



**Estudios de diagnóstico, diseños de tanques, conexión y adecuación del  
abastecimiento de agua potable de Pesillo-Imbabura en la JAAP Sumak Yaku del cantón  
Otavalo, provincia de Imbabura.**

Maldonado Cotacachi, Cristian Enrique y Maldonado Morales Miguel Andrés

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto Ph.D.

04 de enero de 2022



Tesis\_MaldonadoC\_MaldonadoM Rev DBG 22-12-2021 Copy...

Scanned on: 16:57 December 22, 2021 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	243
Words with Minor Changes	39
Paraphrased Words	669
Ommited Words	0



Forma e lista di ricerca per:  
DARIO ROBERTO  
BOLANOS GUERRON



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "Estudios de diagnóstico, diseños de tanques, conexión y adecuación del abastecimiento de agua potable de Pesillo-Imbabura en la JAAP Sumak Yaku del cantón Otavalo, provincia de Imbabura", fue realizado por los señores Maldonado Cotacachi, Cristian Enrique y Maldonado Morales, Miguel Andrés, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de enero de 2022



El medio electrónico por:  
DARIO ROBERTO  
BOLAÑOS GUERRON

---

Ing. Bolaños Guerrero, Darío Roberto PhD.

CI: 1715206593



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Maldonado Cotacachi, Cristian Enrique**, con cédula de ciudadanía n°1003621693 y **Maldonado Morales, Miguel Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1718559741, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “Estudios de diagnóstico, diseños de tanques, conexión y adecuación del abastecimiento de agua potable de Pesillo-Imbabura en la JAAP Sumak Yaku del cantón Otavalo, provincia de Imbabura” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 04 de enero de 2022



Firmado electrónicamente por:  
CRISTIAN ENRIQUE  
MALDONADO  
COTACACHI

---

Maldonado Cotacachi, Cristian Enrique

CI: 1003621693



Firmado electrónicamente por:  
MIGUEL ANDRÉS  
MALDONADO  
MORALES

---

Maldonado Morales, Miguel Andrés

CI: 1718559741



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros **Maldonado Cotacachi, Cristian Enrique**, con cédula de ciudadanía n°1003621693 y **Maldonado Morales, Miguel Andrés**, con cédula de ciudadanía n°1718559741, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Estudios de diagnóstico, diseños de tanques, conexión y adecuación del abastecimiento de agua potable de Pesillo-Imbabura en la JAAP Sumak Yaku del cantón Otavalo, provincia de Imbabura”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 04 de enero de 2022



Firmado electrónicamente por:  
CRISTIAN ENRIQUE  
MALDONADO  
COTACACHI

Maldonado Cotacachi, Cristian Enrique

CI: 1003621693



Firmado electrónicamente por:  
MIGUEL ANDRÉS  
MALDONADO  
MORALES

Maldonado Morales, Miguel Andrés

CI: 1718559741



### **Dedicatoria**

A mis padres Enrique y Yolanda, quienes siempre me han apoyado y apoyarán incondicionalmente en todo momento, quienes me han inculcado con los valores y principios con los cuales he crecido y me he convertido en el hombre que soy.

A mi esposa Karen y mi hija Caely, a quienes amo y son la fuente de inspiración para cada uno de mis más grandes logros.

A mi abuelito Alberto, quien falleció hace poco. Nunca olvidaré su buen humor y el cariño que nos demostraba a todos sus nietos.

A mis hermanos, tíos y abuelos, que siempre han estado pendientes de mi trayectoria y que estuvieron ahí para darme ánimos y palabras de aliento.

**Cristian Enrique Maldonado Cotacachi**

Con mucho cariño a toda mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida.

A mis padres, Danilo y Esthela, por su apoyo incondicional y eterno amor.

A mi esposa María Cristina, y mi hijo Gabriel, por su amor y paciencia.

A mis hermanos, Esteban y Álvaro por sus consejos y por todos los maravillosos momentos compartidos.

**Miguel Andrés Maldonado Morales**



### **Agradecimiento**

Agradecido, siempre de mis padres por haberme dado la oportunidad acceder a una educación y agradecido por sus consejos y todo el amor incondicional que demuestran día a día.

Agradecido con mi esposa e hija, quienes siempre me han ayudado a levantarme en los momentos más difíciles y me han motivado a ser mejor.

Un agradecimiento especial al Ing. Darío Bolaños PhD., director de este proyecto de Titulación, por brindarnos su valioso tiempo y conocimiento para culminar el presente trabajo.

A la directiva y personal operativa de la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku, quienes contribuyeron amablemente con toda la información que se les solicitaba.

**Cristian Enrique Maldonado Cotacachi**

Doy gracias a Dios por colmarme de sabiduría y permitirme realizar este proyecto para culminar esta etapa académica.

A mis padres y hermanos, por enseñarme a ser una persona de bien y apoyarme en cada una de las decisiones en este proyecto.

A mi esposa e hijo, por su amor incondicional, y por siempre encontrar las palabras para motivarme a ser mejor.

Al Ing. Darío Bolaños PhD., director principal del proyecto, por su excelente instrucción y colaboración durante la ejecución del proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, al proporcionarnos la preparación para la realización del presente proyecto.

A todos los que de una u otra forma ayudaron en la ejecución de este proyecto.

**Miguel Andrés Maldonado Morales**

## Tabla de Contenido

<b>Reporte de verificación de similitud.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificado del director del proyecto.....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de Autoría.....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de Publicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla de Contenido.....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>11</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>11</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>13</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>15</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>15</b>
Antecedentes.....	16
Planteamiento del Problema.....	18
Ubicación.....	18
Área de Influencia.....	19
Justificación e Importancia.....	19
Objetivos.....	21
<i>Objetivo General.....</i>	<i>21</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>21</i>
Hipótesis.....	21
<b>Capítulo II.....</b>	<b>22</b>
<b>Material y Métodos.....</b>	<b>22</b>

<i>Antecedentes Investigativos</i> .....	22
<i>Fundamentación Teórica</i> .....	22
<i>Fundamentación Conceptual</i> .....	23
Red de Agua Potable de la JAAP Sumak Yaku .....	29
<i>Descripción</i> .....	29
<i>Planimetrías Hidráulicas</i> .....	30
<i>Topografía</i> .....	33
<i>Parámetros de la Red</i> .....	33
Análisis de la Información Entregada por la JAAP Sumak Yaku .....	37
Análisis del Sistema Existente de la JAAP Sumak Yaku .....	38
<i>Descripción del Sistema de Distribución de Agua Potable</i> .....	38
<i>Diámetros de Tuberías</i> .....	51
<i>Modelamiento de la Red Actual</i> .....	52
<b>Capítulo III</b> .....	<b>60</b>
<b>Resultados y Discusión</b> .....	<b>60</b>
Análisis de Red Actual .....	60
Resultados de la tabulación de la encuesta socioeconómica de la JAAP Sumak Yaku .....	60
Evaluación de los Resultados .....	76
Interconexión de la JAAP Sumak Yaku con el Proyecto Pesillo-Imbabura .....	77
<i>Descripción del Sistema de Distribución de Agua Potable</i> .....	77
Diseño de la Ampliación de las Redes de Conducción .....	78
Cálculo de caudales .....	79
Diseño de Tanques de Almacenamiento Requeridos .....	80
<i>Descripción del Sistema Estructural</i> .....	80
<i>Definición del Sistema Estructural Resistente</i> .....	81

<i>Identificación de las Cargas</i> .....	81
<i>Diagnóstico y pronóstico</i> .....	82
<i>Modelo matemático</i> .....	82
<i>Combinaciones de carga</i> .....	82
<i>Definición de materiales</i> .....	82
<i>Elementos estructurales</i> .....	82
<i>Hipótesis de cargas</i> .....	83
<i>Asignación de cargas uniformes</i> .....	84
<i>Resultados y Diseño de los Elementos Estructurales</i> .....	86
Demanda en los Nodos .....	93
Modelamiento de la Nueva Red .....	94
Análisis de Red Periodo Estático .....	94
Evaluación de los Resultados .....	94
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>96</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>96</b>
Conclusiones .....	96
Recomendaciones .....	97
<b>Bibliografía</b> .....	<b>98</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>100</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Resumen de los tanques existentes en la JAAP Sumak Yaku</i> .....	34
<b>Tabla 2</b> <i>Distribución de acometidas por comunidad hasta diciembre de 2020</i> .....	40
<b>Tabla 3.</b> <i>Consumo de agua potable durante el año 2020</i> .....	44
<b>Tabla 4</b> <i>Cálculo del caudal de diseño</i> .....	45
<b>Tabla 5</b> <i>Tuberías de conexión entre tanques</i> .....	51
<b>Tabla 6</b> <i>Conexión entre tanques</i> .....	51
<b>Tabla 7</b> <i>Tuberías de la red de distribución</i> .....	52
<b>Tabla 8</b> <i>Tipo de vivienda</i> .....	60
<b>Tabla 9</b> <i>Uso de la vivienda</i> .....	61
<b>Tabla 10</b> <i>Tenencia de la vivienda</i> .....	62
<b>Tabla 11</b> <i>Sistema constructivo de la vivienda</i> .....	63
<b>Tabla 12</b> <i>Servicios básicos de la vivienda</i> .....	64
<b>Tabla 13</b> <i>Pago mensual de luz eléctrica de la vivienda</i> .....	65
<b>Tabla 14</b> <i>Ingreso promedio mensual de la familia</i> .....	66
<b>Tabla 15</b> <i>Disposición de agua potable durante las 24 horas del día</i> .....	67
<b>Tabla 16</b> <i>Horarios en el que dispone de agua potable</i> .....	68
<b>Tabla 17</b> <i>Pago mensual por el servicio de agua potable</i> .....	69
<b>Tabla 18</b> <i>Costo del servicio de agua potable</i> .....	70
<b>Tabla 19</b> <i>Suficiencia del agua potable</i> .....	71
<b>Tabla 20</b> <i>Almacenamiento del agua potable recibida</i> .....	72
<b>Tabla 21</b> <i>Lugar de almacenamiento del agua potable recibida</i> .....	73
<b>Tabla 22</b> <i>Calidad del agua potable recibida</i> .....	74
<b>Tabla 23</b> <i>Características de los tanques</i> .....	76
<b>Tabla 24</b> <i>Cálculo de la población futura</i> .....	78
<b>Tabla 25</b> <i>Cálculo del caudal de diseño para la adecuación de la red de Pesillo</i> .....	79

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Tanques de almacenamiento de agua potable del proyecto Pesillo-Imbabura</i> .....	17
<b>Figura 2</b> <i>Vista satelital de la ubicación del proyecto</i> .....	19
<b>Figura 3</b> <i>Planimetría hidráulica de la red Sumak Yaku</i> .....	31
<b>Figura 4</b> <i>Captura satelital del software Civil3D</i> .....	32
<b>Figura 5</b> <i>Esquema del sistema de agua potable de Sumak Yaku</i> .....	36
<b>Figura 6</b> <i>Gráfico de las comunidades pertenecientes a Sumak Yaku</i> .....	38
<b>Figura 7</b> <i>Tendencia de crecimiento del número de acometidas en el año 2020</i> .....	41
<b>Figura 8</b> <i>Gráfico de porcentajes de consumo del mes de diciembre 2020</i> .....	42
<b>Figura 9</b> <i>Nivel de confianza <math>Z \alpha</math> para el cálculo del tamaño de la muestra</i> .....	43
<b>Figura 10</b> <i>Encuesta Socio-Económica</i> .....	44
<b>Figura 11</b> <i>Piscina de recolección de agua potable en la zona de captación</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Esquema sitio de captaciones vertientes</i> .....	47
<b>Figura 13</b> <i>Levantamiento de la zona de captación y bombeo de la vertiente de Araque</i> .....	48
<b>Figura 14</b> <i>Gráfico de la primera estación de bombeo</i> .....	49
<b>Figura 15</b> <i>Gráfico de la segunda estación de bombeo</i> .....	50
<b>Figura 16</b> <i>Modelo de la red en EPANET</i> .....	55
<b>Figura 17</b> <i>Área de influencia de la red</i> .....	57

