

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA PARROQUIA SAN GREGORIO CANTÓN MUISNE PROVINCIA DE ESMERALDAS**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA(O) EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**BONITO BETANCOURT VANESSA VIVIANA**

vanessa.bonito@epn.edu.ec

**CEVALLOS ARIAS ANAHÍ ELIZABETH**

anahi.cevallos@epn.edu.ec

**DIRECTOR(A): ING. EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES, MSC.**

eduardo.vasquez@epn.edu.ec

**CODIRECTOR(A): ING. FERNANDO EDMUNDO CUSTODE MEJÍA, MSC.**

fernando.custode@epn.edu.ec

**Quito, octubre 2021**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por las Srtas. Bonito Betancourt Vanessa Viviana y Cevallos Arias Anahí Elizabeth como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogas en Agua y Saneamiento Ambiental, bajo nuestra supervisión:

---

Ing. Vásquez Falcones Eduardo  
Mauricio Msc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Custode Mejía Fernando Edmundo  
Msc  
CODIRECTOR DEL PROYECTO

# DECLARACIÓN

Nosotros, Bonito Betancourt Vanessa Viviana y Cevallos Arias Anahí Elizabeth con CI: 1725654667 y CI: 1750199695, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



---

Bonito Betancourt Vanessa Viviana



---

Cevallos Arias Anahí Elizabeth

# DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a Dios y a la vida por darme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios y por darme la fuerza de vencer los obstáculos que he tenido a lo largo de mi trayecto como estudiante.

A mis padres por brindarme su amor, su apoyo, su entrega y su sacrificio para poder llegar hasta lo más alto y convertirme en lo que he anhelado.

A mi hermana por estar presente en todo momento, dándome apoyo moral y acompañándome en este camino hacia mi formación profesional.

A mis amigos, familiares y conocidos que han estado al pendiente de todo lo bueno y lo malo apoyándome para salir adelante.

A mis profesores que han tenido la paciencia y la virtud de enseñanza para que este trabajo sea llevado a cabo.

Vanessa Bonito

# AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por cada una de las bendiciones sobre mí, hasta lograr el objetivo deseado, y agradezco también a la vida por poner delante mío a personas maravillosas y que han hecho que este trayecto universitario sea más ameno.

Gracias a mis padres Viviana Betancourt y Juan Bonito por ser los motores y pilares de mi vida, porque me han apoyado en todo momento y porque me han brindado un hogar lleno de amor.

Agradezco a mi hermana Carolina Bonito por ser mi mayor inspiración para seguir en esta vida luchando por salir adelante, y por ser mi compañera de vida.

Agradezco a mis amigos de la carrera Sofía Baque, Anahí Cevallos, Jéssica Lima, Andrés Guttinger y Anderson Casagualpa por ser entre todos el apoyo necesario para luchar a diario y así lograr obtener el tan anhelado título universitario. También agradezco a mis amigos que he hecho en la universidad que han contribuido en mi formación profesional especialmente a los Sres. Juan Francisco Velasco y Erick Bolaños.

Finalmente quiero agradecer a los ingenieros Eduardo Vásquez, Lorena Gallardo y Sandra Panchi por difundir amor a la carrera, por ser los docentes más representativos de la misma y por transmitirme su sabiduría para desenvolverme en el campo laboral.

Vanessa Bonito

## **DEDICATORIA**

Le dedico este proyecto a Dios, por darme las fuerzas necesarias en todo el trayecto como estudiante y como persona, guiándome siempre por el camino del bien.

Mi Tesis le dedico con todo mi amor y corazón a mi madre y a mi padre, los cuales han sido los pilares fundamentales en mi vida personal y educativa, me han brindado el apoyo moral y económico para poder formarme poco a poco como una profesional. También le dedico a mis compañeros y amigos de la universidad, los mismos que han estado presentes en todo mi transcurso dentro de mi gloriosa universidad y con los cuales hemos pasado varias adversidades y hemos podido continuar sin dejarnos vencer en ninguna ocasión.

A mis hermanas, porque han sido un ejemplo para mí y nunca me han dejado sola.

A mis profesores, los cuales me han brindado grandes enseñanzas a lo largo de mi vida como estudiante universitaria, en especial a mi director del presente proyecto.

Finalmente, le dedico a mi compañera y amiga del proyecto, las dos nos hemos dado apoyo mutuo y hemos logrado que el trabajo se realice con éxito.

Anahí Cevallos

# AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por todas bendiciones que ha puesto sobre mí y por guiarme a lo largo de toda mi vida.

Les agradezco a mis padres Mauro Cevallos y Yomara Arias, ya que fueron los principales en transmitirme valores y enseñanzas para cada obstáculo de la vida. Les agradezco por apoyarme en cada uno de mis sueños y por permitirme estudiar en una prestigiosa universidad.

Agradezco a mis hermanas Michelle y Denisse Cevallos, ellas siempre me han apoyado y me han guiado, también les agradezco por estar siempre conmigo y por escucharme en cada una de mis locuras.

Agradezco a mis maestros, por brindarme sus conocimientos siempre de la mejor manera para que cada aprendizaje sea bueno y valioso

Agradezco a mis amigos de la universidad por sus consejos y por el apoyo en cada situación que ocurría dentro de la universidad, con ellos he compartido los mejores momentos de mi vida educativa y personal.

Agradezco a mi compañera y amiga de tesis por comprenderme y apoyarme a realizar este arduo trabajo.

Anahí Cevallos

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Objetivo general.....	3
1.3. Objetivos específicos .....	3
1.4. Alcance.....	3
<b>1.5. .... MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
1.6. Calidad de agua.....	4
1.6.1. Fuente de abastecimiento .....	4
1.6.2. Agua superficial .....	4
1.6.3. Agua potable.....	6
1.6.4. Muestreo .....	8
1.6.5. Muestra .....	9
1.7. Sistemas de abastecimiento de agua potable .....	9
1.7.1. Elementos del Sistema de Abastecimiento.....	10
1.7.2. Criterios para el diseño y accesorios del sistema de abastecimiento de agua potable.....	15
2. METODOLOGÍA.....	24
2.1. DATOS PRELIMINARES.....	24
2.1.1. Parroquia San Gregorio.....	24
2.1.2. Variables climáticas y recursos naturales .....	24
2.2. Levantamiento de información base para el sistema de abastecimiento.....	24
2.2.1. Ubicación del proyecto .....	24



2.2.2.	Visita de campo .....	25
2.2.3.	Fuente de abastecimiento .....	25
2.2.4.	Captación .....	26
2.2.5.	Levantamiento de puntos GPS.....	26
2.3.	Calidad y cantidad de agua en los sitios de toma .....	27
2.3.1.	Calidad de agua en los sitios de toma .....	27
2.4.	Evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento .....	31
2.4.1.	Población futura .....	31
2.4.2.	Dotación de agua potable.....	31
2.4.3.	Cálculo de caudales.....	31
2.4.4.	Sistema de bombeo .....	31
2.4.5.	Línea de conducción.....	33
2.4.6.	Almacenamiento .....	36
2.5.	Planteamiento de mejoras.....	38
2.6.	Presentación de la evaluación del sistema de abastecimiento a la comunidad y propuestas de mejora.....	38
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	39
3.1.	Levantamiento de información base para el análisis del sistema de abastecimiento .....	39
3.1.1.	Captación .....	39
3.1.2.	Levantamiento de puntos GPS.....	40
3.2.	Verificación de la calidad y cantidad de agua en los sitios de toma .....	40
3.2.1.	Calidad de agua en los sitios de toma .....	40
3.3.	Evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento .....	49
3.3.1.	Población futura .....	49
3.3.2.	Cálculo de caudales.....	50
3.3.3.	Sistema de bombeo .....	51
3.3.4.	Línea de conducción.....	53
3.3.5.	Sistema de tratamiento.....	56
3.3.6.	Almacenamiento .....	57
3.4.	Planteamiento de mejoras en el sistema de abastecimiento.....	58
3.5.	Presentación de la evaluación del sistema de abastecimiento del recinto Tres Vías y las propuestas de mejorar a la comunidad .....	70
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
4.1.	CONCLUSIONES .....	72
4.2.	RECOMENDACIONES .....	73
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	74
ANEXOS	.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Anexo 1: Modelo del registro de toma de muestras de aguas y efluentes líquidos	.....	¡Error! Marcador no definido.
.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2: Registro de toma de muestras de aguas y efluentes líquidos en el recinto Tres Vías	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3: Informe de resultados de la muestra 1-A.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4: Informe de resultados de la muestra 2-A.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5: Informe de resultados de la muestra 3-A.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6: Informe de resultados de la muestra 4-A.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 7: Informe de resultados de la muestra 5-A.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 8: Informe de resultados de la muestra 6-A.....	.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 9: Tabla de la Curva Característica de operación del sistema de bombeo del recinto Tres Vías	.....	¡Error! Marcador no definido.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Agua Superficial Fuente: (UNAN-MANAGUA , 2021) .....	4
<b>Figura 2</b> Afectación de ríos por actividades humanas Fuente: (Univerdad Politécnica de Catalunya, 2021) .....	5
<b>Figura 3</b> Elementos de la estación de bombeo Fuente: (López, 2003) .....	10
<b>Figura 4</b> Curva característica de una bomba Fuente: (López, 2003).....	12
<b>Figura 5</b> Curvas características de operación del sistema Fuente: (López, 2003).....	13
<b>Figura 6</b> Válvula de purga Fuente: (López, 2003) .....	13
<b>Figura 7</b> Válvula aire Fuente: (López, 2003).....	14
<b>Figura 8</b> Ubicación de la válvula de purga y la válvula de aire Fuente: (López, 2003) .....	14
<b>Figura 10</b> Curva integral del consumo de una población .....	15
<b>Figura 9</b> Curva de distribución horaria típica del consumo de una población.....	15
<b>Figura 11</b> Método de comparación gráfica de poblaciones Fuente: (INE, s.f.) .....	22
<b>Figura 12</b> Ubicación geográfica San Gregorio Fuente: (GAD San Gregorio, 2019) ...	24
<b>Figura 13</b> Ubicación del proyecto Fuente: (Google Maps, 2015).....	25
<b>Figura 14</b> Fuente de Abastecimiento, Río Repartidero .....	26
<b>Figura 15</b> Recorrido de puntos GPS .....	26
<b>Figura 16</b> Muestreo en el Río Repartidero.....	27
<b>Figura 17</b> Estación de bombeo, parte externa e interna y pozo húmedo .....	31
<b>Figura 18</b> Línea de conducción en MapSource en EPANET .....	33
<b>Figura 19</b> Línea de conducción en Civil 3D .....	34
<b>Figura 20</b> Curvas de nivel de la Línea de conducción.....	34
<b>Figura 21</b> Perfil longitudinal del terreno en Civil 3D.....	35
<b>Figura 22</b> Simulación hidráulica de la conducción en EPANET .....	36
<b>Figura 23</b> Esquema del Sistema de Abastecimiento de agua potable del recinto Tres vías .....	39
<b>Figura 24</b> Bocatoma lateral con bombeo Fuente: (López, 2003) .....	40
<b>Figura 25</b> Resultados de coliformes fecales en las muestras de agua cruda.....	46
<b>Figura 26</b> Resultados de coliformes fecales en las muestras de agua potable.....	46
<b>Figura 27</b> Resultados de nitritos en las muestras de agua cruda .....	47
<b>Figura 28</b> Resultados de nitritos en las muestras del agua potable.....	47
<b>Figura 30</b> Resultados de nitratos en las muestras de agua potable .....	47
<b>Figura 29</b> Resultados de nitratos en las muestras de agua cruda .....	47
<b>Figura 31</b> Resultados de turbiedad en las muestras de agua cruda.....	48
<b>Figura 32</b> Resultados de turbiedad en las muestras de agua potable.....	48
<b>Figura 34</b> Resultados del pH en las muestras de agua potable.....	49

<b>Figura 33</b> Resultados del pH en las muestras de agua cruda.....	49
<b>Figura 35</b> Electrobomba sumergible trifásica marca Pedrollo .....	51
<b>Figura 36</b> Resultado de la Curva característica de operación del sistema de bombeo del recinto Tres Vías.....	53
<b>Figura 38</b> Resultado de la simulación hidráulica en los nodos de conducción en EPANET.....	55
<b>Figura 37</b> Resultados de la simulación hidráulica en las líneas (tuberías) de la conducción en EPANET .....	55
<b>Figura 39</b> Resultados de la simulación hidráulica de la línea de la conducción en EPANET.....	56
<b>Figura 40</b> Aireador de bandejas .....	56
<b>Figura 41</b> Tanque con la tubería perforada de filtración.....	57
<b>Figura 42</b> Hipoclorador por goteo.....	57
<b>Figura 43</b> Resultado del método de la Curva integral de consumo .....	58
<b>Figura 44</b> Perfil de la línea conducción en Civil 3D, junto con sus válvulas .....	60
<b>Figura 45</b> Filtro Grueso Ascendente en Capas.....	61
<b>Figura 47</b> Medidas de la parte superior del filtro.....	62
<b>Figura 46</b> Medidas de grava y algunos elementos .....	63
<b>Figura 48</b> Filtro Lento de Arena.....	65
<b>Figura 49</b> Medidas de la parte superior del filtro.....	66
<b>Figura 50</b> Medidas de grava y algunos elementos .....	66
<b>Figura 51</b> Hipoclorador por goteo con flotador .....	68
<b>Figura 53</b> Presentación del proyecto al GAD parroquial de San Gregorio y a la junta de agua del recinto Tres Vías .....	71
<b>Figura 52</b> Presentación de la evaluación junto con las propuestas de mejora del proyecto .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015) .....	6
<b>Tabla 3</b> “Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano” .....	8
<b>Tabla 2</b> “Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano” .....	8
<b>Tabla 4</b> “Coeficientes de pérdidas localizadas en longitudes equivalente (en metros de tubería recta)” Fuente: (López, 2003) .....	12
<b>Tabla 5</b> Coeficiente de rugosidad típicos .....	18
<b>Tabla 6</b> Dotaciones recomendadas Fuente: (INEN 005 , 1992 ) .....	23
<b>Tabla 7</b> Resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del Agua Cruda .....	42
<b>Tabla 8</b> Resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del Agua Potable.....	44
<b>Tabla 9</b> Tasa de crecimiento poblacional de Muisne y Tres Vías .....	50
<b>Tabla 10</b> Población futura de Tres Vías .....	50
<b>Tabla 11</b> Resultados de los caudales medio diario, máximo diario y máximo horario .	50
<b>Tabla 12</b> Curva característica de la Electrobomba sumergible .....	51
<b>Tabla 13</b> Volumen del tanque de almacenamiento elevado .....	58
<b>Tabla 14</b> Volumen de los tanques de almacenamiento existentes; volumen total de almacenamiento de agua .....	58
<b>Tabla 15</b> Ubicación de las válvulas de aire en el perfil de Civil 3D .....	59
<b>Tabla 16</b> Ubicación de las válvulas de purga en el perfil de Civil 3D .....	59
<b>Tabla 17</b> Tratamientos probables .....	60
<b>Tabla 18</b> “Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas” .....	61
<b>Tabla 19</b> “Guías de diseño para filtros gruesos ascendentes” .....	63
<b>Tabla 20</b> Lechos filtrantes recomendados en Filtros Gruesos Ascendentes .....	64
<b>Tabla 21</b> Tamaño de grava y altura del material para FGAC .....	64
<b>Tabla 22</b> Criterios de diseño recomendados para unidades de filtración de arena .....	66
<b>Tabla 23</b> Resultados de los criterios de diseño de un Hipoclorador por goteo .....	69

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b>	Fórmula del Caudal.....	16
<b>Ecuación 2</b>	Fórmula del Caudal medio diario.....	17
<b>Ecuación 3</b>	Fórmula del Caudal máximo diario.....	17
<b>Ecuación 4</b>	Fórmula del Caudal máximo horario.....	17
<b>Ecuación 5</b>	Fórmula de la velocidad de flujo.....	17
<b>Ecuación 6</b>	Fórmula de pérdidas por fricción.....	18
<b>Ecuación 7</b>	Fórmula de la pérdida de carga unitaria.....	18
<b>Ecuación 8</b>	Fórmula de las pérdidas localizadas.....	19
<b>Ecuación 9</b>	Fórmula de pérdidas localizadas en un Codo de 90°.....	19
<b>Ecuación 10</b>	Fórmula de la Altura dinámica.....	19
<b>Ecuación 11</b>	Fórmula de la Eficiencia de una bomba.....	20
<b>Ecuación 12</b>	Fórmula del Volumen de un tanque regulador elevado.....	20
<b>Ecuación 13</b>	Volumen de un tanque rectangular.....	20
<b>Ecuación 14</b>	Fórmula de la Población futura por el Método Lineal.....	21
<b>Ecuación 15</b>	Fórmula de constante de crecimiento poblacional.....	21
<b>Ecuación 16</b>	Fórmula Población futura por el método geométrico.....	21
<b>Ecuación 17</b>	Fórmula Tasa de crecimiento poblacional.....	22
<b>Ecuación 18</b>	Fórmula de población futura por el método logarítmico.....	22
<b>Ecuación 19</b>	Fórmula Tasa de crecimiento logarítmica.....	22
<b>Ecuación 20</b>	Fórmula del área superficial del filtro.....	62
<b>Ecuación 21</b>	Fórmula del peso del hipoclorito de calcio.....	67
<b>Ecuación 22</b>	Fórmula de volumen.....	67
<b>Ecuación 23</b>	Fórmula de la concentración de la solución madre.....	68
<b>Ecuación 24</b>	Fórmula del caudal de goteo.....	68

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y SIGLAS

**Abastecimiento de agua:** procedimiento que permite el transporte de agua potable hacia los domicilios dentro de una población.

**Afluente:** río secundario que desemboca en otro más grande y principal.

**Agua cruda:** se le llama así al agua que no ha sido tratada, por lo general se la encuentra en cuerpos de agua superficial o subterránea.

**Aguas abajo:** indica la parte baja por donde desembocaría un río.

**Aguas arriba:** este nombre recibe las aguas que se encuentran arriba de una punto o referencia, contraria al flujo de un río o corriente.

**Área superficial:** medida de un área total que ocupa un lugar algún objeto.

**Bomba sumergible:** son equipos electromecánicos capaces de impulsar líquidos con una fuerza de elevación significativa.

**Calidad:** describe características de un artefacto o cosa con la finalidad de valorarla o caracterizarla.

**Características físicas:** son las cualidades exteriores que presenta algún objeto que son obvias a simple vista.

**Características microbiológicas:** describe y analiza a los organismos vivos dentro del objeto de estudio.

**Características químicas:** propiedades internas del objeto que únicamente se pueden determinar a través de análisis detallados y especiales.

**Cauce:** es el lecho de un río, es el lugar físico por donde fluye el agua creando depresiones de terreno.

**Caudal:** cantidad de un flujo por unidad de tiempo que pasa a través de un ducto.

**Consumo energético:** todo tipo de energía que se emplea para llevar a cabo alguna acción específica.

**Contaminante orgánico:** se llaman compuestos orgánicos persistentes, encontramos compuestos tóxicos como pesticidas, insecticidas, herbicidas entre otros.

**Cota:** dato que en los mapas indica la altura de una superficie con respecto al nivel del mar o sobre algún plano de referencia.

**Dosificación:** acto de determinar un dosis o cantidad de algo, administración cantidades individuales de un algo.

**Elementos de control:** son objetos anclados a un tipo de proceso que lo hacen más preciso en el resultado deseado.

**Filtración:** es un proceso unitario de separación de materia solida de un líquido por algún medio poroso.

**Fuente hídrica:** cualquier corriente de agua superficial o subterránea de donde los seres humanos aprovechan para su beneficio.

**Lecho filtrante:** es un tratamiento del tipo biológico que consiste en captar agua mediante un filtro.

**Límites máximos permisibles:** medida de grado o concentración de parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de algún tipo de emisión o efluente.

**Parámetro:** es un valor que ayuda a evaluar una situación deseada.

**Patógenos:** son microorganismos llamados agentes infecciosos que causan que el huésped en donde se encuentran se enferme.

**Pendiente:** inclinación de algún elemento natural, lineal o constructivo haciendo referencia a la horizontal.

**Solución:** mezcla homogénea de varias sustancias (dos o más), también conocida como disolución.

**Solución madre:** mezcla homogénea principal entre dos o más sustancias de concentración conocida, la cual se utiliza para la formación de soluciones a partir de ella con concentraciones inferiores.

**Suministro:** es la acción de dotar un bien, el cual ha pasado por varios procesos para llegar desde productor hacia el consumidor.

**Tratamiento:** proceso por el cual se elimina contaminantes.

**Volumen:** propiedad que indica la cantidad o proporción que ocupa algún tipo de material o flujo.

## SIGLAS

**EMAAPQ:** Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito

**GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado



**GPS:** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos

**INEN:** Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización

**ONU:** Organización de la Naciones Unidas

**SAE:** Servicio de Acreditación Ecuatoriano

**TULSMA:** Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

**UNEPAR:** Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales

## RESUMEN

El actual proyecto de grado presenta la evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable ubicado en la parroquia San Gregorio recinto Tres Vías cantón Muisne, Provincia de Esmeraldas. El estudio se ejecutó con el fin de plantear alternativas a la población con el propósito de mejorar la calidad en el agua de consumo, que el suministro sea continuo y el sistema de abastecimiento opere en condiciones adecuadas para que de este modo también se mejore el estilo de vida de los moradores.

Durante el desarrollo, se realizó una evaluación general de este proyecto tales como la introducción, planteamiento del problema, objetivos y alcance. Se detallaron varios temas como: la calidad de agua, el muestreo, sistema de abastecimiento de agua potable (elementos y criterios para el diseño) y las definiciones necesarias para la comprensión del léxico utilizado a lo largo del desarrollo del proyecto, las mismas que servirán para sustentar los procedimientos y resultados obtenidos.

Posteriormente al análisis general del proyecto, se presentó la descripción de la metodología empleada, es decir, la explicación de cada procedimiento utilizado para: el levantamiento de la información, la verificación de la calidad y cantidad de agua obtenida del cuerpo hídrico de abastecimiento y de los grifos residenciales de agua potable, el estudio hidráulico del sistema de abastecimiento y la presentación de la evaluación junto con propuestas de mejora del sistema. Finalmente se muestran los resultados conseguidos durante el desarrollo del proyecto de cada objetivo planteado, verificando el desempeño del sistema de abastecimiento y comprobando que los valores calculados se encuentren dentro de las diferentes normativas en las cuales se basa este proyecto.

**Palabras clave:** Evaluación, análisis, elementos, sistema de abastecimiento de agua potable, fuente de abastecimiento, agua potable.

## **ABSTRACT**

The current graduation project presents the evaluation of the drinking water supply system located in the San Gregorio parish, Tres Vías precinct, Muisne canton, Esmeraldas Province. The study was carried out with the purpose of proposing alternatives to the population to improve the quality of drinking water, that the supply is continuous, and the supply system operates in adequate conditions so that the lifestyle of the inhabitants is also improved.

During the development, a general evaluation of this project was carried out, such as the introduction, problem statement, objectives, and scope. Several topics were detailed such as: water quality, sampling, drinking water supply system (elements and criteria for design) and the definitions necessary for understanding the lexicon used throughout the development of the project, which will serve to support the procedures and results obtained.

After the general analysis of the project, the description of the methodology used was presented, i.e., the explanation of each procedure used for: the collection of information, the verification of the quality and quantity of water obtained from the water supply body and from the residential drinking water taps, the hydraulic study of the supply system and the presentation of the evaluation together with proposals for improvement of the system. Finally, the results achieved during the development of the project for each objective are shown, verifying the performance of the supply system, and checking that the calculated values are within the different regulations on which this project is based.

**Key words:** Evaluation, analysis, elements, drinking water supply system, supply source, drinking water.

# 1. INTRODUCCIÓN

Para efectuar las actividades diarias de los seres humanos, es necesario la utilización de varios recursos naturales, en este caso agua potable. Todos los días se usa el agua con fines diferentes, por ejemplo, para la agricultura, para la ganadería, para la recreación, para el aseo personal, para la preparación de alimentos, y para el consumo humano. (Díaz, 2013).

