

UNIVERSIDAD EAN

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN – PREGRADO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN MACHETÁ

AUTORES

**STEFANY GONGORA CASTILLO
ANDRÉS FELIPE LOSADA GUALTEROS
ANGIE VALENTINA TORRES TORRES
LAURA VANNESA VARGAS ZONA**

BOGOTÁ, 2021

UNIVERSIDAD EAN

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN – PREGRADO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN MACHETÁ

AUTORES

**STEFANY GONGORA CASTILLO
ANDRÉS FELIPE LOSADA GUALTEROS
ANGIE VALENTINA TORRES TORRES
LAURA VANNESA VARGAS ZONA**

TUTORA

LAURA MANCERA VALETTS

BOGOTÁ, 2021

Tabla de contenido

Lista de ilustraciones	5
Lista de tablas	6
Resumen	7
Abstract	7
Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Problema de investigación	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo general	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
1.3 Justificación	10
1.3.1. Justificación social	10
1.3.2. Justificación teórica	11
1.3.3 Justificación metodológica	12
Capítulo 2. Marco Teórico	14
2.1. Selección de plantas de potabilización	15
2.2 Componentes de una planta de potabilización	15
2.3 Métodos de potabilización del agua	17
2.4 Marco institucional	18
2.5 Estado del arte	20
Capítulo 3. Diseño metodológico	23
3. 1 Enfoque, alcance y diseño de la investigación	23
3.2 Definición de Variables	23
3.3 Población	26
3. 4. Instrumentos para recolección de información	26
3.5. Método de investigación	26
Análisis de resultados	30
Diseño de la planta de la vereda Belén	35
Discusión	49
Conclusiones y trabajo futuro	50
Referencias	52

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Mapa base general de Machetá.	10
Ilustración 2. Tren de tratamiento para una planta de potabilización	16
Ilustración 3. Diagrama de fases de la encuesta	27
Ilustración 4. Diagrama de fases para el diseño de la planta de tratamiento	28
Ilustración 5. Diagrama circular de la pregunta 1: ¿Cuántas personas habitan su hogar?	30
Ilustración 6. Diagrama circular de la pregunta 2: ¿Cuál es el tipo de agua para consumo que llega a su hogar?	31
Ilustración 7. Diagrama circular de la pregunta 3: ¿De donde proviene el agua potable que llega a su hogar?	31
Ilustración 8. Diseño del tren de tratamiento	36

Lista de tablas

Tabla 1. Definición conceptual y operacional de las variables de investigación	24
Tabla 2. Cuantificación de los habitantes de la vereda Belén	32
Tabla 3. Dotación Neta Máxima	33
Tabla 4. Resultados de la caracterización de agua de la quebrada “La Tocola”	34
Tabla 5. Desarenador	37
Tabla 6. Tamaño del tanque de mezcla rápida	38
Tabla 7. Tamaño del tanque de coagulación y floculación	41
Tabla 8. Sedimentador	42
Tabla 9. Filtración	43
Tabla 10. Tanque de Desinfección	44
Tabla 11. Desinfección	45
Tabla 12. Lecho de secado	47

Resumen

Este proyecto consiste en diseñar una planta de potabilización de agua para la comunidad de la vereda Belén del municipio de Macheta, como aporte para dar solución a la problemática de la zona debido a que no cuenta con servicio de acueducto y alcantarillado por parte del municipio. La investigación se trazó con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, para ello se realizó un proceso donde se encuestó a la comunidad con el fin de conocer la cantidad de usuarios que requieren el servicio y posteriormente se tomó una caracterización del agua de la quebrada “La Tocola” para identificar los procesos que darán paso al diseño la planta de tratamiento. Se presentan los resultados obtenidos para el diseño de la planta en el municipio de Machetá conforme a la recolección de datos de los habitantes de la comunidad y la Resolución 2115 de 2007. Al realizarlo se decidió que el tren de tratamiento consistirá en los procesos de desarenado, coagulación y floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Palabras clave: potabilización de agua, calidad de vida, agua potable, tratamiento de agua.

Abstract

This project consists of designing a water purification plant for the community of the Belén village of the Macheta municipality, as a contribution to solve the problems of the area because it does not have an aqueduct and sewerage service by the municipality. The research was drawn up with a quantitative approach and descriptive scope, for this a process was carried out where the community was surveyed in order to know the number of users who require the service and later a characterization of the water of the stream “La Tocola” To identify the processes that will lead to the design of the treatment plant. The results obtained for the design of the plant in the municipality of Machetá are presented according to the collection of data from the inhabitants of the community and Resolution 2115 of 2007. In doing so, it was decided that the treatment train will consist of the processes of desarenado, coagulation and flocculation, sedimentation, filtration and disinfection.

Keywords: water purification, quality of life, drinking water, water treatment.

Capítulo 1. Introducción

1.1 Problema de investigación

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el consumo de agua cruda o contaminada deriva una serie de enfermedades que, en un alto porcentaje de las ocasiones, provocan consecuencias irreversibles y tienen un complicado pronóstico. Algunas de ellas son cólera, hepatitis, fiebres tifoideas, diarrea, poliomielitis, meningitis, esquistosomiasis, malaria y dengue.

En los países menos adelantados, el 22% de los centros sanitarios carecen de fuentes de agua y el 21% de servicios de saneamiento y se calcula que el consumo de agua contaminada provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año (OMS, 2019). La potabilización de agua logra proteger a la población de dicha serie de enfermedades y dolencias, por ello la implementación de este tratamiento y su uso es imprescindible para evitar la propagación de estas. Además de problemas en la salud, en los lugares donde no hay mejora del abastecimiento de agua o del saneamiento y gestión de los recursos hídricos, se identifican grandes falencias en el crecimiento económico de los países, por ende se contribuye en gran medida al aumento de la pobreza.

Belén es una de las veredas del municipio de Machetá (departamento de Cundinamarca) ubicada en la provincia de Almeida, (Colombia), la cual carece de servicio de acueducto y alcantarillado por parte del municipio de Macheta. Machetá es un municipio aledaño a la ciudad de Bogotá que en los últimos años ha presentado un crecimiento poblacional que ha generado el aumento de la demanda del recurso hídrico, el cual se encuentra por doquier en los diversos afloramientos de agua en diferentes zonas del municipio, pero a su vez no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento del agua para que sea apta para la distribución y consumo por parte de los habitantes del municipio. Esto pone en riesgo la salud de los habitantes por las razones presentadas anteriormente, en especial en temporadas de lluvias ya que se presenta turbulencia y posteriormente la mezcla del agua con materia orgánica afecta la calidad del agua, debido a que es captada de una quebrada sin ningún tipo de tratamiento previo al consumo.

Según el Ministerio de Salud (2019) en Boyacá el 10,6% de los municipios tuvieron agua sin riesgo, el 17,1% presentó riesgo bajo, el 35,0% riesgo medio y el 37,4% con un riesgo alto. (p. 88).

El acueducto del municipio tiene alcance solamente para la zona urbana y 7 de sus 23 veredas (Alcaldía Municipal de Macheta, 2015), por tal razón el resto de los residentes del municipio, los cuales son aproximadamente 3344 personas, les toca comprar el agua en bolsas, tomarla directamente de la quebrada sin ningún tipo de tratamiento o adquirirla del municipio vecino desde la planta de tratamiento de agua potable veredal LASOGU, la cual pertenece al municipio de Tibirita, Cundinamarca.

De acuerdo con lo anterior, este trabajo plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo lograr una óptima potabilización y disponibilidad del agua en la quebrada “La Tocola”, según las características fisicoquímicas que posee en su estado crudo?

1. 2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de potabilización que incluya todos los procesos necesarios para que el agua de la quebrada “La Tocola” sea apta para consumo según las características exigidas en el país.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Investigar los procesos referentes al funcionamiento de plantas de potabilización para identificar los posibles tratamientos que se pueden realizar al agua.
2. Cuantificar la población que no cuenta con servicio de agua potable para determinar el caudal requerido para suplir el servicio.
3. Caracterizar el agua de la quebrada “La Tocola” para conocer sus características fisicoquímicas.

4. Analizar el estado del agua, según la caracterización, e identificar qué características superan los máximos permisibles de la normatividad colombiana para agua de consumo.
5. Identificar los componentes para realizar el diseño de la planta de potabilización.

1.3 Justificación

1.3.1. Justificación social

El acceso a agua potable, además de ser un derecho, es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), pues marca como meta garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos dentro de la meta para 2030. (Organización de las Naciones Unidas (ONU), s.f).

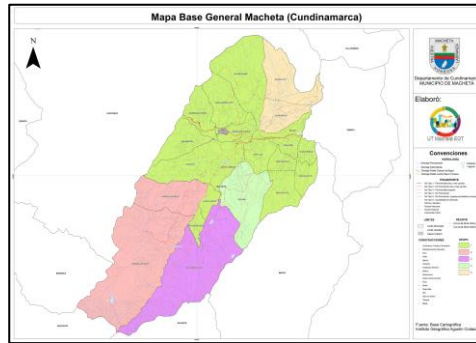
Machetá es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca ubicado en la provincia de Almeidas, a 101 km al noreste de Bogotá. Se encuentra a una altitud media de 2.094 m s. n. m., con una temperatura media anual de 17.8 °C, y una población de 6.663 habitantes.

El municipio de Machetá es conocido como la Puerta de Oro del Valle de Tenza, y tiene los siguientes límites: Norte: Municipio de Chocontá., Sur: Municipios de Guatavita y Gachetá., Oriente: Municipios de Tibirita y Manta., Occidente: Municipios de Chocontá y Sesquilé, como se observa en la ilustración 1. La extensión total del municipio es de 230 km² de los cuales 5,35 km² son área urbana, mientras que el área rural, integrada por 23 veredas, tiene una extensión de 224 km². (Dane, 2009).