<b>Figura 18</b> <i>División en áreas tributarías</i> .....	58
<b>Figura 19</b> <i>Resultados del modelo de la red Sumak Yaku</i> .....	59
<b>Figura 20</b> <i>Gráfico de representación porcentual del tipo de vivienda</i> .....	60
<b>Figura 21</b> <i>Gráfico de representación porcentual del uso de la vivienda</i> .....	61
<b>Figura 22</b> <i>Gráfico de representación porcentual de la tenencia de la vivienda</i> .....	62
<b>Figura 23</b> <i>Gráfico de representación porcentual del sistema constructivo de la vivienda</i> .....	63
<b>Figura 24</b> <i>Gráfico de representación porcentual de los servicios básicos de la vivienda</i> .....	65
<b>Figura 25</b> <i>Gráfico de representación porcentual del pago mensual de luz eléctrica de la vivienda</i> .....	66
<b>Figura 26</b> <i>Gráfico de representación porcentual de los ingresos promedios mensuales de la familia</i> .....	67
<b>Figura 27</b> <i>Gráfico de representación porcentual de la disposición de agua potable las 24h</i> .....	68
<b>Figura 28</b> <i>Gráfico de representación porcentual de horarios en el que dispone de agua potable</i> .....	69
<b>Figura 29</b> <i>Gráfico de representación porcentual de los pagos mensuales por el servicio de agua potable</i> .....	70
<b>Figura 30</b> <i>Gráfico de representación porcentual del costo del servicio de agua potable</i> .....	71
<b>Figura 31</b> <i>Gráfico de representación porcentual la suficiencia del agua potable</i> .....	72
<b>Figura 32</b> <i>Gráfico de representación porcentual del Almacenamiento del agua potable recibida</i> .....	73
<b>Figura 33</b> <i>Gráfico de representación porcentual del lugar de almacenaje de agua potable</i> .....	74
<b>Figura 34</b> <i>Gráfico de representación porcentual de la calidad del agua potable</i> .....	75
<b>Figura 35</b> <i>Vista isométrica frontal del tanque</i> .....	80
<b>Figura 36</b> <i>Ejes de los muros perimetrales y muro central</i> .....	83
<b>Figura 37</b> <i>Empuje de agua hacia los muros</i> .....	84
<b>Figura 38</b> <i>Cargas sobre losa tapa</i> .....	84
<b>Figura 39</b> <i>Cargas sobre la losa de cimentación</i> .....	85
<b>Figura 40</b> <i>Mallado del modelo</i> .....	86
<b>Figura 41</b> <i>Vista 3D – ejes axiales</i> .....	86
<b>Figura 42</b> <i>Esfuerzos en el muro del eje 1</i> .....	87
<b>Figura 43</b> <i>Esfuerzos en el muro del eje A</i> .....	87
<b>Figura 44</b> <i>Esfuerzos en el muro del eje 1</i> .....	88
<b>Figura 45</b> <i>Esfuerzos en el muro del eje A</i> .....	88
<b>Figura 46</b> <i>Momentos en los muros del eje 1</i> .....	89
<b>Figura 47</b> <i>Momentos en los muros del eje A</i> .....	89
<b>Figura 48</b> <i>Momentos en los muros del eje 1</i> .....	90
<b>Figura 49</b> <i>Momentos en los muros del eje A</i> .....	90
<b>Figura 50</b> <i>Momentos en losa tapa sentido Y</i> .....	91
<b>Figura 51</b> <i>Momentos en losa tapa sentido X</i> .....	91
<b>Figura 52</b> <i>Momentos en losa tapa sentido Y</i> .....	92
<b>Figura 53</b> <i>Momentos en losa tapa sentido X</i> .....	92
<b>Figura 54</b> <i>Modelo hidráulico realizado en EPANET</i> .....	94

## Resumen

El presente trabajo de investigación está destinado al diseño de la interconexión del proyecto de agua potable Pesillo-Imbabura, con la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku, ubicada en el cantón Otavalo de la provincia de Imbabura, para su desarrollo se consideran dos fases. La primera comprende en la recopilación y análisis de información general del sistema de agua potable existente de la JAAP Sumak Yaku, tales como; sistema de bombeo, redes de conducción y distribución, tanques de almacenamiento, demandas, población beneficiaria, entre otras. La segunda fase consiste en realizar un modelo hidráulico en el software EPANET, en el que se incluya el sistema de agua potable actual de la JAAP Sumak Yaku, para luego analizar los resultados obtenidos. Finalmente se realiza los diseños adecuados de la conexión, tanque de almacenamiento, redes de conducción y las modificaciones necesarias para adaptar el proyecto de agua potable Pesillo-Imbabura al sistema de almacenamiento y distribución existente. Como resultado de la conexión con el proyecto Pesillo-Imbabura, se espera mejorar la oferta, cobertura, operación, manejo y control del sistema de agua potable de la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku.

Palabras *claves*:

- **AGUA POTABLE**
- **PESILLO**
- **INTERCONEXIÓN**
- **SUMAK YAKU**
- **MODELAMIENTO HIDRÁULICO**

## **Abstract**

This research work is aimed at the design of the interconnection of the Pesillo-Imbabura drinking water project, with the Sumak Yaku Potable Water Administration Board, located in the Otavalo canton of the Imbabura province, for its development, two phases are considered. The first involves the collection and analysis of general information on JAAP Sumak Yaku's existing drinking water system, such as pumping system, conduction and distribution networks, storage tanks, demands, beneficiary population, among others. The second phase consists of first performing a hydraulic model in the EPANET computer software that represents the current JAAP Sumak Yaku drinking water system, and then analyzing the results obtained. Finally, the appropriate designs of the connection, storage tank, conduction networks and the necessary modifications are made to adapt the Pesillo-Imbabura drinking water project to the existing storage and distribution system. As a result of the connection with the Pesillo-Imbabura project, it is expected to improve the supply, coverage, operation, management, and control of the potable water system of the Sumak Yaku Potable Water Administration Board.

*Keywords:*

- **DRINKING WATER**
- **PESILLO**
- **INTERCONNECTION**
- **SUMAK YAKU**
- **HYDRAULIC MODELING.**

## Capítulo I

### Introducción

La Junta Administradora de Agua Potable (JAAP) Sumak Yaku del cantón Otavalo, es una institución pública autónoma encauzada a satisfacer las necesidades básicas de las comunidades a través de mecanismos de participación ciudadana, en la búsqueda del desarrollo social comunitario para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Está conformada y dirigida por un representante electo por todas las comunidades: Agato, Araque, Arias Uku, Camuendo, Compañía Alta, Compañía Baja, Quinchuquí, Yaku Pata y Abatag; con el objetivo de distribuir agua potable de forma equitativa, del cual aproximadamente 3500 son socios-usuarios pertenecientes a esta JAAP, por lo tanto, considerando 5 miembros por familia o usuarios, son 17500 consumidores de agua potable a los que la junta debe suministrar.

Las comunidades beneficiarias de la JAAP Sumak Yaku cuentan con un sistema de agua potable a bombeo, el mismo que se encuentra muy deteriorado por el paso de los años, pero en la actualidad brinda un servicio en condiciones aceptables en la mayor parte del territorio perteneciente a la junta. Para ello se han realizado múltiples procesos de mantenimiento, tanto a las bombas como a las redes de conducción, distribución y tanques de almacenamiento. El servicio de agua potable a cargo de la JAAP Sumak Yaku es irregular en algunas zonas consideradas altas, ya que llegan a tener líquido vital por tan solo 12h diarias, esto debido a que están situadas en alturas superiores a las de los tanques de almacenamiento, por lo tanto, las presiones de agua en aquellos puntos no son suficientes.

Por estos problemas de suministro y ante el continuo crecimiento de la demanda, se prevé que, en los próximos años, la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku no podrá ofrecer una cobertura al cien por cien de la población. Por lo tanto, se ha planteado la solución de la interconexión de abastecimiento de agua potable del Proyecto Pesillo-Imbabura,

el cual destinará el caudal necesario para cubrir con la demanda futura y además solucionará los problemas de suministro de las zonas altas del territorio de la JAAP Sumak Yaku.

Para llevar a cabo este proyecto de investigación, se realizarán modelos hidráulicos del sistema actual de agua potable de JAAP Sumak Yaku, así también del análisis de modelos hidráulicos junto con la conexión al proyecto Pesillo-Imbabura. Para ello es necesario realizar los estudios previos y los respectivos diseños de los elementos y estructuras hidráulicas si así lo requieran, es decir, la conexión con macro medidores, tanques de almacenamiento, redes de conducción y redes de distribución. Con el objetivo de mejorar la oferta, cobertura, operación, manejo y control de los sistemas de agua potable de la JAAP Sumak Yaku.

### **Antecedentes**

La Junta Administradora de Agua Potable (JAAP) Sumak Yaku, creada en el año 2004, se conforma de 9 comunidades que fueron beneficiados con la concesión de aguas para el uso y consumo humano, con la cantidad de 23 litros por segundo de las vertientes de la comunidad de Araque, situado a las orillas del lago San Pablo y en las faldas del volcán Imbabura. Al inicio de sus operaciones, la junta dotaba de agua potable a aproximadamente 1600 viviendas, unos 8000 habitantes si se considera como 5 miembros en cada familia. Actualmente el número de socios-usuarios han aumentado a 3475 hasta enero del 2021, por lo que se prevé que se va a necesitar de una alternativa de abastecimiento de agua potable, si la tendencia de crecimiento poblacional se mantiene.

Después de varios años de lucha social por la demanda del líquido vital por parte de 162 comunidades de 5 cantones de las provincias de Pichincha e Imbabura; se logró un financiamiento de alrededor de USD 48 millones que el Gobierno Nacional, a través del Banco de Desarrollo del Ecuador, otorgó a los GAD Municipales de Ibarra, Otavalo, Antonio Ante, Cayambe y Pedro Moncayo para la construcción del Proyecto Regional de Agua Potable Pesillo-Imbabura, que consta de la construcción de la captación, planta de tratamiento, 2 tanques de

almacenamiento de 5000m<sup>3</sup>, Figura 1, y la red de conducción para los diferentes cantones que se beneficiarán del proyecto, permitiendo brindar un servicio continuo de agua potable, mejorar la calidad de vida y satisfacer la demanda requerida de las comunidades rurales y urbano-rurales beneficiarias de los cantones mencionados.

### **Figura 1**

*Tanques de almacenamiento de agua potable del proyecto Pesillo-Imbabura*



El 14 de enero de 2021, se realizó un recorrido por la zona de construcción de los tanques de reserva y la planta de tratamiento, los cuales tenían un porcentaje de avance del 90 y 60 por ciento respectivamente. La obra fue adjudicada por la empresa constructora Hidalgo e Hidalgo, la proyección de culminación y entrega del proyecto Pesillo-Imbabura está prevista para el mes de septiembre del 2022.

## **Planteamiento del Problema**

En la comunidad de Araque, ubicado en las faldas del volcán Imbabura, es donde se encuentra el conjunto de manantiales, cuyas salidas de agua comúnmente se las conoce con el nombre de ojo de agua. La fuente produce un caudal aproximado de 75 litros por segundo y es compartida con otras juntas de agua, por lo que a la JAAP Sumak Yaku solamente le es permitido captar un máximo de 25 litros por segundo. Esta fuente de abastecimiento de agua cruda es la única en la zona, y es por ello por lo que las comunidades más próximas están obligadas a proveerse de la administración de Sumak Yaku, siendo 9 comunidades las beneficiadas actualmente, aunque existen muchas más comunidades que requieren de este servicio, pero no pueden acceder por políticas internas tanto de la junta como de las comunidades.

A pesar de que es complicado que una nueva comunidad sea parte de la JAAP Sumak Yaku, la institución está obligada a brindar de líquido vital a la población; sin embargo, deben de cumplir con ciertas condiciones que los mismos habitantes de las 9 comunidades han dispuesto desde la creación de la empresa. Por lo tanto, la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku necesita de otra fuente de abastecimiento alterna que ayude a dotar de agua potable de calidad a las comunidades pertenecientes a la administración de la junta, actuales y futuras.

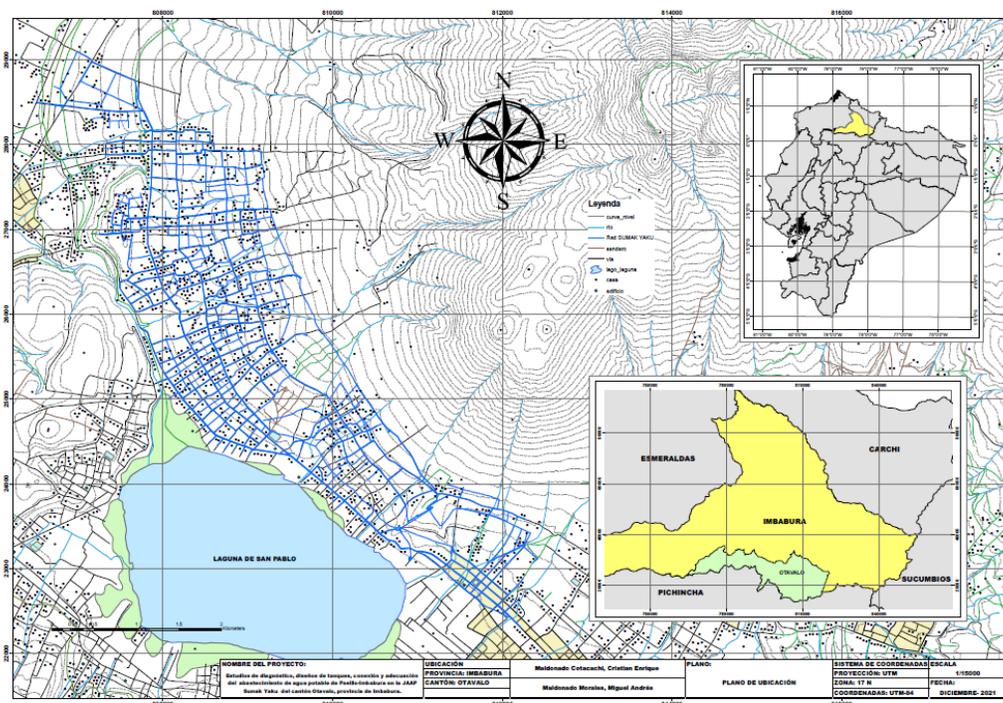
Además, en base a la información generada en visitas técnicas y reconocimiento al sector de estudio, el abastecimiento normal de 24 horas en todas las comunidades que pertenecen al sistema regional es también un problema.