El agua proveniente de una captación natural (agua cruda) es considerada agua superficial la cual contiene cierto grado de contaminación ocasionada por varios factores aguas arriba de la captación, por ende, es preciso brindarle un correcto tratamiento al agua captada, y que de esta manera se modifiquen sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas de modo que se convierta en un agua apta para el consumo humano. (Pérez, 2018)

El tratamiento brindado al agua que será destinada a la población para su consumo necesita tener como mínimo un proceso de desinfección. El proceso de desinfección deberá ser luego de la captación del agua cruda y antes de su distribución. Por consecuencia a lo largo de la historia se han ido implementando varias fases para la potabilización de agua incluidos en los tratamientos convencionales. (Fábregas, 2017)

En este proyecto se realizará la evaluación de un sistema de abastecimiento con proyección a mejoras que ofrezcan agua de calidad para el consumo diario de los habitantes de Tres vías, ubicado en la parroquia San Gregorio, cantón Muisne, provincia de Esmeraldas, el cual brindará una mejor calidad de vida a los habitantes.

## 1.1. Planteamiento del problema

Ubicado al oeste de la Provincia de Esmeraldas se encuentra el cantón Muisne el cual está integrado por las parroquias rurales: San Gregorio, Bolívar, Daule, El Rellano, Galera, Mompiche, Portete, Quingüe, Salima, San Francisco del Cabo y San José de Chamanga, con 7 km de playas, la actividad económica principal es la pesca artesanal y el turismo. (GAD San Gregorio, 2019)

A pesar del potencial turístico de la zona, la situación en cuanto al abastecimiento de agua potable es deplorable, ya que más de 8000 habitantes en Muisne consumen agua proveniente de 40 pozos construidos hace 4 décadas, lo que muestra la situación precaria en la provincia de Esmeraldas. Según los indicadores del INEC, en los últimos 10 años hubo un retroceso frente a otras provincias que han avanzado con relación al

suministro de agua potable; inicialmente en el centro de Muisne se habilitaron 40 sistemas de bombeo para suministrar a los reservorios que están conectados al sistema de distribución por tuberías. Este sistema fue diseñado para 3000 personas, pero según el crecimiento de la parroquia, ahora habitan más de 8000 personas, por lo que el sistema actual es insuficiente. (GAD San Gregorio, 2019)

Un informe de la secretaria del agua señala que tan solo el 13% de la población posee cobertura de agua potable, mientras que un 6,3% posee alcantarillado, el resto se abastece de agua mediante pozos instalados en los patios de sus casas. El abastecimiento de agua constituye un escalón importante en el desarrollo de regiones, cantones, ciudades, países o poblaciones, y por ende es necesario que posean un método adecuado de potabilización de agua potable, a fin de mejorar el estilo de vida con énfasis en el campo de la salud y el desarrollo. (Cardenas & Patiño, 2010)

Los moradores del recinto Tres Vías, parroquia San Gregorio no cuentan con algún sistema apto de abastecimiento de agua y tampoco forman parte de las parroquias que cuentan con pozos de extracción de agua. Se abastecen de agua que es tomada directamente del Río Repartidero mediante un sistema bombeable, esta es la forma en la que pueden llevar el agua a sus hogares y satisfacer sus necesidades, sin embargo, los habitantes no saben la calidad de agua que están consumiendo, por lo que se convierte en un problema de salud hacia población. Debido al déficit de inversión, compromiso y estudios en el acceso del servicio básico por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, los moradores de esta parroquia no puedan obtener el derecho a una vida digna, puesto que el agua es vital para el ser humano. (Salvador, Realp, Basteiro, Oliete, & Pérez, 2005)

Con el propósito de mejorar la calidad de vida de los habitantes se requiere hacer la evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable del recinto Tres Vías de la parroquia San Gregorio, para este abastecimiento se tendrá en cuenta el conjunto de obras necesarias para su correcto funcionamiento, como: captación, sistema de bombeo, conducción y almacenamiento, desde fuentes naturales de agua hasta su almacenamiento.

## **1.2. Objetivo general**

Evaluar el sistema de abastecimiento de agua potable para la parroquia San Gregorio, cantón Muisne, provincia de Esmeraldas.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Verificar la cantidad y calidad de agua obtenida del pozo y de los ríos que se encuentran en la parroquia.
- Levantar la información base para el análisis del sistema de abastecimiento.
- Evaluar hidráulicamente el sistema de abastecimiento
- Presentar la evaluación del sistema de abastecimiento a la comunidad y propuestas de mejora.

## **1.4. Alcance**

Con el proyecto se busca evaluar el sistema de abastecimiento de agua potable del recinto Tres vías, a fin de conseguir agua apropiada para el consumo humano y que este dentro los parámetros establecidos en las normativas correspondientes.

El proyecto analizará los elementos que forman parte del sistema de abastecimiento de agua potable y propondrá mejoras en donde se requiera, tales como:

1. Mejorar la calidad del agua destinada al consumo humano y doméstico, con base en comparaciones entre los dos tipos de agua (cruda y potable).
2. Calcular el caudal necesario de consumo.
3. Optimizar el uso de la bomba para que no exista desperdicio energético.
4. Determinar el volumen correcto de los tanques de almacenamiento.
5. Ampliar el suministro de agua potable a futuro.

La evaluación del proyecto estará sustentada en fuentes oficiales de diseño, operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua potable existente en el recinto.

## 1.5. MARCO TEÓRICO

### 1.6. Calidad de agua

#### 1.6.1. Fuente de abastecimiento

Se considera el componente primordial de todo el sistema de abastecimiento, por tal razón, debe cumplir con tres puntos fundamentales:

- Proveer la suficiente cantidad de agua que sea capaz de cubrir la demanda de la población.
- Conservar las condiciones aptas y necesarias de calidad de tal manera que se garantice la potabilidad de esta.
- La ubicación del cuerpo hídrico destinado como fuente de abastecimiento, debe facilitar que la captación y conducción sea práctica y económicamente viable. (Barahona, Rivera, & Chévez, 2013)

#### Tipos de fuentes de abastecimiento

Con respecto al ciclo hidrológico del agua, las fuentes de suministro de esta se pueden encontrar de formas diversas, tales como:

- **Aguas atmosféricas:** Agua lluvia
- **Aguas Superficiales:** Ríos, arroyos, quebradas, lagunas, entre otros.
- **Aguas subterráneas:** acuíferos. (Martinez, 2021)

#### 1.6.2. Agua superficial

Es aquel cuerpo de agua que está ubicado sobre la superficie terrestre y proviene en gran parte del escurrimiento, pueden ser: ríos, arroyos, lagos, lagunas, embalses, reservorios, humedales, estuarios, entre otros. (Ministerio del Ambiente, 2015)

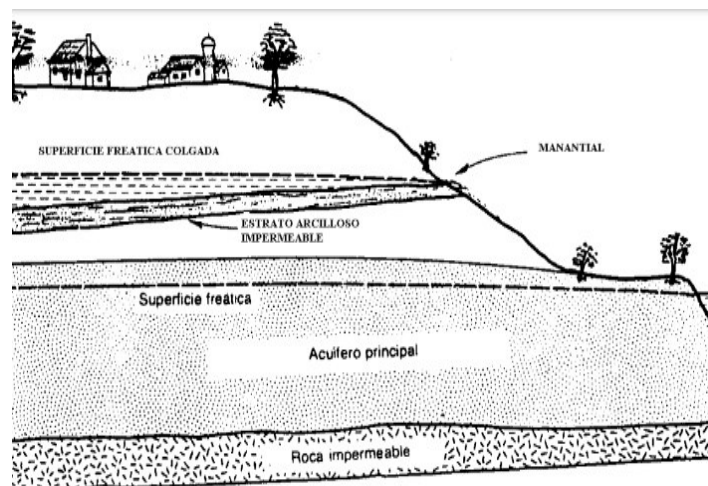


Figura 1 Agua Superficial Fuente: (UNAN-MANAGUA , 2021)

## Características

Las características del agua superficial varían dependiendo de donde provenga, por ejemplo, el agua superficial proveniente de un río posee características generales como: sabor, olor, color y turbidez. Por otro lado, también contiene materia orgánica, materia inorgánica, microorganismos, y en algunos casos químicos procedentes de pesticidas, los cuales no son tolerados por los seres humanos y por ende es necesario someterla a tratamiento. (Zarza, s.f.)

## Calidad del agua

La calidad de agua de cualquier río se relaciona con los componentes naturales y las labores que realizan los seres humanos. Las aguas derivadas de los ríos sufren deterioro en su calidad a consecuencia de descargas arrojadas por asentamientos humanos, zonas industriales, actividades agrícolas y escorrentías, puesto que la mayoría de los ríos se consideran como fuentes receptoras. (Quiroz, Kulich, & Menéndez, 2017)

Esta se puede determinar por la realización de comparaciones en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de muestras de agua con normativas vigentes en el lugar en donde se realice el análisis de la muestra. (ONU DAES , 2014)

Para el análisis de la calidad de agua, es indispensable realizar un muestreo del cuerpo hídrico utilizando técnicas de muestreo.



*Figura 2* Afectación de ríos por actividades humanas Fuente: (Univerdad Politécnica de Catalunya, 2021)

## Norma general para la definición de los parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos

Las aguas de los ríos contienen varios elementos, debido a que, se encuentran en cuerpos de agua superficiales de fácil acceso para los seres vivos y por ende estos pueden alterar la calidad del agua de la fuente hídrica. Por lo tanto, deben ser analizadas de acuerdo con diferentes parámetros y cumplir con criterios de calidad establecidos, con el fin de determinar el tipo de tratamiento que requieren. (Aguilar, 2011)



El Acuerdo Ministerial 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIO DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, en la sección 5.1 “Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios”, literal 5.1.1 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y doméstico indica “El agua de consumo humano y uso doméstico es la que se capta de un cuerpo de agua superficial o subterráneo para su posterior tratamiento y que será utilizada por individuos en sus labores diarias, se utilizarán los valores permisibles indicados en la **TABLA 1** de criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico”. (Ministerio del Ambiente, 2015)

**Tabla 1** Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico  
Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/l	50,0
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Nota: Podrán usarse aguas con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicados en esta Tabla, siempre y cuando las características de las aguas tratadas sean entregadas de acuerdo con la Norma INEN correspondiente.

### 1.6.3. Agua potable

#### Definición y características

Es aquella que cuenta con propiedades físicas, químicas y microbiológicas que cumplen los criterios de calidad fijados en las normas vigentes con respecto a este recurso y por

ende está aprobada para el consumo los habitantes sin ocasionar efectos negativos para la salud. (Velandia, 2012)

Las características más relevantes son:

- Debe ser incolora, inodora e insípida.
- Debe ser limpia y fiable.
- No debe contener elementos suspendidos, contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos.

(García, 2019)

### **Calidad de agua**

La calidad del agua potable está relacionada al tratamiento previo brindado y también se relaciona con la salud de los consumidores, debido a que, el agua puede presentar algunas irregularidades y estas definen si el agua está en condiciones adecuadas para el consumo. Sin embargo, para poder asegurar el consumo del agua tratada, es necesario realizar pruebas de calidad de agua, las cuales consisten en análisis físicos, químicos y bacteriológicos que nos entregarán resultados para comparar con las normativas vigentes de agua potable de cada ciudad o país. (Cardenas & Patiño, 2010)

### **Norma general para la definición de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos**

Las aguas tratadas contienen varios elementos que no necesariamente son dañinos para el ser humano, sin embargo, la cantidad de estos hacen que el agua se vuelva perjudicial para el consumo y por ende es indispensable comparar con los límites establecidos en las normativas tomando en cuenta los parámetros que permiten dicha caracterización. (Magne, 2008)

La “Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, Sexta revisión, 2020-04, Agua para consumo humano”, requisitos, en la sección 4 Requisitos, literal 4.1 indica que “*El agua para consumo humano debe presentar un sabor y olor aceptables*”, literal 4.2 señala que “*El agua para consumo humano debe cumplir los requisitos físicos y químicos indicados en la **TABLA 1** de Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano*”, literal 4.3 advierte que “*El agua para consumo humano debe cumplir los requisitos microbiológicos indicados en la **TABLA 2** de Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano*”.

**Tabla 3** “Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano”

Fuente: (INEN 1108, 2020)

Parámetro	Unidad	Límite permitido <sup>b</sup>	Método de ensayo <sup>c</sup>
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl <sup>-</sup>
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F <sup>-</sup>
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Nitritos (como NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad <sup>a</sup>	NTU	5	Standard Methods 2130

<sup>a</sup> Se conoce también como *Turbidez*.  
<sup>b</sup> Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.  
<sup>c</sup> En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

**Tabla 2** “Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano”

Fuente: (INEN 1108, 2020)

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Método de ensayo <sup>a</sup>
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia	Standard Methods 9221 <sup>b</sup> Standard Methods 9222 <sup>c</sup>
<i>Cryptosporidium</i>	Número de ooquistes/ L	Ausencia	EPA 1623
<i>Giardia</i>	Número de quistes/ L	Ausencia	EPA 1623

<sup>a</sup> En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.  
<sup>b</sup> La ausencia corresponde a “< 1,1 NMP/100 mL”.  
<sup>c</sup> La ausencia corresponde a “< 1 UFC/100 mL”.

#### 1.6.4. Muestreo

##### Definición

El muestreo de agua es un método que se encarga de extraer una cantidad de agua (muestra), con el fin de someterla a un análisis de varias características definidas. (INEN, 2013)

##### Tipos de muestreo

Para determinar el tipo de muestreo a utilizar, se debe considerar la población y el enfoque del estudio. Existen dos tipos de muestreo:

- **Probabilístico:** su principal característica es que todos los componentes de estudio posean las mismas cualidades y probabilidades de ser seleccionados al azar. (Espinoza, 2016)

- **Aleatorio Simple:** es un método básico de muestreo en donde se debe seleccionar un grupo de elementos (muestra) para el estudio de un grupo más numeroso (población). (Espinoza, 2016)
- **No probabilístico:** no se percibe la eventualidad de la recopilación de los elementos de estudio, debido a que, este tipo de muestro escoge los mejores elementos de la muestra, por lo tanto, no representa con precisión a la población. (Explorable , 2008) Dentro de este tipo de muestreo encontramos:

#### 1.6.5. Muestra

##### Definición

Es una porción de una población u objeto, la cual es seleccionada para el estudio de una característica o condición. (Carrillo, 2015)

##### Tipos de muestras

- **Muestra simple o puntual:** son ejemplares individuales tomadas de manera manual o mecánica en un lugar, profundidad y tiempo específico. (INEN, 2013)

##### Cadena de custodia

Es un proceso el cual permite controlar una muestra bajo posesión física mediante un conjunto de medidas las cuales preservan la muestra y evitan la manipulación indebida desde el momento de la toma hasta su ingreso al laboratorio en donde se realizan los respectivos análisis. (Barreto, 2009)

### 1.7. Sistemas de abastecimiento de agua potable

#### Definición y características

Un sistema de abastecimiento de agua potable es un grupo de componentes indispensables que se encargan de la captación, conducción, tratamiento y almacenamiento del recurso hídrico desde los cuerpos hídricos naturales, que pueden ser superficiales o subterráneos, hasta las viviendas de cada uno de los habitantes beneficiados por dicho sistema. Un correcto sistema de abastecimiento tiene como objetivo mejorar el estilo de vida, salud y progreso de una comunidad considerando el desgaste de los cuerpos hídricos, basándose en las normas vigentes para que su funcionamiento sea el correcto. (Cardenas & Patiño, 2010)

Para construir un correcto sistema de abastecimiento, es imprescindible tomar en cuenta las características geográficas, estructuras existentes, pendientes, y paisajes, en donde se implementará el proyecto. (Departamento Administrativo Medio Ambiente Bogota , 1999)

### 1.7.1. Elementos del Sistema de Abastecimiento

#### Captación

La bocatoma o captación, es la etapa inicial del sistema de abastecimiento de agua potable, consiste en extraer una cantidad determinada de agua procedente de una fuente hídrica ya sea superficial o subterránea. (Larraga, 2016)

Se debe tomar en cuenta que, las construcciones destinadas a la captación tienen que estar situadas en superficies estables y sólidas, y tener presente que para la selección correcta de bocatomas se debe considerar la naturaleza del lecho y la topografía del proyecto. (López, 2003). Más adelante, se mencionarán diversos tipos de bocatomas: “toma lateral con muro transversal, bocatoma de fondo, bocatoma lateral con bombeo, bocatoma lateral por gravedad, toma mediante estabilización del lecho, toma en embalses o lagos, estaciones de bombeo flotantes y deslizantes”. (López, 2003)

#### Estación de bombeo

Una estación de bombeo está definida como un grupo de estructuras, equipos y complementos, que juntos tienen la función de impulsar el agua a partir de una cota menor a una cota mayor, debido a que, existen zonas con condiciones topográficas desfavorables y variaciones de nivel en el cauce. (Sanitrit SSA, 2018)

#### Elementos que conforman la estación de bombeo

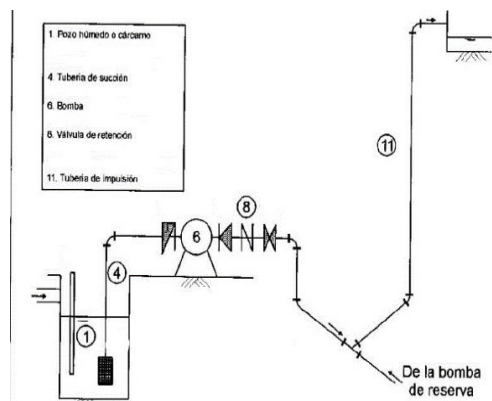


Figura 3 Elementos de la estación de bombeo Fuente: (López, 2003)

De manera general, en toda estación de bombeo, resaltan 4 elementos importantes:

**Pozo húmedo:** es un depósito destinado para almacenar el agua que posteriormente será bombeada, para la construcción de este es necesario tomar en cuenta el caudal del diseño y debe ser construido en una sola etapa. Con el propósito de evitar la sedimentación el agua no debe permanecer más de 5 minutos en el tanque y este debe contar con un sistema de desagüe y limpieza. (López, 2003)

**Bomba:** es un dispositivo hidráulico calificado para convertir energía cinética rotacional a energía potencial, y aplicar la misma con el objetivo de mover un fluido de manera ascendente. Las bombas están compuestas por un orificio de entrada y un orificio de salida, que sirven para aspiración e impulsión del fluido, respectivamente. (López, 2003)

**Tubería de impulsión:** el largo de la conducción debe ser suficiente y se debe efectuar un estudio con relación al diámetro para escoger el más económico. (López, 2003)

**Accesorios:** el sistema de bombeo cuenta con gran variedad de componentes que permiten que el flujo del líquido sea el esperado.

- **Manómetro:** dispositivo utilizado para determinar la presión de un fluido (líquidos y gases) que está dentro de una superficie cerrada, esta presión es relativa a la presión atmosférica. (Ávila, Bobadilla, Canales, & Cárdenas, 2021)
- **Válvulas:** son dispositivos mecánicos empleados para controlar y regular las características de un flujo a presión. (Rivera & Sibón, 2018 ) Podemos encontrar diversos tipos de válvulas tales como: **válvula de aire, de retención o check, de desagüe, de pie con colador, entre otras.**
- **Otros accesorios son:** Codos (45° y 90°) y Te de unión.

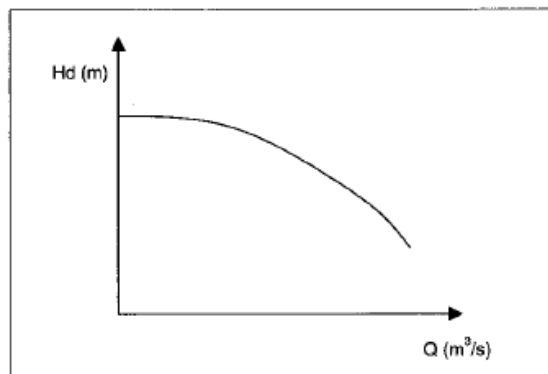
Todos los accesorios que forman parte de las tuberías dentro del sistema de abastecimiento generan pérdidas de energía, estas pueden ser: pérdidas por fricción y pérdidas localizadas. Para evaluar las pérdidas localizadas de energía en la tubería dentro del sistema de bombeo, es necesario considerar los coeficientes de pérdidas de cada accesorio presente en el sistema.

**Tabla 4** “Coeficientes de pérdidas localizadas en longitudes equivalente (en metros de tubería recta)”  
Fuente: (López, 2003)

Elemento	mm	13	19	25	32	38	50	63	75	100	125	150	200	250	300	350
	pulg	1/2	3/4	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8	10	12	14
<b>Codo 90°</b>																
Radio largo		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3
Radio medio		0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,8	3,7	4,3	5,5	6,7	7,9	9,5
Radio corto		0,5	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,5	4,9	6,4	7,9	9,5	10,5
<b>Codo 45°</b>																
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,6	5,3
<b>Curva 90°</b>																
R/D: 1½		0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4
R/D: 1		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1	2,5	3,3	4,1	4,8	5,4
Curva 45°		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5
<b>Entrada</b>																
Normal		0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	2,0	2,5	3,5	4,5	5,5	6,2
De borda		0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11,0
<b>Válvula</b>																
Compuerta		0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4
Globo		4,9	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	45,3	51,0	6,7	85,0	102	120
Ángulo		2,6	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0	26,0	34,0	43,0	51,0	60,0
de pie		3,6	5,6	7,3	10,0	11,8	14,0	17,0	20,0	23,0	31,0	39,0	52,0	65,0	78,0	90,0
Retención																
T. liviano		1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4	12,5	16,0	20,0	24,0	38,0
T. pesado		1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1	19,3	25,0	32,0	38,0	45,0
<b>Te de paso</b>																
Directo		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3
Lateral		1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0
<b>Te de salida</b>																
Bilateral		1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0
<b>Salida de tubería</b>																
		0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11

### Curvas características de la estación de bombeo

- **Curva característica de una bomba:** es la correlación entre el caudal (Q) y la altura dinámica (Hd: energía adicionada por la bomba). Teniendo en cuenta que a mayor caudal se añade menos energía, es decir, menor altura. (López, 2003)



**Figura 4** Curva característica de una bomba Fuente: (López, 2003)

- **Curva característica de operación del sistema:** representa la energía necesaria que se debe proveer para conservar la “altura estática” ( $H_e$ ) y las pérdidas dentro del proceso de bombeo con diversas cantidades de agua. Además, esta curva está sujeta a la altura de agua en los depósitos. (López, 2003)

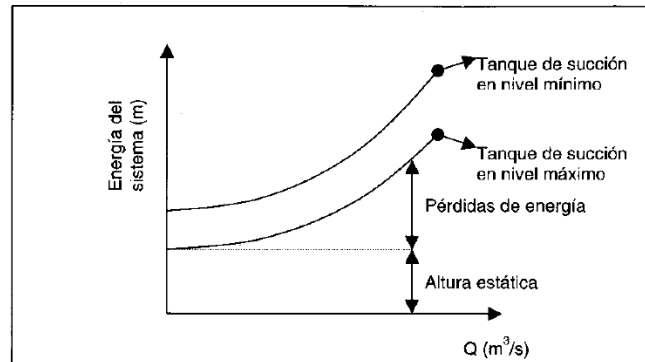


Figura 5 Curvas características de operación del sistema Fuente: (López, 2003)

## Conducción

Elemento que permite el transporte de agua por medio de un canal o una tubería a partir de la captación hacia el lugar en donde esta será almacenada, este puede ser de flujo libre o a presión. (Larraga, 2016). El tipo de conducción más utilizada es a presión, debido a que, esta tubería es más corta y no es necesario seguir una línea de pendiente establecida. Debe estar enterrada a una distancia mínima de 60 cm del terreno. (López, 2003)

## Accesorios de la conducción

Dentro de una conducción existen accesorios principales, los cuales permiten que el recorrido del flujo sea el correcto.