En la ilustración 1 se muestra el mapa base General de Machetá, esta imagen es importante debido a que permite localizar el lugar de desarrollo del proyecto.

Ilustración 1.

Mapa base general de Machetá.



Tomado de Base Cartográfica Instituto de Geográfico Agustín Codazzi (s. f)

Belén es una de las veredas del municipio de Machetá (departamento de Cundinamarca) ubicada en la provincia de Almeidas, Colombia. En su mayoría la vereda está compuesta por minifundios dedicados a la agricultura de subsistencia. La vereda se encuentra delimitada al sur por la quebrada “La Tocola” y al este por el río Machetá. En esta vereda el agua para consumo humano es directamente obtenida de la quebrada “La Tocola”.

La quebrada “La Tocola” abastece de agua a la vereda a través de canaletes artesanales y tanques de almacenamiento. El agua es también llevada a la vereda de Guina y al municipio de Guateque (Boyacá), constituyéndose en una de las fuentes hídricas más importantes de la región. Se estima que su velocidad de suministro promedio es de 12 litros por segundo. (Alcaldía de Machetá, 2020)

Esta investigación es importante para la vereda en vista de que mejorará la calidad de vida de los habitantes como se mencionó anteriormente en el problema de investigación son aproximadamente 3344 personas las que no cuentan con el servicio de agua potable incluidos niños, jóvenes, adultos de tercera edad. Esta problemática afecta directamente a la salud de los habitantes debido a que el agua para consumo humano es directamente obtenida de la quebrada “La Tocola”.

1.3.2. Justificación teórica

En Colombia, el suministro de agua para el consumo humano se ha convertido en un problema que afecta principalmente a las zonas rurales la cobertura nacional para el servicio público de acueducto es del 87,54% para el área urbana y del 34,95% para el área rural y la

calidad del agua es muy baja porque únicamente el 15,4% es apta para el consumo humano. (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Para potabilizar el agua, las poblaciones utilizan plantas de tratamiento y una amplia variedad de tecnologías que van desde el simple desbaste o filtración gruesa, los filtros de arena y la desinfección, hasta procesos químicos y mecánicos de gran complejidad. (Casero,2010)

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. Los beneficios principales de este tipo de tratamiento es que tiene la capacidad de eliminar hasta un 90% de los residuos acumulados en el agua ya su vez disminuye potencialmente enfermedades como dengue, malaria, hepatitis, entre otras. La deficiencia sanitaria por el consumo de agua afecta la salud de la población rural en Machetá.

La presente investigación puede ser un componente de literatura que sirva de pilar para otros proyectos, ya que se puede aplicar en el resto de los municipios del país que se encuentran en una situación similar debido a que ayudará a la planeación y desarrollo de los requerimientos necesarios en el tratamiento de potabilización de agua donde se verán beneficiados distintas poblaciones. Además se complementa con la información obtenida por Castillo (2019) ya que en él también se estudia el tratamiento de agua de la quebrada la Tocola.

1.3.3 Justificación metodológica

Para el buen desarrollo de los elementos establecidos que denotan el planteamiento de un sistema de potabilización, es necesario instaurar herramientas que permitan su ejecución y culminación. Como base fundamental, se requiere una sólida aplicación del método científico donde cada una de sus fases beneficie el resultado final, adicionalmente, métodos de investigación tanto cualitativos como cuantitativos serían cruciales para determinar el comportamiento de variables que pueden ser medidas y de aquellas que no, dando una visión íntegra y completa de la problemática.

Los métodos mencionados, garantizan un acercamiento con el cumplimiento de los objetivos específicos que finalmente componen al general describiendo procesos basados en la observación y otros en la medición. Así, los beneficios y limitaciones que deben implementarse, conocer la caracterización del agua, la realización de un análisis de factibilidad, entre otros, serían fines viables y productivos.

Según el trabajo de grado de Carlos Castillo donde se realizó un prediseño de una planta de tratamiento de agua potable para los habitantes de Machetá, se llevó un proceso metodológico de enfoque técnico - práctico, a través de la toma de muestras de agua en el punto de captación con el fin de caracterizarla y evaluar las condiciones de calidad para después escoger el mejor tratamiento posible este proyecto se dividió en tres fases la primera de ellas fue la toma de muestras, en la segunda etapa se realizó la caracterización e interpretación de resultados y en la última etapa se eligió el tratamiento y su respectivo diseño.

Tomando a Pérez (2016) el Diagnóstico y evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Guateque, que es un municipio cercano a Machetá, en su metodología se realizó mediante la inspección, determinación de los puntos críticos, recopilación de información técnica y de normatividad.

Capítulo 2. Marco Teórico

El acceso al agua potable es un derecho fundamental para satisfacer un requerimiento fundamental para el bienestar y la comodidad. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona requiere de 100 litros de agua al día para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene, esto se conoce como demanda per cápita.

Como se mencionaba anteriormente los habitantes de la vereda Belén están consumiendo el agua no tratada de la Quebrada esto puede generar diferentes enfermedades. Según Castillo (2019), las aguas superficiales naturales contienen partículas inorgánicas y orgánicas donde los constituyentes inorgánicos en forma de partículas ingresan al agua superficial mediante procesos de erosión natural y estas partículas orgánicas pueden incluir virus, bacterias, algas, quistes de protozoos y quistes. (p. 27) Ahora, tomando en cuenta la Investigación de Thangaraju y Muthuraj (2020):

En 2015, la Organización Mundial de la Salud informó que 321 niños murieron todos los días por diarrea. A nivel mundial, cada año 1.8 millones de personas, en su mayoría menores de 5 años, mueren solo debido a enfermedades diarreicas que están relacionadas principalmente con el agua.

Esto es indicio de la indispensable gestión que debe ser estructurada e implementada para mitigar y corregir el problema ambiental que posteriormente origina o desencadena problemas a la salud de seres humanos y animales. La correcta potabilización de agua representa cambios significativos que aportan su desarrollo sostenible y garantiza en varios casos la prevención del cáncer u otras enfermedades como las que se evidencian en el informe de la OMS, la liberación de químicos perjudiciales para la salud y la conservación de un medio ambiente limpio y seguro para diferentes especies.

Considerando las opiniones de Hernández y Chaparro (2020), en las zonas rurales el acceso al agua potable es una actividad poco factible, dando como solución la implementación de un sistema autosostenible donde el agua lluvia pueda ser tratada. Esta idea surge como una alternativa para evitar problemas relacionados con el estrés hídrico y la salud pública. (p. 1)

2.1. Selección de plantas de potabilización

Dependiendo de la calidad del agua el tratamiento varía como lo mencionan Palomero y Hernández (2012) la calidad del agua y su tratamiento dependen de la fuente de agua y es muy importante establecer una tarifa de agua que permita el mejor tratamiento del agua y tenga un bajo impacto en los usuarios. El diseño de un sistema de potabilización eficiente que también sea económico exige un estudio de ingeniería detallado basado en la calidad del agua y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida.

Saleem, H y Mian, G (2019) resaltan que los enfoques de evaluación de la calidad del agua basados en índices clasifican la calidad del agua en función de las concentraciones de contaminantes. Complementando lo anterior mencionado, según National Research Council (2006):

“Se conoce que el agua se suministra a los consumidores a través de sistemas de infraestructura interconectados que se denomina sistema de suministro de agua por lo que se concluye que el componente más crítico de los sistemas de suministro de agua es la red de distribución de agua (WDN). Las WDN garantizan que el agua se entregue a los consumidores con una calidad aceptable y con la presión adecuada”

Esto indica que los sistemas son eficientes y necesitan una evaluación preliminar a través de análisis de laboratorio, para determinar variables importantes como los niveles de cloro que soporta para evitar la corrosión de las tuberías que hacen parte del sistema, también, es crucial tener en cuenta un sistema que permita predecir la calidad del agua, a través de una herramienta de gestión para optimizar la calidad del sistema WDN y del servicio que sería brindado por las empresas distribuidoras de agua.

2.2 Componentes de una planta de potabilización

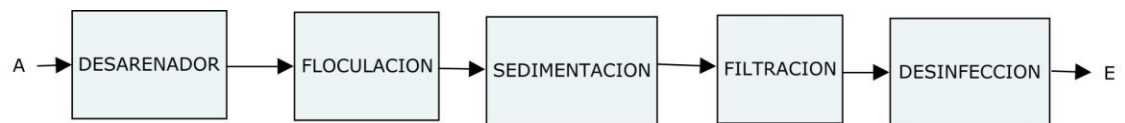
Para realizar el diseño de una planta de potabilización se tiene en cuenta, principalmente, la caracterización del agua de la cual se va a realizar la captación, con ello se

define el sistema adecuado para que el efluente cumpla con requerimientos de la normatividad, que para el caso de Colombia es la resolución 2215 de 2007. Sin embargo, la mayoría de los diseños coinciden con tratamientos básicos que deben estar presentes.

Los elementos comúnmente identificados en la construcción de una planta de potabilización incluyen desarenador, coagulación - floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Estos procesos se llevan a cabo en el orden que se observa en la ilustración 2.

Ilustración 2.

Tren de tratamiento para una planta de potabilización



Fuente: elaboración propia

Se inicia el proceso con el desarenador, este componente está destinado a la remoción de las arenas y sólidos suspendidos en el agua, mediante el proceso de sedimentación mecánica. Este proceso aporta en la disminución de valores de turbidez y color.

Posteriormente, se da paso al proceso de mezcla rápida, este representa las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, en este paso, este elemento es agregado.

A continuación, se da paso a la coagulación - floculación que es una técnica química de tratamiento del agua que se realiza para tratar de aumentar el diámetro de las partículas, haciendo que se agreguen unas a otras y su decantación sea más rápida y efectiva, lo cual con favorecer el siguiente proceso, es decir la sedimentación. Este proceso es clave para el control de valores de hierro y aluminio.