## **Ubicación**

El proyecto de investigación se desarrolla para la Junta Administradora de Agua Potable (JAAP) Sumak Yaku, ubicado en las faldas del volcán Imbabura y junto a la laguna de San Pablo, Figura 2, perteneciente al cantón Otavalo de la provincia de Imbabura.

**Figura 2**

*Vista satelital de la ubicación del proyecto*



## Área de Influencia

El área correspondiente del proyecto es de 1500 hectáreas aproximadamente, que representa a las comunidades de Agato, Araque, Arias Uku, Camuendo, Compañía Alta, Compañía Baja, Quinchuquí, Yaku Pata y Abatag, de los cuales son 3475 socios-usuarios registrados en la JAAP Sumak Yaku. Por lo tanto, si se considera 5 miembros por familia o usuario, serían 17375 habitantes que dependen del servicio de esta institución.

## Justificación e Importancia

La Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku, cuenta con una zona de captación que cuenta con una vertiente superficial ubicada a las orillas del lago San Pablo, con un caudal de 23 o 25 l/s, los cuales se conducen hacia los tanques de reserva ubicados en la comunidad de Araque por medio de dos estaciones diferentes de bombeo. La primera estación

de bombeo conduce el agua hacia dos tanques de reserva de 300 m<sup>3</sup> cada una, ubicado a 400 m desde el punto de captación y con una diferencia de altura de 90 m, esto para lograr distribuir a gravedad la parte baja y media del territorio a los cuales la JAAP Sumak Yaku beneficia de agua potable. La parte alta está cubierta parcialmente por dos tanques de reserva llamados “Gemelos”, ubicados a una distancia de 450 m y una diferencia de altura de 115 m, con referencia a los primeros tanques de reserva, cada uno con una capacidad de 200 m<sup>3</sup>. La segunda estación de bombeo conduce el agua desde los primeros tanques de reserva hasta esta zona. Sin embargo, existe una zona alta a la cual no es posible distribuir agua a gravedad por lo que es necesario realizar un nuevo sistema de redes de distribución que ofrezca un servicio de calidad y constante a todos sus usuarios (Perugachi Cachimuel & Cachipundo Ulcuango, 2020).

Los problemas que la JAAP Sumak Yaku presenta son principalmente en los sistemas de bombeo, ya que al ser antiguas éstas están en constantes procesos de mantenimiento con grandes costos, además de un sistema eléctrico ineficiente; ya que en varias ocasiones han surgido problemas para encender los motores de las bombas de la primera estación de bombeo, debido a que los transformadores no producen suficiente voltaje. Esto conduce a consecuencias como el no poder brindar agua potable a las comunidades encargadas por la junta durante varias horas o hasta días. Todos estos inconvenientes llevan a que la JAAP Sumak Yaku tenga muchas pérdidas económicas y que muchos usuarios no puedan gozar de un buen servicio de este recurso hídrico tan valioso y esencial como es el agua.

Después de analizar las posibles soluciones se opta por aprovechar el proyecto Pesillo-Imbabura, el cual, por su ubicación geográfica, la conducción y distribución de agua potable se lo realizará a gravedad, con ello se lograría el ahorro en mantenimiento progresivo de equipos e instalaciones, en sistemas de bombeo y los consumos eléctricos que se requiere para el funcionamiento del sistema actual.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Evaluar el sistema de agua potable de la JAAP Sumak Yaku, diseñar tanques de almacenamiento y adecuar el abastecimiento de agua potable de Pesillo-Imbabura para la JAAP Sumak Yaku del cantón Otavalo, provincia de Imbabura.

### ***Objetivos Específicos***

- Analizar la información técnica relativa a las comunidades atendidas por la JAAP Sumak Yaku y evaluar el sistema de distribución actual de agua potable.
- Diseñar tanques de almacenamiento y redes de conducción requeridas para el abastecimiento de agua potable del proyecto Pesillo-Imbabura a la JAAP Sumak Yaku.
- Ejecutar un rediseño del sistema de agua potable mediante el planteamiento de una alternativa en el software de análisis y modelación de redes hidráulicas
- Verificar los resultados obtenidos del modelamiento de la nueva red con el proyecto Pesillo-Imbabura.

## **Hipótesis**

Un sistema de conducción por gravedad permite que el transporte de agua sea eficiente, seguro y de calidad desde el punto de captación y distribución, sin un bombeo mecanizado y en condiciones seguras e higiénicas.

## Capítulo II

### Material y Métodos

#### ***Antecedentes Investigativos***

Las redes de distribución están conformadas por un sistema de tuberías que conduce el agua desde la planta de tratamiento a las diferentes zonas de consumo, por bombeo o por gravedad. En la red de distribución están considerados una serie de elementos que controlan y definen el comportamiento de esta, permitiendo un servicio confiable adaptado a la normativa vigente en la región de diseño (Moreno Salazar, 2006).

Es de vital importancia que para un sistema de distribución de agua potable influye mucho la topografía de terreno, la repartición de las viviendas dentro de las comunidades y la localización de la fuente de abastecimiento. Para realizar un diseño de una red de abastecimiento de agua potable, los parámetros de diseño que influyen en el mismo pueden ser el material, dotaciones, población y caudal máximos.

#### ***Fundamentación Teórica***

Las variables que influyen en el diseño de un sistema de distribución son la ubicación geográfica y la cantidad de consumo de agua potable por habitante, para así poder garantizar un diseño óptimo basado en las normativas vigentes con un buen criterio de diseño.

De acuerdo con La ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua menciona el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y/o doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura, entre otros aspectos (Asamblea nacional, 2014).

Un sistema de abastecimiento de agua potable se compone por un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales

ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los usuarios que serán favorecidos con el sistema (Cardenas Jaramillo & Patiño Guaraca, 2010).

### ***Fundamentación Conceptual***

#### **Bases Teóricas.**

- ***Red de Distribución.*** Son un conjunto de elementos e infraestructura interconectados que transportan el agua desde una fuente de abastecimiento, a los puntos de almacenamiento y a los de consumo, manteniendo unas condiciones cuantitativas y cualitativas óptimas y de calidad (García Alcaraz, 2006), se dividen en principales y secundarias.
  - Principales son aquellas que se maneja para distribuciones en una zona o población.
  - Secundaria son aquellas que se maneja para distribución o abastecimiento interno de edificios, viviendas u otras edificaciones.

También existen algunos tipos de distribución de redes tales como:

- Ramificadas son las que se caracterizan por tener un sentido paralelo o único.
- Malladas son aquellas que su característica está conformada por un reticulado o circuito de viarias líneas.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable, se clasifican en las categorías indicadas según la tabla de categorías de los sistemas de agua potable, en función de la confiabilidad del abastecimiento pueden ser de primera, segunda o tercera categoría.

En la planificación de sistemas de abastecimiento de agua potable, se debe considerar el uso de obras de conducción ya constituidas, de acuerdo a una justificación técnica, económica y la calificación sanitaria de dichas obras (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

**Período de Diseño.** Se debe garantizar la rentabilidad técnico-económica de todas las obras del sistema de abastecimiento de agua potable durante el período de diseño seleccionado.

Existen factores que influyen en la determinación del periodo, como son: durabilidad de materiales, ampliaciones, crecimiento poblacional, contexto social y económico.

No se proyectarán obras con períodos inferiores a 15 años. La construcción de obras definitivas podrá ser por etapas, no mayores a tres.

En la tabla de Vida útil, se establecen los rangos de años de las diferentes partes que conforman un sistema de agua potable, según el componente que se diseñara, como el de un tanque de almacenamiento tiene una vida útil entre los 30 o 40 años.

Un punto importante es la evaluación de los costos de construcción, gastos anuales de operación, plazos y etapas de construcción, etc.

**Estimación de la Población Futura.** Para determinar la población futura se calcularán proyecciones de crecimiento con al menos tres métodos, que permitan comparar los resultados. Finalmente, se decidirá tomando en cuenta aspectos económicos, geopolíticos y sociales que influyan en la demografía de la zona de estudio (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

El INEN recomienda para la obtención de la tasa de crecimiento en el caso de no constar los datos censales se debe utilizar los valores de la tabla de crecimiento poblacional, del cual se

escoge para cada región, sierra, costa, oriente y Galápagos, en este caso para la zona Sierra teniendo una tasa de crecimiento de 1%.

Existen muchos métodos para el cálculo de la población futura, pero describiremos los usados en el presente proyecto, ya que se han obtenido valores más cercanos a la realidad.

**Método Aritmético.** El incremento de la población en este método se lo considera como una constante, se expresa en función de la población futura y actual, período de diseño y el índice de crecimiento poblacional

**Método Geométrico.** En este método se considera el incremento de la población de una cuantía ubicada al interés, y viene indicada a partir de población futura y actual, el número de períodos de diseño y el índice de crecimiento poblacional

**Método de Wappaus.** Este método no es tan común, pero se ha demostrado obtener valores próximos a la realidad, se basa en el periodo de diseño y tasa de crecimiento poblacional (Álava Montesdeoca, 2019).

### **Dotaciones y Coeficientes de Variación.**

**Dotación.** La producción de agua necesaria para las actividades diarias de la población de usuarios y otros requerimientos, se podrán establecer utilizando las dotaciones indicadas según el INEN en la tabla dotaciones recomendadas, donde a partir de la población, y el tipo de clima podemos aproximar la dotación media futura.

**Variaciones de Consumo.** El consumo medio anual diario (en m<sup>3</sup>/s), se calculará por la fórmula:

$$Q_{med} = f \cdot \frac{q \cdot N}{1000 \cdot 86400}$$

q = dotación en l/hab/día

N = número de habitantes.

f = factor de fugas

Se recomienda, un valor del 15% al 20% para el factor de fugas.

El requerimiento máximo correspondiente al mayor consumo diario:

$$Q_{\text{máx. día}} = K_{\text{máx. día}} \cdot Q_{\text{med}}$$

El coeficiente de variación del consumo máximo diario:

$$K_{\text{máx. día}} = 1,3 - 1,5$$

El caudal máximo horario se establece con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{máx. horario}} = K_{\text{máx. hor}} \cdot Q_{\text{med}}$$

El coeficiente de variación del consumo máximo horario se recomienda establecerse entre los valores:

$$K_{\text{máx. hor}} = 2 - 2,3$$

Las dotaciones de agua contra incendios, así como el número de incendios simultáneos debe adoptarse según las indicaciones de la normativa, a partir del número de habitantes (en miles).

**Caudales de Diseño.** Se usarán los caudales propuestos por la norma, como por ejemplo en el caso de una red de distribución es: Máximo horario + incendio.

**Volúmenes de Almacenamiento.** Para el cálculo de los diferentes volúmenes de la red estudiada, se usaron los parámetros establecidos por la normativa como son:

**Volumen de Regulación.** Para poblaciones mayores de 5 000 habitantes, el volumen de regulación es 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al

final del período seleccionado para el diseño (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

**Volumen de Protección Contra Incendios.** En poblaciones mayor a 20000 habitantes futuros se utilizará la fórmula en función de la población en miles (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

$$V_i = 100 \sqrt{p}, \text{ en m}^3.$$

**Volumen de Emergencia.** Para poblaciones mayores de 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como volumen para cubrir situaciones de emergencia (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

**Volumen Total.** Se obtendrá al sumar los volúmenes de regulación, emergencia y el volumen para incendios.

**Criterios Técnicos Para el Diseño de la Red Distribución.** Algunos puntos importantes que nos recomienda la norma CPE INEN, para el proyecto es lo siguiente:

**Caudal de Diseño y Presiones.** Los caudales de diseño para las redes de distribución serán: el máximo diario al final del período de diseño más incendio y se comprobarán las presiones de la red (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

El valor un mínimo recomendado por la norma es de 10 mca en los puntos y condiciones más desfavorables. La presión estática máxima, debe ser mayor a 70 mca y presión máxima dinámica, 50 mca.

Las presiones diferentes a las indicadas deberán ser justificados.

**Diseño y Dimensionamiento de la Red.** Las tuberías de la red formarán mallas, siendo preferible evitar ramales abiertos. El diámetro de las tuberías debe ser el comercial similar al

determinado en los cálculos hidráulicos. Y la velocidad en lo posible debe mantener un valor menor al 1,5 m/s.

**Distribución de Válvulas.** La red debe ser dividida por sectores, para que puedan ser aislados en caso de reparaciones, mantenimiento y/o ampliaciones. Para el vaciado se deben utilizar los hidrantes o válvulas de desagüe en los sitios adecuados a lo largo de la red.

**Materiales.** Pueden ser de asbesto-cemento, PVC, fibra de vidrio, hierro fundido, hierro dúctil, hierro galvanizado y acero. La selección del tipo de material depende de la calidad del agua, suelo y la economía del proyecto (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).