- **Válvula de purga:** están alojadas en la parte lateral, en todos los puntos planos y bajos de la conducción. Sirve para evitar la obstrucción de flujo por parte de sedimentos. (López, 2003)

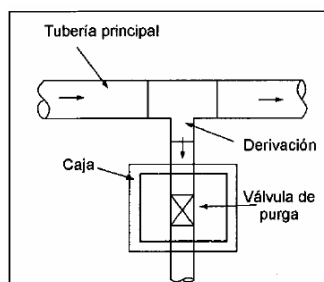


Figura 6 Válvula de purga Fuente: (López, 2003)



- **Válvula de aire (ventosa):** son dispositivos automáticos de admisión o expulsión de aire, deben estar ubicados en los puntos altos de la tubería, siempre y cuando la presión en esos puntos sea inferior o no sea muy elevada a la presión atmosférica. Sirven para expulsar el aire que se encuentra en la tubería durante el proceso de llenado, expelen el exceso de aire acumulado en los puntos altos y admiten aire cuando se crean presiones negativas en la tubería. (López, 2003)

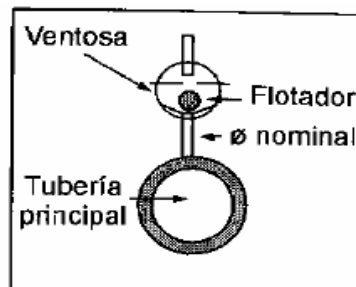


Figura 7 Válvula aire Fuente: (López, 2003)

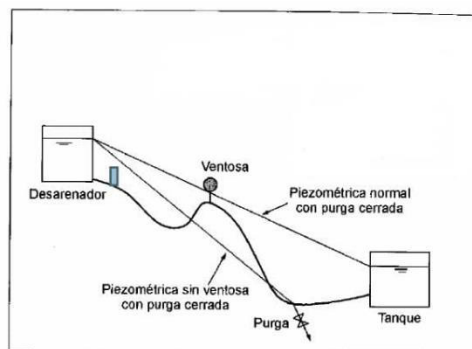


Figura 8 Ubicación de la válvula de purga y la válvula de aire Fuente: (López, 2003)

## Almacenamiento

### Tanques

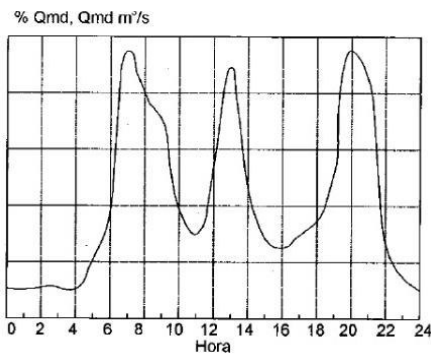
Son estructuras destinadas para contener diferentes tipos de sustancias, en este caso agua. (Larraga, 2016) En los sistemas de abastecimiento de agua potable, se hallan dos modelos de tanques, los "Tanques de almacenamiento" y "Tanques de distribución".

**Tanques de almacenamiento:** son depósitos con características específicas en donde se puede almacenar y preservar el agua durante un período de tiempo continuo. Son necesarios cuando existen situaciones en donde el suministro está por debajo del consumo y para entregar el déficit cuando el consumo es superior al suministro, satisfaciendo así la demanda de agua (Magne, 2008).

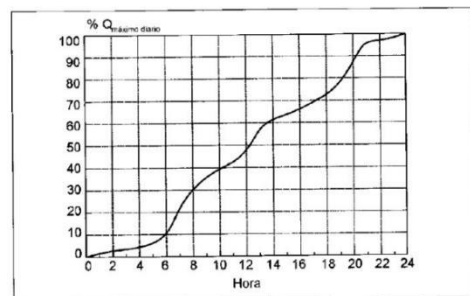
- **Tanque regulador elevado:** sirve para la acumulación del agua en los periodos en donde la demanda se encuentra por debajo del suministro, de modo que en

el lapso en el que la demanda sea considerable con respecto al suministro se cubra el déficit con el agua reservada. (López, 2003)

- **Capacidad del tanque elevado:** al utilizar un tanque elevado, la manera de dotar el recurso hídrico será por medio del bombeo mediante el uso de dos tanques. Es importante tomar en cuenta que mientras más horas se bombee, el aforo del tanque elevado será menor, no obstante, los costos de operación de bombeo serán mayores. (López, 2003). El método para utilizarse en el cálculo de la capacidad que posee el tanque es el “Método de la Curva Integral”.
- **Método de la curva integral:** se utiliza para el cálculo del volumen del tanque elevado, elaborado según una curva de distribución horaria típica y la curva integral de consumo. Se emplean valores importantes como el consumo que se acumula en un lapso de 24 horas, es indispensable saber que la curva integral es ascendente, la pendiente en cualquiera de los puntos indica el consumo instantáneo, el eje de las ordenadas representa el consumo total hasta ese momento y el eje de las abscisas el tiempo. (López, 2003)



*Figura 10* Curva de distribución horaria típica del consumo de una población



*Figura 9* Curva integral del consumo de una población

**Tanques de distribución:** son depósitos de agua que sirven para la repartición de esta mediante tuberías o ramales. (UNEPAR-KWF, 1994)

### 1.7.2. Criterios para el diseño y accesorios del sistema de abastecimiento de agua potable

**Tubería:** es un mecanismo que permite la conducción de un fluido, conformado por tubos y su sistema de unión. (Comisión Nacional del Agua, 2018).

- **Diámetro**

El diámetro establecido, según la norma válida en el país, establece que, la tubería de conducción en zonas urbanas no debe ser menor a 100 mm, mientras que, en zonas rurales no debe ser menor a 75 (mm). (INEN 005 , 1992 )

- **Material**

Al momento de escoger el material de la tubería, se deben tener presente ciertas características como: resistencia a la corrosión, durabilidad, capacidad de conducción, economía, fácil reparación y conexión y preservación de la calidad de agua. (Comisión Nacional del Agua , 2018). Por otro lado, también es indispensable considerar los cálculos estáticos, estado de funcionamiento, condiciones sanitarias y la belicosidad del suelo en donde la tubería será ubicada, destacando la utilización de materiales de fabricación nacional. (INEN 005 , 1992 )

Existen tuberías de varios materiales, por ejemplo: **hormigón (armado o simple), hierro (dúctil y fundido), plástico, acero, cemento, cerámica.**

### **Criterios de diseño**

#### **Caudal (Q)**

Corresponde a la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal ya sea de un río o un canal. Se expresa en unidades de volumen sobre tiempo. Para determinar la cantidad de agua en una superficie pequeña, es posible realizar el método de aforo volumétrico en los puntos en donde se desea saber el valor del caudal. (Larraga, 2016)

El método de aforo volumétrico se basa en tomar el tiempo en el que se demora en llenar un recipiente de volumen calibrado, dando como resultado el caudal en litros/segundos. (Alvarado, 2017)

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{litros (L)}}{\text{segundos (s)}}$$

*Ecuación 1 Fórmula del Caudal*

Para evaluar un sistema de abastecimiento se deben tomar en cuenta tres modelos de caudales, tales como:

- **Caudal medio diario:** consumo promedio de una población en 12 mes de registro. (Ninaquispe, 2014)

$$Q_{med d} = \frac{\text{Dotación} * \text{Población}}{86400} = \frac{m^3}{s}$$

*Ecuación 2 Fórmula del Caudal medio diario*

Donde:

Dotación: consumo de agua diario (L/hab\*día) (Ver Tabla 7)

Población: número de habitantes

- **Caudal máximo diario:** consumo máximo en un lapso de 24 horas registrado en un año, este caudal se utiliza como parámetro de diseño en diferentes proyectos hidráulicos. (Ninaquispe, 2014)

$$Q_{maxd} = k_1 * Q_{med d} = \frac{m^3}{s}$$

*Ecuación 3 Fórmula del Caudal máximo diario*

Donde:

Qmed d= Caudal medio diario

k<sub>1</sub>= coeficiente de variación del caudal máximo diario respecto al medio diario

**Nota:** El caudal máximo diario destinado para este proyecto es igual a la división entre el Qmaxd para el porcentaje de tiempo que se bombea.

- **Caudal máximo horario:** consumo máximo presentado en 60 minutos o una hora, durante un año completo. (Ninaquispe, 2014)

$$Q_{max h} = k_2 * Q_{max d} = \frac{m^3}{s}$$

*Ecuación 4 Fórmula del Caudal máximo horario*

Donde:

k<sub>2</sub>= coeficiente de variación de caudal

Qmax d= caudal máximo diario

**Velocidad del flujo (V)**

Es la rapidez con la que un fluido se transporta dentro de un espacio de área conocida.

$$V = \frac{\text{Caudal}}{\text{Área}} = \frac{\frac{m^3}{s}}{m^2} = \frac{m}{s}$$

*Ecuación 5 Fórmula de la velocidad de flujo*

La velocidad de un fluido dentro de un canal cerrado destinado a la conducción de agua debe tener valores limitados con el objetivo de no producir erosión en las paredes de la tubería, de modo que, se impida que los materiales sólidos que son transportados por

el líquido se sedimenten. (INEN 005 , 1992 ). Según la normativa vigente, el valor de velocidad mínima para tuberías de concreto o plástico es de 1 a 3 (m/s).(EMAAPQ, 2008)

### Presión de flujo

Es la fuerza que actúa en el fluido por unidad de área. La presión está directamente relacionada con las pérdidas de carga dentro de todo el sistema de conducción, ya que estas hacen que la presión disminuya; las pérdidas de carga pueden ser:

- **Pérdidas por fricción (hF):** es la resistencia por el líquido a fluir.

$$hF = J * L = m$$

*Ecuación 6 Fórmula de pérdidas por fricción*

Donde:

J= pérdida de carga unitaria (m/m)

L= longitud de la tubería de succión o impulsión (m)

$$J = \left( \frac{Q}{0,2785 * C * D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}}$$

*Ecuación 7 Fórmula de la pérdida de carga unitaria*

Donde:

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

C= coeficiente de rugosidad (Ver Tabla 5)

D= diámetro de la tubería (m)

**Tabla 5** Coeficiente de rugosidad típicos

Fuente: (López, 2003)

MATERIAL DE LA TUBERÍA		
Acero remachado	(nuevo)	110
Acero remachado	(usado)	85
Acero soldado	(nuevo)	130
Acero soldado	(usado)	90
Hierro fundido	(nuevo)	130
Hierro fundido	(15-20 años)	100
Hierro fundido	(> 20 años)	90
Concreto	(buena terminación)	130
Concreto	(terminación común)	120
Asbesto-cemento		140
Plástico (PVC)		150

- **Pérdidas localizadas (hf):** también llamadas pérdidas por accesorios y son producidas por las turbulencias causadas por los accesorios a lo largo de la tubería. Se expresan en unidades de medida de metros de carga de presión(m).

$$hf = k \frac{V^2}{2g} = m$$

*Ecuación 8 Fórmula de las pérdidas localizadas*

Donde:

k= coeficiente de pérdidas de carga de accesorios

V= velocidad del flujo (m/s)

g= gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$$hf = 0,25 \frac{V^2}{2g} \sqrt{\frac{\theta}{90}} = m$$

*Ecuación 9 Fórmula de pérdidas localizadas en un Codo de 90°*

Donde:

V= velocidad de flujo (m/s)

g= gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

θ=ángulo del codo

**Altura dinámica (Hd):** representa la altura o carga de presión total contra la cual tiene que trabajar la bomba, tomando en cuenta las obstrucciones que el líquido enfrenta a lo largo de su recorrido por la tubería de conducción. (López, 2003)

$$Hd = He + \Sigma hf + \Sigma hF = m$$

*Ecuación 10 Fórmula de la Altura dinámica*

Donde:

He= Altura estática

Σhf= Sumatoria de pérdidas localizadas

ΣhF=Sumatoria de pérdidas por fricción

**Eficiencia de la bomba:** Es la correlación que existe entre la potencia del agua otorgada por la bomba (caudal real) y la potencia que ejerce el freno de la bomba en el

eje de esta (caudal teórico). La bomba debe trabajar a una eficiencia superior al 70%. (Magne, 2008)

$$n = \frac{\delta * Q * Hd}{Pn} = \%$$

*Ecuación 11 Fórmula de la Eficiencia de una bomba*

Donde:

$\delta$ = peso específico del agua

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

Hd= altura dinámica

Pn= potencia nominal de la bomba

**Volumen de un tanque (V):** capacidad de almacenamiento de un fluido dentro de un cuerpo.

- **Tanque regulador elevado**

$$V = Q_{max} d * \% * h_s = m^3$$

*Ecuación 12 Fórmula del Volumen de un tanque regulador elevado*

Donde:

Q<sub>max d</sub>: Caudal máximo diario (m<sup>3</sup>/d)

%: suma de valores cuando el tanque está lleno y vacío

H<sub>s</sub>: altura de seguridad (1,20m)

- **Tanque rectangular**

$$V = a * l * p = m^3$$

*Ecuación 13 Volumen de un tanque rectangular*

Donde:

a: ancho (m)

l: largo (m)

p: profundidad (m)

**Población:** Es un conjunto de individuos que viven en un lugar preciso, para los cuales está diseñado un sistema de agua potable y alcantarillado. (Magne, 2008)

- **Población actual:** número de habitantes tomados en cuenta para el diseño de un proyecto. (López, 2003)
- **Población futura:** cantidad de habitantes resultantes al culminar una etapa de elaboración de un proyecto. (López, 2003). Para estimar el dato de población futura se pueden utilizar diferentes métodos, como:

#### **Métodos de calcula para la población futura:**

- **Método lineal**

$$Pf = Puc + k(Tf - Tuc) = \# \text{ de habitantes}$$

*Ecuación 14 Fórmula de la Población futura por el Método Lineal*

Donde:

Pf= Población futura

Puc= Población del último censo

k= constante de incremento poblacional

Tf= Tiempo futuro (año)

Tuc= Tiempo del último censo (año)

$$k = \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci}$$

*Ecuación 15 Fórmula de constante de crecimiento poblacional*

Donde:

Pci= Población del censo inicial

Tci= tiempo del censo inicial (año)

- **Método geométrico**

$$Pf = Puc (1 + r)^{Tf - Tuc} = \# \text{ de habitantes}$$

*Ecuación 16 Fórmula Población futura por el método geométrico*

Donde:

Pf= Población futura

Puc= Población del último censo

r= tasa de incremento poblacional



Tf= Tiempo futuro (año)

Tuc= Tiempo del último censo (año)

$$r = \left[ \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1 \right]$$

*Ecuación 17* Fórmula Tasa de crecimiento poblacional

Donde:

Pci= Población del censo inicial

Tci= Tiempo del censo inicial (año)

- **Método logarítmico**

$$Pf = Pa * e^{r(Tf - Ta)} = \# \text{ de habitantes}$$

*Ecuación 18* Fórmula de población futura por el método logarítmico

Donde:

Pf: Población futura

Pa: Población actual

e: épsilon (2,71828)

r: Tasa de crecimiento logarítmica

Tf: Tiempo futuro

Ta: Tiempo actual

$$r = \frac{\ln Pf - \ln Pa}{Tf - Ta}$$

*Ecuación 19* Fórmula Tasa de crecimiento logarítmica

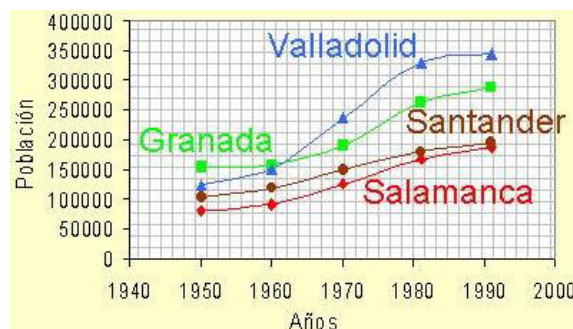
Donde:

Ln: logaritmo natural

- **Método de comparación gráfica:** se compara de manera gráfica la población

estudiada

(Magne,



con otras poblaciones.

2008)

*Figura 11* Método de comparación gráfica de poblaciones Fuente: (INE, s.f.)

**Dotación:** Se refiere a la cantidad de agua potable que es aprovechada cada día por cada habitante que conforma la población. Comprende los consumos comerciales, domésticos, industriales y públicos. (INEN 005 , 1992 ) Las dotaciones recomendadas de acuerdo con la cantidad de habitantes, se describe en la tabla 6.

**Tabla 6** Dotaciones recomendadas Fuente: (INEN 005 , 1992 )

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. DATOS PRELIMINARES

#### 2.1.1. Parroquia San Gregorio

La parroquia San Gregorio se ubica en el cantón de Muisne en la provincia de Esmeraldas, está a cien kilómetros de la capital y treinta kilómetros del centro del cantón Muisne, tiene una extensión de 49.408 ha, se encuentra en la “Latitud: N 0° 0' / N 1° 0' y Longitud: W 81° 0' / W 80° 0'”, colinda con las parroquias de San José de Chamanga, Sálima, Bolívar y la parroquia matriz de Muisne. El recinto Tres Vías está dentro de la parroquia ya mencionada. (Reyna, 2014)

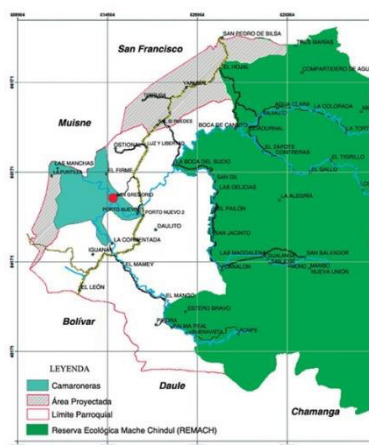


Figura 12 Ubicación geográfica San Gregorio Fuente: (GAD San Gregorio, 2019)

#### 2.1.2. Variables climáticas y recursos naturales

##### ✓ Temperatura

En el recinto Tres Vías que se encuentra dentro de la parroquia San Gregorio, la temperatura media anual varía entre los 25°C a 36°C. (GAD San Gregorio, 2019)

##### ✓ Precipitación

Los datos de precipitación promedio son de 1500 a 2500mm. (GAD San Gregorio, 2019)

##### ✓ Humedad

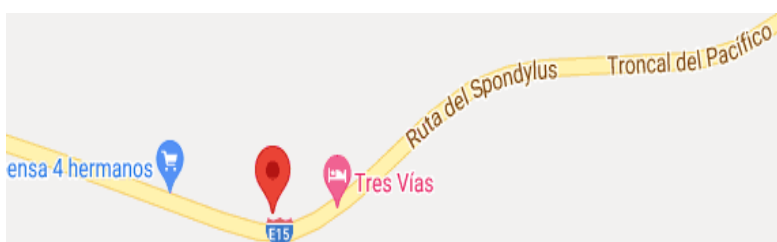
La humedad relativa dentro de la provincia de San Gregorio es del 85%, perteneciente a un bosque húmedo-tropical. (GAD San Gregorio, 2019)

### 2.2. Levantamiento de información base para el sistema de abastecimiento

#### 2.2.1. Ubicación del proyecto

El presente proyecto tuvo lugar dentro del cantón Muisne en la parroquia San Gregorio en el recinto Tres Vías, el cual tiene como fin evaluar y establecer mejoras en el sistema de abastecimiento de agua potable, buscando optimizar el sistema ya mencionado. Se

encuentra localizado al borde del Río Repartidero, en donde se inicia la captación, se extiende en sentido norte a lo largo de terreno, hasta llegar al tanque de almacenamiento.



*Figura 13 Ubicación del proyecto Fuente: (Google Maps, 2015)*

### **2.2.2. Visita de campo**

Terminando el mes de octubre del año 2020, se visitó la parroquia San Gregorio, recinto Tres Vías, con el objetivo de realizar la evaluación y conocer las particularidades principales del sistema de abastecimiento y las personas encargadas del mismo.

Durante la visita al sistema de abastecimiento dentro del recinto, se constató que algunos de los datos proporcionados con anterioridad por parte de los dirigentes de la junta de agua no eran correctos. Se informó que existían tres tipos de fuentes de abastecimiento, dos ríos y un pozo, sin embargo, la única fuente de abastecimiento destinada para el recinto Tres Vías es el río Repartidero.

Por otro lado, se identificó que, posteriormente a la tubería de conducción del sistema de abastecimiento, se encuentra el proceso de tratamiento del agua cruda, se observó que utilizan una serie de bandejas para transportar el agua hacia un tanque que cuenta con una tubería con orificios, la cual posteriormente conduce el agua hacia un reservorio en donde se le añade cloro y posteriormente a este tratamiento, el agua es dirigida hacia el tanque de almacenamiento.

### **2.2.3. Fuente de abastecimiento**

De acuerdo con el recorrido realizado por las estudiantes, se identificó que la fuente de abastecimiento proviene de las aguas superficiales del río Repartidero, el cual no solo dota de agua a la población, sino que también sirve como fuente de alimentación para los moradores. Al tratarse de aguas superficiales y al estar en contacto con los seres humanos y sus labores cotidianas, el agua no se considera adecuada para ser consumida de forma directa, sin antes tener un tratamiento adecuado.



*Figura 14 Fuente de Abastecimiento, Río Repartidero*

#### **2.2.4. Captación**

Después de reconocer la fuente de abastecimiento del sistema, se identificó la ubicación y el tipo de captación utilizada en el recinto. La captación está constituida por una tubería cuya función es suministrar agua al pozo húmedo, esta se encuentra sumergida y cercana a la orilla del río Repartidero.

#### **2.2.5. Levantamiento de puntos GPS**

Se realizó un recorrido GPS con un dispositivo Garmin, en el recorrido estuvo presente el presidente de participación ciudadana y una persona a cargo del cuerpo de bomberos del recinto. La ruta inició desde la fuente de abastecimiento, es decir, desde el borde del río, se continuó en sentido de la tubería de conducción, hasta llegar al sistema de abastecimiento de agua potable del recinto, donde se realiza los procesos para la potabilización del agua superficial. Cabe recalcar que, se marcaron los sitios de mayor relevancia que se encontró en el trayecto y que el dispositivo GPS estuvo encendido en todo momento.



*Figura 15 Recorrido de puntos GPS*

### **Análisis de los componentes del sistema**

Mediante una reunión llevada a cabo con la Junta de Agua de Tres Vías, se logró obtener información necesaria acerca de los componentes del sistema de abastecimiento. Las personas a cargo pudieron facilitar las dimensiones de los diámetros y longitudes de las tuberías, el material de estas, caudal transportado y

dimensiones de los tanques del sistema y del pozo húmedo. Sin embargo, para la obtención de datos más reales sobre el caudal utilizado y las longitudes de las tuberías, se realizó un método de aforo de caudal volumétrico y con la ayuda del GPS se logró conseguir la longitud real de la conducción.

### **Análisis poblacional**

Con respecto al análisis poblacional, se tenía previsto la elaboración de un censo poblacional con la finalidad de conocer la cantidad de personas que son beneficiarios de la red de agua potable, sin embargo, de acuerdo con las condiciones y restricciones sanitarias en ese entonces en el Ecuador y en cada una de sus provincias, no se cumplió con el objetivo propuesto. No obstante, la secretaria de la junta de agua del recinto Tres Vías, pudo facilitar los datos de los consumidores.

## **2.3. Calidad y cantidad de agua en los sitios de toma**

### **2.3.1. Calidad de agua en los sitios de toma**

#### **Muestreo**

Dentro del diagnóstico de calidad de agua del río Repartidero como de los grifos de agua residenciales, se elaboró un plan de muestreo el cual fue ejecutado en el mes de mayo del presente año. Como base del plan de muestreo, se establecieron los parámetros de medición para cada una de las muestras, para definir los parámetros a analizar en el agua cruda se utilizó la reforma del “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente” Libro VI “Norma de Calidad Ambiental”, Anexo 1, mientras que, para definir los parámetros a analizar en el agua potabilizada, se utilizó la “Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108”.

Para la toma de muestras se utilizó un recipiente de plástico, con el cual se tomaron tres muestras simples en diferentes puntos del río y de igual manera en diferentes grifos de agua residenciales, estas fueron colocadas en frascos de vidrio de 1000ml de color ámbar con su respectiva identificación (1A, 2A y 3A) para el agua cruda y (4A, 5A y 6A) para el agua potable, se utilizó el método de muestreo probabilístico aleatorio simple.



*Figura 16 Muestreo en el Río Repartidero*

A continuación, se detallan los parámetros determinados a ser analizados en cada tipo de agua.

Los parámetros que fueron evaluados para las muestras de agua cruda del río Repartidero, como se mencionó con anterioridad se establecieron en el plan de muestreo, y el “Criterio de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico”, están normados dentro de la reforma en el “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Acuerdo 097-A” y “Registro Oficial 387” del año 2015.