La sedimentación emplea la fuerza de gravedad para que las partículas presentes en el agua se depositen en el fondo de un sedimentador, de donde son extraídas posteriormente. Dicho proceso está gobernado por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan

más fácilmente cuanto mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuanto menor es la viscosidad de este.

El siguiente proceso es el de filtración, este tiene como objetivo eliminar todas aquellas partículas coloidales en el agua. Los coloides son partículas generalmente sólidas muy finas, de diámetro comprendido entre 10^{-9} y 10^{-5} m. Si la sedimentación, que es la etapa de tratamiento anterior, logra eliminar la mayor cantidad de partículas de turbidez, la filtración se verá beneficiada sustancialmente.

Finalmente se lleva a cabo el proceso de desinfección del agua, el cual tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor. La desinfección del agua para consumo humano tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua. Las sustancias más usadas en este punto son: Hipoclorito de sodio (NaClO), Ácido hipocloroso (HClO), Clorito de sodio (NaClO_2) y se define la que se va a usar dependiendo de la caracterización del agua y aspectos económicos y demográficos.

2.3 Métodos de potabilización del agua

Para que el agua lluvia o de fuentes hídricas como ríos y quebradas sea apta para consumo humano, es de gran importancia establecer qué tipo de tratamiento es el adecuado. Según Cahoon, L (2018). los métodos para purificar el agua potable abarcan muchos enfoques, desde relativamente simples hasta tecnológicamente sofisticados y desde técnicas muy utilizadas (cloración) hasta métodos experimentales a escala (p.386).

Por otro lado, García (2021) indica que *los* niveles adecuados de cloro permiten la eliminación inmediata de bacterias y virus dañinos y proporcionan un residuo protector en toda la red de distribución de agua potable (DWDN), convirtiéndolo en uno de los procesos imprescindibles en la potabilización de agua. Complementando al anterior, los autores Jani y Arcos (2020) expresan que sin dejar de lado que se han utilizado diversas formas de carbono

para la filtración por adsorción, electroquímica y con membranas de intercambio iónico para procesos de separación de contaminantes para el tratamiento del agua. (p. 1)

Algunos autores, como Malato, resaltan que la filtración puede actuar efectivamente en la remoción de aproximadamente el 99% de las bacterias en el agua. Además, la filtración puede contribuir en la remoción de partículas y contaminantes solubles, como los sólidos suspendidos totales y las grasas, reduce turbidez y dureza, carbón orgánico disuelto y color y remueve algunos nutrientes como nitritos y nitratos (Master. J et al, 2013). Sin embargo, en 2020, Diana Hernández en su estudio sobre Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano resalta que aunque la filtración resulte ser un buen tratamiento, es necesario que se complemente con el proceso de la desinfección, de modo que se pueda brindar un 100% de seguridad bacteriológica a la comunidad. (Hernández. D, 2020)

La concentración de contaminantes en aguas lluvia, ríos y quebradas es un tema que preocupa a las entidades gubernamentales porque deterioran la calidad hídrica de las fuentes receptoras. Esto llega a tal punto que en varios países, se han iniciado investigaciones y desarrollo de metodologías para tratar este tipo de aguas. Una de estas técnicas es la ejecución de humedales artificiales, y es una de las más aceptadas por su gran eficiencia en la remoción de contaminantes. (Peña, C. y Lara, J., 2012). Por otro lado, en un estudio reciente de Diana Hernández, en el cual se realizó una investigación que consistió en determinar los tratamientos necesarios para que el agua lluvia sea apta para diferentes fines de reutilización, entre estos el consumo humano se sugiere que el filtro de carbón natural y la desinfección solar como las alternativas que presentan una mayor remoción de contaminantes. (Hernández. D, 2020)

2.4 Marco institucional

La actividad económica necesaria para el cumplimiento de los objetivos establecidos para el Tratamiento de Potabilización de Aguas en Mchetá es la captación, tratamiento y distribución de agua (Código CIU 3600), según la Cámara de Comercio de Bogotá, el cual se despliega en una clasificación hecha por la Secretaría de Hacienda Distrital que divide a las actividades en captación y tratamiento de aguas y distribución de agua. Dentro de estas actividades se establece lo siguiente.

Dentro de esta actividad se incluye:

- La operación de canales de irrigación; sin embargo, no están incluidos los servicios de riego a través de aspersores ni servicios similares de apoyo para la agricultura.
- La captación, el tratamiento y la distribución de agua para uso doméstico e industrial. La captación de agua de varias fuentes, así como también su distribución por diversos medios.
- La captación de agua de ríos, lagos, pozos, etc.
- La captación de agua lluvia.
- La potabilización de agua para fines de distribución de agua.
- El tratamiento de agua para uso industrial y otros propósitos relacionados.
- La desalinización de agua de mar o agua subterránea para producir agua como principal producto de interés.
- La distribución de agua mediante redes de tuberías, camiones u otros medios». (Cámara de Comercio, 2008)

Esta actividad excluye:

- La operación de equipo de irrigación para usos agrícolas. Se incluye en la clase 0161, «Actividades de apoyo a la agricultura».
- El tratamiento de aguas residuales. Se incluye en la clase 3700, «Evacuación y tratamiento de aguas residuales».
- El transporte de agua por tuberías (grandes distancias). Se incluye en la clase 4930, «Transporte por tuberías». (Cámara de Comercio, 2008)

Las actividades descritas demuestran el amparo que puede tener la potabilización de agua en el municipio de Machetá y esos aspectos que deben ser contemplados para no incurrir en errores técnicos ni legales en su ejecución.

En cuanto a los nichos de mercado, la potabilización de agua representa gran importancia para sectores varios, partiendo desde personas de bajos recursos hasta escalas

industriales, salud pública, comercio y educación. Tomando en cuenta la opinión de Topalić (2021) para el buen desarrollo de un sistema eficiente de potabilización de aguas se deben evaluar posibles riesgos, el análisis de riesgos proporciona los mejores resultados cuando se realiza al inicio del proyecto, aunque también es importante en otras fases debido a las perturbaciones que ocurren. Adicionalmente, según el artículo sobre el Modelo de evaluación de riesgos para procesos de planificación y diseño de Plantas de tratamiento de aguas residuales publicado en el 2020, es importante enfatizar la identificación de riesgos en la primera fase del proyecto como (elección del inversor, cuestiones financieras, condiciones de ubicación, convenio con empresas de servicios públicos, ambientales, organizaciones, etc.) así como en la fase de diseño.

2.5 Estado del arte

La evolución de la práctica de tratamiento de agua tiene una rica historia de desarrollos empíricos y científicos, y los desafíos que se han superado y superado. (Crittenden. J, 2012). Actualmente existen diversos métodos para el tratamiento de potabilización de aguas. Hay tratamientos físicos, químicos y biológicos los cuales, en su conjunto, conforman el tren de tratamiento necesario para que el agua tratada cumpla con los requerimientos establecidos. Los procesos se escogen dependiendo de la caracterización del agua cruda y el análisis de los componentes que requieren eliminación.

El agua cruda de la quebrada “La Tocola” ha sido analizada en dos estudios en los cuales se realizan pruebas de laboratorio para conocer sus condiciones y avanzar en proyectos de potabilización y saneamiento básico.

El primer estudio se realizó por parte de la asociación “LASOGU” (2018) y con base en ella se diseñó la actual planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tibirita, Cundinamarca.

LASOGU tiene captación de agua de la quebrada “La Tocola”, desde el punto conocido como La Chorrera, una cascada de aproximadamente 25 metros de altura que cuenta con vegetación de bosque andino a sus alrededores. Esta red de acueducto beneficia hasta el

momento a 330 usuarios y su proceso de potabilización incluye tratamientos de floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Este trabajo es importante considerarlo porque nos da una guía real sobre el posible tren de tratamiento que se pretende investigar, el funcionamiento real, el espacio requerido y organización de la planta.

La segunda investigación se realizó por parte de Castillo (2019) uno de los habitantes del municipio de Machetá quien estudió las características del agua de la quebrada “La Tocola” analizando factores de pH, acidez, alcalinidad, dureza y turbidez, en temporada seca y de lluvia. Este estudio teórico- práctico es de alta importancia en la investigación ya que ofrece resultados de pruebas de laboratorio de la quebrada en la cual se plantea realizar la captación.

Otro estudio importante es el realizado por Pérez (2016) en un municipio cercano a Machetá aproximadamente a 40 minutos donde se evaluó la planta de Tratamiento de Agua Potable ubicada en Guateque donde se identificó cuáles son los problemas que impiden su debido funcionamiento, en este trabajo se analizó el funcionamiento y comportamiento hidráulico de cada una de sus partes que la conforman y el objetivo de su investigación es transformar el agua cruda en potable, apta para el consumo humano, en la cual cada proceso debe funcionar eficientemente. Igualmente la Gobernación de Boyacá (2015) realizó un mapa de riesgo para consumo humano de la quebrada La Tocola que es una fuente abastecedora para este municipio donde se determinaron los factores de riesgo para así definir alternativas de mitigación con el fin de garantizar el suministro de agua en condiciones óptimas.

Además del tratamiento que se realiza al agua cruda, se debe estudiar el método de distribución efluente hacia los hogares de los beneficiarios. En las Plantas de tratamiento de agua potable, en especial las que se encuentran en la zona rural, se realizan operaciones de bombeo de forma manual. Sin embargo, esta práctica puede incurrir en errores humanos como por ejemplo el desperdicio de agua y energía consumida por el sistema de bombeo y con ello escasez en el servicio a los usuarios. Es por lo que, como lo sugiere Calderón, et al. (2018) es necesaria una arquitectura tecnológica de bajo costo para la automatización del sistema de bombeo y almacenamiento de agua y propone un prototipo con componentes electrónicos el cual resulta en un correcto accionamiento de la bomba y la alta eficiencia del sistema de

comunicación. Este tipo de metodologías son relevantes en el proyecto ya que se ajustan a plantas de tratamiento de agua potable de pequeña magnitud.