**Detalles de la Red:**

- ✓ Diseñar obras de protección para cruzar obstáculos geográficos como ríos, quebradas, etc.
- ✓ Colocar válvulas de aire en los puntos en los que se necesite en la red.
- ✓ Separar las tuberías de agua potable del alcantarillado por lo menos 3 m horizontalmente y 30 cm verticalmente.
- ✓ La profundidad mínima para la instalación de la tubería es de 1 m sobre la corona del tubo.
- ✓ Es importante prevenir conexiones cruzadas y flujo inverso en la red.

**Ubicación.** Está determinada por la necesidad de mantener presiones adecuadas para un correcto comportamiento de la red dentro de los límites de servicio, garantizando presiones mínimas en las zonas más elevadas y presiones máximas las más bajas.

Para la colocación de reservorios en la mayoría de los casos se los localiza en las cotas máximas existentes del proyecto.

**Software de Análisis, Modelación y Gestión de Redes Hidráulicas.** Las redes de distribución de agua son sistemas complejos, ya que tienen comportamiento no lineal, siendo importante utilizar cada vez más los softwares de modelamiento y simulación hidráulica para justificar las soluciones propuestas.

#### **Simulación de Redes Hidráulicas.**

***Simulación en Periodo Estático.*** Los elementos de regulación no sufren alteraciones a lo largo del tiempo durante el análisis de la red.

***Simulación en Periodo Extendido.*** Las variables como: presión, velocidad, caudal etc., varían a lo largo del tiempo, parecida al comportamiento real de una red de distribución de agua potable.

### **Red de Agua Potable de la JAAP Sumak Yaku**

#### ***Descripción***

Los sistemas de abastecimiento de agua potable han sido difíciles de manejar y gestionar, ya que los principales problemas son el gran grado de incertidumbre de la información desagregada sobre la infraestructura instalada, lo que genera errores y atrasos en la planeación y gestión de nuevas obras. Este tipo de sistemas requiere cada vez más del uso de nuevos recursos tecnológicos y manejo adecuado de los datos. Los modelos hidráulicos se utilizan con mayor frecuencia para el análisis y diseño de los sistemas de distribución de agua, ya que permiten ingresar una gran cantidad de datos y combinarlos para obtener una simulación precisa al comportamiento real del sistema (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019b).

Actualmente, los modelos hidráulicos construidos y calibrados con la base de una información de calidad y confiabilidad, pueden ayudar a optimizar los sistemas, o para servir de base para labores operativas y de mantenimiento.

La aplicación de la metodología de diagnóstico, propuesta de mejora y modelado hidráulico basada en datos y preparados con el uso de tecnologías, ya mencionadas, se llevarán a cabo para el sistema de abastecimiento de agua potable de la JAAP Sumak Yaku.

La JAAP Sumak Yaku, del Cantón Otavalo, es una institución pública autónoma encaminada a satisfacer y mejorar las necesidades básicas de su comunidad a través de mecanismos de participación ciudadana y técnica, en la búsqueda del desarrollo social comunitario para mejorar la calidad del servicio prestado a sus usuarios.

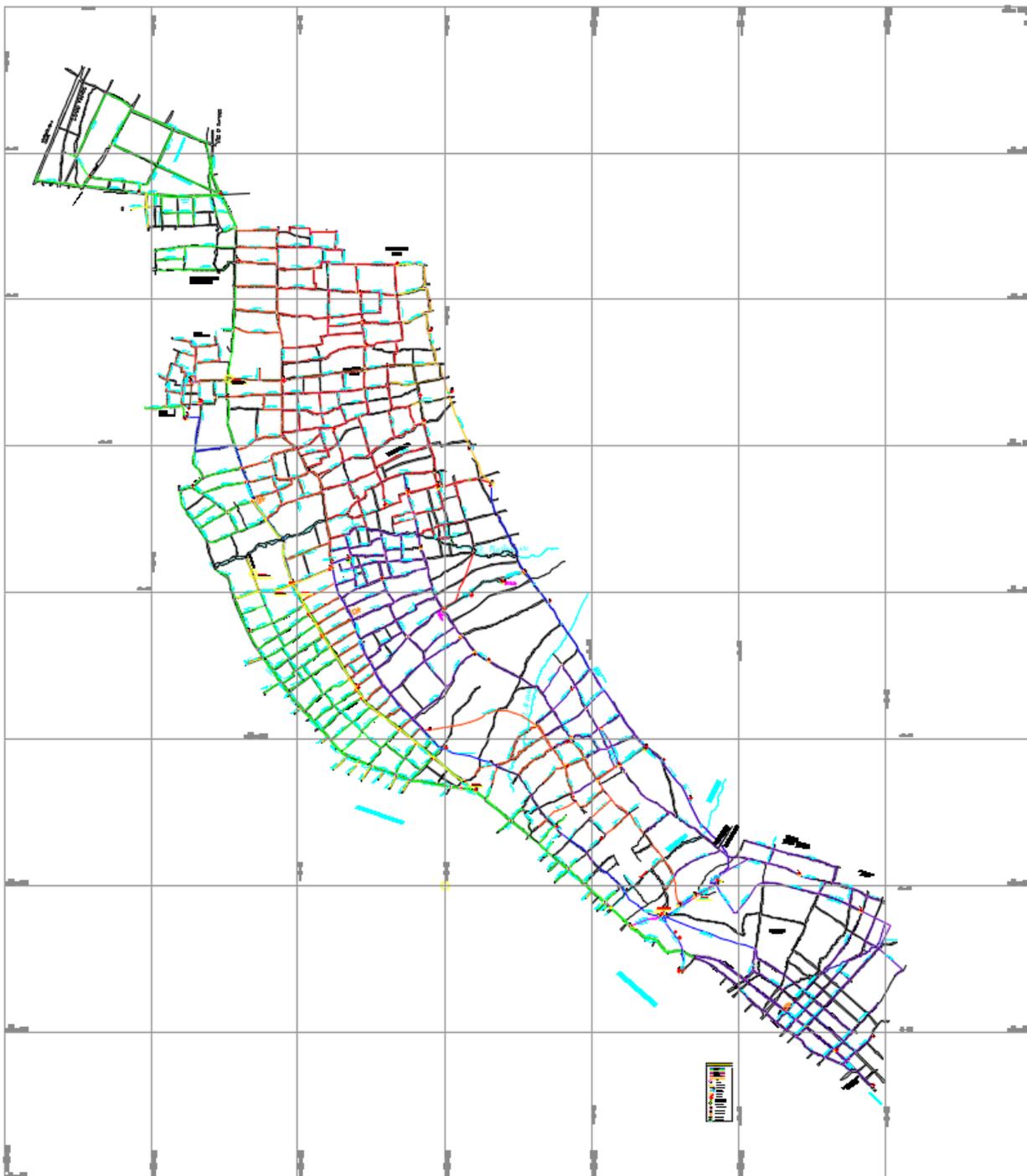
Las autoridades de JAAP Sumak Yaku en vista del futuro aumento del número de usuarios y del crecimiento del crecimiento poblacional, desea obtener la información técnica necesaria para organizarse y planificar convenientemente su desarrollo.

### ***Planimetrías Hidráulicas***

Para el desarrollado del proyecto, la búsqueda de la información base del área de estudio del sistema de estudio es esencial. Existe información disponible de la red en versión digital (CAD), que debe ser procesada cartográficamente para la importación de datos más confiables, que se utilizan para el modelado hidráulico, Figura 3.

**Figura 3**

*Planimetría hidráulica de la red Sumak Yaku*

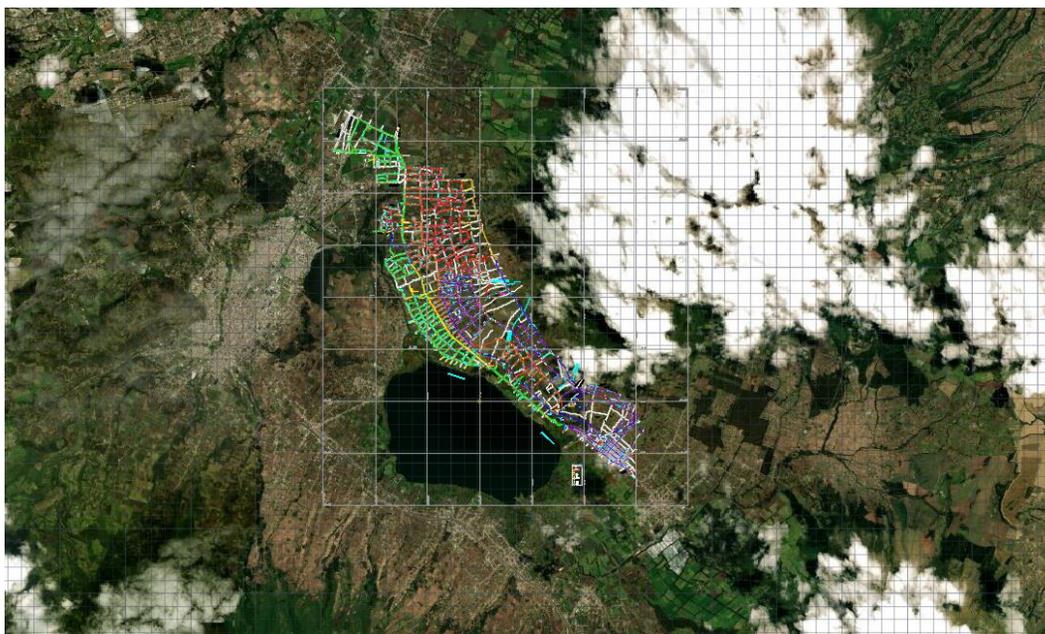


El proceso continúa con la georreferenciación de los datos, que se realiza mediante la configuración del dibujo que posee el programa CIVIL3D, utilizando el sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), el datum WGS84, en la zona 17 Norte, donde pertenece Otavalo. Figura 4.

Mediante la georreferenciación y proyección de los datos, se pueden reflejar los errores como son desfases geométricos de la información con respecto a la cartografía digital, el error geométrico es el uso de programas de diseño arquitectónico para creación de cartografía, los cuales no están contruidos para proyectar la curvatura de la tierra como sí lo hace actualmente los SIG. se recomienda hacer uso de tecnologías como GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y SIG (Sistemas de Información Geográfica) (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019b),

#### **Figura 4**

*Captura satelital del software Civil3D*



## **Topografía**

Uno de los aspectos importantes realizados en el área de estudio y que forman parte del diagnóstico, tanto para el modelado hidráulico como para otros trabajos, como, por ejemplo, la localización óptima de estructuras es la creación de modelos digitales de elevación (MDE), a partir de la información generada con el levantamiento topográfico. Se logran generar una serie de archivos con valores puntuales de coordenadas Norte, Este y cotas, que contiene datos para crear modelos digitales de terreno. Estos archivos contienen toda la información para que CIVIL3D defina la superficie del terreno (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019a).

CIVIL3D generará una serie de archivos con valores puntuales de coordenadas Norte, Este y cotas, que contiene datos para crear la superficie del terreno. Estos archivos contienen toda la información para que CIVIL3D defina la topografía del terreno.

## **Parámetros de la Red**

**Topográficos.** Para el modelado de la red de distribución de agua potable previamente se realizó el levantamiento topográfico de la red de agua potable de la JAAP Sumak Yaku, porque es de suma importancia establecer las elevaciones de los nodos, tanques y diversos elementos hidráulicos.

**Consideraciones de Diseño.** Esta red de distribución de agua potable se trabajó con las CPE INEN - NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992), como las siguientes:

- Vida útil (años) de tuberías en una red de PVC de 20 a 25.
- Coeficiente de rugosidad 0,009 para PVC.

- Los caudales de diseño para redes de distribución serán: el máximo diario (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).
- Se establece un mínimo de 10 mca puntos y condiciones más desfavorables de la red (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).
- Las tuberías de la red formarán mallas, evitando, ramales abiertos (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 1992).
- Velocidades de las tuberías tienen que ser igual o mayor a 0,3 m/s.

**Tanques de agua potable.** son depósitos cerrados donde se almacena una provisión de agua suficiente para poder cubrir las variaciones horarias de consumo, la demanda para combatir incendios y la demanda de agua durante emergencias. La JAAP Sumak Yaku dispone de 11 tanques ubicados a lo largo de la red, para poder abastecer a las distintas comunidades. En la Tabla 1, se detalla el volumen, ubicación y el área de servicio de cada uno de los tanques de almacenamiento que posee la junta.