A continuación, se muestran los parámetros establecidos:

- Alcalinidad
- Calcio
- Caudal
- Coliformes fecales
- Coliformes totales
- Color real
- Conductividad eléctrica
- Cromo hexavalente
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Dureza cálcica
- Dureza magnésica
- Dureza total
- Fosforo total
- Magnesio
- Nitratos
- Nitritos
- Oxígeno disuelto
- Potencial hidrogeno (pH)
- Sólidos disueltos totales
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos totales
- Sulfatos
- Temperatura in situ
- Turbiedad

Existen parámetros que no se encuentran dentro de la norma especificada para realizar la comparación, pese a eso, estos parámetros se tomaron en cuenta para observar si existe contaminación doméstica, industrial o de otro tipo.

Los parámetros que fueron evaluados para las muestras de agua potable, y los requerimientos físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano, se encuentran normados en la “INEN 1108”, sexta revisión del año 2020. A continuación, se muestran los parámetros establecidos:

- Caudal
- Cloro libre/residual
- Coliformes fecales
- Coliformes totales
- Color aparente
- Fluoruros
- Nitratos
- Nitritos

- Potencial hidrogeno (pH)
- Sólidos disueltos totales
- Turbiedad

Dentro de los parámetros establecidos algunos no se encuentran en la norma especificada, no obstante, se consideran relevantes para comprobar el funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento.

Cabe mencionar que, para la realización del muestreo para agua cruda como para agua potable, tuvo como base un registro de “Toma de muestras de aguas y efluentes líquidos” proporcionado por el laboratorio ambiental contratado, en donde se anotaron las coordenadas del punto donde se tomó la muestra, fecha de toma y hora en el que se realizó muestreo, el tipo de muestra, la identificación del punto de monitoreo, el número de envase, las condiciones ambientales del sitio (temperatura y humedad), la temperatura de la muestra y el caudal (Ver Anexo 1).

## **2.4. Evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento**

### **2.4.1. Población futura**

Para la determinación del número de personas para los que va a hacer la evaluación del sistema de suministro de agua potable, se aplicaron diferentes métodos de estadística y probabilidad, con la finalidad de obtener un dato de población futura cercano a la realidad.

Con la ayuda de las “Proyecciones poblacionales, por años calendario, según cantones de los años 2010-2020”, emitida por el “Instituto nacional de Estadísticas y Censos” (INEC), se realizó un análisis por el método lineal, geométrico y logarítmico, para estimar el dato de la población futura, se hizo el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional para cada método en el cantón Muisne, cabe mencionar que el valor obtenido de la tasa de crecimiento poblacional fue utilizada para calcular la población futura en el recinto Tres Vías . Luego de un análisis detallado se definió que, el método que más se asemeja a las condiciones de crecimiento poblacional a ser utilizado en esta evaluación es el método logarítmico (Ver Ecuación 18).

### **2.4.2. Dotación de agua potable**

Basándose en la norma ecuatoriana “INEN 5” de “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”, se seleccionó la dotación adecuada en función del número de habitantes y del clima de la zona. (Ver Tabla 6)



### 2.4.3. Cálculo de caudales

Durante la visita de campo en Tres Vías, la secretaria de la junta de agua facilitó el número de habitantes que son favorecidos por la prestación de agua potable, dato indispensable para calcular los tipos de caudales necesarios: el caudal medio diario (Ver Ecuación 2), el caudal máximo diario (Ver Ecuación 3) tomando en cuenta las 22 horas de bombeo y el caudal máximo horario (Ver Ecuación 4). Los cálculos de los tres tipos de caudales mencionados anteriormente fueron realizados para la población futura y la actual.

Los cálculos que se obtuvieron del caudal en la población a futuro servirán para la estimación del consumo de agua con respecto al crecimiento poblacional hasta el año 2050.

### 2.4.4. Sistema de bombeo

Al borde del río Repartidero se encuentra la estación de bombeo del sistema de abastecimiento de agua potable de Tres Vías, donde se conecta a un pozo húmedo del cual se bombea el agua mediante una bomba, cabe recalcar que el sistema no cuenta con una tubería de succión. La bomba está conectada a través de la tubería de impulsión la cual conduce el agua hacia las instalaciones del proceso de tratamiento.



*Figura 17 Estación de bombeo, parte externa e interna y pozo húmedo*

Durante una reunión con los dirigentes de la junta de agua del recinto, se analizaron las partes que constituyen la estación de bombeo, donde se entregó el detalle de la factura de la compra de la bomba utilizada en el sistema, esta detallaba el fabricante, la marca, modelo y tipo de bomba que se utiliza en el sistema de abastecimiento. Luego de investigar en el catálogo de bombas del fabricante, se logró conseguir el dato de la potencia y la curva característica de la bomba para que de esta manera se pueda realizar la curva del sistema de bombeo de Tres Vías.

- **Curva de operación del sistema de bombeo del recinto Tres Vías**

Se introdujo los resultados de los cálculos en una hoja de Excel que detalla:

- Caudal ( $m^3/h$ ) valores proporcionados por el fabricante que posteriormente se transformó a ( $m^3/s$  y  $L/s$ )
- Pérdida de carga unitaria (Ver Ecuación 7)
- Pérdidas por fricción (Ver Ecuación 6)
- Pérdidas localizadas (Ver Ecuación 8) se consideró los valores de los coeficientes de pérdidas de cada accesorio
- Carga de velocidad (Ver Ecuación 5)
- Altura estática
- Altura dinámica (Ver Ecuación 10)

Una vez elaborada la curva de operación del sistema de bombeo con las variables mencionadas anteriormente, se calculó la eficiencia de trabajo de la bomba (Ver Ecuación 11) para luego realizar un gráfico de dispersión en Excel tomando en cuenta la curva con la que opera el sistema de bombeo junto con la curva característica de la bomba, donde el eje de las abscisas presenta el caudal ( $m^3/s$ ) y el eje de las ordenadas presenta la altura dinámica (m). Ya realizado el gráfico se identificó que era indispensable hacer una proyección a la curva característica de la bomba y a las curvas referentes a la altura dinámica mínima y a la altura dinámica máxima, también fue necesario modificar los dos últimos datos de altura de la curva característica de la bomba para que la curva sea constante. Las modificaciones realizadas mencionadas con anterioridad tuvieron base en el gráfico de dispersión proporcionado por Excel, ya que no existía intersección entre las líneas de altura dinámica mínima y máxima junto con la curva característica de la bomba, debido a que, la bomba utilizada no es la adecuada para ese sistema de abastecimiento, de igual manera, con ayuda de las modificaciones realizadas el valor de la eficiencia de la bomba se incrementó.

Para la proyección de las curvas, se implementaron líneas de tendencia en cada una de ellas, las cuales suministraron ecuaciones de diferente índole.

Una vez determinadas las líneas de tendencia a emplear en las diferentes curvas, se extrajo la ecuación proporcionada por cada línea de tendencia y se introdujo en las tablas con la finalidad de extender el rango de datos, cabe mencionar que la ecuación utilizada en la curva característica de la bomba no solo se usó para incrementar los datos, sino que también fue empleada con el propósito de cambiar los dos últimos valores de altura a fin de que el gráfico de la curva característica de la bomba sea constante.

## 2.4.5. Línea de conducción

### Conducción

A lo largo del recorrido por la línea de conducción, se identificó que la tubería destinada a la conducción del agua cruda se encuentra enterrada, los demás datos relevantes de la tubería como el material, diámetro y el caudal que pasa por esta fueron entregados por la persona a cargo del sistema. Por otro lado, se divisaron dos tipos de válvulas instaladas en el sistema, el operario a cargo indicó que se trataba de una válvula de purga y otra de aire respectivamente.

Al final del recorrido realizado, se midió la cantidad de agua que transporta la tubería de conducción. Para calcular cuánta agua está disponible se empleó un método de aforo volumétrico, este consistió en tomar el tiempo en que se llena un recipiente de capacidad conocida a la salida de la tubería de conducción. De acuerdo con el método utilizado, se obtuvieron datos de volumen y tiempo para posteriormente ingresarlos en la fórmula de caudal. (Ver Ecuación 1)

Por otro lado, para obtener la ruta de la tubería de conducción del sistema, se procedió a introducir el recorrido GPS realizado con anterioridad, en un software denominado MapSource, el cual permitió descargar los datos del dispositivo GPS.

Posteriormente extraídos los datos de coordenadas y elevación, se colocaron en una hoja de Excel previamente separados, para luego ser ingresados en el software de obras civiles (Civil 3D).

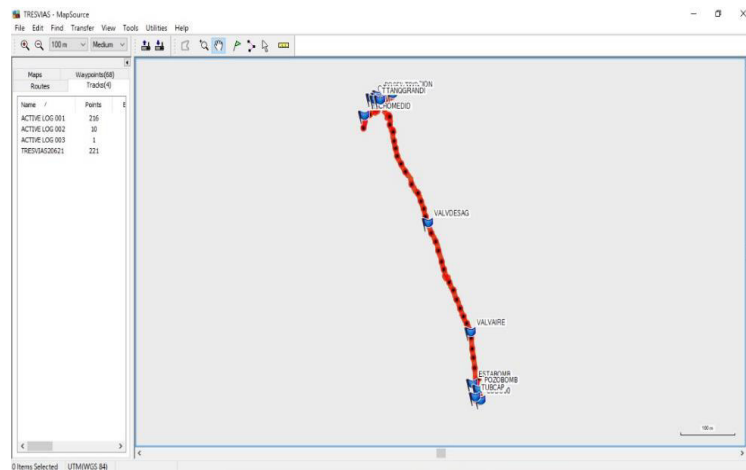
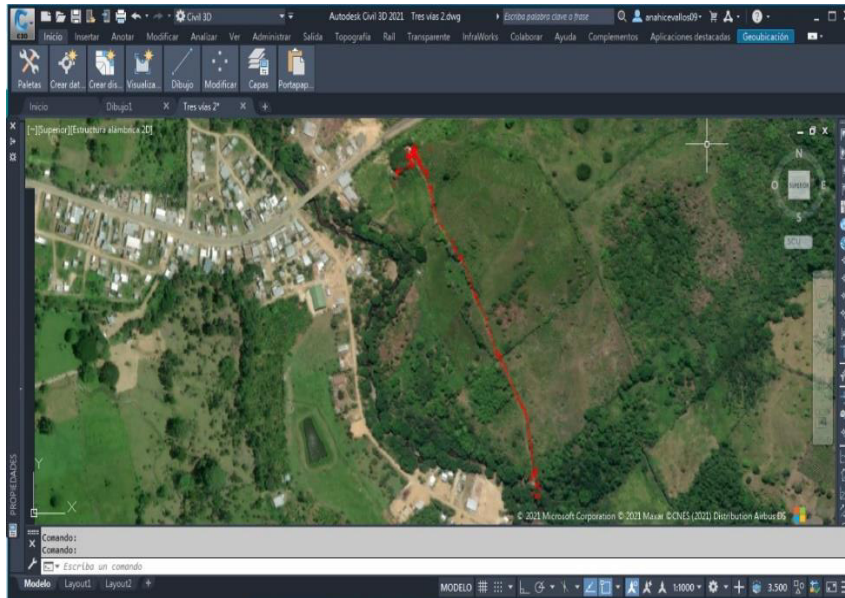
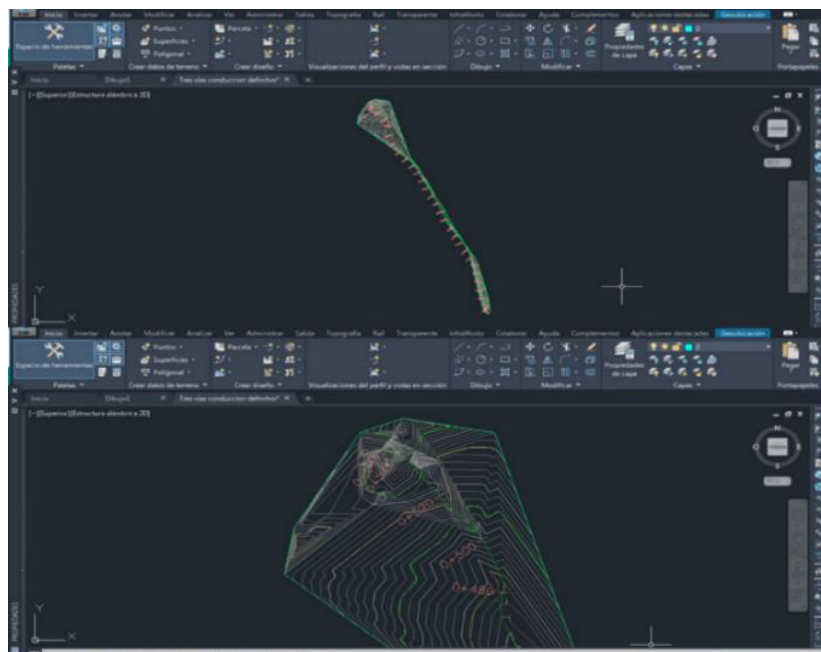


Figura 18 Línea de conducción en MapSource en EPANET



**Figura 19** Línea de conducción en Civil 3D

Una vez trazada la ruta recorrida en el software, este proporcionó los datos reales de la longitud de la tubería de conducción, elevación y coordenadas de cada punto. Luego se realizó las curvas de nivel a partir de los puntos GPS, las cuales fueron utilizadas para diseñar un perfil del terreno recorrido en donde consten los valores de cota (elevación) y altura (longitud), con el objetivo de analizar los puntos altos y bajos de la superficie por donde atraviesa la conducción y de esta manera determinar si las válvulas colocadas son las suficientes para el sistema o por el contrario si es necesario incrementar el número de válvulas.



**Figura 20** Curvas de nivel de la Línea de conducción

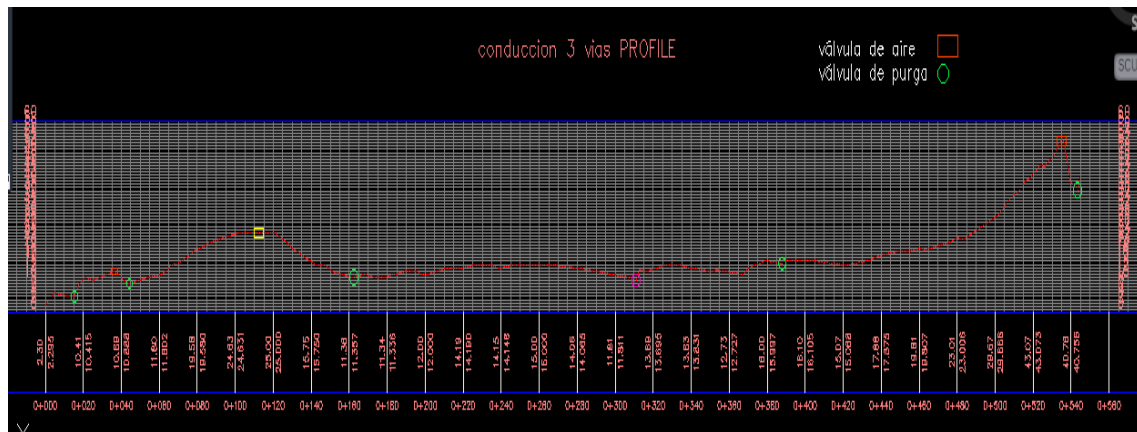


Figura 21 Perfil longitudinal del terreno en Civil 3D

- **Simulación hidráulica**

Después de realizar la conducción en civil 3D, se procedió a editar esta, se cortó la línea de conducción en los puntos en donde se encontraban las válvulas y la bomba, para que el momento que el archivo sea ingresado a EPANET se pueda colocar la bomba y los nodos de las válvulas, posteriormente se guardó el archivo en formato (.dxf).

Luego el archivo mencionado anteriormente se ingresó a un software denominado EpaCAD, el cual transformó el archivo proveniente de AutoCAD (.dxf), en un archivo interpretable con EPANET (.inp) utilizando el modo Vertex.

Una vez abierto el software EPANET se colocaron los valores por defecto de las opciones hidráulicas: las unidades de caudal (L/s) y la ecuación de pérdidas a utilizar (Darcy Weisbach). El coeficiente de rugosidad de las tuberías se introdujo en las propiedades de valores por defecto.

Después de haber realizado las modificaciones necesarias, el archivo en formato (.inp) estaba listo para ser abierto y editado.

- Se instaló un embalse (pozo húmedo) al inicio de la conducción con su respectiva elevación.
- Únicamente se especificó el diámetro de las tuberías, debido a que la longitud de estas ya venía establecida desde el Civil 3D.
- Se estableció la elevación en cada nodo de la conducción.
- Se colocó la bomba en el espacio determinado para esta en la dirección del sentido del flujo.

- Se creó una curva en donde se introdujo la curva característica de la bomba con los datos provenientes del fabricante, para luego ser añadida como dato en la bomba.

Ya ingresados todos los datos correspondientes se inició la simulación hidráulica, el programa facilitó los resultados deseados expuestos en dos tablas (Nudos de la red y Líneas de la red).

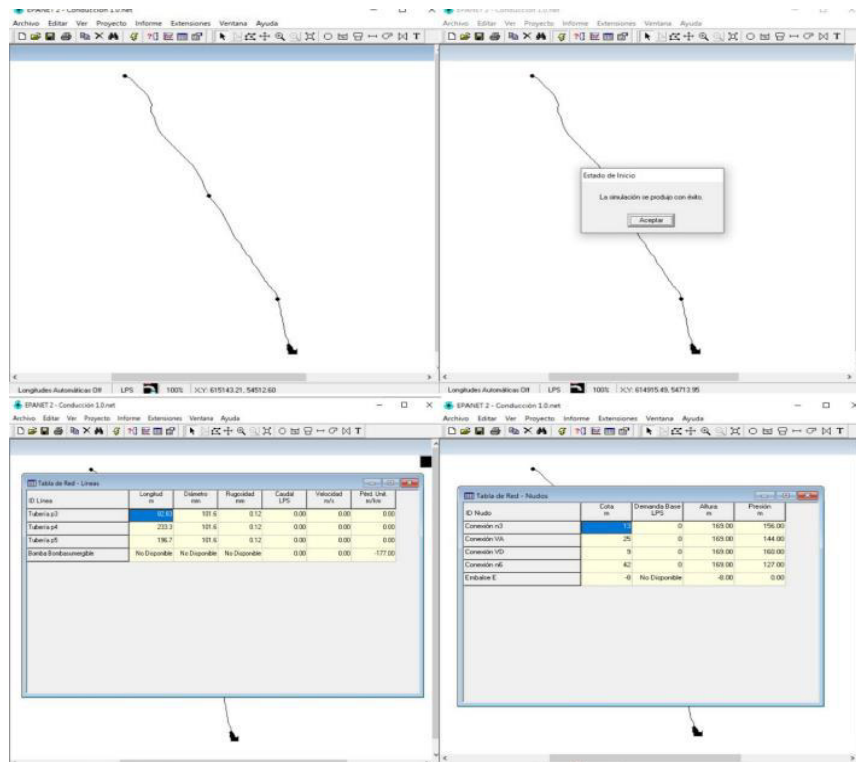


Figura 22 Simulación hidráulica de la conducción en EPANET

## 2.4.6. Almacenamiento

### Volumen del tanque de almacenamiento

El sistema de agua potable del recinto Tres Vías cuenta con dos tanques elevados de hormigón destinados al almacenamiento, estos son rectangulares y se encuentran interconectados. Para determinar la dimensión de cada uno de los tanques, se utilizó un flexómetro con el cual se midió el ancho, el largo y la profundidad de estos. Los datos obtenidos de dimensionamiento fueron utilizados para el cálculo del volumen de cada uno de los tanques. (Ver Ecuación 13). Sin embargo, para obtener un dato con mayor exactitud con respecto al volumen, se desarrolló el método de la curva integral de consumo.

- **Método de la curva integral de consumo**

Se ejecutó una hoja en Microsoft Excel para el desarrollo del método en donde se añadieron los siguientes datos:

- **Hora:** se utilizó un total de 24 horas
- **Consumo (C):** valores basados en una curva de distribución típica en un tiempo de 24 horas (Ver Figura 10).
- **Curva integral de consumo ( $\sum C$ ):** es la sumatoria de los valores de consumo (Consumo acumulado).
- **Suministro (%S):** se obtiene de la división del porcentaje total (100) para el número de horas de bombeo.
- **Curva integral de suministro ( $\sum S$ ):** es la sumatoria de los valores del suministro.
- **Déficit horario ( $\Delta$ ):** es el resultado de la resta entre el suministro y el consumo.
- **Déficit acumulado ( $\sum \Delta$ ):** es la sumatoria de los valores del déficit horario.
- **Volumen del agua en el tanque por hora (%V):** se debe colocar el valor de cero (0) en el menor valor del déficit acumulado, luego en la celda superior se resta el volumen anterior y el déficit horario de la misma celda, se arrastra el resultado hacia arriba y hacia abajo. Los resultados serán positivos y negativos respectivamente
  - **Tangentes a la curva de suministro:**
    - Tangente a la curva integral de suministro cuando el tanque se encuentra vacío.
    - Tangente a la curva integral de suministro cuando el tanque se encuentra lleno.

Una vez efectuados todos los cálculos se procede a realizar un gráfico de dispersión, que consta con cuatro curvas diferentes, en donde el eje de las abscisas son las horas de consumo (24 horas) y el eje de las ordenadas varía dependiendo de la curva. La primera curva tiene en el eje de las ordenadas la curva integral de consumo, la segunda curva tiene en el eje de las ordenadas la curva integral de suministro, la tercera curva tiene en el eje de las ordenadas la primera línea paralela y la cuarta curva tiene en el eje de las ordenadas la segunda línea paralela.

En base al gráfico de dispersión se obtuvieron valores para determinar el volumen del tanque regulador, de la curva integral de suministro hacia arriba arroja un valor de

cuando el tanque está vacío y de la curva integral de suministro hacia abajo es cuando el tanque está lleno, con la suma de ambos valores se consigue un porcentaje, el cual es necesario para aplicar en la fórmula del volumen del tanque de almacenamiento elevado. (Ver Ecuación 12)

### **2.5. Planteamiento de mejoras**

Posteriormente al análisis hidráulico realizado a cada elemento del sistema del suministro y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los diferentes cálculos, se plantearon las mejoras necesarias dentro del sistema de abastecimiento de agua potable.

### **2.6. Presentación de la evaluación del sistema de abastecimiento a la comunidad y propuestas de mejora**

Mediante una exposición y una memoria técnica se presentarán el estudio realizado con sus respectivos resultados y las propuestas que ayudarán a la mejora del sistema de abastecimiento de agua potable a los dirigentes del GAD parroquial, a los miembros de la junta de agua potable y a la comunidad.



### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1. Levantamiento de información base para el análisis del sistema de abastecimiento

Al finalizar la visita de campo y al término del levantamiento de la información indispensable para desarrollar el presente proyecto, se hizo un esquema del sistema de abastecimiento del recinto Tres Vías en AutoCAD, en donde se indicó de manera general todos los componentes que forman parte del sistema de agua potable, a continuación, se presenta el esquema elaborado.