Por otro lado, Montiel, et al. (2019) estudia y presenta los resultados obtenidos de la implementación de tecnologías IoT (Internet de las cosas), aplicadas a la mejora del funcionamiento de un sistema de bombeo hidráulico en comunidades rurales. Este prototipo incluye una plataforma digital y sensores para controlar bombas de suministro de agua y reduce el costo de la automatización.

En conclusión, existen diversos estudios que demuestran que el campo de potabilización de aguas es bastante amplio y hay gran variedad de tratamientos que se pueden realizar. La elección correcta del sistema se hace a través del análisis de las características del agua en su estado natural o crudo el cual se efectúa con pruebas de laboratorio para elegir el proceso indicado y dar al usuario un producto final que cumpla con la legislación vigente y con el caudal adecuado para satisfacer las necesidades diarias.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Enfoque, alcance y diseño de la investigación

Tomando en cuenta el objetivo general de la presentación investigación el cual se enfoca en diseñar un sistema de potabilización que incluya todos los procesos necesarios para que el agua de la quebrada “La Tocola” sea apta para consumo según las características exigidas en el país, mediante un sistema de potabilización, se propone una investigación con enfoque cuantitativo que parte de una caracterización del agua de la vereda Belén donde se indicarán las concentraciones y cantidades de las propiedades que se deben usar para llevar agua potable a las personas que requieran.

Por otro lado, el alcance de la investigación se ha trazado carácter descriptivo dado que se analizarán características fundamentales como lo son pH, turbidez, color, hierro y aluminio, tomando en cuenta la caracterización de agua ofrecidas por LASOGU y a partir de estas características se plantea un diseño de la planta de tratamiento de agua con las necesidades requeridas en la vereda Belén. La investigación puede ser trabajada en el futuro con el fin de alcanzar un carácter explicativo. De igual manera se van a describir los componentes necesarios que conformarán el diseño de la planta de potabilización.

Cabe destacar que la investigación es no experimental, dado que se reconocerán las características principales del agua de la quebrada “La Tocola” mediante el uso de un estudio ya existente en el que se muestran las propiedades del agua.

3.2 Definición de Variables

Las variables involucradas en la elaboración del documento son:

Como variables independientes se identifican

- a. El número de **usuarios que no cuentan con acceso a agua potable** desde el municipio de Macheta y que potencialmente harán uso del servicio.
- b. **La caracterización del agua**, es decir el estado del agua en su estado natural o crudo em parámetros de pH, Turbidez, Color, Hierro y Aluminio.

En cuanto a las variables dependientes se encuentran:

- a. El **proceso de potabilización**, debido a que depende de los resultados de la caracterización del agua, pues en base a estos se decide que tratamiento se puede realizar.
- b. El **caudal de agua** que ingresa en la bocatoma de la planta, ya que este depende de la cantidad de usuarios que requieren el servicio.

Considerando las variables dependientes e independientes en la presente investigación es necesario identificar las definiciones conceptuales y operacionales, como se aprecia en la Tabla 1, puesto que son importantes para este estudio debido a que nos permite conocer la manera en la que serán medidas.

Tabla 1.

Definición conceptual y operacional de las variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Usuarios que no cuentan con acceso a agua potable	Según la OMS alrededor de 3 de cada 10 personas, carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar, y 6 de cada 10, o 4500 millones, carecen de un saneamiento seguro. (2017)	Número de habitantes de la vereda Belén en el Municipio de Machetá que no tengan acceso a agua potable.

Caracterización del agua	Identificar a través del análisis de variables físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas el estado del recurso hídrico en el ambiente y así cuantificar los contaminantes presentes con el fin de diseñar un sistema de tratamiento.	Medición de pH, turbidez, color, presencia de hierro y aluminio.
Proceso de potabilización	Serie de tratamientos controlados que se realizan al agua cruda para que pueda ser consumida por el ser humano sin que presente un riesgo para la salud.	Es dependiente de la caracterización de agua y los valores de referencia de la normatividad colombiana, específicamente la Resolución 2115 de 2007.
Caudal del agua (Q)	Es el volumen del agua que atraviesa una superficie durante un tiempo determinado. Con relación al tratamiento de aguas de expresa en litros/segundo.	Teniendo el número de usuarios a suplir se realiza el siguiente cálculo: $Q = \frac{D}{86400 \text{ s/d}} \cdot U$ Donde: Q: Caudal de entrada requerido D: Dotación Neta Máxima. U: Número de usuarios

Fuente: Elaboración propia

3.3 Población

- a. La población de esta investigación es el agua de la quebrada la Tocola.

3. 4. Instrumentos para recolección de información

Para la recolección de la información se tiene en cuenta que existen cuatro variables dentro de la investigación. En la presente investigación se hará uso de los siguientes instrumentos:

a. Encuesta: Se aplicará en todos los hogares de la vereda Belén con el fin de cuantificar cuántas personas no tienen acceso al agua potable y en caso de que si lo tengan, se espera conocer la procedencia de la misma. Esto para identificar la cantidad de la población machetuna que hace uso de agua de la planta de potabilización del municipio de Tibirita y que también podrían beneficiarse si se implementa el diseño que se va a proponer. Las preguntas que conforman la encuesta son las siguientes:

1. ¿Cuántas personas habitan en su hogar?
2. ¿Cuál es el tipo de agua para consumo que llega a su hogar?
3. ¿De dónde proviene el agua potable que llega a su hogar?

Se formularon este par de preguntas cortas y concisas ya que son suficientes para calcular el caudal requerido para satisfacer la demanda y así realizar cálculos de sustancias requeridas y tamaños de los equipos que se deben incluir en el diseño de la planta. Además permite conocer la cantidad de hogares que obtienen agua potable de la planta de tratamiento LASOGU ubicada en Tibirita, Cundinamarca.

b. Caracterización del agua cruda: Se toma la caracterización del agua cruda dadas por la LASOGU que es la asociación de usuarios del Acueducto de las veredas de La Laguna, Socuata y Gusvita del Municipio de Tibirita donde se especifican el pH, turbidez, color, hierro y aluminio.

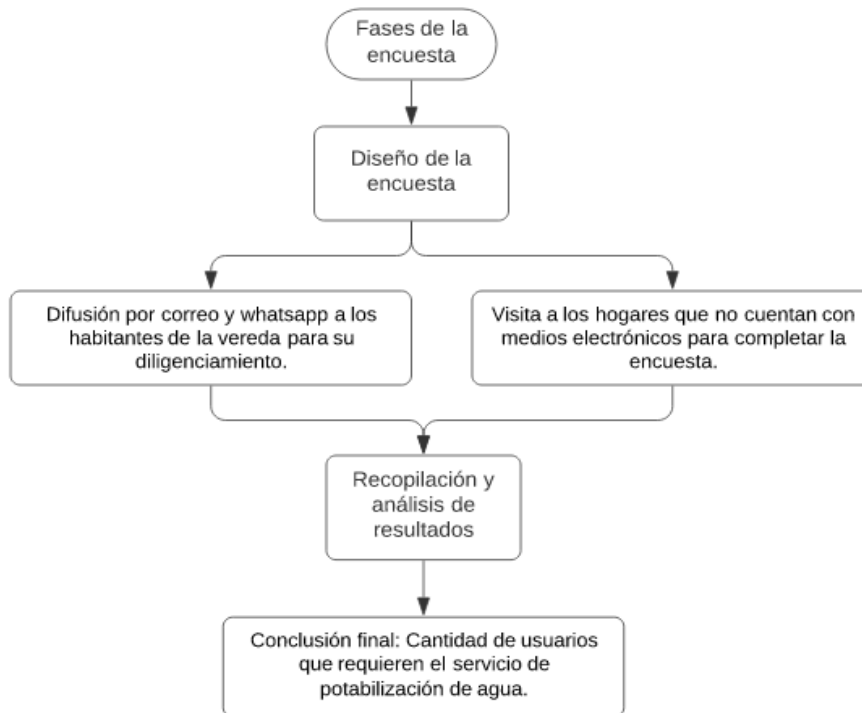
3.5. Método de investigación

Para llevar a cabo lo planteado tanto en el objetivo general y específicos, los pasos a seguir son los que se expresan en los siguientes diagramas:

a. Fases de la Encuesta:

Ilustración 3.