**Tabla 1**

*Resumen de los tanques existentes en la JAAP Sumak Yaku*

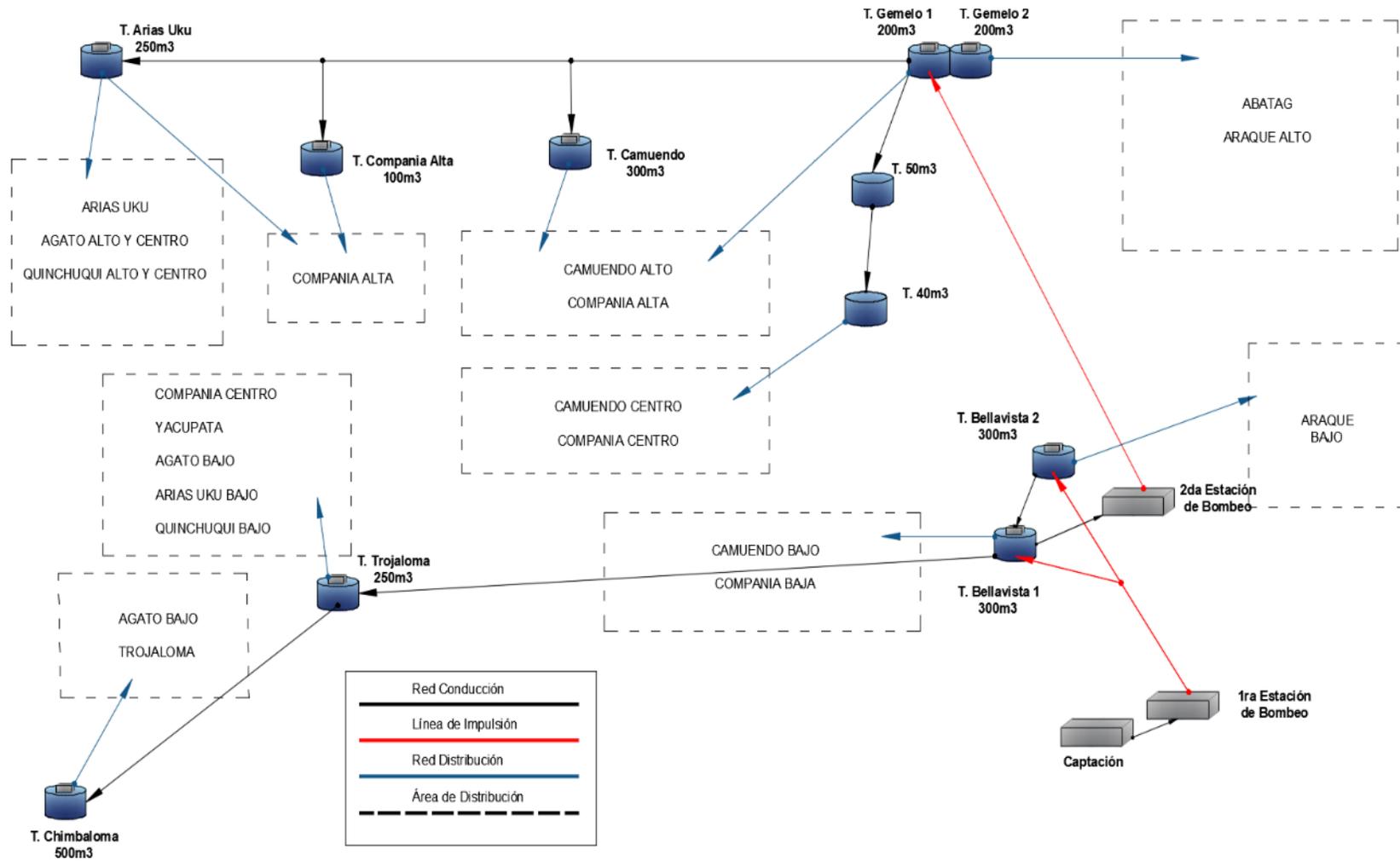
Tanques	Área de servicio	Volumen (m3)	Este		Norte	
Bellavista 1	Camuendo Bajo, Compañía Bajo, TR Trojaloma.	300	0811024		10023844	
Bellavista 2	Araque Bajo, TR Bellavista N°1	300	0811036		10023822	
Los Gemelos 1	Camuendo Alto, Compañía Alta	200	0811414		10024089	
Los Gemelos 2	Araque Alto, Abatag.	200	0811417		10028088	

50 m3	Conducción al Tanque de Reserva de 40 m3	50	0811280	10024006
40 m3	A Camuendo Centro, Compañía Centro	40	0811160	10023943
Camuendo Alto	Camuendo Alto, Compañía Alta	300	0810656	10024621
Compañía Alta	Compañía Alta	100	0809701	10025730
Arias Uku Alto	Arias Uku, Compañía Alta, Agato Alto y centro, Quinchuqui Alto y Centro.	250	0809607	10026461
Trojaloma	Compañía Centro, Arias Uku Bajo, Agato Bajo, Yacupata, Quinchuqui,	250	10026266	0808896
Chimbaloma	Sector Agato, Trojaloma	500	10027266	0807777
	<b>Total</b>	<b>2490</b>		

En la Figura 5 se representa las conexiones entre cada uno de los tanques de almacenamiento, a partir de la zona de bombeo hasta la conducción de agua potable al último tanque para su distribución.

**Figura 5**

*Esquema del sistema de agua potable de Sumak Yaku*



### **Análisis de la Información Entregada por la JAAP Sumak Yaku**

Con la información aportada por la JAAP, se procede a la modificación y corrección mediante las diferentes herramientas CAD y SIG. Este trabajo incluye la revisión de toda la información y características de las tuberías e infraestructura representada. En general, comprende las siguientes actividades:

- Creación y clasificación de información (tuberías, tanques, válvulas, reducciones, otros).
- Reubicación en su posición real: comprende la búsqueda de puntos de semejanza dentro de la vista satelital y de vías, y poder mover cada elemento a su posición considerada como verdadera.
- Depuración: incluye una revisión exhaustiva de las capas generadas, eliminando todas aquellas entidades que presentan duplicidad, que están divididas, que no están extendidas hasta puntos finales, entre otros detalles (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019a).
- Arreglo y construcción de la base de datos: se agregarán datos de diámetro, material, sistema, etc.
- Reubicación de los elementos que procedan, con respecto a puntos de control GPS tomados en el campo.

Otra de las actividades consiste en verificar en campo puntos de interés y el levantamiento mediante GPS, lo cual permite una mejor precisión en la localización de las principales infraestructuras.

## Análisis del Sistema Existente de la JAAP Sumak Yaku

### *Descripción del Sistema de Distribución de Agua Potable*

Actualmente la población beneficiaria, cuenta con servicio de agua potable, que ha servido durante más de 15 años. El sistema de agua regional Sumak Yaku, que se ubica al sur oriente de la ciudad de Otavalo, está constituido por las comunidades de: Agato, Araque, Arias Uku, Camuendo, Compañía Alta, Compañía Baja, Quinchuquí, Yaku Pata y Abatag (Terán Pineda, 2012a), Figura 6.

### Figura 6

*Gráfico de las comunidades pertenecientes a Sumak Yaku*



Las comunidades del Regional Sumak Yaku cuentan con un sistema de agua potable, el mismo que se encuentra deteriorado y en ciertas zonas descuidado por el equipo de operadores y administradores del sistema, pero en la actualidad brinda un servicio en condiciones aceptables. El agua es captada de las vertientes ubicadas en Araque con sus respectivas estaciones de bombeo y, conducciones.

El sistema de bombeo de agua potable Sumak Yaku está ubicado en la comunidad de Araque, cercana al Lago San Pablo, de ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura.

El sistema de bombeo de la red esta formada por dos grupos de bombas de agua, con sus respectivos motores. La primera zona está ubicado a aproximadamente 500 m del Lago San Pablo, donde se encuentran los dos primeros motores de bombeo, cada uno tiene una potencia de 300 Hp, encargados de bombear desde la vertiente principal hacia los tanques (Terán Pineda, 2012b).

La segunda zona, que está por encima de la zona uno, donde otros dos motores de bombeo, con una potencia de 75 Hp, se encargan de bombear desde el tanque de 300 m<sup>3</sup> hacia la zona tres. Además, existe otro tanque de 300 m<sup>3</sup>, el cual alimenta al tanque del cual se bombea para la zona 3 (Terán Pineda, 2012b).

La tercera zona está sobre la segunda zona, en la cual se encuentran dos tanques de reservas denominados, Gemelos, dos tanques con una capacidad de 200 m<sup>3</sup> cada uno (Terán Pineda, 2012b).

Las redes de distribución son de tuberías PVC-P E/C, tuberías de Hierro galvanizado y de Acero, en diferentes diámetros, cuenta con un sistema de cloración, con la inyección de cloro residual. El agua que se utiliza para el consumo recibe la cloración respectiva.

El servicio llega a las viviendas mediante conexión domiciliaria las 24 horas del día en la mayoría de los sectores de las comunidades que pertenecen al sistema regional de agua potable.

La mayoría cuentan con su respectivo medidor, que en un gran número es importante la pronta revisión, verificación y cambio de medidores. En varios casos, el cambio de conexiones domiciliarias, por el hecho de existir conexiones clandestinas.

En base a la información generada en visitas técnicas y reconocimiento al sector de estudio, se concluye que el principal problema del sistema de agua potable es el abastecimiento normal de 24 horas en todas las comunidades que pertenecen al sistema regional.

Independientemente de la problemática específica del orden infraestructural, logístico, económico y social, es indispensable plantear las alternativas de aplicación emergente para la superación a través de las etapas de ejecución de obras para ampliación y mejoramiento, así como posterior operación y mantenimiento del Sistema de Agua Potable actual.

**Población.** Para la determinación del número de usuarios que abastece la JAAP Sumak Yaku se obtuvo el reporte de lectura mensual del mes de diciembre de 2020, Tabla 2, mediante el sistema administrativo de la junta, en la cual constan todos los datos de los beneficiarios.

**Tabla 2**

*Distribución de acometidas por comunidad hasta diciembre de 2020*

<b>Comunidad</b>	<b># Acometidas</b>	<b>Consumo (m3)</b>
ABATAG	59	631
AGATO	530	8597
ARAQUE	515	3996
ARIAS UKU	170	1291
CAMUENDO	492	3385
COMPAÑIA	926	31953
COMPAÑIA ALTA	125	769
QUINCHUQUI	548	44190
YAKUPATA	110	805
<b>Total</b>	<b>3475</b>	<b>95617</b>

Usuarios = 3475

En base a la información se pudo realizar una gráfica con la tendencia de crecimiento de las acometidas de la JAAP Sumak Yaku a lo largo de todo el año 2020, Figura 7.

### Figura 7

*Tendencia de crecimiento del número de acometidas en el año 2020*



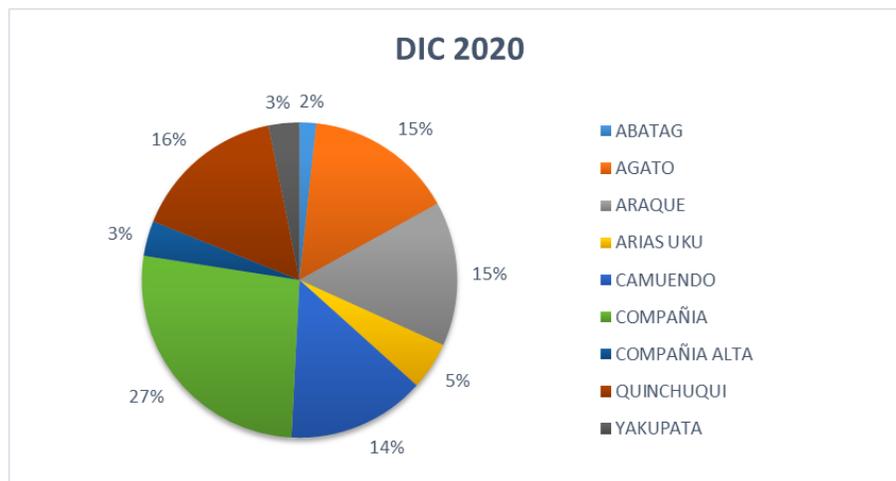
Para el diseño de la red se necesita la población que existe, se utilizó un promedio de 5 habitantes por usuario, para calcular la población.

$$P_o = 3475 * 5 = 17\ 375 \text{ habitantes}$$

Del mismo modo, se presenta en la Figura 8 la distribución de las demandas por comunidades, siendo la comunidad de Compañía la que más agua consume con un 27% y seguido por Quinchuqui con un 16%, Araque y Agato con un 15% cada uno, Camuendo con un 14% y las comunidades con menos demanda sería Arias Uku con 5%, Compañía Alta y Yaku Pata con un 3% y Abatag con un 2%.

**Figura 8**

*Gráfico de porcentajes de consumo del mes de diciembre 2020*



### **Diagnostico socio-económico y determinación de la situación actual del servicio de agua potable de la junta administradora de agua potable Sumak Yaku**

El estudio socio-económico es un proceso que permite conocer las características sociales y económicas de la población; sus hábitos y comportamientos frente a la salud y la forma como la comunidad resuelve actualmente sus necesidades de abastecimiento de agua. También a través de este estudio se indaga sobre la capacidad económica de la población y la voluntad de pago ante los servicios.

Para operatividad este proceso se aplicó como instrumento de recolección de datos una encuesta que incluye los contenidos especificados anteriormente.

### **Tamaño de Muestra**

El tamaño de la muestra se lo calculará en base a la fórmula indicada a continuación, que es correspondiente al cálculo de muestra de una población finita.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

$n$  = Tamaño de la muestra buscada

$N$  = Tamaño de la población o universo

$Z_{\alpha}$  = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)

$e$  = Error de estimación máximo aceptado

$p$  = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

$q = (1 - p) =$  Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Entonces:

$$N = 3475 \text{ viviendas}$$

$$Z_{\alpha} = 1.96$$

### Figura 9

Nivel de confianza  $Z_{\alpha}$  para el cálculo del tamaño de la muestra

Nivel de confianza	Z alfa
99.7%	3
99.0%	2.58
98.0%	2.33
96.0%	2.05
95.0%	1.96
90.0%	1.645
80.0%	1.28
50.0%	0.674

$$e = 5\%$$

$$p = 50\%$$

$$q = 50\%$$

Por lo tanto:

$$n = \frac{3475 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (3475 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 349 \text{ viviendas}$$

La aplicación de las encuestas socio-económicas para la JAAP SUMAK YAKU fueron de 349 viviendas encuestadas.