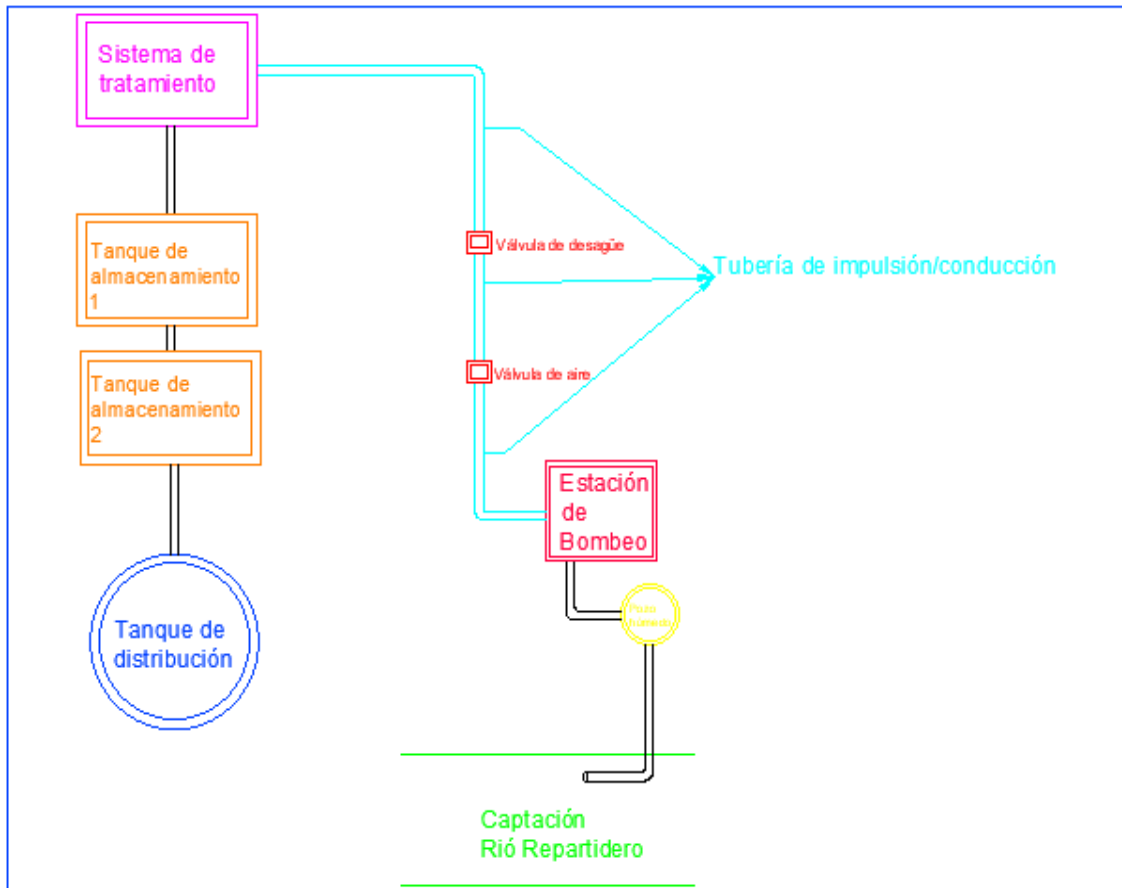
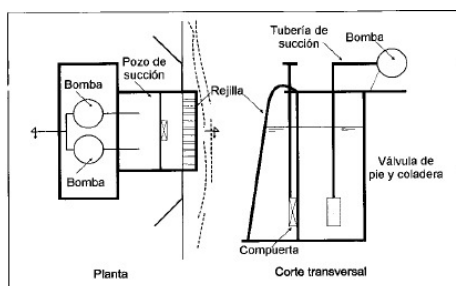


Figura 23 Esquema del Sistema de Abastecimiento de agua potable del recinto Tres vías

##### 3.1.1. Captación

El tipo de captación empleada en el sistema es "Bocatoma Lateral con Bombeo", ya que este tipo de bocatoma se emplea para ríos con secciones relativamente anchas y posee una rejilla a la entrada de la tubería ubicada en el río, que impide el paso de elementos de gran tamaño que puedan obstruir el flujo hacia el pozo húmedo.



**Figura 24** Bocatoma lateral con bombeo Fuente: (López, 2003)

De acuerdo con la visita de campo realizada al sistema de abastecimiento del recinto Tres Vías se observó que la bocatoma lateral con bombeo se encuentra situada en las coordenadas 17N 614962 54235 en el río Repartidero, en donde se utiliza una tubería conectada al pozo húmedo, con la finalidad de que el nivel de agua tanto en el río como en el pozo sea equivalente. La tubería empleada es de PVC con una extensión de 28 metros y con un diámetro de 6 pulgadas (152,4 mm).

### 3.1.2. Levantamiento de puntos GPS

El recorrido realizado tuvo un total de 221 puntos GPS georreferenciados, los cuales fueron puestos en un plano en el software Civil 3D, en donde mediante una ortofotografía colocada en la parte posterior de los puntos y la geo ubicación proporcionadas por el programa se identificó que la zona recorrida era la correcta y además se podía apreciar las obras que forman parte del sistema de abastecimiento del recinto Tres Vías. Cabe mencionar que, este apartado es la base principal para el desarrollo del proyecto, ya que, en este punto se identificó que el sistema de agua potable está compuesto por: captación, sistema de bombeo, conducción, tratamiento y almacenamiento.

## 3.2. Verificación de la calidad y cantidad de agua en los sitios de toma

### 3.2.1. Calidad de agua en los sitios de toma

En el diagnóstico de la condición del agua cruda, se ejecutó el muestreo en tres puntos del río, en donde está ubicada la captación, aguas arriba y abajo de la captación. La nomenclatura designada para cada una de las muestras fue: 1A, 2A y 3A. Los puntos de muestreo fueron establecidos de acuerdo con las "Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EMAAP-Q".

En cuanto a, los muestreos del agua tratada se realizaron en tres grifos de agua residenciales, en la primera casa, en la casa central y en la última casa en el sistema de distribución y la nomenclatura utilizada fue 4A, 5A y 6A respectivamente. Los puntos de muestreo para este tipo de agua fueron especificados en esos lugares con el objetivo

de verificar si la cantidad de cloro libre residual en cada punto se encuentra dentro de la normativa especificada.

Las coordenadas del punto de toma, fecha de toma de la muestra y la hora en que se realizó el muestreo, el tipo de muestra tomada, la identificación del punto de monitoreo, el número de envase, las condiciones ambientales del sitio (temperatura y humedad), la temperatura de la muestra y el caudal y sitios de toma de los muestreos efectuados se encuentran establecidos en el “Registro de toma de muestras de aguas y efluentes líquidos” provisto por el laboratorio ambiental ChávezSolutions Ambientales Cía.Ltda. (Ver Anexo 2)

Una vez obtenidos los informes con los resultados de las caracterizaciones, se compararon con las normas especificadas para cada tipo de agua. En este caso la norma utilizada para los análisis del agua cruda fue el “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Acuerdo 097-A” y “Registro Oficial 387” del año 2015, debido a que, esta norma establece los criterios de calidad que deben tener los parámetros que se encuentran en el agua superficial salvaguardando la calidad del agua, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus relaciones en general con el ambiente.

La norma utilizada con relación al agua potable fue la “INEN 1108” sexta revisión del año 2020, la misma que fue elegida porque establece los requisitos que debe tener el agua para consumo humano proveniente de sistemas de abastecimiento suministrada por medio de sistemas de distribución.

Posteriormente al análisis de manera individual de cada tipo de agua, se hizo una comparación entre el agua cruda y potable con el objetivo de verificar si el sistema de tratamiento utilizado funciona adecuadamente.

**Tabla 7** Resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del Agua Cruda

Parámetro	Expresados como	Unidad	Resultado			Criterio de calidad (TUSLMA Tabla 1)
			Muestra 1A (Aguas arriba de la captación)	Muestra 2A (En la captación)	Muestra 3A (Aguas abajo de la captación)	
Alcalinidad	-	mg/L CaCO <sub>3</sub>	112,3	104	66,6	NA
Calcio	Ca	mg/L	25,8	22,6	13,7	NA
Caudal	Q	L/s	0,5	0,67	0,57	NA
Coliformes fecales	Colonias/100ml	Colonias/100ml	4	5	4	1000
Coliformes totales	Colonias/100ml	Colonias/100ml	700	920	50	NA
Color	Color real	unidades Pt/Co	44	42	50	75
Conductividad eléctrica	-	uS/cm	275	275	211	NA
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,010	0,013	0,038	0,05
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	25	20	0	<2
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	464	620	400	<4
Dureza Cálcica	-	mg/L CaCO <sub>3</sub>	64,4	56,4	34,2	NA
Dureza magnésica	-	mg/L CaCO <sub>3</sub>	40,3	36,2	26,2	NA
Dureza Total	-	mg/L CaCO <sub>3</sub>	104,7	92,6	60,4	NA
Fósforo total	FO <sub>4</sub>	mg/L	0,21	0,21	0,16	NA
Magnesio	Mg	mg/L	9,8	8,8	6,4	NA
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/L	0,030	0,030	0,07	50
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/L	0,009	0,014	0,016	0,2
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	87,1	88,2	88,6	NA
Potencial hidrógeno	pH	unidades de Ph	6,67	6,84	6,9	6-9
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/L	138,1	137,9	105,9	NA
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	2,0	2	4	NA
Sólidos totales	ST	mg/L	217,7	184	184,9	NA
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/L	29	26	27	500
Temperatura in situ	°C		27,3	27,4	27	NA
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	16	19	20	100

En la tabla 7 se presentan los resultados del análisis de los parámetros medidos en las muestras de agua cruda tomadas en el Río Repartidero, los valores que se encuentran en las casillas de color celeste son los que constan dentro de la normativa del “TULSMA Libro XI, Anexo 1, Tabla 1 del año 2015 Acuerdo 097-A”, mientras que, los valores en color rojo son los que no están dentro del rango permisible en la misma normativa. El resto de los parámetros que se encuentran en las casillas sin color no constan dentro de la normativa nombrada anteriormente, pero se los tomaron en cuenta con base en lo que cada uno representa con relación a la posible contaminación dentro del río.

### **Comparación con el “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente”**

La normativa establecida para la comparación de la calidad de agua cruda es el Libro VI “Norma Calidad Ambiental” Anexo 1 Numeral 5.1 (“Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios”) Tabla 1 (“Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico”).

Dentro de los resultados obtenidos de los análisis de agua cruda tomadas del Río Repartidero, existen nueve parámetros en total, de los cuales únicamente dos de ellos superan los valores establecidos en la normativa para aguas de consumo. (Ver tabla 7). Los dos parámetros que se encuentran fuera del límite establecido por la normativa son: demanda bioquímica de oxígeno en 5 días ( $DBO_5$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO), y debido a que sus resultados son superiores a lo normado se identificó que existe contaminación en el agua por materia orgánica debido al  $DBO_5$  y contaminación por materia inorgánica debido al DQO.

### **Comparación de los parámetros no establecidos en la normativa TULSMA**

Según los valores obtenidos de los parámetros que no se encuentran en la normativa con relación al agua cruda se determinó que la alcalinidad dentro de una muestra nos indica el índice de estabilidad de carbonato de calcio que debe poseer el agua, el cual no debe exceder los 300mg/l. Con relación a lo expresado anteriormente el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) en el agua representan el lugar geológico por donde esta ha sido transportada y por otro lado son los causantes de que el agua se haga dura. El término “agua dura” hace referencia al agua que presenta un alto contenido de calcio y magnesio, estos dos componentes en cantidades grandes puede afectar a la salud humana causando un aumento de calcio en el cuerpo y afectando al cerebro.

La presencia de coliformes totales en el agua indica que existe presencia de microorganismos enterobacteriáceas, la conductividad eléctrica muestra el índice de sal

disuelta en el agua y esto está directamente relacionado con los sólidos disueltos existentes. La presencia de fósforo en altas cantidades dan como resultado el crecimiento de algas y hace que el agua sea turbia y baja en oxígeno, sin embargo, la presencia de oxígeno disuelto (OD) en el agua es fundamental ya que ayuda a la vida acuática que se encuentra en el río y está estrechamente relacionado con la temperatura. Por esta circunstancia si la temperatura en el agua aumenta la proporción de OD en esta disminuirá. Por otro lado, se evidenció que la presencia de sólidos suspendidos y totales representan la contaminación que viene de descargas de agua domésticas e industriales.

**Tabla 8** Resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del Agua Potable

Parámetro	Expresados como	Unidad	Resultado			Límite permitido
			Muestra 4A (Primera casa de la red de distribución)	Muestra 5A (Casa del centro)	Muestra 6A (Última casa de la red de distribución)	INEN 1108
Caudal	Q	L/s	0,40	0,21	0,29	NA
Cloro libre residual	-	mg/L	0,030	-0,11	-0,12	0,3 a 1,5
Coliformes fecales	Colonias/100ml	Colonias/100ml	8	0,00	7	Ausencia
Coliformes totales	Colonias/100ml	Colonias/100ml	39	70	123	NA
Color	Color aparente	unidades Pt/Co	130	122	189,00	15
Fluoruros	F <sub>2</sub>	mg/L	-3,81	-3,87	-3,86	1,5
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/L	0,050		0,07	50
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/L	0,017	0,019	0,023	3
Potencial hidrógeno	pH	unidades de pH	7,2	7,10	6,90	NA
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/L	124	124,7	119,70	NA
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	20	23,0	36,00	5

En la tabla 8 se expone los resultados del análisis de los parámetros medidos en las muestras tomadas de agua potable en los grifos residenciales del recinto Tres Vías, los valores que se encuentran en las casillas de color celeste son los que constan dentro de la normativa "INEN, 1108 Tabla 1 año 2020", y los valores en color rojo son los que

no están dentro del rango permisible en la misma normativa. El resto de los parámetros que se encuentran en las casillas sin color no constan dentro de la normativa nombrada anteriormente, pero se los tomaron en cuenta con base en la verificación del correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de agua potable.

### **Comparación con la norma “INEN 1108”**

La normativa establecida para realizar la comparación de la calidad del agua potable es la “Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 “Numeral 4 (Requisitos) Tabla 1 (“Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano”).

Dentro de las muestras de agua tratada tomadas de los grifos residenciales se obtuvieron resultados donde existen seis parámetros en total que se encuentran en la normativa de los cuales tres de ellos superan los valores establecidos para aguas de consumo humano. (Ver tabla 8).

Dentro de los parámetros que están alejados de los valores límite establecidos por la normativa encontramos el cloro libre residual, su valor se encuentra por debajo de lo normado y esto indica que la cantidad colocada de cloro no es la suficiente en el sistema. El color sobrepasa los valores normados esto indica que existen sustancias disueltas y en suspensión lo que quiere decir que el método de filtración utilizado no está funcionando de manera adecuada en el sistema. Por consiguiente, la turbiedad tampoco cumple con lo normado.

### **Comparación de los parámetros no establecidos en la normativa INEN 1108**

Las coliformes totales en el agua potable indican la presencia de algún tipo de desecho en descomposición e indica que sistema de tratamiento no cumple con la función de una desinfección correcta. Por otra parte, los sólidos disueltos totales existentes representan partículas muy pequeñas que no se han separado del agua a través de un filtro y debido a este parámetro el color y la turbidez del agua también presentan un valor elevado.

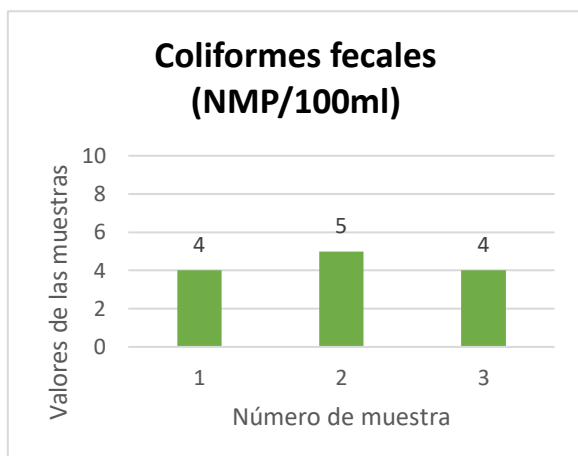
### **Comparación de los parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos entre el agua cruda y potable**

Con las comparaciones realizadas entre los resultados del agua cruda y potable de los criterios analizados que se encuentran la normativa TULSMA como en la norma INEN 1108, se evidenció que el tipo de tratamiento utilizado en el sistema de agua potable del recinto Tres Vías, no ayuda en su totalidad a remover toda la turbiedad encontrada en el agua cruda.

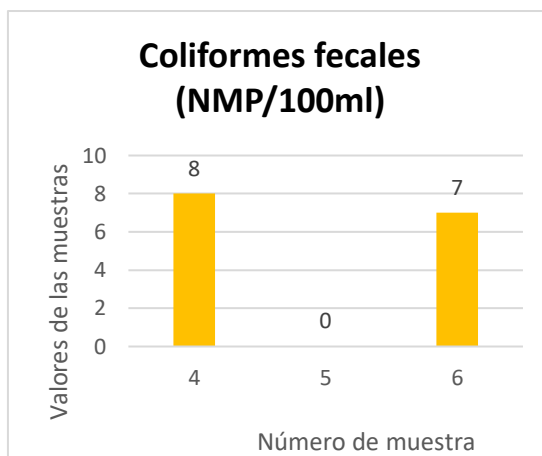
### **Coliformes fecales**

**Agua cruda:** Los valores máximos permisibles según el “TULSMA libro VI anexo 1 Tabla 1:2015”, indican que el valor de coliformes fecales dentro de una muestra de agua cruda debe ser menor a 1000, en su unidad NMP (número más probable) /100 ml.

**Agua potable:** Los valores máximos permisibles según la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 tabla 1, indican que el valor de coliformes fecales dentro de una muestra de agua potable debe ser nulo.



*Figura 25 Resultados de coliformes fecales en las muestras de agua cruda*



*Figura 26 Resultados de coliformes fecales en las muestras de agua potable*

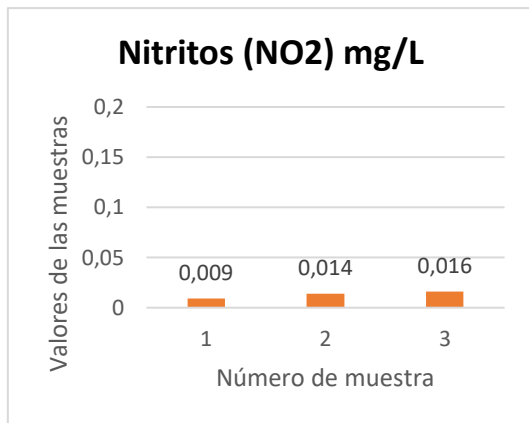
En base a los resultados mostrados, se determinó que el hipoclorador por goteo utilizado dentro del sistema de abastecimiento de agua potable no está funcionando correctamente, debido a que, el agua potable presenta más contaminación de coliformes fecales que el agua cruda. La fuente de contaminación fecal podría estar localizada en el cauce utilizado para la captación del agua ya que las aguas servidas de la población del recinto Tres Vías son evacuadas directamente al Río Repartidero. Tomando en cuenta el sistema de abastecimiento precario, la falta de mantenimiento y operación dentro del sistema contribuyen también a la contaminación del agua.

### **Nitritos (NO<sub>2</sub>)**

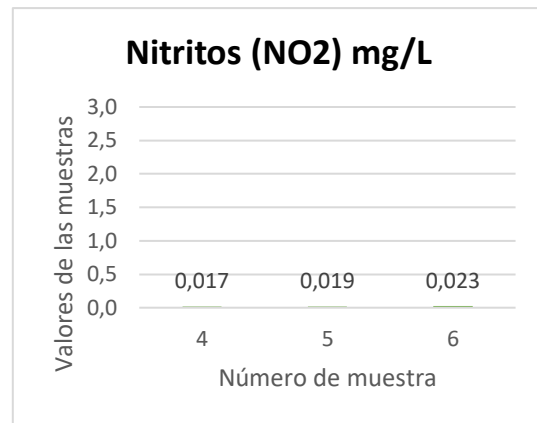
**Agua Cruda:** Valores máximos permisibles según el “TULSMA libro VI anexo 1 Tabla 1:2015”, indican que el valor de nitritos dentro de una muestra de agua cruda debe ser menor a 0,2 mg/L.

**Agua Potable:** Los valores máximos permisibles según la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 tabla 1, indican que el valor de nitritos dentro de una muestra de agua potable debe ser menor a 3 mg/L.





**Figura 27** Resultados de nitritos en las muestras de agua cruda



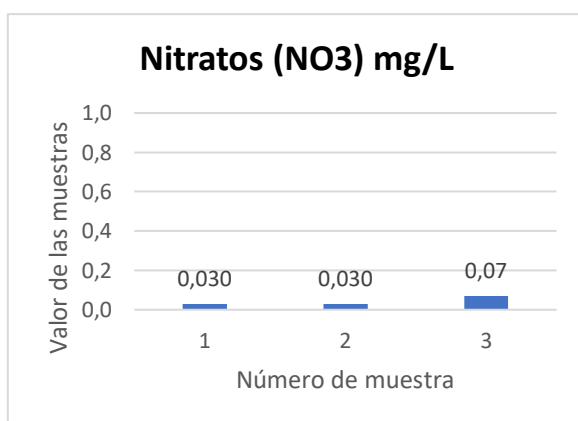
**Figura 28** Resultados de nitritos en las muestras del agua potable

Los valores obtenidos del parámetro nitrito (NO<sub>2</sub>), se encuentran dentro de los parámetros que establecen las normativas vigentes en el país, tanto para agua cruda y potable, esto quiere decir que el agua captada no posee procesos biológicos activos.

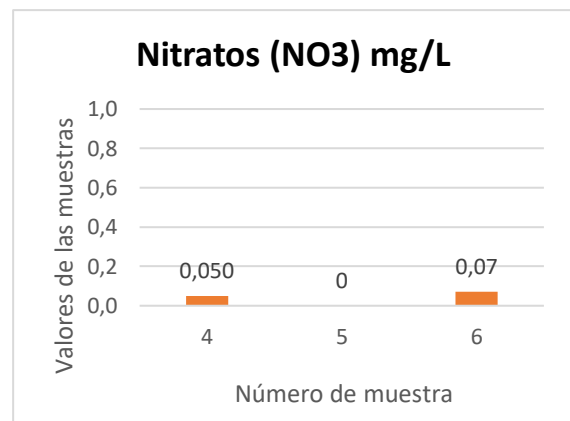
### Nitratos (NO<sub>3</sub>)

**Agua Cruda:** Los valores máximos permisibles según el “TULSMA libro VI anexo 1 Tabla 1:2015”, indican que el valor de nitratos dentro de una muestra de agua cruda debe ser menor a 50 mg/L

**Agua Potable:** Los valores máximos permisibles según la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 tabla 1, indican que el valor de nitratos dentro de una muestra de agua potable debe ser menor a 50 mg/L.



**Figura 30** Resultados de nitratos en las muestras de agua cruda



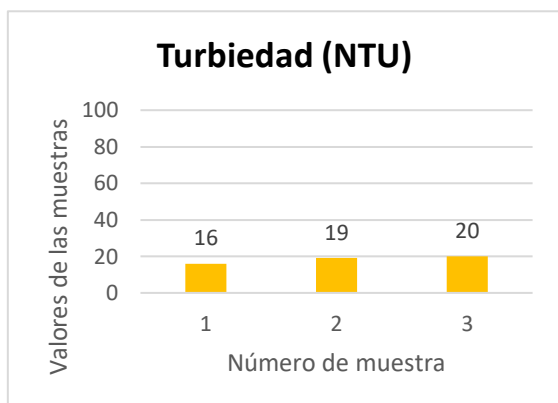
**Figura 29** Resultados de nitratos en las muestras de agua potable

Los valores de nitratos en ambos tipos de agua se encuentran dentro de los parámetros establecidos en las normativas vigentes en el país, esto indica que el agua cruda está libre de abonos y fertilizantes y por otro lado no existe contaminación en el suministro de agua potable.

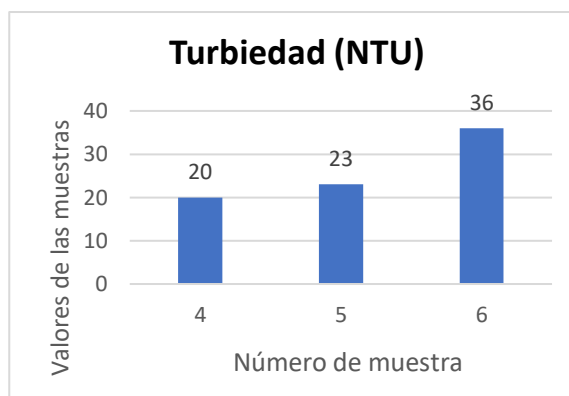
## Turbiedad (NTU)

**Agua Cruda:** Los valores máximos permisibles según el “TULSMA libro VI anexo 1 Tabla 1:2015”, indican que el valor de turbiedad dentro de una muestra de agua cruda debe ser menor a 100 NTU.

**Agua Potable:** Los valores máximos permisibles según la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 tabla 1, indican que el valor de nitratos dentro de una muestra de agua potable debe ser menor a 5 NTU.



*Figura 31 Resultados de turbiedad en las muestras de agua cruda*



*Figura 32 Resultados de turbiedad en las muestras de agua potable*

La turbiedad es considerada un parámetro indispensable cuando se habla de la calidad de agua, de acuerdo a los valores obtenidos de las muestras de agua potable se evidencia que no cumple con los valores establecidos dentro de la normativa respectiva, esto da como respuesta que la filtración del sistema de abastecimiento de agua potable no funciona adecuadamente, debido a que, existe presencia de materiales particulados suspendidos y el agua no presenta buena transparencia, puede ser que el agua cruda requiera un proceso previo de clarificación. Mientras que el agua cruda cumple con los parámetros indicados en las normativas.