Diagrama de fases de la encuesta

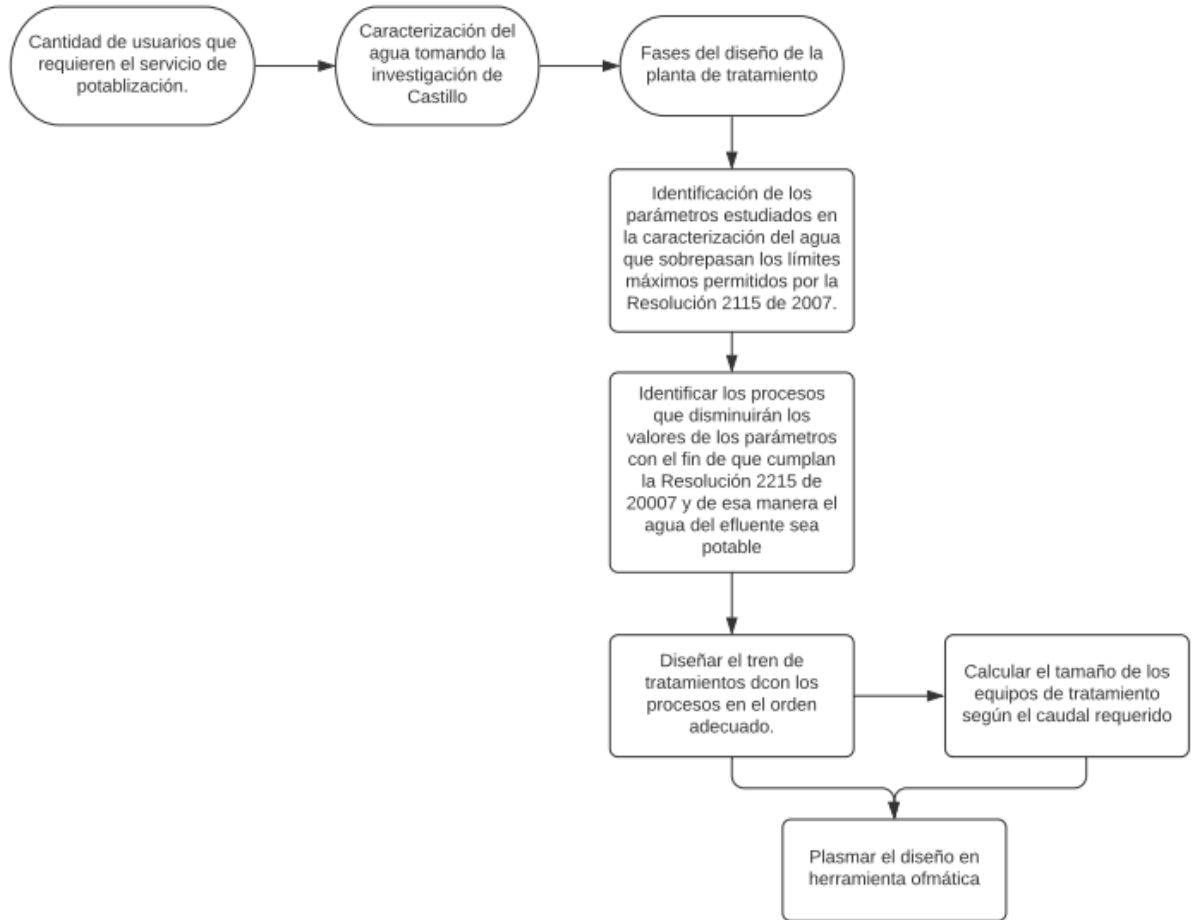


Fuente: Elaboración propia

b. Fases del diseño de la planta de tratamiento

Ilustración 4.

Diagrama de fases para el diseño de la planta de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

3.6. Procesamiento y análisis de datos

La herramienta principal para el correcto procesamiento de los datos serán las Hojas de Cálculo de Google Drive, en vista de que permite analizar y comprender con gran facilidad la información recolectada en la encuesta a través de tablas y gráficas que puedan sintetizar la información otorgada. En cuanto a la caracterización del agua, se establece que el análisis se llevará a cabo a través de un laboratorio que cuente con las herramientas y equipos adecuados con el fin de determinar las variables planteadas en la etapa de diseño metodológico, para posteriormente dar paso a la fase de diseño.

a. Encuesta

1. Conteo: para cuantificar los usuarios que requieren el servicio de agua potable en la vereda Belén.
2. Aplicación de la ecuación de caudal: Para calcular el flujo de ingreso de agua que se requiere en el proceso de tratamiento y cumplimiento de la demanda detectada con el resultado de la encuesta.

b. Caracterización del agua

1. Estructuración de los resultados de los análisis de las propiedades del agua de la quebrada “La Tocola” dadas por la asociación LASOGU. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
2. Identificar los aspectos estudiados, (pH, turbidez, color, hierro y aluminio), que superan los límites permisibles en la resolución anteriormente mencionada.
3. Seleccionar los procesos de tratamiento de agua que se ajustan a las necesidades del agua en cuestión, es decir los que logran ajustar los valores de que superan los máximos permisibles para que el agua sea apta para consumo humano.
4. Definir el orden correcto de los procesos y diseñar el tren de tratamiento para potabilizar el agua de la quebrada.

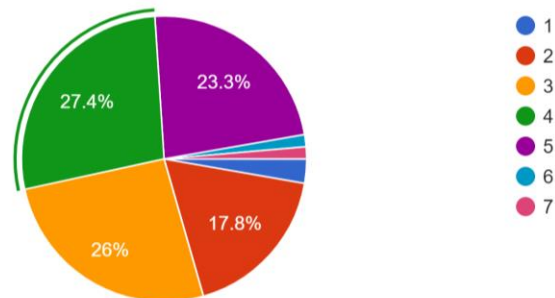
Análisis de resultados

Relacionando el número de personas que no cuentan con agua potable en la vereda, se muestra el análisis correspondiente a los datos recolectados, aquí son abordados resultados inherentes a la caracterización del agua, la encuesta dirigida a la vereda Belén y el diseño de la planta de potabilización que tiene como finalidad incluir todos los procesos necesarios para que el agua de la quebrada “La Tocola” sea apta para consumo según las características exigidas en el país. El análisis se despliega a través de diagramas, tablas, cifras y aplicación de ecuaciones que dan soporte a los resultados obtenidos.

Se aplicó la encuesta a todos los hogares de la vereda Belén y se obtuvo un total de 73 respuestas. Los resultados de esta se aprecian en las ilustraciones 5, 6 y 7.

Ilustración 5.

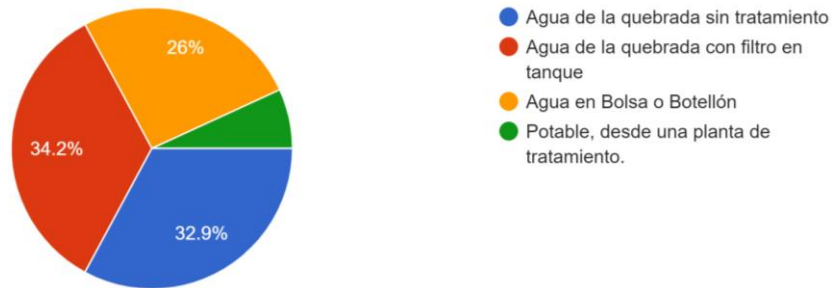
Diagrama circular de la pregunta 1: ¿Cuántas personas habitan su hogar?



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6.

Diagrama circular de la pregunta 2: ¿Cuál es el tipo de agua para consumo que llega a su hogar?



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7.

Diagrama circular de la pregunta 3: ¿De dónde proviene el agua potable que llega a su hogar?



Fuente: Elaboración propia

Para revisar los resultados totales y detallados obtenidos en la encuesta ver Anexo 1.

Con los datos obtenidos en la encuesta, se realizó un conteo para determinar la cantidad de habitantes de la vereda Belén. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 2.

Cuantificación de los habitantes de la vereda Belén

Cantidad de habitantes	Cantidad de respuestas obtenidas	Total habitantes
1	2	2
2	13	26
3	19	57
4	20	80
5	17	85
6	1	6
7	1	7
Total habitantes de la vereda Belén		263

Fuente: Elaboración propia

De los 73 hogares encuestados, tan solo 5 cuentan con acceso a agua potable, esto equivale a 19 habitantes, según los resultados. Por lo tanto, la cantidad de usuarios que requieren el servicio de una planta de tratamiento agua potable en la vereda Belén es de **244 personas**, residentes de **68 hogares**, cuya agua para consumo proviene actualmente de tres diferentes fuentes: Agua de la quebrada sin tratamiento, agua de la quebrada con filtro en estanque o agua en bolsa o botellón.

Conociendo la cantidad de usuarios que requieren el servicio de una planta de tratamiento agua potable en la vereda Belén, se hace uso de la ecuación de caudal con el fin de calcular el flujo de ingreso de agua que se requiere en el proceso de tratamiento para cumplir la demanda.

$$Q = \frac{D}{86400 \text{ s/d}} \cdot U$$

Donde:

Q: Caudal de entrada requerido

D: Dotación Neta Máxima.

U: Número de usuarios

Inicialmente se debe conocer la Dotación Neta Máxima, es decir la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. Estos datos se extraen de la normatividad vigente de la nación. Para efectos de la investigación se toman los valores de referencia de la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Según dicha resolución, la Dotación Neta Máxima no deberá superar los valores establecidos en la Tabla 3, dependiendo de la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida (lt/hab*día).

Tabla 3.

Dotación Neta Máxima

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida (l/hab*día)	Dotación Neta Máxima (lt/hab*día)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Tomado de la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Como se mencionó al inicio de la investigación, el Municipio de Machetá se encuentra a una altitud media de 2.094 m.s.n.m., por lo cual el valor de Dotación Neta Máxima que se adoptó es de 120 lt/hab*día.

Entonces, el Caudal de Dotación Máxima (QDM), será:

$$QDM = \frac{D}{86400 \text{ s/d}} \cdot U$$

$$QDM = \frac{120 \text{ lt /hab.d}}{86400 \text{ s/d}} \cdot 244 \text{ hab}$$

$$QDM = 0.34 \text{ lt/s}$$

Ahora bien, el caudal de diseño de una Planta de tratamiento de agua según la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, deberá ser hasta dos veces el Caudal de Dotación Máxima. Esto se debe a que la captación se realiza en una fuente superficial.

Entonces, el caudal teórico de diseño será:

$$Q = 0.34 \text{ lt/s} \cdot 2$$

$$Q = 0.68 \text{ lt/s}$$

Mediante el procesamiento de la información se pueden implementar estrategias que permitan determinar potencialidades, usos, indicadores, riesgos y amenazas alrededor del recurso hídrico. Los monitoreos permiten identificar mediante el análisis de variables físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas el estado (cantidad y calidad) del recurso hídrico en el ambiente. Con el fin de plasmar los resultados arrojados para la caracterización del agua de la quebrada la Tocola, se despliegan las siguientes tablas que muestran datos cruciales como el parámetro que será medido, el máximo permisible y los resultados obtenidos.

