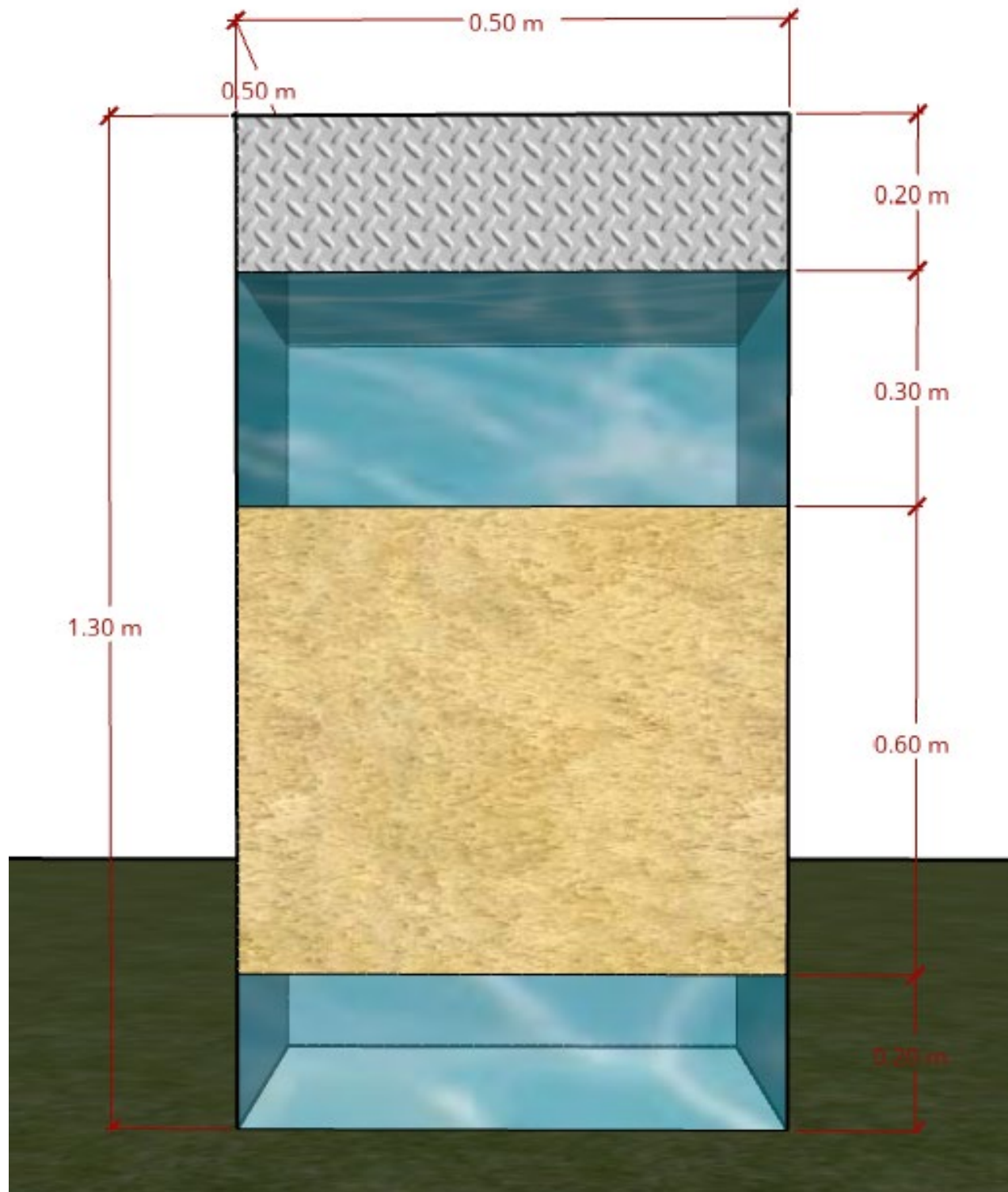






## Anexo 3: Filtración





## Referencias Bibliográficas

- Arboleda, J. (2000). *Teoria y Practica de la Purificación de Agua*.
- Castelblanco Lancheros, I. J., & Orozco Jiménez, M. A. (2020). *Propuesta del diseño preliminar de una planta de potabilización de agua para la vereda Santa Helena en el municipio de La Calera, Cundinamarca*.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)
- Castillo Caldas, C. A. (2019). *Prediseño de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para mejorar la calidad del agua de consumo de los habitantes del municipio de Machtetá*.
- Corregidor Cuevas, C. C., & Torres Martínez, M. Á. (2018). *Optimización del modelo de la PTAP del laboratorio de la universidad católica de Colombia*.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22833/1/TESIS%20PTAP%20COAN%20FINAL%20paz%20y%20salvo%20final.pdf>
- Cruz, J. I. (2019). *Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar Tolima*. [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD].  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/31165/jicruz.pdf?sequence=1>
- Duarte Chaparro, C. E., & Guerrero Tarquino, D. A. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para el municipio de Tipacoque, Boyacá*.  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11177/Proyecto%20de%20Grado%20%28PTAP%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garcia, C. (2013). *Parámetros fisicoquímicos del agua*.  
<http://albeitar.portalveterinaria.com/imprimir-noticia.asp?noti=12664>
- Melo Parra, A., & Herrera Delgado, J. S. (2016). *Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia*.
- Ministerio de la protección social. (2007). *decreto 1575*.
- Ministerio de vivienda. (2013). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico TÍTULO C Sistemas de potabilización*.
- Resolución 0330, (2017).

- Mourato, D. (n.d.). *Microfiltración y nanofiltración en el área del agua potable*. Retrieved March 28, 2022, from <http://www.elaguapotable.com/MICROFILTRACI%C3%93N%20Y%20NANOFILTRACI%C3%93N%20EN%20EL%20%20C3%81REA%20DE%20AGUA%20POTABLE.pdf>
- OASR. (2020). *Arena silica*.
- Portilla Moica, Y. M. (2021). *Diagnóstico para el diseño de planta de tratamiento de agua potable para la Vereda Yunguilla-Municipio de la Florida Departamento de Nariño*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/34545/2021yulianaportilla.pdf?sequence=1>
- Romero Rojas, J. A. (2000). *Purificación del agua* (1st ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2002). *Calidad del Agua* (2nd ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Saavedra, E. O. (2019). *Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable para tres centros poblados del distrito de Ignacio Escudero*.
- Salcedo Rodríguez, F. C. (2008). *Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable*. [UNIVERSIDAD DE SUCRE ]. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/298/628.162R696.pdf;jsessionid=EF103BE4F1D1A2D0BDBF1238569EA5C3?sequence=2>
- Sólidos*. (n.d.). Retrieved January 9, 2022, from <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2082>
- Zamora, D., Salinas, A. R., Rodriguez, M., Segundo, P., Bibiana, V., Rojas, A., Fabiola, M., Mayorga, M., Oswaldo, W., Morales, Z., Enrique, E., Osuna, G., Vega, J. A., Dario, S., Esquivel, A., Rincon, I. T., Dimate, M. S., & Rodriguez, D. E. (2012). *Plan de desarrollo municipal*.