## Potencial Hidrogeno (pH)

**Agua Cruda:** Los valores máximos permisibles según el “TULSMA libro VI anexo 1 Tabla 1:2015”, indican que el valor del pH dentro de una muestra de agua cruda debe estar en el rango de 6 a 9.

**Agua Potable:** Los valores máximos permisibles según la normativa ecuatoriana INEN 1108:2020 tabla 1, indican que el valor del pH dentro de una muestra de agua potable debe estar en el rango de 6,5 a 9,5.

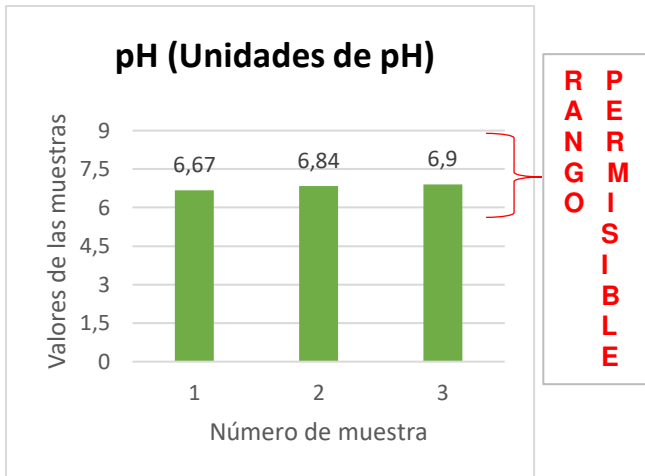


Figura 34 Resultados del pH en las muestras de agua cruda

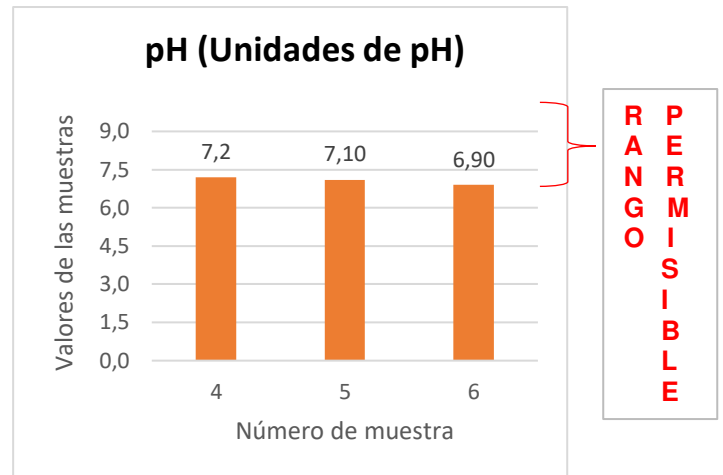


Figura 33 Resultados del pH en las muestras de agua potable

Los valores del potencial hidrogeno se encuentra dentro de los valores establecidos en las normativas establecidas en el país, para agua cruda y potable. Al ser el pH directamente relacionado con la temperatura del agua, se establece que el pH es óptimo y que el agua es idónea, puesto que, no está ácida ni básica, sino neutra.

Conforme a la comparación realizada entre el agua cruda y potable, se puede definir que el agua utilizada en la actualidad en el recinto Tres Vías se considera hasta cierto grado idónea para el consumo de la población, sin embargo, es necesario mejorar el sistema de tratamiento del agua para que esta se vuelva 100% potable y sin impurezas.

### 3.3. Evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento

#### 3.3.1. Población futura

En una reunión llevada a cabo con la junta de agua del recinto Tres Vías con respecto al análisis poblacional, la secretaria manifestó que únicamente existen 254 familias (4 a 5 miembros) que dependen del agua potable.

Con los valores entregados se realizó el cálculo de la población actual en Tres Vías, en donde se consideró un total de 5 miembros por familia, para luego multiplicar este valor por la cifra de familias, dando como resultado 1270 habitantes beneficiados.

Después de la estimación del dato de la población actual se procedió a calcular la tasa de crecimiento poblacional en Muisne empleando la ecuación 19, luego se empleó el resultado anterior en la ecuación 18 de la población futura mediante el método logarítmico, debido a que, el crecimiento es exponencial y los datos existentes son los necesarios para aplicar este método, ya que, se requiere el conocimiento de tres censos., donde se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 9** Tasa de crecimiento poblacional de Muisne y Tres Vías

<b>r (tasa de crecimiento poblacional)</b>	0,0037251
--	-----------

**Tabla 10** Población futura de Tres Vías

<b>Población Tres Vías</b>	
<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>
2021	1270
2050	1415

Con respecto al resultado alcanzado, se identificó que el crecimiento de la población del recinto Tres Vías para el año 2050 con un tiempo estimado de 29 años, esta tendrá un incremento de 145 habitantes.

### 3.3.2. Cálculo de caudales

De acuerdo con el número de habitantes que son favorecidos en la actualidad con el suministro de agua potable, se aplicó las ecuaciones 2, 3 y 4 para obtener los resultados de: el caudal medio diario, el caudal máximo diario y el caudal máximo horario, el mismo procedimiento fue aplicado con la finalidad de conseguir los datos de los caudales mencionados anteriormente, pero en relación con la población futura. Los resultados alcanzados son los siguientes:

**Tabla 11** Resultados de los caudales medio diario, máximo diario y máximo horario

	<b>Población actual</b>	<b>Población futura</b>
<b>Q med diario</b>	2,50 L/s	2,78 L/s
<b>Q máx diario</b>	3,54 L/s	3,62 L/s
<b>Q máx horario</b>	5,20 L/s	5,79 L/s

Los valores obtenidos de caudal (Ver tabla 11) para la población actual representan la cantidad exacta que la estación de bombeo debe suministrar al sistema de abastecimiento para que pueda satisfacer a los 1270 habitantes del recinto Tres Vías, sin embargo, conforme a la norma de “Diseño de Sistemas de Agua Potable para la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito”, el caudal que se debe utilizar para este sistema de abastecimiento es el valor del caudal máximo diario, es decir, 3,54 (L/s), pero mediante el aforo volumétrico realizado a salida de la tubería de conducción, se evidenció que, el caudal que es transportado por la tubería de conducción, es decir, el Qmaxd de 2,5 (L/s), esto indica que no existe la cantidad necesaria para satisfacer la demanda de agua de la población actual y de la población futura.

### 3.3.3. Sistema de bombeo

La estación de bombeo está compuesta por una electrobomba sumergible de la marca Pedrollo de modelo trifásica 4SR33G/50 con su respectiva curva característica, la bomba cuenta con una potencia igual a 5 caballos de fuerza (hp), esta se encuentra dentro del pozo húmedo, el cual está construido de concreto y su forma es cilíndrica, sus dimensiones son de 8 metros de profundidad y el diámetro es de 0,90 metros. Otro elemento importante del sistema de bombeo es la tubería de impulsión, su material es de PVC, el diámetro es igual a 0,1016 metros, el diámetro interno es igual a 0,1056 metros, la velocidad de flujo es igual a 0,31 m/s y la presión de trabajo es igual a 117,84 m.c.a..

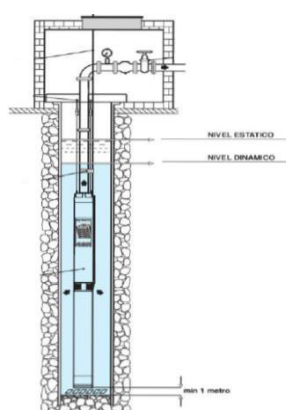


Figura 35 Electrobonbomba sumergible trifásica marca Pedrollo

- **Curva de operación del sistema de bombeo del recinto Tres vías**

Se elaboró a partir de la unión entre la curva característica de la bomba otorgada por el fabricante (Ver Tabla 12), junto con la curva característica de operación del sistema de bombeo (Ver Anexo 9).

Tabla 12 Curva característica de la Electrobonbomba sumergible

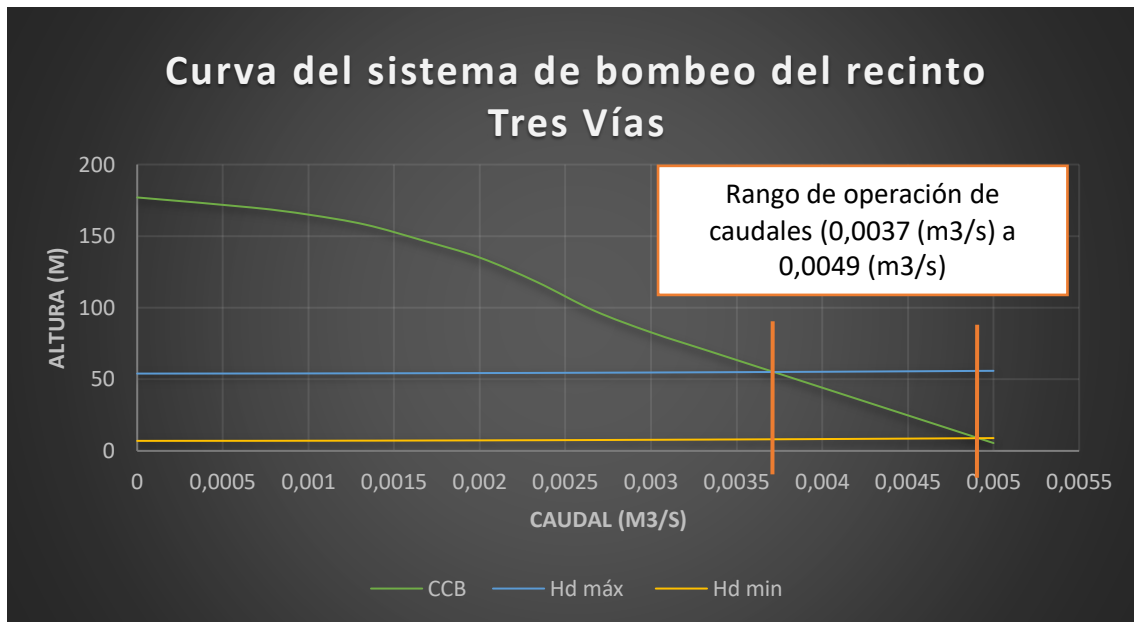
CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA			
Q l/s	Q (m3/h)	Q (m3/s)	Ht (m)
0	0	0	177
0,67	2,4	0,000667	170
1,00	3,6	0,001	165
1,33	4,8	0,001333	158
1,67	6	0,001667	147
2,00	7,2	0,002	135
2,33	8,4	0,002333	118
2,67	9,6	0,002667	98
3,00	10,8	0,003	83
3,33	12	0,003333	70

3,67	13,2	0,003667	57
4,00	14,4	0,004	44
4,33	15,6	0,004333	31
4,67	16,8	0,004667	18
5,00	18,0	0,005	5

Los valores de caudal entregados por el fabricante con relación a la curva característica de la bomba utilizada en este sistema fueron proporcionados únicamente en unidades de (m<sup>3</sup>/h), y para poder obtener los datos en diferentes unidades, se realizaron las conversiones correspondientes, debido a que, la gráfica de la curva característica de operación del sistema está realizada a partir del caudal en unidades de m<sup>3</sup>/s y de la altura en metros.

Adicionalmente, las líneas de tendencia implementadas en cada una de las curvas propuestas con el objetivo de proyectar las mismas fueron: línea de tendencia lineal para la curva característica de la bomba y línea de tendencia exponencial para las curvas de la altura dinámica mínima y de la altura dinámica máxima. Las líneas de tendencia fueron agregadas por motivo de que la bomba no está trabajando con la eficiencia que debería (mayor al 70%) y en un rango de operación normal.

Por otro lado, para ajustar los dos últimos datos de la altura provenientes de la curva característica de la bomba, se aplicó la ecuación suministrada por la línea de tendencia mencionada con anterioridad, obteniendo como resultados los valores que se encuentran subrayados en la tabla 12. Luego de realizar los cambios respectivos a las tablas se encontró el rango de operación teórico de caudales de operación del sistema. El gráfico de dispersión se muestra en la figura 36:



**Figura 36** Resultado de la Curva característica de operación del sistema de bombeo del recinto Tres Vías

Conforme al gráfico presentado, se identificó el rango de operación teórico de caudales con los que la bomba debería trabajar, sin embargo, este queda fuera de la condición de operación normal de la máquina de bombeo, los valores de caudal tendrían que estar entre 0,0037 m<sup>3</sup>/s y 0,0049 m<sup>3</sup>/s o 3,7 L/s y 4,9 L/s para cubrir la demanda de agua de la comunidad y también para que la bomba trabaje a una eficiencia que según los cálculos es igual al 74,28% y no haya desperdicio energético, aun así, el caudal con el que trabaja la bomba es 2,5 L/s y no está dentro del rango de operación, y al trabajar con este caudal provoca que la eficiencia de la bomba sea igual al 36,05%, valor por debajo de la eficiencia adecuada que debe ser mayor al 70%, debido a que, las 22 horas de bombeo empleadas en el sistema no son las adecuadas, por ende, es necesario bombear menos horas para que de esta forma el valor del caudal sea mayor y esté dentro del rango de operación o a su vez reemplazar la bomba actual ya que no es idónea para el sistema de abastecimiento evaluado. A partir de los valores conseguidos de la tabla de la curva de bombeo (Ver Anexo 9), se observó que los valores de la velocidad de flujo dentro de la línea de impulsión son inferiores al rango establecido (1 a 3 (m/s)), y por ende se determinó que el diámetro de dicha tubería debe ser inferior al valor de dimensionamiento actual, para que de esta manera la velocidad de flujo aumente.

#### 3.3.4. Línea de conducción

Utilizando los programas EPACAD, EPANET y Civil 3D, se logró determinar que la tubería de conducción se encuentra a la salida de la estación de bombeo, tiene una longitud de 512,83 metros, su diámetro es de 0,1016 metros, y está hecha de PVC, con una presión de trabajo igual a 117,84 m.c.a. tomando en cuenta el 30% como factor de

seguridad, cuenta con una válvula de aire y una de desagüe, instaladas a 82,83 metros y 196,7 metros de la estación de bombeo respectivamente. Adicionalmente, se aplicó el método de aforo volumétrico para determinar caudales y se calculó que el caudal que pasa a través de la tubería de conducción es de 2,5 L/s.

- **Simulación Hidráulica**

La simulación hidráulica realizada con el programa EPANET, ayudó a identificar que el caudal de 2,5 (L/s) calculado mediante la prueba de aforo volumétrico no es el adecuado para el sistema, debido a que, con este valor la presión de llegada de la tubería de conducción fue de 45,35 metros de columna de agua (m.c.a.). Por consiguiente, este valor no está considerado como óptimo ya que es elevado, puesto que, la bomba utilizada actualmente está diseñada para alturas dinámicas que alcanzan los 177 metros y dentro del sistema de abastecimiento la altura dinámica máxima es de 54 metros. Lo adecuado es que la presión de entrega sea inferior a la altura dinámica máxima, es decir que alcance un valor igual a 5 m.c.a. Por otro lado, el valor de la velocidad de flujo dentro de la tubería no se encuentra dentro de la normativa especificada, dado que el resultado obtenido fue de 0,31 (m/s) y el valor mínimo de velocidad en tuberías de plástico debe estar en el rango de 1 a 3 (m/s).

En función del análisis del perfil creado en Civil 3D, se evidenció que es necesario añadir válvulas de aire y purga en los puntos altos y bajos de la conducción, para de esta manera mejorar el mantenimiento y la operación normal de la línea de conducción.



Todos los resultados mencionados con anterioridad fueron suministrados por el programa utilizado EPANET por medio de tablas y se encuentran mostradas en las siguientes figuras.

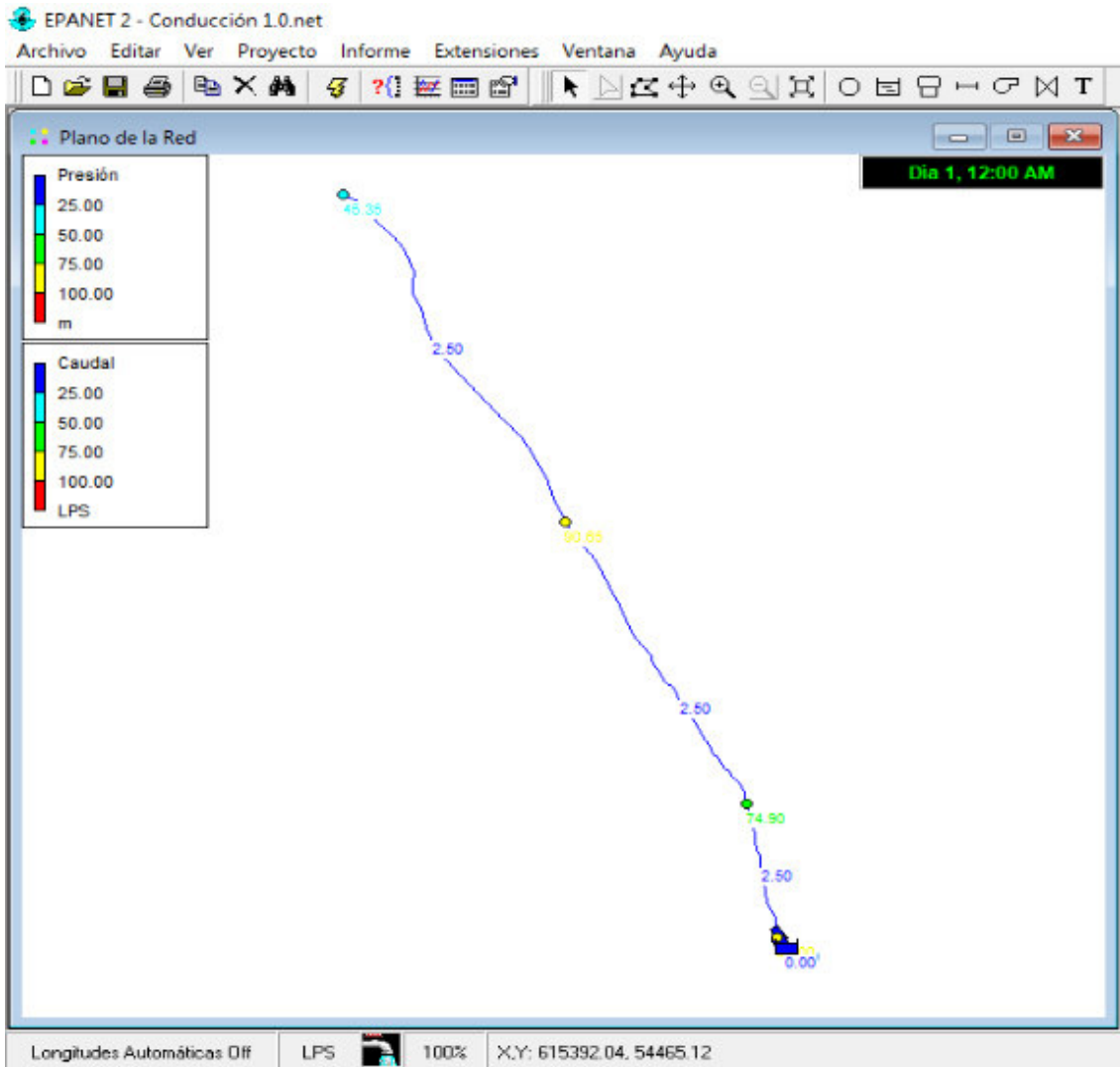


Figura 38 Resultados de la simulación hidráulica en las líneas (tuberías) de la conducción en EPANET

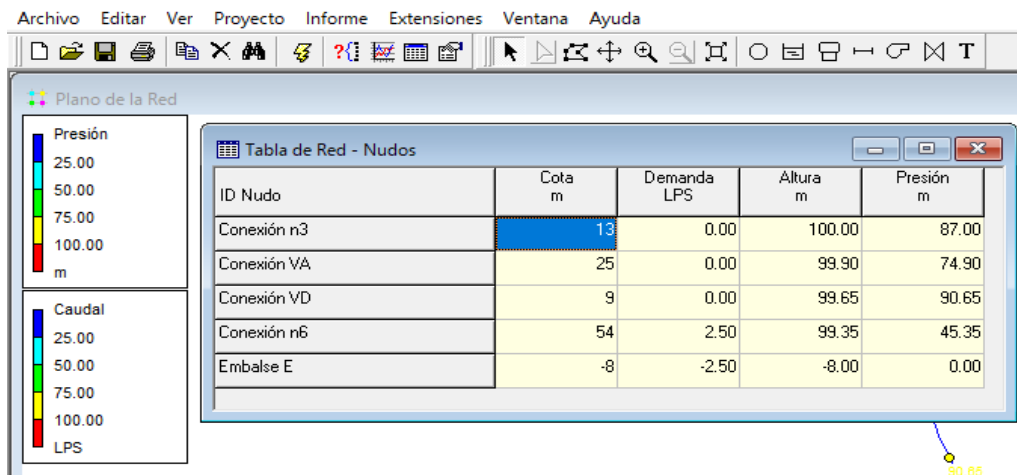


Figura 37 Resultado de la simulación hidráulica en los nodos de conducción en EPANET

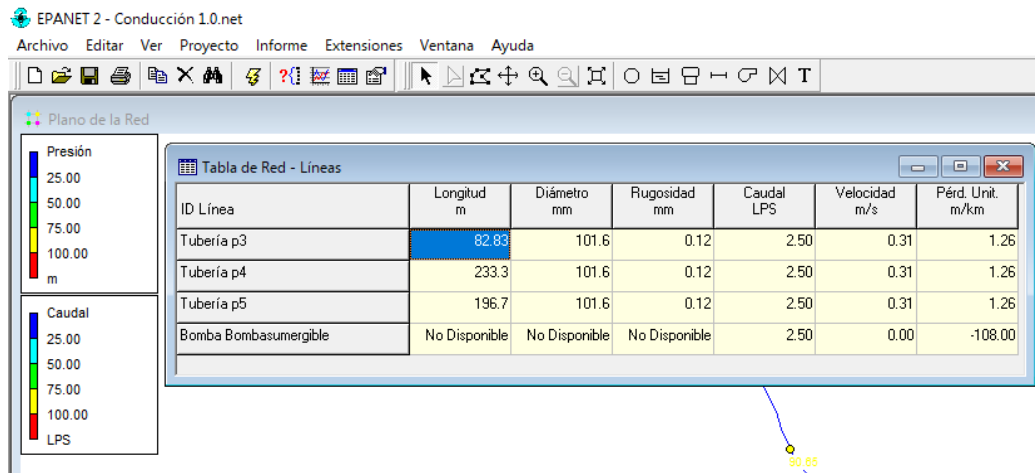


Figura 39 Resultados de la simulación hidráulica de la línea de la conducción en EPANET

### 3.3.5. Sistema de tratamiento

Dentro del tratamiento empleado al agua cruda, se observó que el sistema de agua potable del recinto Tres Vías, utilizan tres procedimientos destinados a la potabilización del agua, los cuales se mencionan a continuación.

- **Sistema de aireación:** se ocupa el tipo de aireación a través de bandejas, consta de 5 bandejas de PVC con pequeños orificios a donde llega el agua cruda.



Figura 40 Aireador de bandejas

- **Filtración:** dentro del tanque contiguo al aireador de bandejas, se encuentra una tubería con varias perforaciones, que se encarga de la filtración del agua cruda.



*Figura 41 Tanque con la tubería perforada de filtración*

- **Desinfección:** para desinfectar el agua captada se utiliza el método de cloración, en un tanque de PVC con un volumen conocido se suministra hipoclorito granulado sin antes ser medido a una parte del agua captada para facilitar su dilución, luego a través de una tubería se transporta la solución elaborada a otra tubería que presenta orificios, la cual proporciona mediante goteo la solución de hipoclorito al agua que se localiza en el tanque de almacenamiento, cabe mencionar que todo el proceso realizado no está sustentado mediante cálculos matemáticos, sin embargo, a este proceso se le denomina Hipoclorador por goteo.