Tabla 4.

Resultados de la caracterización de agua de la quebrada "La Tocola"

Caracterización Del Agua De La Quebrada "La Tocola"			
Parámetro	Expresado Como	Máximo Permisible (Resolución 2115 De 2007)	Resultado
pH	UND	6.5 - 9.0	6.9
Turbidez	Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT)	2	8.15

Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	239
Hierro Total	Fe	0.3	0.57
Aluminio	Al ³⁺	0.2	0.01

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la caracterización del agua de la quebrada “La Tocola” se concluye que los procesos requeridos para potabilizar esta agua serán:

- Desarenado
- Mezcla rápida
- Coagulación - floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

Esto con el fin de disminuir los valores de turbidez, color y hierro, de esa manera cumplir con los requerimientos de la resolución 2215 de 2007.

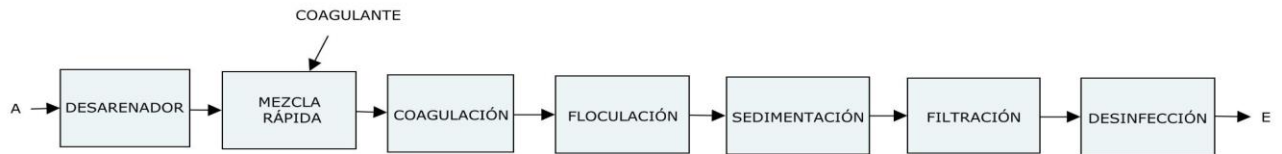
Diseño de la planta de la vereda Belén

Se tiene que el caudal teórico de diseño es de 0.68 lt/s, sin embargo para la práctica es un flujo muy pequeño para el tamaño real de los equipos y procesos de potabilización, es por ello que para el diseño desarrollado en el presente documento se tomará un caudal de 2 lt /seg.

Inicialmente se realizó el diseño del tren de tratamiento para la planta de potabilización teniendo en cuenta los procesos requeridos, el modelo se presenta en la ilustración 8.

Ilustración 8.

Diseño del tren de tratamiento



Fuente. Elaboración propia

1. Desarenador:

A continuación se presentan los cálculos para el desarrollo del proceso de desarenado de la planta, para ello se hallaron los valores de Área (S), volumen (V), profundidad, largo y ancho.

Para el caudal de 2 lt/seg, se asumirá como carga hidráulica (Ch) $40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ un tiempo de retención (Ts) de 5 min, según valores de referencia de la normatividad colombiana.

a. Area (S)

$$S = \frac{Q_{max}}{Ch}$$

$$S = 2 \frac{lt}{seg} \cdot \frac{m^2h}{40 m^3} \cdot \frac{3600 seg}{1h} \cdot \frac{1m^3}{1000 lt} = 0.24 m^2 = 2400cm^3$$

b. Volumen (V)

$$V = Q \cdot Ts$$

$$V = 2 \frac{lt}{seg} \cdot 5 min \cdot \frac{60 seg}{1 min} = 600 lt = 0.6m^3$$

c. Profundidad (H)

$$H = \frac{V}{S}$$

$$H = \frac{0.6m^3}{0.24m^2} = 2.5 m$$

El resultado es adecuado ya que el rango de profundidad para desarmador va desde 1.5 m hasta 3.5 m.

d. Largo (L) y ancho (A)

$$\frac{L}{A} = 4$$

Teniendo en cuenta la ecuación anterior se define que el largo será de 100 cm y el ancho de 24 cm, teóricamente.

Para el desarenador se calculó que el área del mismo es de 0,24 m², logrando que tenga capacidad para trabajar el caudal de 2 l/s que se tomará de la quebrada, con una carga hidráulica de 30 m³/m²h y un tiempo de retención de 5 min. Los cálculos correspondientes se observan en la tabla 6.

Tabla 5.

Desarenador

Q=	2	l/s
Ch=	30	
Ts=	5	min

Area (S)	
0.24	m ²
2400	cm ²
Volumen (V)	
600	Lt
0.6	m ³
Profundidad (H)	
2.5	m

Largo	
100	<i>cm</i>
Ancho	
24	<i>cm</i>

Fuente. Elaboración propia.

2. Mezcla rápida

Se realiza el diseño del tanque de mezcla rápida, en el cual se adiciona el coagulante o específico y se realiza la agitación durante un minuto, con lo cual se establece que el volumen del mismo debe ser de 120 Litros, pues el caudal es de 2 lt/seg, ocupando un área superficial de 0.25 m^2 , como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6.

Tamaño del tanque de mezcla rápida

Tamaño del tanque		
Q=	2	lt/s
Ts=	60	Seg

Volumen	
0.12	m^3
120	L
Profundidad	
0.5	<i>m</i>
50	<i>cm</i>
Largo	
0.5	<i>m</i>
50	<i>cm</i>
Ancho	
0.5	<i>m</i>
50	<i>cm</i>

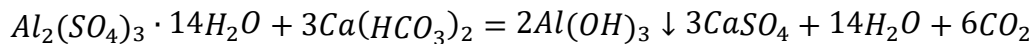
Área Superficial	
0.25	m ²

Fuente. Elaboración propia.

3. Coagulación - Floculación

Para el caudal de 2 lt/seg, se usará como coagulante una dosis de 25 mg/l de Sulfato de Aluminio, conocido también como Alumbre, este coagulante se escogió debido a que es económico, accesible, fácil de usar, genera menor cantidad de lodos húmedos y secos, es decir residuos del proceso, y produce menor cantidad de CO₂.

La reacción es la siguiente:



a. Alcalinidad consumida:

$$Al_2(SO_4)_3 = 342.15 \text{ g/mol}$$

$$14H_2O = \frac{18.01g}{mol} \cdot 14 = 252.14g/mol$$

$$Total = 594.29 \text{ g/mol}$$

Entonces, 594.29 g de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ consumen 300 g de $CaCO_3$ de alcalinidad, por lo tanto la alcalinidad consumida es de:

$$\frac{25 \frac{mg}{l} \cdot 300 \frac{g}{mol}}{594.29 \frac{g}{mol}} = 12.62 \frac{mg}{l} CaCO_3$$

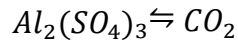
El consumo mensual será:

$$12.62 \frac{mg}{l} \cdot 2 \frac{l}{seg} \cdot \frac{1kg}{10^6mg} \cdot \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 62.42 \frac{kg}{mes}$$

b. Consumo mensual de Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$

$$25 \frac{mg}{l} \cdot 2 \frac{l}{seg} \cdot \frac{1kg}{10^6mg} \cdot \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 129.6 \frac{kg}{mes}$$

c. CO_2 producido



$$25 \frac{mg}{l} Al_2(SO_4)_3 \cdot \frac{1 \text{ mmol } Al_2(SO_4)_3}{594.29 \text{ mg}} = 0.042 \text{ mol}$$

$$0.042 \text{ mmol } Al_2(SO_4)_3 \cdot 6 = 0.252 \text{ mmol } CO_2, \text{ por cada litro.}$$

$$0.252 \frac{\text{mmol } CO_2}{l} \cdot 2 \frac{l}{\text{seg}} \cdot \frac{44.01 \text{ mg}}{\text{mmol } CO_2} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 57.4 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

d. Masa de lodo seco producido

Según la reacción, previamente especificada, 594.29 g de Alumbre producen 156 g de $2Al(OH)_3$ (Hidróxido de Aluminio), por lo tanto la masa de lodo seco será:

$$\frac{25 \frac{mg}{l} \cdot 156 \frac{g}{mol}}{594.29 \frac{g}{mol}} = 6.56 \frac{mg}{l}$$

Es decir que la masa de lodo seco producido cada mes será:

$$6.56 \frac{mg}{l} \cdot 2 \frac{l}{\text{seg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 34.0 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

e. Masa de lodo húmedo

Para una planta de potabilización se supone un 2,5% de humedad, entonces la masa de lodo húmedo será:

$$\frac{6.56 \frac{mg}{l}}{0.025} = 262.4$$

Es decir que la masa de lodo seco húmedo cada mes será:

$$262.4 \frac{mg}{l} \cdot 2 \frac{l}{seg} \cdot \frac{1kg}{10^6mg} \cdot \frac{86400 seg}{1dia} \cdot \frac{30 dia}{1 mes} \cdot \frac{10^{-3}Ton}{1 kg} = 1.36 \frac{Ton}{mes}$$

Para el tamaño de los tanques de coagulación floculación se realizaron los cálculos expuestos en la Tabla 7.

Tabla 7.

Tamaño del tanque de coagulación y floculación

Tamaño del tanque		
Q=	2	lt/s
Ts=	15	min

Volumen	
1.8	<i>m</i> ³
1800	L
Profundidad	
4	<i>m</i>
400	<i>cm</i>
Largo	
1	<i>m</i>
100	<i>cm</i>
Ancho	
0.5	<i>m</i>

50	<i>cm</i>
Área Superficial	
0.5	<i>m²</i>

Fuente. Elaboración propia.

4. Sedimentador

Para hallar el tamaño necesario del sedimentador, se manejó un tiempo de retención de 15 min y una profundidad de 4 m. Lo cual da como resultado un tanque de 1.8 *m³* de volumen el cual ocupará un área superficial de 0.5 m, tal como se expresa en la Tabla 8.

Tabla 8.

Sedimentador

Tamaño del tanque		
Q=	2	lt/s
Ts=	15	Min

Volumen	
1.8	<i>m³</i>
1800	L
Profundidad	
4	<i>m</i>
400	<i>cm</i>
Largo	
1	<i>m</i>
100	<i>cm</i>
Ancho	
0.5	<i>m</i>
50	<i>cm</i>
Área Superficial	

0.5	m^2
-----	-------

Fuente. Elaboración propia.