**Figura 10**  
*Encuesta Socio-Económica*



ENCUESTA SOCIO-ECONOMICA Y DETERMINACION DE LA  
SITUACION ACTUAL DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE DE LA  
JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE SUMAK YAKU



**A. INFORMACION DEL ENCUESTADO**

Nombre: \_\_\_\_\_  
N° de casa: \_\_\_\_\_ Dirección: \_\_\_\_\_

**B. INFORMACION BASICA DE LA LOCALIDAD**

Fecha de entrevista: \_\_\_\_\_  
Persona entrevistada (jefe del hogar): Padre ( ) Madre ( ) Otro: \_\_\_\_\_

**C. INFORMACION SOBRE LA VIVIENDA**

1. Tipo de vivienda:  
a. Casa Unifamiliar ( )  
b. Departamento ( )  
c. Mediagua ( )

2. Uso: a. Residencial ( ) b. Comercial ( ) c. Mixta ( )

3. Tenencia de vivienda: a. Propia ( ) b. Arrendada ( )

4. Sistema constructivo de la vivienda:  
a. Hormigón ( )  
b. Mampostería ( )  
c. Madera ( )  
d. Mixta ( )

5. Número de pisos de la vivienda: \_\_\_\_\_

6. La vivienda posee:  
a. Energía eléctrica SI ( ) NO ( )  
b. Red de agua potable SI ( ) NO ( )  
c. Red de Alcantarillado SI ( ) NO ( )  
d. Recolección de basura SI ( ) NO ( )  
e. Teléfono SI ( ) NO ( )  
f. Internet SI ( ) NO ( )

7. Pago de luz eléctrica: a. 50-55 ( ) b. 55-510 ( ) c. 510-515 ( ) d. más de 515 ( )

**D. INFORMACION SOBRE LA FAMILIA**

8. Número de personas que habitan en la vivienda: \_\_\_\_\_  
a. Niños (0 – 12 años): \_\_\_\_\_  
b. Jóvenes (12 – 30 años): \_\_\_\_\_  
c. Adultos (30 – 60 años): \_\_\_\_\_  
d. Tercera Edad (60 en adelante): \_\_\_\_\_

9. ¿Cuántas personas aportan al ingreso familiar?  
a. 1 a 2 ( ) b. 3 a 4 ( ) c. más de 5 ( )

10. ¿Número de personas que actualmente busca empleo?  
a. 1 a 2 ( ) b. 3 a 4 ( ) c. más de 5 ( )

11. El ingreso familiar promedio mensual es aproximadamente:  
a. Menos de 300 dólares ( )  
b. Menos de 400 dólares ( )  
c. Menos de 500 dólares ( )  
d. Menos de 600 dólares ( )  
e. Más de 600 dólares ( )

**E. INFORMACION SOBRE EL ABASTECIMIENTO DEL AGUA**

12. ¿Dispone de agua potable todos los días? SI ( ) NO ( )

13. Dispone del servicio de agua:  
a. Mañana ( )  
b. Tarde ( )  
c. Noche ( )  
d. Todo el día ( )

14. ¿Cuánto paga por el servicio de agua potable?  
a. Básico de \$3 ( )  
b. \$3 – \$5 ( )  
c. \$5 – \$10 ( )  
d. Más de \$10 ( )

15. ¿Cree usted que lo que paga por el agua es justo?  
a. Bajo ( )  
b. Justo ( )  
c. Elevado ( )

16. La cantidad de agua que recibe es: Suficiente ( ) Insuficiente ( )

17. ¿Almacena agua para el consumo de su familia?  
a. SI ( )  
b. NO ( ) pasar a la pregunta N°19.

18. El agua la almacena en:  
a. Baldes ( )  
b. Bidones ( )  
c. Tanques ( )  
d. Otros ( )

19. La calidad de agua es: Buena ( ) Mala ( ) Regular ( )

**Dotación.** Para el cálculo de la dotación de Sumak Yaku, se utilizó las tablas de reporte de consumos de todos los meses del año 2020, Tabla 3, para así poder calcular la dotación a partir del promedio de las dotaciones mensuales, valor muy similar al que recomienda la norma CPE INEN que nos permitirá adquirir la dotación en base a número de habitantes y el clima.

$$D = 186,25 \text{ l/hab/día}$$

**Tabla 3.**

*Consumo de agua potable durante el año 2020*

Mes	# Acometidas	Promedio (hab/casa)	Volumen demandado (m3/mes)	Dotación (m3/hab/mes)	Dotación (l/hab/día)
Enero	3365	5	94593	5,62	187,41
Febrero	3372	5	94995	5,63	187,81

<b>Marzo</b>	3375	5	95928	5,68	189,49
<b>Abril</b>	3375	5	93699	5,55	185,08
<b>Mayo</b>	3390	5	97020	5,72	190,80
<b>Junio</b>	3404	5	95354	5,60	186,75
<b>Julio</b>	3416	5	99074	5,80	193,35
<b>Agosto</b>	3429	5	98727	5,76	191,95
<b>Septiembre</b>	3439	5	94558	5,50	183,31
<b>Octubre</b>	3454	5	91924	5,32	177,43
<b>Noviembre</b>	3465	5	92615	5,35	178,19
<b>Diciembre</b>	3475	5	95617	5,50	183,44
			<b>Promedio</b>	<b>5,59</b>	<b>186,25</b>

**Cálculo de Caudales.** Las dotaciones de agua contra incendios, así como el número de incendios simultáneos debe seleccionarse según las indicaciones de la tabla de la norma CPE INEN que indica: Para poblaciones entre 10000 y 25000 habitantes, se considera una dotación por incendio de 10 l/s (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias , 1992).

Por tal motivo para la red de distribución de la JAAP Sumak Yaku, el caudal de diseño sería el caudal máximo horario + incendio.

$$Qd = 106,63 \text{ l/s}$$

**Tabla 4**

*Cálculo del caudal de diseño*

		<b>Unidades</b>	<b>Coeficientes</b>	
<b>Dotación</b>	186,25	l/hab/día		
<b>Qmed</b>	44,95	l/s	f (fugas)	20%
<b>QMD</b>	62,92	l/s	Kmáx,día	1,4

<b>QMH</b>	96,63	l/s	Kmáx.hor	2,15
<b>Q diseño</b>	106,63	l/s	Incendio	10

**Captación de la Fuente.** La Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku, cuenta con una zona de captación que cuenta con una vertiente superficial, Figura 11, ubicada a las orillas del lago San Pablo, con un caudal de 23 o 25 l/s, los cuales se conducen hacia los tanques de reserva ubicados en la comunidad de Araque por medio de dos estaciones diferentes de bombeo.

### Figura 11

*Piscina de recolección de agua potable en la zona de captación.*

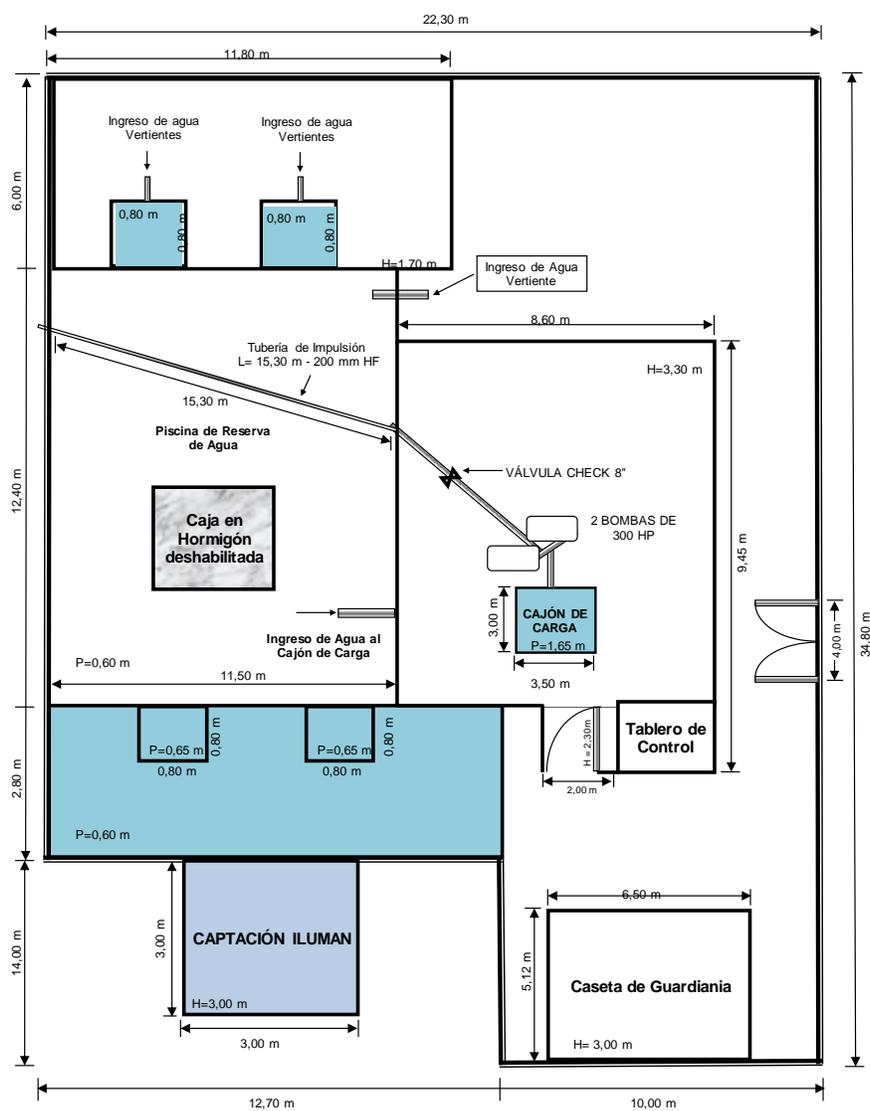


En la zona de captación de agua que se ubica en la comunidad de Araque, contribuye para tres juntas administradoras de agua; la Junta Administradora de Agua Potable JAAP Sumak

Yaku y a la Junta Administradora de Agua Potable de Ilumán. En la Figura 9 y Figura 10, se puede apreciar las piscinas correspondientes a la JAAP de Sumak Yaku y a la JAAP de Ilumán, además se presenta los ingresos de las vertientes a las piscinas.

**Figura 12**

*Esquema sitio de captaciones vertientes*

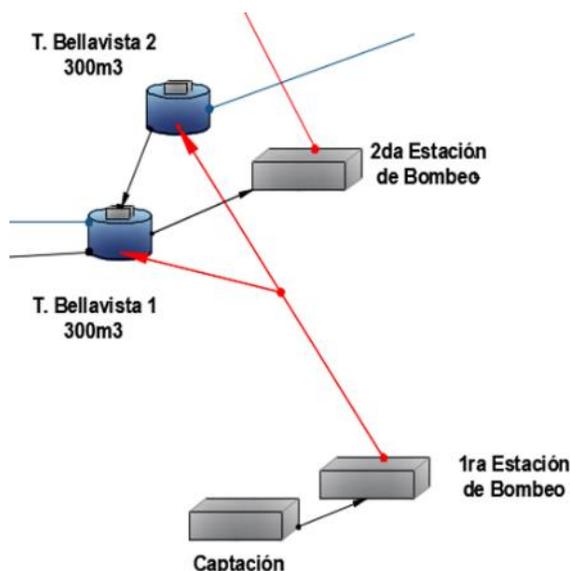




La primera estación de bombeo conduce el agua hacia dos tanques de reserva de 300 m<sup>3</sup> cada una, Figura 14, ubicado a 400 m desde el punto de captación y con una diferencia de altura de 90 m, esto para lograr distribuir a gravedad la parte baja y media del territorio a los cuales la JAAP Sumak Yaku beneficia de agua potable.