*Figura 42 Hipoclorador por goteo*

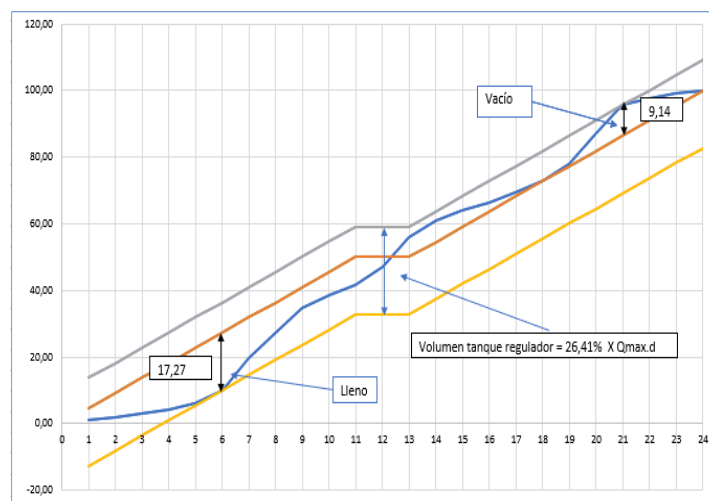
### **3.3.6. Almacenamiento**

#### **Volumen del tanque de almacenamiento**

Luego de aplicar el método de la curva integral de consumo y de la elaboración de un gráfico de dispersión en Excel (Ver figura 44), se estimó que el porcentaje del caudal máximo diario en ( $m^3/d$ ) necesarios para abastecer a la población a lo largo del día es igual al 26,41%, que junto con el valor del caudal máximo diario ( $216 m^3/d$ ) y la altura de seguridad (1,2), se determinó que el volumen necesario para el tanque de almacenamiento utilizado en el sistema de abastecimiento es igual a  $68,45 m^3$ . (Ver tabla 13).

**Tabla 13** Volumen del tanque de almacenamiento elevado

<b>Volumen del tanque elevado</b>	68,45	m <sup>3</sup>
-----------------------------------	-------	----------------



**Figura 43** Resultado del método de la Curva integral de consumo

El valor alcanzado con respecto al volumen del tanque de almacenamiento elevado se considerará adecuado dentro del sistema de abastecimiento, puesto que, en la actualidad existen dos tanques de almacenamiento que forman parte del sistema de abastecimiento del recinto Tres Vías sus dimensiones son: ancho 3,2 (m), largo 5 (m), altura o profundidad 2,7 (m), las cuales dan como resultado un volumen igual a 43,2 m<sup>3</sup> cada uno utilizando la ecuación 13, volumen calculado a partir de la ecuación 13, esto quiere decir que, la capacidad de almacenamiento total de agua es igual a 86,4 m<sup>3</sup> (Ver tabla 14), un valor superior al requerido en los cálculos realizados para un caudal de 2,5 (L/s).

**Tabla 14** Volumen de los tanques de almacenamiento existentes; volumen total de almacenamiento de agua

<b>Volumen del tanque</b>	43,2	m <sup>3</sup>
<b>Volumen total de almacenamiento</b>	86,4	m <sup>3</sup>

### 3.4. Planteamiento de mejoras en el sistema de abastecimiento

- **Sistema de bombeo**

La mejora sugerida para la optimización y mejoramiento del sistema está definida en el número de horas de bombeo, debido a que, con el tiempo de bombeo actual (22 horas) el caudal máximo diario (2,5 L/s) suministrado por la bomba no se encuentra dentro del

rango de operación de caudales (3,7 L/s a 4,9 L/s). Por este motivo, se plantea que el número de horas de bombeo disminuya a un valor de 14 horas diarias, ya que de este modo se obtendrá un caudal máximo diario de 4,3 L/s.

Otra solución dentro del sistema de bombeo es el reemplazo de la bomba por otra que cuente con una curva característica que se encuentre dentro del rango de operación del sistema, que trabaje con una eficiencia adecuada (mayor al 70%.) y a una altura dinámica que oscile entre los 50 a 60 metros.

Otra alternativa de mejora, podría ser la adecuación de la tubería de impulsión disminuyendo el diámetro de esta de acuerdo con el sistema de bombeo actual, lo que significaría un cambio en la conducción del sistema y esto representará gastos elevados.

- **Conducción**

Con respecto al resultado del análisis del perfil de la línea de conducción realizado en Civil 3D, se identificó todos los puntos altos donde se debe instalar válvulas de aire y los puntos bajos donde se debe instalar válvulas de purga, para de esta manera evitar daño o rotura en la tubería y facilitar el mantenimiento. A continuación, se detalla la ubicación exacta de cada válvula a implementar en las tablas 15 y 16.

**Tabla 15** Ubicación de las válvulas de aire en el perfil de Civil 3D

<b>Ubicación válvulas de aire</b>	
<b>Número de válvula</b>	<b>Cota</b>
Instalada	0+112
1	0+036
2	0+535

**Tabla 16** Ubicación de las válvulas de purga en el perfil de Civil 3D

<b>Ubicación válvulas de Purga</b>	
<b>Número de válvula</b>	<b>Cota</b>
Instalada	0+311
1	0+015
2	0+045
3	0+162
4	0+388
5	0 +543

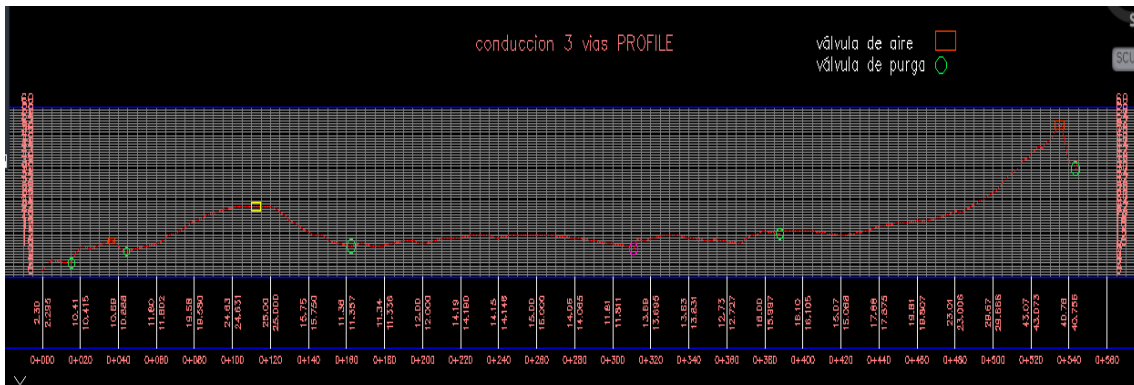


Figura 44 Perfil de la línea conducción en Civil 3D, junto con sus válvulas

- **Calidad de agua**

### Filtración

De acuerdo con los valores registrados en el informe de laboratorio de las muestras de agua potable, con énfasis en la turbiedad y las fracciones suspendidas presentes en el agua después del tratamiento, se propone la construcción de un sistema de filtración capaz de brindar una mejor calidad de agua al eliminar mayor cantidad de impurezas.

Con base en la tabla de tratamientos probables de aguas superficiales o subterráneas (Ver tabla 17) de la norma “INEN 005” sobre “Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes”, se definió que el método de filtración óptimo para implementar en este sistema es la Filtración lenta con Pretratamiento, el cual necesita dos tipos de filtros, un “Filtro Grueso Ascendente en Capas” (FGAC) y un “Filtro Lento de Arena” (FLA) que se encuentran interconectados y posteriores al proceso de desinfección. Ambos filtros se detallarán a continuación con sus especificaciones necesarias.

Tabla 17 Tratamientos probables

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	TRATAMIENTO PROBABLE
Turbiedad media < 10 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta
Turbiedad media < 50 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta con Pretratamiento
Turbiedad media < 150 UNT NMP < 5000 col/100 ml	Filtración lenta con Sedimentación simple y pretratamiento

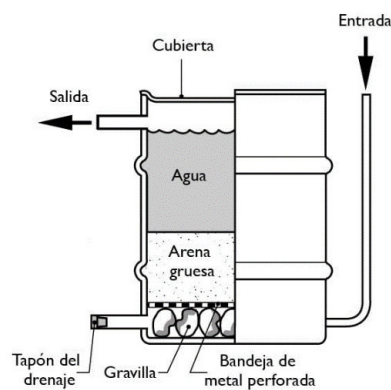
### Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

Para la elección de este tipo de filtro se tomó en cuenta varios criterios, como los valores de turbiedad, coliformes fecales y color real (parámetros analizados con anterioridad), todos estos se encuentran establecidos en la tabla de “Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas” de la “GUÍA TÉCNICA DE DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE AGUA Y SANEAMIENTO CON TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS”. (Ver tabla 18)

**Tabla 18** “Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas”

Turbiedad (UNT)	<10	10-20	20-50	50-70 <sup>(2)</sup>
	Color Real (UC)	<20	20-30	30-40 <sup>(2)</sup>
Coliformes fecales (UFC/100 ml)				
500 - 10000	Sin FGA	FGAC <sub>0,6</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAS <sub>3,0,3</sub>
10000 – 20000 (2)	FGAC <sub>0,6</sub>	FGAC <sub>0,6</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAS <sub>3,0,3</sub>
	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAC <sub>0,45</sub>	FGAS <sub>3,0,3</sub>

Esta filtración consiste en un solo lecho conformado por una o varias unidades que contiene barreras de material filtrante o también llamado grava de varios tamaños, robusta en el fondo y fina en la superficie. La principal ventaja de este sistema se basa en que los sólidos se van quedando en el fondo del filtro, de esta manera se facilita el lavado del filtro únicamente cambiando el sentido el flujo.



**Figura 45** Filtro Grueso Ascendente en Capas

Esta unidad está conformada por:

- Lecho filtrante
- Estructuras de entrada y salida de agua
- Sistema para drenaje
- Cámara de drenaje
- Válvulas de control y regulación

Los valores de remoción de contaminantes muestran los siguientes resultados:

- Coliformes fecales: 0,65 a 2,5 unidades
- Color real: 20 a 30%
- Hierro y Manganeseo: aproximadamente 50%
- Sólidos suspendidos: 90 a 95%
- Turbiedad: 50 a 80%

### Criterios de diseño

Para dimensionar un filtro grueso de tipo ascendente en capas, se debe considerar la fórmula:

$$A_s = \frac{Q_f}{V_f} = \frac{m^3/h}{m/h} = m^2$$

*Ecuación 20* Fórmula del área superficial del filtro

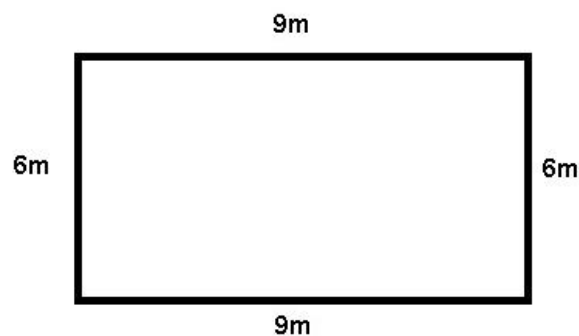
Donde:

$Q_f$ = Caudal para el diseño, aforo del lecho filtrante

$V_f$ = velocidad para filtrar el agua (0,3 a 0,6)

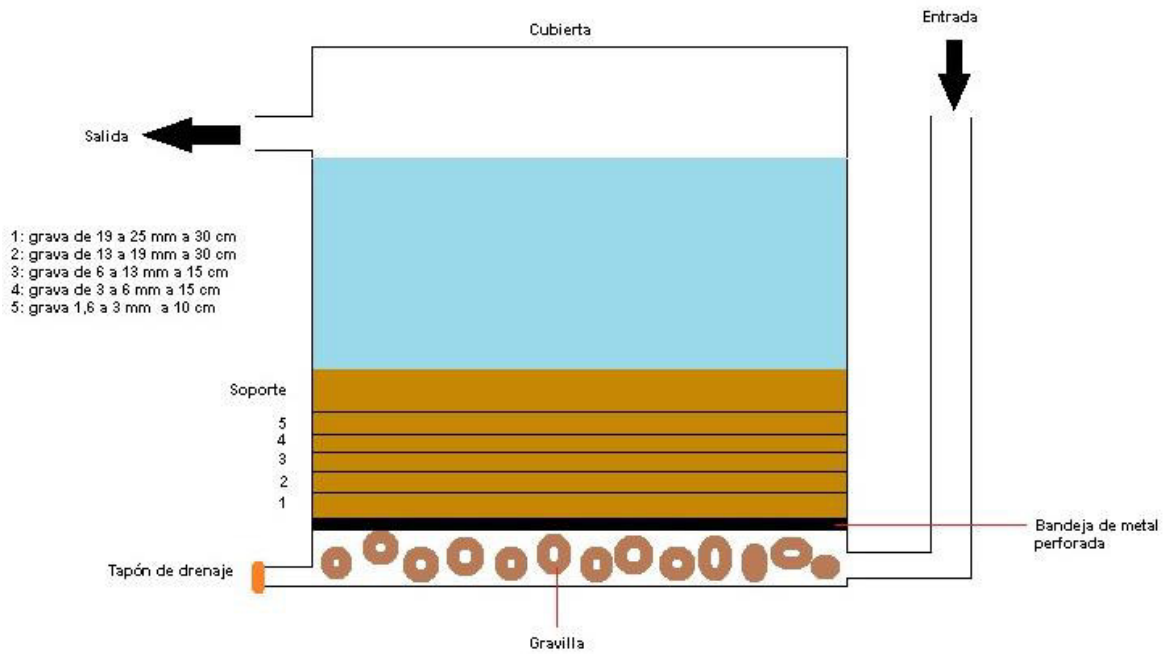
Tomando el valor del caudal máximo diario de 4,3 L/s, calculado con anterioridad en la propuesta de mejora del sistema de bombeo, transformado a ( $m^3/h$ ) obteniendo un valor de 15,48  $m^3/h$  y el valor de velocidad del lecho filtrante establecido en la tabla 21 de 0,3  $m/h$ . Con la aplicación de la fórmula anterior se puede determinar el área superficial del filtro grueso ascendente en capas es igual a 51,6  $m^2$ . Se recomienda redondear el resultado del área superficial a 54  $m^2$ . Se recomienda la instalación del filtro después del sistema de bandejas de aireación.

Dimensionamiento del filtro:



*Figura 46* Medidas de la parte superior del filtro





**Figura 47** Medidas de grava y algunos elementos

Según la tabla de “Guías de diseño para Filtros gruesos ascendentes” (FGA) (Ver tabla 19), establece que:

**Tabla 19** “Guías de diseño para filtros gruesos ascendentes”

Parámetro	Valor recomendado
Periodo de diseño (años)	8 – 12
Periodo de operación (horas)	24
Velocidad de filtración (m/h)*	0,3 – 0,6
No. mínimo de unidades:	1
FGAC	2 - 3
FGAS	15 – 25
Área de filtración por cada unidad (m <sup>2</sup> )	
FGAC	0,90 – 1,20
FGAS2**	1,80 – 2,40
FGAS3***	2,70 – 3,60
Tamaño del material filtrante (mm)	De acuerdo a Tabla
Altura del agua sobrenadante (m)	1.3.1
Carga estática de lavado (m)****	0,10 – 0,20
	2,5 – 3,0

Para el tamaño del material filtrante se consultó la tabla de Lechos filtrantes recomendados en FGA (Ver tabla 20):

**Tabla 20** Lechos filtrantes recomendados en Filtros Gruesos Ascendentes

Tamaño de grava (mm)	Altura(m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 – 25	0,30*	0,30*		0,30*	0,20*	
13 - 19	0,20 – 0,30	0,30 – 0,45	0,20*	0,15	0,15*	0,15*
6 - 13	0,15 – 0,20	0,30 – 0,45	0,15 *	0,45 – 0,75	0,15*	0,15*
3 - 6	0,15 – 0,20		0,30 – 0,45		0,40 – 0,70	0,15*
1,6 - 3	0,10 – 0,20		0,25 – 0,40			0,45 – 0,75
<b>Total(m):</b>					0,50	
* Soporte	0,30	0,30	0,35	0,30	0,40 – 0,70	0,45 – 0,75
* Lecho filt	0,60 – 0,90	0,60 – 0,90	0,55 – 0,85	0,60 – 0,90		

Donde se especificó el tamaño y altura del material a utilizar para FGAC:

**Tabla 21** Tamaño de grava y altura del material para FGAC

<b>Filtro Grueso Ascendente en Capas</b>	
Tamaño de grava (mm)	Altura (m)
19-25	0,30
13-19	0,20-0,30
6-13	0,15-0,20
3-6	0,15-0,20
1,6-3	0,10-0,20
Soporte	0,30
Lecho filtrante	0,60-0,90

### Operación y Mantenimiento:

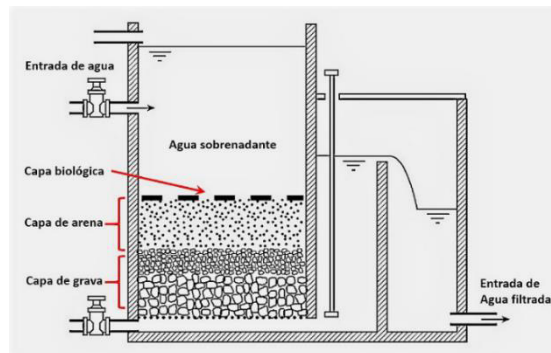
Las tareas para realizar durante la operación y mantenimiento de un filtro grueso ascendente son simples y muy rápidas de realizarlas, estas son:

- Medición y control de caudal: medir el caudal de operación
- Medición de turbiedad (entrada y salida del filtro): cuando se encuentre variaciones en los resultados de turbidez se debe cerrar la válvula del afluente.
- Retiro de material flotante: retira con una pequeña red el material desprendido
- Registro de información: se debe llevar un detalle diario de valores de turbiedad a la entrada y salida del filtro, si el caudal sufre algún cambio repentino y las fechas cuando se realice los lavados.
- Medición de pérdida de carga: medir la altura de agua antes del filtro, lavar el filtro cuando a la salida del filtro el agua no tenga el nivel ya considerado.

### Filtro Lento de Arena (FLA)

Este tipo de filtro consiste en algunas unidades de flujo con dirección descendente que tiene una barda de arena fina de un tamaño que oscila entre 0,15 a 0,35 (mm) con un calado de 0,8 a 1 (m).

La capa filtrante se encuentra encima de una capa de grava con gran grosor de varios tamaños en sentido del flujo, este tipo de sistemas por lo general tiene tuberías de PVC con perforaciones.



**Figura 48** Filtro Lento de Arena

Este tipo de filtración combina varios procesos químicos, bacteriológicos y físicos como la sedimentación, cribado y adsorción. El objetivo general del FLA es eliminar entre el 90 y 99% de organismos patógenos, cuando este tipo de filtro se encuentra con agua con una turbiedad mayor de 5-10 NTU, el filtro se colmará con rapidez y requerirá limpieza inmediata.

Los valores de remoción de contaminantes son:

- Coliformes fecales: 90 a 99%, y aún más
- Color real: 30 a 90%
- Hierro y manganeso: se remueve siempre que los valores no superen el 1 mg/L.
- Sólidos suspendidos: 70 a 80%
- Turbiedad: menor a 1 NTU

### **Criterios de diseño**

Para la construcción del filtro lento de arena se considera la ecuación utilizada en FGAC (Ver Ecuación 20), tomando en cuenta la velocidad de filtración entre 0,1 a 0,3 (m/h).

Con la aplicación de la formula anterior de FGAC y los mismos datos de caudal y velocidad, se tuvo como resultado que el área superficial del filtro lento de arena es 51,6 m<sup>2</sup>. Se recomienda redondear el resultado del área superficial a 54 m<sup>2</sup>. Se recomienda la instalación del filtro después del FGAC.

Dimensionamiento del filtro:

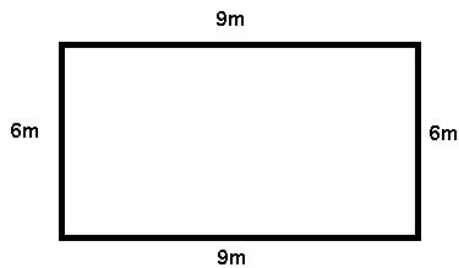


Figura 49 Medidas de la parte superior del filtro

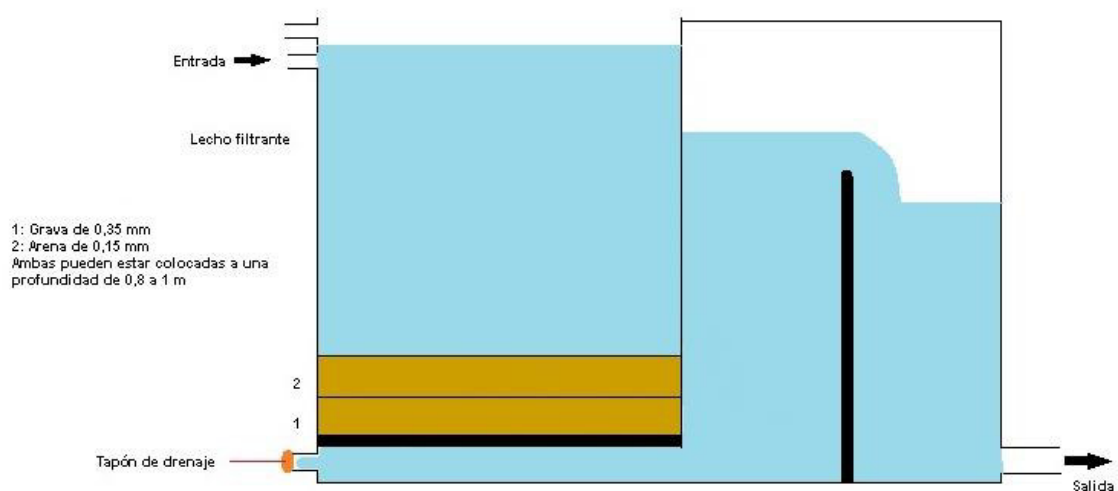


Figura 50 Medidas de grava y algunos elementos

Según la tabla de “Criterios de diseño recomendados para unidades de filtración lenta en arena” FLA (Ver tabla 22), establece que:

Tabla 22 Criterios de diseño recomendados para unidades de filtración de arena

Criterios de diseño	Valores recomendados
Periodo de operación (h/d)	24
Periodo de diseño (años)	8 - 12
Velocidad de filtración (m/h)	0,1 - 0,3
<b>Altura de arena (m)</b>	
inicial	0,8
mínima	0,5
Diámetro efectivo (mm)	0,15 - 0,30
Coefficiente de uniformidad	
Aceptable	< 4
Deseable	< 2
Altura de lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	0,75
Borde libre (m)	0,1
Area superficial máxima por módulo (m <sup>2</sup> ).	<100

## Operación y Mantenimiento

Las tareas para realizar durante la operación y mantenimiento de un filtro lento de arena son simples y estas son:

- Cargar el filtro lento y de manera ascendente: el agua debe superar la superficie de arena.
- Nivelar la superficie de la capa de arena: cerrar la válvula que ayuda al vaciado para que el fluido baje hasta 0,1 (m) por debajo de la superficie de arena
- Poner en marcha el filtro: se vuelve a llenar el filtro hasta 0,2 (m) por encima del nivel de arena, abrir la válvula de ingreso y mantener una velocidad de 0,2 (m/h) y abrir la válvula de desagüe, se debe ir aumentando la velocidad de filtración en 0,2 (m/h) cada semana hasta alcanzar velocidades de 0,1 o 0,15 (m/h).
- Retirar el material flotante: con una red pequeña, retirar el material desprendido.
- Revisar la calidad de agua: mediante el filtro va madurando, se debe medir la calidad de agua filtrada a diario.
- Medir la velocidad de filtración: verificar el caudal que entra
- Normalizar la velocidad de filtración: manejar la válvula de entrada hasta que la velocidad de filtración sea constante.
- Limpiar el lecho: se recomienda tener dos unidades en funcionamiento para que mientras la una está en mantenimiento la otra siga trabajando con normalidad, la limpieza debe ser realizada cuando la altura del agua alcanza la tubería de rebose.

## **Desinfección**

Según los resultados de acuerdo con el parámetro de cloro libre residual, provisto mediante los análisis de laboratorio realizados con anterioridad, se define que, la dosis de cloro libre residual presente en el agua potable este por debajo del límite permisible y esto podría causar afecciones a la salud, puesto que, el agua no está desinfectada de manera correcta. Por tal razón, es necesario modificar y mejorar el sistema de desinfección utilizado para la producción de agua potable, adecuando un “Hipoclorador por goteo con flotador” al tipo de tratamiento existente.