5. Filtración

Para hallar el tamaño del tanque de filtración se empleó el mismo método del sedimentador, pero con tiempo de retención de un minuto. Esto arrojó que se requiere un volumen de $0,12 m^3$, el cual ocupa un área superficial de $0,16 m^2$. Los resultados se aprecian en la Tabla 9.

Tabla 9.

Filtración

Tamaño del tanque		
Q=	2	lt/s
Ts=	1	min

Volumen	
0.12	m^3
120	L
Profundidad	
0.9	m
90	cm
Largo	
0.4	m
40	cm
Ancho	
0.4	m
40	cm
Área Superficial	

0.15	m^2
------	-------

Fuente. Elaboración propia.

6. Desinfección

Para el proceso de desinfección de la planta de potabilización para la vereda Belén, se plantea el uso de Hipoclorito de Sodio solución líquida ($NaClO$), esto debido a que presenta varias ventajas como que es relativamente económico es fácil de aplicar. provee protección sanitaria en el sistema de distribución, además resulta efectivo por el pH del agua de la quebrada la Tocola, pues está alrededor de 6.9.

En este caso para el caudal de 2 lt/seg se toma un tiempo de retención de 40 min, lo que da como resultado que el tanque debe tener un volumen de $4.8 m^3$. En la Tabla 10 se puede apreciar que para satisfacer esta condición se establecen las siguientes medidas: 4m de profundidad, 1.7 m de largo y 0.71 m de ancho.

Tabla 10.

Tanque de Desinfección

Tamaño del tanque		
Q=	2	lt/s
Ts=	40	min
Ch=	40	m^3/m^2h

Volumen	
4.8	m^3
4800	L
Profundidad	
4	m
400	cm
Largo	

1.7	<i>m</i>
170	<i>cm</i>
Ancho	
0.71	<i>m</i>
71	<i>cm</i>

Fuente. Elaboración propia.

Además de ello, se definió que se va a clorar con $NaClO$ en dosis de 3 gr/seg. Esto se halló según los cálculos de la Tabla 11.

Tabla 11.

Desinfección

	Cantidad	Unidad
Caudal a clorar	2	L/s
Volumen tanque de cloración	4800	L
Dosis. Deseada	15	mg/L
NaClO	1	%
Conc. NaClO	10000	PPM
T. de clorado	24	h/d
Peso de NaClO requerido		
4800000000	gr	
480000	kg	

Nueva concentración	
1000	PPM
Cloro neto	
4800000	gr
Cantidad para clorar el caudal	
Cloro neto(gr/seg)	
0.03	gr/seg
Hipoclorito(gr/seg)	
3	gr/seg
Tiempo Duración (días)	
3.875968992	
Consumo mensual	
77.76	kg/mes

Fuente. Elaboración propia.

7. Tratamiento de lodos

Los lodos, son los residuos que se producen a partir del proceso de coagulación - floculación, el tratamiento de estos se va a realizar a través de un lecho de secado, es decir un área expuesta al sol donde se esparce el lodo en una capa pequeña hasta que el agua se evapore. para este caso se va a manejar una capa de 20 cm de grosor la cual se expondrá durante tres días, para ello se requiere la construcción de dos lechos de $0.72 m^2$. Dicho cálculo se encuentra en la Tabla 12.

Tabla 12.

Lecho de secado

Tren de tratamiento A		
Lodo Húmedo Producido	1.36	Ton/mes
Lodo Húmedo Producido	41.12572	kg/día
Tiempo de secado	3	Día
3 días de lodo	123.37716	Kg
Grosor de la Capa	10	cm
Largo	1.2	m ³
Ancho	0.6	m ³
Volumen	0.072	m ³
Área por unidad	0.72	m ²
Capacidad por unidad	72	Kg
Cantidad requerida	2	unidades
Área total	0.144	m ²

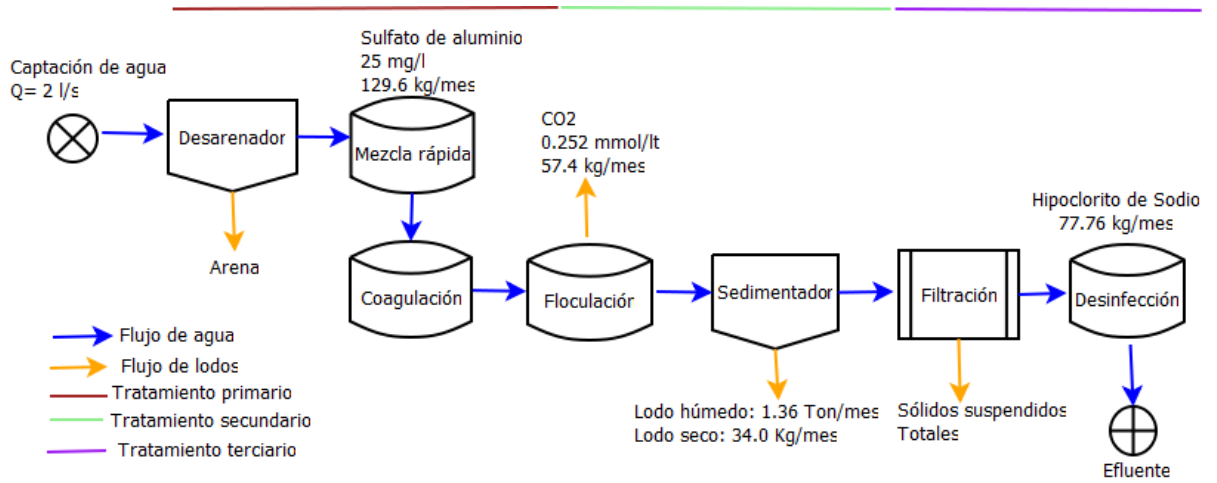
Fuente. Elaboración propia.

Para revisar los calculados realizados en la herramienta Hojas de Cálculo ver Anexo 2.

Finalmente, el diseño de los procesos la planta de potabilización quedaría de la siguiente manera:

Ilustración 9.

Diseño del sistema de potabilización de la vereda Belén



Fuente. Elaboración propia

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, para atender la demanda del sistema se recomienda que el caudal de dotación máxima para la elaboración de la planta de tratamiento de agua en el municipio de Machetá sea de 0.68 lt/s cumpliendo la normatividad colombiana para un total de 263 habitantes donde aproximadamente el 33% no tienen un acceso al agua con tratamiento.

El diseño de planta de potabilización de agua para la comunidad de la vereda Belén consta de un desarenador, procesos como la mezcla rápida, coagulación- floculación, sedimentación, filtración y finalmente se lleva a cabo la desinfección del agua.

Mediante este diseño se pretende reducir el número de personas de la comunidad que todavía utilizan fuentes de agua no aptas para el consumo con lo cual se mejoraría la calidad de vida de esta comunidad. El desarrollo de una planta de potabilización destinada para la región delimitada representa el cumplimiento de una exigencia fundamental que es la ausencia de microorganismos patógenos y de sustancias tóxicas que puedan distinguirse en el agua, además de garantizar propiedades organolépticas establecidas para el consumo humano (ausencia de sabores, olores, colores o turbiedades desagradables, entre otros).

La caracterización del agua junto con las necesidades de la población afectada indica que el agua se encuadra dentro de la Categoría A2 de dicha Directiva 75/440 (*Calidad y Métodos de Medición, Frecuencia de los Muestreos y del Análisis de las Aguas Superficiales Destinadas a la Producción de Agua Potable*), debido a valores elevados de los parámetros de caracterización microbiológica, así como al pH, y al color presente en el agua directamente relacionado con el aumento de la turbidez. Para garantizar el cumplimiento de las normas de calidad para el agua potable (Categoría A2), será necesario realizar un tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección, el tren de tratamiento que da respuesta a los parámetros específicos de estos procesos, fue descrito con anterioridad.

Conclusiones y trabajo futuro

Teniendo en cuenta las fases implementadas para determinar la viabilidad del diseño de la planta de potabilización bajo la caracterización del agua y la aplicación de herramientas como la encuesta dirigida a los habitantes de la vereda Belén, se establece que si es posible llevar a cabo la construcción de esta ya que se abordan elementos fundamentales y detallados soportados por cálculos y reacciones de cada una de las fases del tren de tratamiento, destacando el factor de dimensionamiento para los tanques (área, volumen, profundidad y longitud), y la aplicación de medidas y tratamiento frente a residuos o agentes no deseados en el proceso de potabilización.

Se propone realizar una nueva planta de tratamiento de agua potable debido a que la falta de este proceso es una de las causas principales de enfermedades en la comunidad también se identificó que algunos los parámetros que no cumplen con la normatividad Colombiana de la Resolución 2115 de 2007 estos son la turbidez, el color aparente y la cantidad total de hierro.

Los beneficios relacionados con el desarrollo de la planta de potabilización indican un ajuste en la problemática principal controlando la turbulencia y mezcla del agua con materia orgánica para garantizar que los habitantes puedan consumir agua que cumpla con los estándares sanitarios establecidos por el Ministerio de Salud. Adicionalmente, el diseño destinado a la infraestructura de la planta podría asegurar el suministro a la vereda a largo plazo, sin que sea necesario hacer un tratamiento adicional del agua; esta saldría lista para el consumo.

Se puede establecer que la implementación de los elementos descritos y evaluados que soportan el desarrollo de la planta de tratamiento de agua potable son factibles teniendo en cuenta inicialmente un aspecto crucial como que el lugar delimitado cuenta con las condiciones adecuadas para su funcionamiento, cumplimiento de normativas ambientales y garantías frente al proporcionamiento del servicio de agua potable que comprende la captación, el procesamiento y tratamiento, conducción y transporte de agua.