### Figura 14

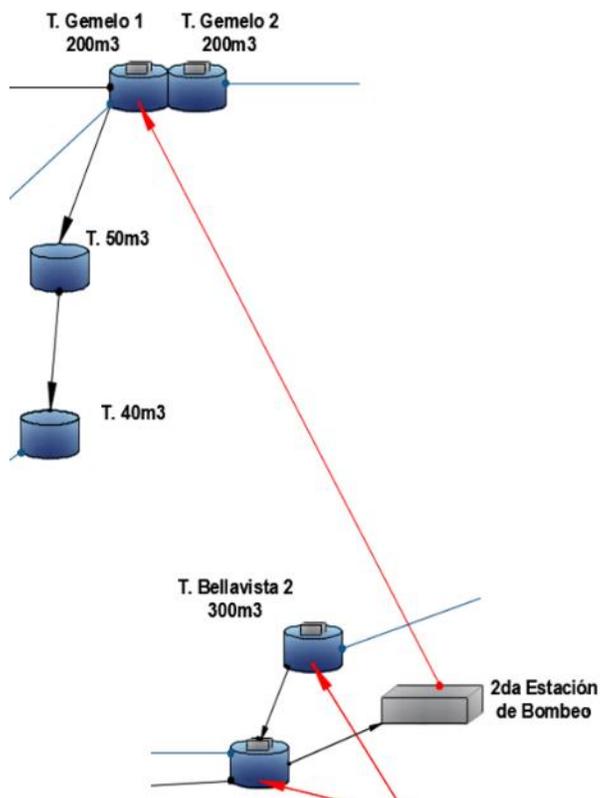
*Gráfico de la primera estación de bombeo*



La parte alta está cubierta parcialmente por dos tanques de reserva llamados “Gemelos”, ubicados a una distancia de 450 m y una diferencia de altura de 115 m, con referencia a los primeros tanques de reserva, cada uno con una capacidad de 200 m<sup>3</sup>. La segunda estación de bombeo conduce el agua desde los primeros tanques de reserva hasta esta zona.

## Figura 15

Gráfico de la segunda estación de bombeo



El sistema de bombeo está compuesto por:

Dos grupos de bombas de agua, cada uno con sus respectivos motores ubicados en diferentes zonas. La primera zona (Vertiente principal) punto donde se capta el agua y es impulsada con un grupo motor-bomba de 300 Hp.

La segunda zona de bombeo (Bellavista) existen dos motores de bombeo de 75 Hp, en esta zona una parte del agua almacenada se distribuye a las comunidades cercanas, y el resto es conducida a la tercera zona.

La tercera zona se encuentran dos tanques de reservas llamados “Gemelos”, desde estos tanques se distribuye para el resto de las comunidades.

**Demanda en los Nodos.** En demanda por nodos a la que se contribuye la red de distribución, se utiliza el método de áreas, que consiste en determinar el área de influencia de cada nodo y definir una demanda unitaria. La distribución de las demandas se representa mediante polígonos generados con las herramientas de EPANET y con la ayuda de ArcGIS.

### ***Diámetros de Tuberías***

En la Tabla 5 y Tabla 7, se presenta los diámetros de tubería con sus respectivas longitudes totales y material que están instalados en toda la red de agua potable de Sumak Yaku.

**Tabla 5**

*Tuberías de conexión entre tanques*

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Material</b>
90	173	PVC
160	3901	PVC
160	246	Hierro
200	6040	PVC
200	142	Hierro

**Tabla 6**

*Conexión entre tanques*

<b>Conexión Tanque</b>	<b>Tanque</b>	<b>Tubería Diámetro (mm)</b>
Fuente	Bellavisa 1 y 2	200
Bellavisa 1 y 2	Gemelo 1 y 2	160
Bellavisa 1 y 2	Trojaloma	200
Bellavisa 1 y 2	Chimbaloma	160
Gemelo 1 y 2	50 m <sup>3</sup>	160

Gemelo 1 y 2	Camuendo	160
Gemelo 1 y 2	Compañía Ala	90
Gemelo 1 y 2	Arias Uku	160
50 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>	160

**Tabla 7**

*Tuberías de la red de distribución*

<b>Tubería de la red de distribución</b>		
<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Material</b>
25	1497	PVC
32	50306	PVC
50	40037	PVC
63	1874	PVC
90	10185	PVC
110	4289	PVC
160	8088	PVC

### ***Modelamiento de la Red Actual***

El modelado hidráulico de redes de distribución de agua potable simula el comportamiento de los sistemas en un período de tiempo. Para el sistema se empleó el software EPANET, que es un software para el análisis, modelado y gestión de redes a presión, (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019a).

La simulación hidráulica de un modelo se representados elementos como son:

- Líneas (tramos de tuberías)
- Punto (nodos de consumo, tanques...)
- Bombas, válvulas de control, regulación, etc.

El software calcula caudales, presiones, gradientes hidráulicos, calidad de agua, e incluso mucho más, mediante el modelo hidráulico según las propiedades del sistema, demandas de agua y reglas de operación del sistema (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019a).

Un modelo hidráulico puede realizar múltiples funciones como dimensionar elementos como bombas, tuberías o tanques, calibrar y detectar fugas en el sistema, realizar simulaciones en períodos de horas o días de la red.

Hay dos aspectos fundamentales para confirmar la fiabilidad de los resultados de un modelo hidráulico:

- La incertidumbre de la información usada para modelar un sistema hidráulico.
- El conocimiento del software.

Es decir, aunque el usuario tenga un alto conocimiento del software, si la información base del sistema es de baja calidad, los resultados obtenidos por el modelo serán poco fiables y precisos.

Para que un modelo hidráulico reporte resultados con mayor exactitud a la realidad, se debe utilizar la información más precisa posible.

El desarrollo de un modelo hidráulico se divide en fases:

- Fase 1. Construcción topología
- Fase 2. Información de infraestructura
- Fase 3. Asignación de elevaciones
- Fase 4. Asignación de demandas

- Fase 5. Calibración

Un paso importante es la configuración de las unidades, se estableció el sistema métrico internacional (SI) en el software, definiendo también: Caudal (l/s), presión (mH<sub>2</sub>O), velocidad (m/s) y diámetro (mm).

La primera de las fases para la construcción del modelo es la topológica de la red, donde se conforman la red de distribución, a partir de dibujar las tuberías que conforman el sistema.

La segunda fase, es el momento donde se ingresa toda la información de la infraestructura, como son los tanques, pozos, válvulas, etc., incluyendo las características y especificaciones de los elementos, por ejemplo, curvas características de las bombas, niveles de operación de tanques, estado de las válvulas, e incluso en el caso de las tuberías el diámetro, material y coeficiente de rugosidad (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019a).

Mediante la interacción de EpaCAD y EPANET, se automatiza la fase 1 del proceso de modelado del sistema.

EpaCAD construye el modelo de tuberías de forma automática, importando datos desde otros archivos como un CAD.

Como información base, se usó la planimetría en CAD generado de la red de agua potable de Sumak Yaku, dibujará automáticamente el dibujo de toda la red (fase 1).

Pero además es importante asignar la información de la infraestructura y tubería (fase 2). Aunque, este proceso tiene un gran riesgo, ya que, si la información base no es de calidad y detallada, puede incorporar una serie de errores en el modelo, que haría perder la confiabilidad del diseño.

La información base debe estar actualizada y detallada, para poder desarrollar el modelo de manera más eficiente, ya que la idea es facilitar el modelado y generar resultados confiables del mismo.

En la Figura 16, se indica el resultado de usar EpaCAD a partir de la información CAD en EPANET.

### **Figura 16**

*Modelo de la red en EPANET*



La tercera fase del modelo, asigna elevaciones a todos los nodos o elementos tipo nodo del sistema, es decir, mediante los datos de topografía de la zona se definen valores de cota para los nodos e infraestructura de la red. Para el caso de Sumak Yaku, el valor de elevación es

de suma relevancia para observar y analizar el comportamiento de la red, dado que los valores de presiones son un parámetro de control y calibración del sistema (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019a).

Una vez que se cuenta con las curvas de nivel que se obtuvieron mediante el levantamiento topográfico en el software Civil3D se asigna a los vértices de la red de tuberías en CAD valores de cota por medio de la superficie, EpaCAD convertir de forma sencilla la planimetría de la red, en un archivo compatible por EPANET, siendo capaz de reconocer de forma automática las principales propiedades de los elementos como las coordenadas y cotas de los vértices de la red.

La cuarta fase, trata de la asignación de la demanda de agua. En un sistema de abastecimiento de agua potable la demanda de agua no es constante, dado que varía a lo largo del día e incluso la variación se da espacialmente, ya que las actividades y los hábitos de consumo de los usuarios son variables de acuerdo a las costumbres, y hay zonas del sistema que consumen más que otras, como pueden ser las diferencias entre áreas comerciales, industriales y residenciales.

Existe cierta complejidad en lo que respecta a la asignación de la demanda promedio a cada nodo del sistema, sin embargo, mediante la interacción entre las tablas de Excel con las demandas calculadas a partir de cada nodo, se pueden importar mediante el formato correspondiente a EPANET como un Escenario, de este modo se simplifica considerablemente el proceso de asignar la demanda en los nodos, a partir de bases de datos. (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019b).

Podemos encontrar 3 métodos para distribuir la demanda en los nodos de la red:

- Demanda por lote o toma.

- Demanda por unidad de área.
- Demanda por unidad de longitud.

En el sector abastecido por la red de Sumak Yaku, la demanda por unidad de área fue el método elegido, se utiliza cuando los datos de consumo se tienen por áreas tributarias definidas. La red dividida por áreas se considera más adecuado para la asignación de la demanda en este caso en específico.

### Figura 17

*Área de influencia de la red*



A continuación, se definen las áreas tributarias para cada nodo. A partir de la planimetría hidráulica se dividió toda el área de servicio, para así realizar el cálculo del caudal que demanda cada nodo.

Se generaron áreas en función de la ubicación de todos los nodos del modelo, creando polígonos alrededor de cada nodo de manera que se obtiene el área tributaria. Como se presenta en la Figura 18.

### **Figura 18**

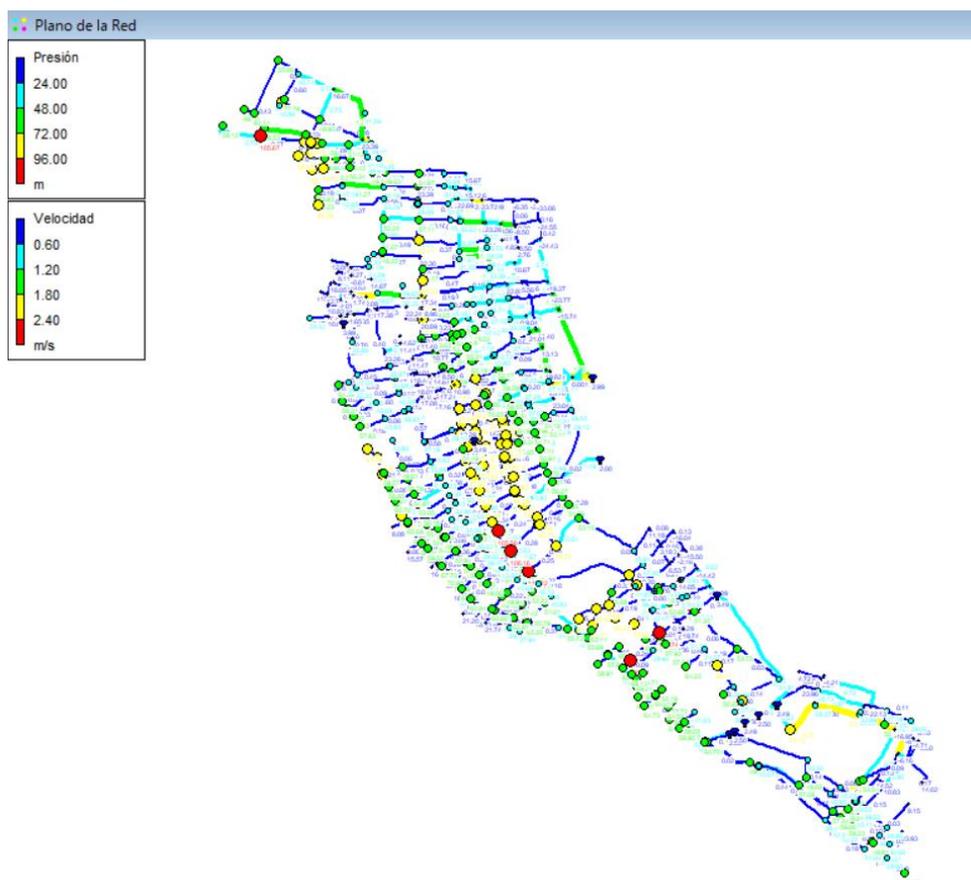
*División en áreas tributarias*



La última fase, se basa en obtener un modelo hidráulico acorde al comportamiento real, a partir de la calibración. Donde según puntos de control en el sistema se hacen ciertas variaciones al modelo para obtener resultados deseados en dichos puntos, logrando así un buen grado de confiabilidad.

### Figura 19

*Resultados del modelo de la red Sumak Yaku*



Con resultados iniciales, después del modelado, con un comportamiento muy similar a la realidad, la calibración con lleva un trabajo menor, alcanzando un grado de precisión aceptable. En la Tabla B1 y Tabla C1, de los Anexos B y C, se presentan los datos utilizados y resultados obtenidos a través del análisis en el software EPANET.

## Capítulo III

### Resultados y Discusión

#### Análisis de Red Actual

#### Resultados de la tabulación de la encuesta socioeconómica de la JAAP Sumak Yaku

Una vez realizada la tabulación y el procesamiento de datos se obtuvieron los siguientes resultados:

#### Información sobre la vivienda

**Tabla 8**

*Tipo de vivienda*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Casa Unifamiliar	294	84%
b.	Departamento	12	3%
c.	Mediagua	43	12%
	TOTAL	349	100%

De acuerdo a la encuesta realizada en la JAAP Sumak Yaku, un 84% de la población tiene como residencia una casa unifamiliar, mientras que un 12% son mediaguas y tan solo un 3% vive en un departamento.