### **Hipoclorador por goteo con flotador**

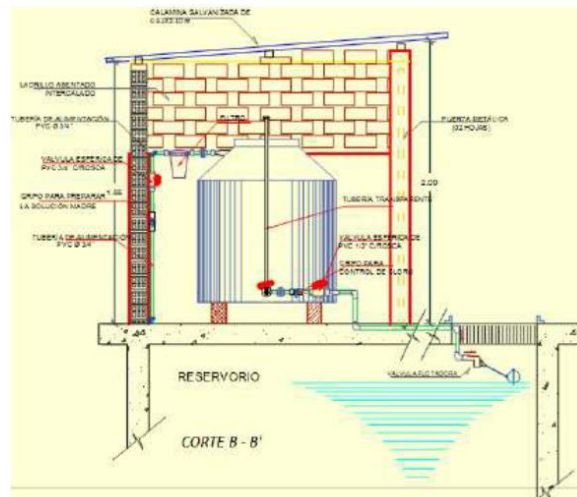
Trata de una tecnología similar a la que está siendo utilizada en el recinto Tres Vías, con la diferencia que, la tecnología propuesta por parte de las estudiantes está sustentada por cálculos sumamente necesarios para que la desinfección del agua se óptima, con base en el documento de “Memoria descriptiva de instalación de un

Hipoclorador por goteo con flotador, capacitación y funcionamiento, elaborado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (CO SUDE)".

Este tipo de dispositivo está compuesto por varios insumos de PVC que trabajan conjuntamente para suprimir los contaminantes patógenos que existen en el fluido.

Consta de:

- Un tanque de volumen conocido, en este caso 250 litros.
- Flotador elaborado por codos y Tee de PVC.
- Hilo de nylon
- Hipoclorito de calcio al 70%, como agente desinfectante.
- Tanque de PVC de 5 litros(reservorio).
- Manguera flexible
- Tubería de PVC
- Unión universal
- Un flotador
- Válvulas reguladoras



*Figura 51 Hipoclorador por goteo con flotador*

### **Criterios de diseño**

Para elaborar este tipo de tecnologías, es necesario tomar en cuenta el cálculo de algunas variables, las cuales que permiten que el funcionamiento del Hipoclorador sea eficiente.

Para calcular los parámetros de diseño, es necesario conocer el caudal que ingresa al reservorio, el lapso de recarga de la tecnología de cloración en días, la concentración

de cloro en el depósito, el hipoclorito a utilizar, volumen de agua en litros y la máxima concentración de la solución clorada (no debe superar los 5000 partes por millón). Para este proyecto se utilizarán los siguientes valores:

- Caudal de ingreso o llenado (grifo): 0.2 L/s según la “Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 11)”, capítulo 16 “Norma Hidrosanitaria NHE agua”, sección de aparatos sanitarios.
- Tiempo de recarga: 7 días
- Hipoclorito: hipoclorito de calcio 70%
- Concentración de cloro a nivel del reservorio: 1,2 mg/L
- Volumen de agua 250 Litros

Una vez especificados los datos, se procede al cálculo de los parámetros de diseño que se consideran para esta tecnología.

Peso de hipoclorito de calcio 70% (P)

$$P = \frac{V * C}{10 * (\% \text{ de Cloro})} = (gr)$$

*Ecuación 21 Fórmula del peso del hipoclorito de calcio*

Donde:

V= Volumen de agua (Litros)

C= generalmente 1,2 mg/L.

% de cloro= concentración del hipoclorito de calcio, en este caso 70

$$V = Q * t = (L)$$

*Ecuación 22 Fórmula de volumen*

Donde:

Q= caudal de ingreso (L/s)

t= tiempo de recarga (días)

Mediante la aplicación de la ecuación 21, en donde se reemplazó el volumen por la ecuación 22, se determinó que el peso del hipoclorito de calcio destinado a la creación de la solución clorada es igual a 208 gr. Este valor calculado deberá ser colocado en el agua que se encuentra en el tanque de 250 L, pesado anteriormente por medio de una balanza digital, dando como resultado un total de 250 litros de solución clorada.

### Concentración de la solución madre

Cuando se utiliza un Hipoclorador por goteo con flotador, es indispensable comprobar que la concentración de la solución clorada sea inferior a 5000 ppm o mg/L.

$$\text{Concentración solución madre } (C_1) = \frac{P * \%Cloro}{Vtc}$$

*Ecuación 23 Fórmula de la concentración de la solución madre*

Donde:

P= peso del hipoclorito de calcio (gr)

%=concentración del hipoclorito de calcio, en este caso 70

Vtc= volumen del tanque Hipoclorador por goteo con flotador

La concentración de la solución madre, dio como resultado 582,4 mg/L o 582,4 ppm, esto indica que el valor de la concentración está dentro del rango y de esta forma se evitará obstrucciones en la manguera flexible debido a la cristalización del cloro.

### Cálculo del caudal de goteo Qg

Se encuentra de la siguiente manera:

$$Qg = \frac{V_{tc}}{t} = \left( \frac{ml}{min} \right)$$

*Ecuación 24 Fórmula del caudal de goteo*

Donde:

Vtc= volumen del tanque Hipoclorador por goteo con flotador

t= tiempo de goteo (igual al período de recarga)

El caudal calculado para el goteo es igual a 25 ml/min, y mediante una conversión realizada, que indica que 1 ml es igual a 20 gotas según el documento "Técnico de desinfección del agua para consumo humano por el método cloración propuesto por la Organización Panamericana de la Salud", se determinó que el caudal de goteo expresado en gotas por minutos es 500 gotas/min.

Más adelante, se muestra una tabla de resumen con los valores conseguidos de los criterios de diseño que se emplean en un Hipoclorador por goteo.



**Tabla 23** Resultados de los criterios de diseño de un Hipoclorador por goteo

<b>Criterios de diseño del Hipoclorador por goteo</b>		
<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso de hipoclorito de calcio 70%	208	g
Concentración de la solución madre	582,4	mg/L
Caudal de goteo	25	ml/min

### **Instalación**

Dentro del tanque de la solución madre, se colocará una tubería de soporte con hilo nylon a lo largo y ancho del tanque para sostener el flotador elaborado con anterioridad por codos, niple y Tee de PVC en el hilo nylon , por donde ingresa la solución clorada (agua cruda junto con el hipoclorito de calcio al 70% pesado) de manera continua, esta es conducida mediante la manguera flexible extendida hasta conectarse por medio de una unión universal a la tubería de PVC, la cual descargará le solución clorada dentro del tanque reservorio, en la orilla de la tubería de descarga, se conectará un flotador, el cual servirá para interrumpir el flujo de la solución cuando el reservorio se encuentre lleno. Cabe recalcar que, para evitar la pérdida de agua clorada, se tiene que instalar un instrumento de control en el interior del reservorio usando tubería de PVC, este dispositivo se denomina control o nivel estático.

### **Operación**

Al instalar esta tecnología se deberá llenar el tanque de solución madre con un poco de agua y el operador deberá regular el caudal que ingresa al tanque a un valor igual de 0,2 L/s y de igual manera tendrá que regular el caudal de goteo al valor calculado de 25 ml/min, usando una probeta graduada de 100 mL y un cronómetro, para luego aplicar la ecuación 1 de Caudal. Es recomendable obtener el valor en mililitros del goteo en un tiempo estimado de un minuto.

La dosis del hipoclorito de calcio siempre debe ser pesada por el operador antes de ser colocada en el tanque donde se elaborará la solución clorada con la ayuda de una balanza digital.

**Nota:** Para operación del sistema de desinfección, el operario deberá contar con equipo de protección personal con la finalidad de evitar riesgos por accidentes durante la manipulación de los productos y equipos químicos.

### **Mantenimiento**

Es necesario realizar el mantenimiento a todos los elementos mencionados a continuación:

- Tanque de solución madre: requiere un mantenimiento mensual o en cada recarga de solución madre, se debe comprobar que no haya cloro dentro del tanque y eliminar el residuo acumulado en el fondo del fondo.
- Flotador, manguera flexible e hilo nylon: el mantenimiento se realiza en cada recarga, se comprobará si el funcionamiento de estos elementos es el correcto, es necesario tomar en cuenta que el niple y la manguera deben ser cambiados 1 vez al año y que la manguera debe estar extendida siempre durante el funcionamiento.
- Reservorio, flotador y control de nivel estático: se realiza mantenimiento semestral, se vaciará el tanque para limpiar y eliminar los residuos. Comprobar que el flotador junto con el nivel estático trabajen de manera simultánea.
- Medición de cloro libre residual: es necesario realizar mediciones de cloro libre residual dos veces por semana, en el reservorio y en puntos claves de la red de distribución, estas mediciones deben ser registradas y analizadas con el criterio permitido establecido en la norma de agua potable, con el objetivo de verificar si el agua está siendo desinfectada de manera correcta.

### **3.5. Presentación de la evaluación del sistema de abastecimiento del recinto**

#### **Tres Vías y las propuestas de mejorar a la comunidad**

La reunión fue ejecutada el lunes 23 de agosto del 2021 a las 10:00 a.m., mediante la aplicación "Zoom". Se proyectó el desarrollo del proyecto y los resultados de este a los miembros del GAD parroquial de San Gregorio, recinto Tres Vías.

Se presentaron los cálculos que servirán a futuro para implementar las propuestas de mejora dentro del sistema de abastecimiento de agua potable del recinto. Durante la presentación de los resultados de la evaluación del proyecto, los representantes del GAD parroquial no tuvieron objeciones hacia lo mostrado y aceptaron gustosos las propuestas de mejora sugeridas, sin embargo, al final de la exposición existió una discrepancia con respecto al dato presentado de población futura, ya que, los representantes afirman que el crecimiento poblacional dentro del recinto Tres Vías es y será mayor al 400%.

Finalmente se hizo la entrega de la memoria técnica elaborada por parte de las estudiantes a cargo del proyecto hacia los representantes del "GAD parroquial de San Gregorio".

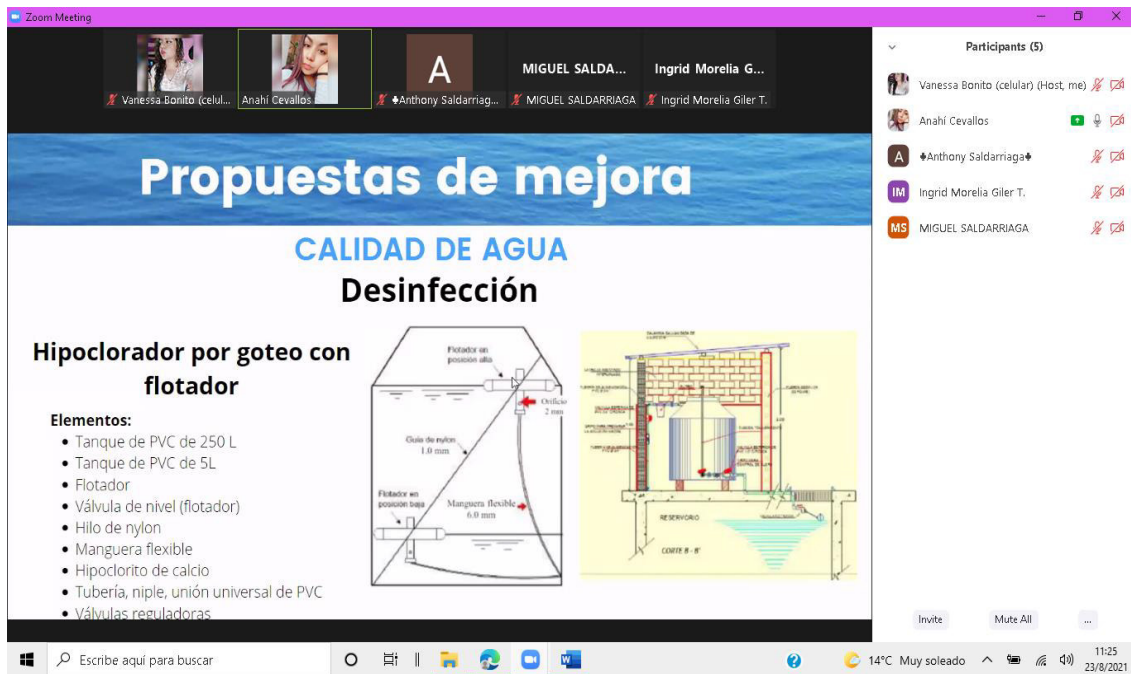


Figura 53 Presentación de la evaluación junto con las propuestas de mejora del proyecto



Figura 52 Presentación del proyecto al GAD parroquial de San Gregorio y a la junta de agua del recinto Tres Vías

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

La información levantada al inicio fue un punto indispensable para poner en marcha el proyecto, puesto que, ayudó al desarrollo de los objetivos restantes planteados y permitió la identificación de la situación real en la que se encontraba el sistema de abastecimiento de agua potable del recinto Tres Vías.

Se observó que, el método de muestreo y tipo de muestra utilizada para evaluar la calidad de agua permitió analizar todos los parámetros de laboratorio necesarios para cada tipo de agua.

Se determinó que el agua proveniente de la fuente que abastece el sistema es apta para continuar siendo captada y utilizada en el sistema de agua potable, sin embargo, necesita de un tratamiento posterior antes de ser transportada a los consumidores.

Es claro que, el agua potable del recinto Tres Vías, se considera hasta cierto grado apta para el consumo humano, pero es indispensable mejorar su calidad, ya que esta aún presenta contaminación por coliformes fecales y existen parámetros que no están dentro del rango establecido en la normativa.

Se calculó la población futura del recinto Tres Vías por medio del método logarítmico con base en censos poblacionales, esto permitió la estimación de los caudales medio diario, máximo diario y máximo horario, caudales con los que debería trabajar el sistema.

El caudal proporcionado por la estación de bombeo es de 2,5 (L/s) actualmente, pero no es el adecuado para satisfacer la demanda de agua, ya que se necesita 3,54 (L/s), además que causa desperdicio energético, debido a que, la bomba no está trabajando a una eficiencia adecuada.

Con respecto al número de horas de trabajo del sistema de bombeo, se define que las horas que trabaja la bomba en la actualidad deberían ser reducidas a un total de 14 horas de bombeo, consiguiendo así que el caudal de bombeo y la eficiencia de la bomba aumenten.

En relación con la conducción y la simulación hidráulica realizada en la misma, se debe incrementar las válvulas de aire y desagüe, para prevenir daños o roturas.

Los depósitos de almacenamiento utilizados en el sistema de abastecimiento de agua potable son los adecuados para almacenar suficiente cantidad de agua.

Se debe implementar un sistema de filtración compuesto por un “filtro grueso ascendente en capas” y un “filtro lento de arena”, con el objetivo de eliminar la mayor

parte de impurezas presentes en el agua cruda y es necesario mejorar el sistema de desinfección del agua potable, utilizando un Hipoclorador por goteo con flotador.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

Es aconsejable realizar el levantamiento de información como punto inicial, para poder tener una idea concreta acerca del proyecto a realizar o en este caso a evaluar.

Para evitar daños o roturas en las tuberías, se debe colocar ventosas y válvulas de purga en los puntos altos y bajos de la línea de conducción respectivamente y tomar en cuenta la tubería comercial de serie 1,25MPA para soportar la presión de trabajo.

Se debe emplear el método de aforo volumétrico al final de la línea de conducción cada cierto período de tiempo para verificar la cantidad de caudal que está siendo bombeado hacia el proceso de tratamiento y si este está dentro del rango óptimo de caudales.

Antes de la implementación del sistema de filtración propuesto, se debe tomar en cuenta el personal para ejecutar la obra, el espacio para la implementación, el tamaño del material granular a utilizar y las medidas para evitar demasiadas suspensiones del servicio de agua.

Al manipular materiales químicos, se recomienda utilizar equipos de protección personal.

Se recomienda realizar análisis de cloro libre residual en puntos estratégicos del sistema de distribución, con el objetivo de verificar si la desinfección empleada es la óptima.

Capacitar y designar grupos que se encarguen de la operar y mantener el sistema de abastecimiento de agua potable, con el fin de controlar si el sistema está funcionando de manera adecuada.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, D. C. (2011). CARACTERIZACION DEL AGUA CRUDA DEL RIO LA VIEJA COMO FUENTE SUPERFICIAL PARA EL PROCESO DE POTABILIZACION DE EMCARTAGO . Pereira, Colombia.
- Alvarado, E. (2017). Manual de Medición de Caudales . Guatemala , Guatemala .
- Ashcroft . (2021). *Ashcroft* . Obtenido de <https://ashcroftsudamericana.com/produto/manometros-de-proceso-modelos-1259/>
- Ávila, M., Bobadilla, Y., Canales, T., & Cárdenas, D. (2021). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/314180923/manometro-pdf>
- Barahona, T., Rivera, E., & Chévez, R. (Junio de 2013). Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad Miramar, Nagarote, para un período de 20 años (2013-2033). Managua, Managua, Nicaragua.
- Barreto, P. (02 de diciembre de 2009). Procedimiento de Muestreo de Agua Superficial . Huaraz , Ancash, Perú.
- Boischio, A. (2002). *Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es)
- Boischio, A. (2002). *Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es)
- Boischio, D. A. (2002 ). *Organización Panamericana de la Salud* . Obtenido de [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8193:2013-fluor-agua-consumo&Itemid=39798&lang=es)
- Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H., & Cañizares, M. d. (2003). *Scielo* . Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932003000100014#:~:text=Los%20niveles%20de%20nitratos%20y,de%20la%20calidad%20del%20agua.&text=Los%20nitritos%20tambi%C3%A9n%20se%20forman,contaminaci%C3%B3n%20fecal%20en%20aguas%20natural](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014#:~:text=Los%20niveles%20de%20nitratos%20y,de%20la%20calidad%20del%20agua.&text=Los%20nitritos%20tambi%C3%A9n%20se%20forman,contaminaci%C3%B3n%20fecal%20en%20aguas%20natural)

- Carbotecnia . (9 de Febrero de 2021). *Carbotecnia* . Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/desinfeccion/bacterias-coliformes-en-el-agua-potable/>
- Cardenas, D., & Patiño, F. (octubre de 2010). Estudios y diseños definitivos del sistema de agua potable de la comunidad de Tutucan, canton Paute, provincia del Azuay. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Carrillo, A. (septiembre de 2015). Población y muestra . México D.F., México .
- Comisión Nacional del Agua . (2018). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Coyoacán, México.
- Comisión Nacional del Agua. (sin fecha). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Coyoacán, México.
- D'angelo, M. (16 de enero de 2017). *General Water Company Argentina* . Obtenido de <https://gwc.com.ar/contaminantes-del-agua/sulfatos/#:~:text=Sulfato%20es%20uno%20de%20los,m%C3%A1s%20comunes%20de%20la%20dureza.>
- Departamento Administrativo Medio Ambiente Bogota . (1999). *Guía de manejo ambiental para estaciones de servicio de combustible* . Bogota: Ministerio del Ambiente.
- Díaz, M. J. (2013). *Universidad de San Martín de Porres* . Obtenido de <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html#:~:text=IMPORTANCIA%20DEL%20AGUA&text=El%20agua%20es%20un%20elemento,bio%C3%B3gicos%20que%20la%20hacen%20posible>
- EMAAPQ. (2008). Normas de diseño de sistemas de agua potable para la EMAAP-Q. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Espinoza, I. (2016). Tipos de muestreo.
- Explorable . (2008). *Explorable* . Obtenido de <https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico>
- Fábregas, J. (26 de Febrero de 2017). *AIGUES.NET* . Obtenido de <https://www.aigues.net/el-tratamiento-de-potabilizacion/#:~:text=Es%20el%20proceso%20de%20extraer,tratamiento%20m%C3%A1s%20avanzado%20de%20desalinizaci%C3%B3n>

- GAD San Gregorio. (2019). Obtenido de <http://gadsangregorio.gob.ec/index.php/ct-menu-item-40/ct-menu-item-42>
- García, A. (5 de septiembre de 2019). *Ecología verde*. Obtenido de [https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-agua-potable-y-sus-caracteristicas-1643.html#anchor\\_1](https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-agua-potable-y-sus-caracteristicas-1643.html#anchor_1)
- Google Maps. (2015). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/0%C2%B029'38.1%22N+79%C2%B058'19.1%22W/@0.494223,-79.972069,16z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d0.4939227!4d-79.9719621?hl=es-US>
- Historia del cantón Muisne*. (s.f.). Obtenido de Go Raymi: <https://www.goraymi.com/es-es/esmeraldas/muisne/muisne/historia/historia-canton-muisne-a34tjgr1m>
- INE. (s.f.). *Instituto Nacional de Estadísticas*. Obtenido de [https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/curso/uni\\_03/u3c2s2.htm](https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/curso/uni_03/u3c2s2.htm)
- INEN 005 . (1992 ). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. . Quito , Pichincha , Ecuador .
- INEN 1108. (abril de 2020). Agua para consumo humano. Requisitos . Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN 2176 . (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Instituto geológico y minero de España . (2021). ¿Qué es una bomba de agua? . España .
- Larraga, B. (2016). Diseño del sistema de agua potable para Augusto Valencia canton Vinces provincia de Los Rios. Quito, Pichincha, Ecuador.
- López, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* . Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería .
- Magne, F. (Diciembre de 2008). Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de Ingeniería Sanitaria I. Cochabamba, Bolivia.
- Martinez, E. (2021). *Academia*. Obtenido de [https://www.academia.edu/9275462/Fuente\\_de\\_Abastecimiento](https://www.academia.edu/9275462/Fuente_de_Abastecimiento)



- Ministerio del Ambiente. (4 de noviembre de 2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI del texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. . Quito, Pichincha , Ecuador .
- Ninaquispe, L. (27 de junio de 2014). Hidrología general .
- Ochoa, C. (18 de mayo de 2015). *netquest*. Obtenido de <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-muestreo-conglomerados>
- ONU DAES . (22 de octubre de 2014). *Organizacion de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales* . Obtenido de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Pérez, L. R. (2018). *Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%2C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>
- Quiroz, L., Kulich, E., & Menéndez, C. (Diciembre de 2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. Portoviejo, Manabí, Ecuador: Scielo .
- Reyna, L. (12 de Junio de 2014). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, como herramienta para el desarrollo sustentable: Estudio de caso en Esmeraldas, Ecuador. *La Técnica*, 79.
- Rivera, A., & Sibón, F. (2018 ). Válvulas: Nomenclatura. Tipos de accionamiento. Tipos. Cádiz , España .
- Salinas, A. M. (enero-marzo de 2004). *Tips Bioestadísticos*. Monterrey, México: Redalyc.
- Salvador, I., Realp, E., Basteiro, L., Oliete, S., & Pérez, A. (2005). *Abastecimiento de Agua y Saneamiento* . Catalunya .
- Sanitrit SSA. (4 de Diciembre de 2018). *Sanitrit SSA*. Obtenido de <https://www.sfa.es/blog/que-son-las-estaciones-de-bombeo-n26#:~:text=Las%20estaciones%20de%20bombeo%20son%20estructuras%20o%20conjuntos,l%C3%ADquido%20por%20todo%20el%20espacio%20que%20tu%20desees>.

- Sanitron . (2019). *Sanitron* . Obtenido de <https://sanitronec.com/producto/acoples-y-conexiones-pvc-sch80/>
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (s.f.). *Enciclopedia virtual* . Obtenido de <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html#:~:text=El%20color%20en%20el%20agua%20resulta%20de%20la,d e%20la%20cual%20se%20ha%20eliminado%20la%20turbiedad>
- Sigler, A., & Bauder, J. (2021). Nitrato y Nitrito . Estados Unidos .
- Tinoco, J. (2019 ). NIVELES DE CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN LA CIUDAD DE CALI EN EL AÑO 2019 . Cali, Colombia .
- UNAN-MANAGUA . (2021). Fuentes de abastecimiento y captación . En *Ingeniería Sanitaria 1* (pág. 24). Managua .
- UNEPAR-KWF. (1994). *El sistema de agua y sus componentes* . Quetzaltenango : Romeo Sosa.
- Univerdad Politécnica de Catalunya. (2021). Buenas prácticas y formación para evitar la contaminación de las aguas. Barcelona, España .
- Velandia, P. (2 de febrero de 2012). Decreto 475 de 1998, Agua Potable . Bogota , Colombia .
- Zarza, L. (s.f.). *Investagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua-cruda>