Para un trabajo futuro se tendrán en cuenta las fases posteriores al diseño y se dará prioridad a las pruebas de laboratorio que sustenten la caracterización descrita a lo largo del

documento, destacando la capacidad y disponibilidad de tiempo en el laboratorio y cantidad de materiales químicos para realizar los diferentes ensayos requeridos, además, se contemplarán variables como la viabilidad económica y la construcción de planos.

Referencias

Alcaldía Municipal de Macheta, (2015). *Informe de gestión*. Tomado de: http://machetacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/machetacundinamarca/content/files/000082/4071_informedegestion-2014.pdf

Alcaldía Municipal Machetá - Cundinamarca. (s. f.). Tomado de: <http://www.machetacundinamarca.gov.co/municipio/historia>

Base Cartográfica Instituto de Geográfico Agustín Codazzi. *Mapa Base General Machetá*. [imagen]. Tomado de: <https://view.publitas.com/administracion/mapa-base-general-de-macheta/page/1>

Calderon, C; Cueva, M; Cuenca, N; Honores, A; Guaman, D; Jimenez, D; Ramirez, C. (Junio 2018). *Monitoring and automation of the water pumping and storage process applied to a water treatment plant | [Monitoreo y automatización del proceso de bombeo y almacenamiento de agua potable aplicado a una Planta de Tratamiento de Agua]*. 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI. Caceres, Spain, pp. 1-6. DOI: 10.23919/CISTI.2018.8399292

Cámara de Comercio de Bogotá. (2006, enero). *Cámara de Comercio de Bogotá*. Tomado de: <https://linea.ccb.org.co/descripcionciiu/>. <https://linea.ccb.org.co/descripcionciiu/>

Cahoon, L. B. (2018). *Chapter 15 - water purification: Treatment of microbial contamination. Advances in water purification techniques: Meeting the needs of developed and developing countries (pp. 385-395)* doi:10.1016/B978-0-12-814790-0.00015-6 Tomado de: www.scopus.com

Castillo, C. (2019). *Prediseño de una planta de de tratamiento de agua potable (PTAP) . para mejorar la calidad del agua de consumo de los habitantes del municipio de Machetá*. Tomado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21427/2020carloscastillo.pdf?sequence=11&isAllowed=y>

Crittenden, J. (2012). *"Water Treatment principles and Desing"*. Mexico: Wiley & sons. 2012

DANE. (2009). *RESULTADOS CENSO GENERAL*. Tomado de: <https://www.dane.gov.co/files/censo2005/regiones/cundinamarca/macheta.pdf>

DNP. (2018). *Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado*. Tomado de: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aa_2018-20-12-2019.pdf

García, F.; Avilés, A.; Ordoñez, J.; Guanuchi, C.; Flores, L.; Ramos, L. (2021). Modeling of residual chlorine in a drinking water network in times of pandemic of the SARS-CoV-2 (COVID-19). *Sustainable Environment Research*. Tomado de: <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1186/s42834-021-00084-w>

Gobernación de Boyacá. (2016). Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano de la quebrada La Tocóla, fuentes abastecedoras del acueducto urbano del municipio de Guateque- Boyacá. Tomado de: https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images_Documentos_Salud_Publica_Ano_2014_AGUA_CONSUMO_HUMANO_MAPA_RIESGO_MAPA-DE-RIESGO-DE-GUATEQUE.pdf

Haroon, R; Guangji, H.; Kasun, H.; Rodriguez, M.; Rehan, S.; *Drinking water quality assessment in distribution networks: A water footprint approach, Science of The Total Environment*, Volume 775, 2021, 145844, ISSN 0048-9697. Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145844>.

Hernández, D. (2020). *Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 97–107. Tomado de: <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.18359/rcin.4409>

Herrera, J. . González, O. Díaz, M. E. Aguilar, M. E. Bujalance y J. M. Doña, (2009) “*Effect of stone filters in a pond wetland system treating raw wastewater from a university campus*”, *Desalination*, vol. 237, n.º 1-3. pp. 227-289, 2009. doi: 10.1016/j.desal.2008.01.021

Jani, M., Arcos, J. (2020). *Engineered zero-dimensional Fullerene/Carbon dots-polymer based nanocomposite membranes for wastewater treatment. Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(21) doi:10.3390/molecules25214934

Kleiner, Y. (1998). *Water Distribution Network Rehabilitation: Selection and Scheduling of Pipe Rehabilitation Alternatives*. Doctoral dissertation. University of Toronto

Lasogu, (2018). *Lasogu, comprometidos con la naturaleza*. Tomado de: : <http://lasogu.co>

Malato, S. P. Fernández-Ibáñez, M. I. Maldonado, J. Blanco y W. Gernjak, (2009). “*Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends*”, *Cat. Today*, vol. 14, n.º 1, 2009. pp. 1-59. doi: 10.1016/j.cattod.2009.06.018

Master, S. M. Kraemer, R. B. Johnston,(2013). “*Achieving long-term use of solar water disinfection in Ziwbawe*”. *Pub. Health*, vol. 127, n.º 1. pp. 92-98, 2013. doi: 10.1016/j.puhe.2012.09.010

Ministerio de salud. (Marzo de 2019). *Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano 2019*. Tomado de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/calidad-del-agua-inca-2017.pdf>

Montiel, J; Morales, C; Diaz, I; Chaparro, N. (Octubre de 2019). *Integral Platform to control and monitoring of potable water service in rural communities. [Plataforma Integral para el control y monitoreo del servicio de agua potable en comunidades rurales]*. 8th International Conference on Software Process Improvement, CIMPS 2019 - Applications in Software Engineering. DOI: 10.1109/CIMPS49236.2019.9082433

National Research Council. (2006). *Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks*. National Academies Press, Danvers

Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). *Agua limpia y saneamiento*.
www.ods.gov.co. Tomado de: <https://www.ods.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>

Organización Mundial de la Salud (14 de Junio de 2019). *Agua*. Tomado de:
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,zonas%20con%20escasez%20de%20agua.>

Organización Mundial de la Salud. (2017, 12 julio). 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro. Tomado de: [https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20alrededor,\(OMS\)%20y%20del%20UNICEF.](https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%20alrededor,(OMS)%20y%20del%20UNICEF.)

Palomero, J.; Hernández, F. (2018). *Improving drinking water treatment without tariff impact: The spanish case study*. Water Science and Technology: Water Supply, 18(4), 1357-1364. doi:10.2166/ws.2017.197

Peña, C.; Lara, J. (2012). *Tratamiento De Aguas De Escorrentía Mediante Humedales Artificiales: Estado Del Arte*. *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 22(2), 39–61.

Pérez, Z. (2016). *Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Guateque en el departamento de Boyacá- Colombia*. Tomado de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13991/4/DIAGN%20C3%93STICO%20Y%20EVALUACI%20C3%93N%20PTAP%20GUATEQUE%20ZAIDA%20CAMILA%20PEREZ%20CUADROS%20503120.pdf>

Rivas, L. W. A., Bravo, L. G., & Bravo, L. G. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio (1.a ed.). Universidad Piloto de Colombia.

Thangaraju, E., & Muthuraj, R. (2020). *Biopolymer-based nanofibrous membrane for water purification treatment*. doi:10.1007/698_2020_584 Retrieved from www.scopus.com

Saleem, H; Mian, G (2019). *Water distribution system*. P. Maurice (Ed.), Encyclopedia of Water. 10.1002/9781119300762.wsts0194

Topalić J., Mučenski, V., Savić, D., Velkovski, T., Peško, I., Tomaš, L. (2021). *Risk assessment model for planning and design processes of wastewater treatment plants*. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 65(1), 181-190. doi:10.3311/PPci.16

Anexos

Anexo 1.

Resultados de la encuesta realizada a todos los hogares de la Vereda Belén, Municipio de Machetá.

No. Hogar	¿Cuántas personas habitan en su hogar?	¿Cuál es el tipo de agua para consumo que llega a su hogar?	¿De dónde proviene el agua potable que llega a su hogar?
1	5	Potable, desde una planta de tratamiento.	Planta de tratamiento de agua potable de Tibirita
2	3	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
3	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
4	4	Potable, desde una planta de tratamiento.	Planta de tratamiento de agua potable de Tibirita
5	4	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
6	2	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
7	4	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
8	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
9	2	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
10	3	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
11	4	Potable, desde una planta de tratamiento.	Planta de tratamiento de agua potable de Tibirita
12	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
13	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
14	2	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica

15	4	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
16	2	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
17	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
18	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
19	3	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
20	1	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
21	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
22	2	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
23	4	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
24	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
25	3	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
26	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
27	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
28	3	Potable, desde una planta de tratamiento.	Planta de tratamiento de agua potable de Tibirita
29	4	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
30	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
31	4	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
32	4	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
33	4	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
34	4	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
35	3	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
36	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
37	3	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica

38	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
39	2	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
40	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
41	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
42	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
43	4	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
44	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
45	4	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
46	4	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
47	2	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
48	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
49	2	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
50	3	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
51	5	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
52	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
53	4	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
54	2	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
55	4	Potable, desde una planta de tratamiento.	Planta de tratamiento de agua potable de Tibirita
56	3	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
57	4	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
58	1	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
59	2	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
60	6	Agua de la quebrada con filtro en	No aplica

		tanque	
61	4	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
62	2	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
63	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
64	4	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
65	5	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
66	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
67	3	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
68	4	Agua de la quebrada con filtro en tanque	No aplica
69	2	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
70	5	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica
71	7	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
72	3	Agua de la quebrada sin tratamiento	No aplica
73	2	Agua en Bolsa o Botellón	No aplica

Anexo 2

Enlace al documento Hojas de Calculo en Google Drive.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/19Z_ENTB1F3t4bP8LYEYV0Og3iThRwI46cmTF2gYf2F4/edit?usp=sharing