**Figura 20**

*Gráfico de representación porcentual del tipo de vivienda*



### Uso de la vivienda:

**Tabla 9**

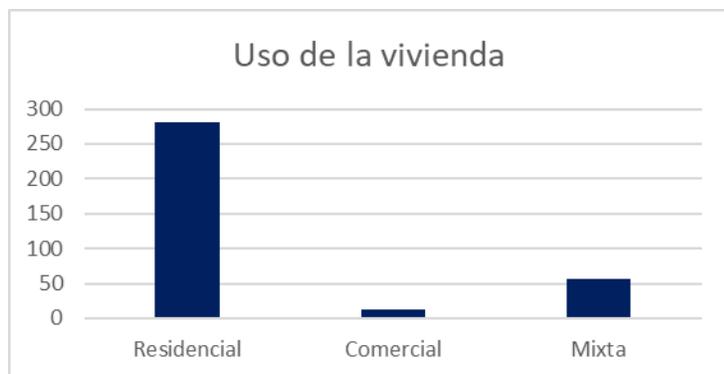
*Uso de la vivienda*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Residencial	281	81%
b.	Comercial	12	3%
c.	Mixta	56	16%
	TOTAL	349	100%

En la JAAP Sumak Yaku 281 familias, que representa el 81% de los encuestados utilizan su vivienda como residencial, un 3% para uso comercial y un 16% de uso mixto.

**Figura 21**

*Gráfico de representación porcentual del uso de la vivienda*



### Tenencia de la vivienda:

**Tabla 10**

#### *Tenencia de la vivienda*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Propia	335	96%
b.	Arrendada	14	4%
TOTAL		349	100%

El 96% de los encuestados afirman que la vivienda es propia y tan solo un 4% mencionan que son arrendadas.

### Figura 22

*Gráfico de representación porcentual de la tenencia de la vivienda*



### Sistema constructivo de la vivienda:

**Tabla 11**

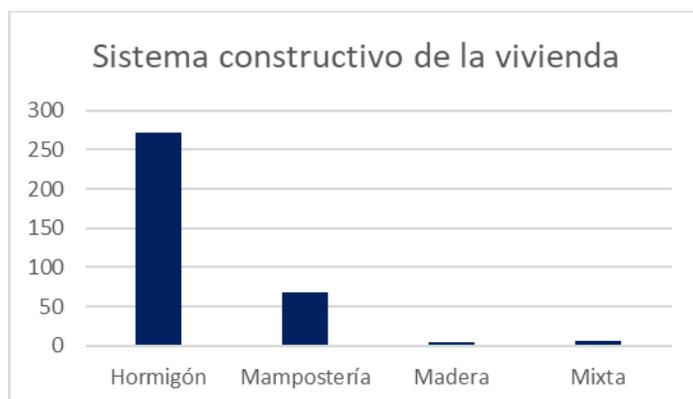
*Sistema constructivo de la vivienda*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Hormigón	271	78%
b.	Mampostería	68	19%
c.	Madera	4	1%
d.	Mixta	6	2%
TOTAL		349	100%

El 78% de los encuestados poseen una vivienda construida en hormigón, un 18% con mampostería y tan solo el 1% y 2% en madera y construcciones mixtas según corresponda.

**Figura 23**

*Gráfico de representación porcentual del sistema constructivo de la vivienda*



### La vivienda posee:

**Tabla 12**

*Servicios básicos de la vivienda*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Energía Eléctrica	338	97%
b.	Red Agua Potable	349	100%
c.	Red Alcantarillado	326	93%
d.	Recolección de basura	331	95%
e.	Teléfono	298	85%
f.	Internet	221	63%

De los 349 encuestados el 97% tienen el servicio de luz eléctrica propia, el resto es compartida por viviendas vecinas, el 100% posee agua potable, el 93% tienen conexión a una

red de alcantarillado, el 95% tienen el servicio de recolección de basura, un 85% posee un teléfono móvil y un 63% tienen el servicio de internet.

### Figura 24

*Gráfico de representación porcentual de los servicios básicos de la vivienda*



### Pago de luz eléctrica

#### Tabla 13

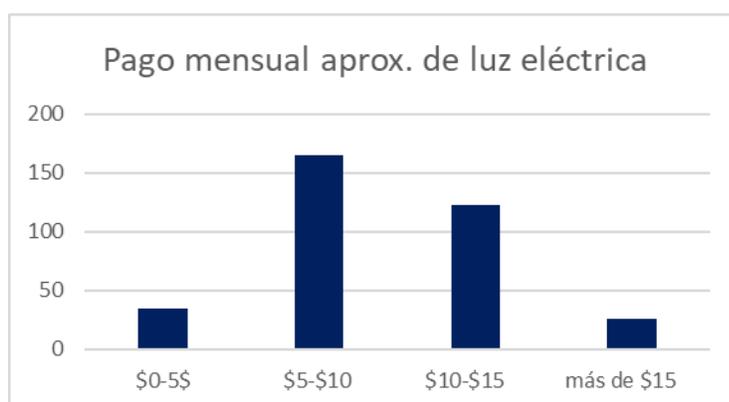
*Pago mensual de luz eléctrica de la vivienda*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	\$0-5\$	35	10%
b.	\$5-\$10	165	47%
c.	\$10-\$15	123	35%
d.	más de \$15	26	7%
TOTAL		349	100%

En la JAAP Sumak Yaku, tan solo el 10% paga mensualmente entre 0 y 5 dólares por el servicio de luz eléctrica, un 47% de los encuestados paga entre 5 y 10 dólares, un 35% paga mensualmente entre 10 y 15 dólares, y un 7% cancela más de 15 dólares mensuales por el servicio.

**Figura 25**

*Gráfico de representación porcentual del pago mensual de luz eléctrica de la vivienda*



### El ingreso familiar promedio mensual

**Tabla 14**

*Ingreso promedio mensual de la familia*

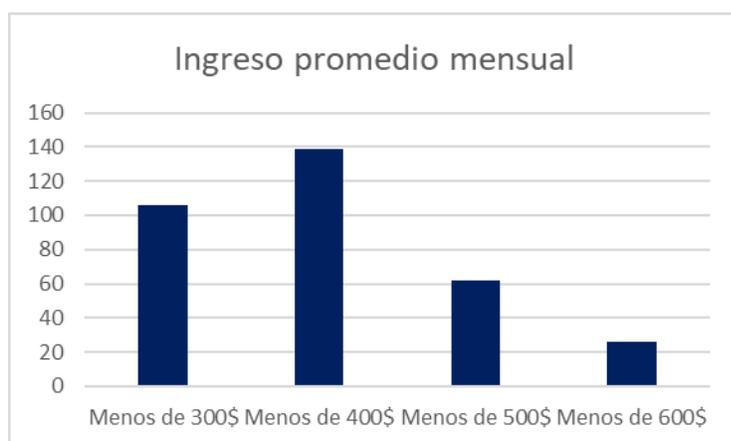
No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Menos de 300\$	106	30%
b.	Menos de 400\$	139	40%
c.	Menos de 500\$	62	18%
d.	Menos de 600\$	26	7%
e.	Más de 600\$	16	5%

TOTAL	349	100%
-------	-----	------

En la JAAP Sumak Yaku, existe un 30% de los encuestados que obtienen ingresos mensuales inferiores a 300 dólares, un 40% con ingresos entre 300 y 400 dólares, un 18% con menos de 500 dólares en ingresos, un 7% con ingresos menores a 600 dólares y tan solo un 5% generan ingresos de más de 600 dólares.

**Figura 26**

*Gráfico de representación porcentual de los ingresos promedios mensuales de la familia*



**¿Dispone de agua potable todos los días?**

**Tabla 15**

*Disposición de agua potable durante las 24 horas del día*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	SI	330	95%
b.	NO	19	5%

TOTAL	349	100%
-------	-----	------

El servicio de agua potable cubre al 95% de los encuestados durante el lapso de 24 horas, mientras que un 5% de la población solamente tiene agua ciertas horas del día.

### Figura 27

*Gráfico de representación porcentual de la disposición de agua potable las 24h*



### Horarios en el que dispone de agua potable

#### Tabla 16

*Horarios en el que dispone de agua potable*

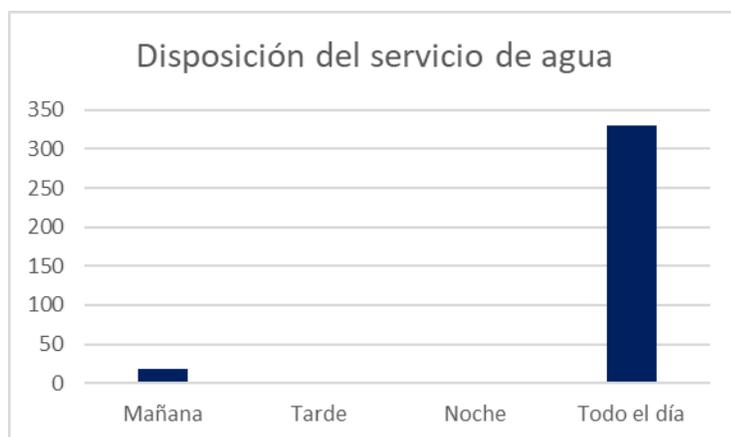
No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Mañana	19	5%
b.	Tarde	0	0%
c.	Noche	0	0%
d.	Todo el día	330	95%

TOTAL	349	100%
-------	-----	------

El servicio de agua potable cubre al 95% de los encuestados durante el lapso de 24 horas, mientras que un 5% de la población solamente tiene agua por las mañanas; sin embargo, en las horas de la tarde y noche carecen de la misma.

### Figura 28

*Gráfico de representación porcentual de horarios en el que dispone de agua potable*



### Pago por el servicio de agua potable

#### Tabla 17

*Pago mensual por el servicio de agua potable*

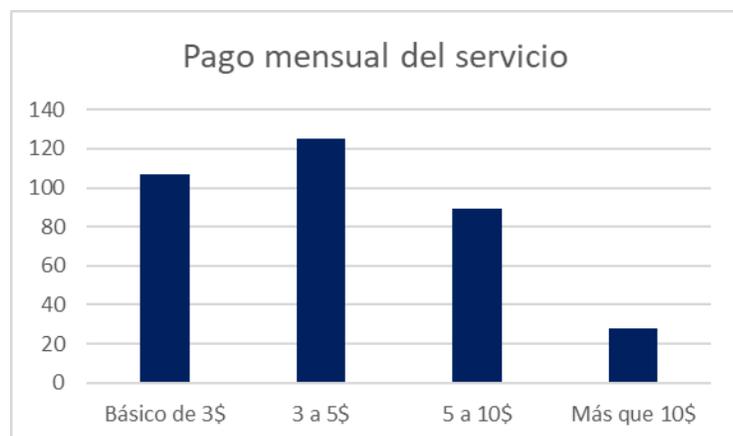
No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Básico de 3\$	107	31%
b.	3 a 5\$	125	36%
c.	5 a 10\$	89	26%

d.	Más que 10\$	28	8%
TOTAL		349	100%

En la JAAP Sumak Yaku, 107 familias que representa al 31% de los encuestados cancelan el valor del costo mínimo por el servicio de agua potable que son de 3 dólares, un 36% realizan pagos entre 3 a 5 dólares, un 26% entre 5 y 10\$, y por último un 8% que cancela valores superiores a 10 dólares.

### Figura 29

*Gráfico de representación porcentual de los pagos mensuales por el servicio de agua potable*



**¿Cree usted que lo que paga por el agua es justo?**

### Tabla 18

*Costo del servicio de agua potable*

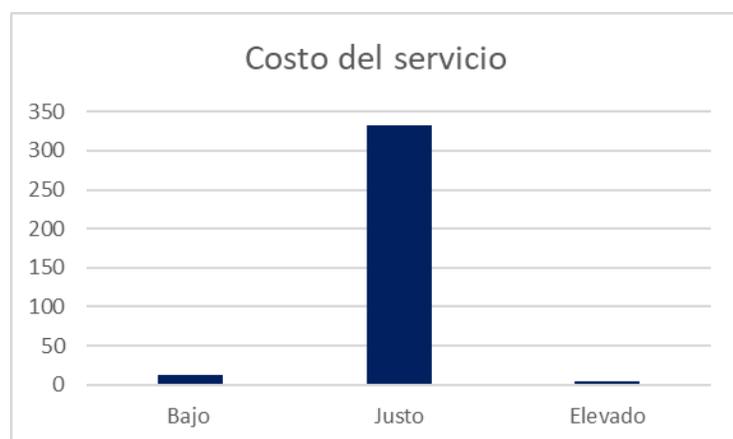
No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Bajo	12	3%

b.	Justo	333	95%
c.	Elevado	4	1%
TOTAL		349	100%

La mayoría de los encuestados mencionaron que el cobro por el servicio de agua potable es justo y que es conforme al uso que se lo da, un 3% dicen que se debe cobrar más y tan solo el 1% mencionan que el costo del servicio es elevado.

### Figura 30

*Gráfico de representación porcentual del costo del servicio de agua potable*



### ¿Es suficiente el agua que recibe?

#### Tabla 19

*Suficiencia del agua potable*

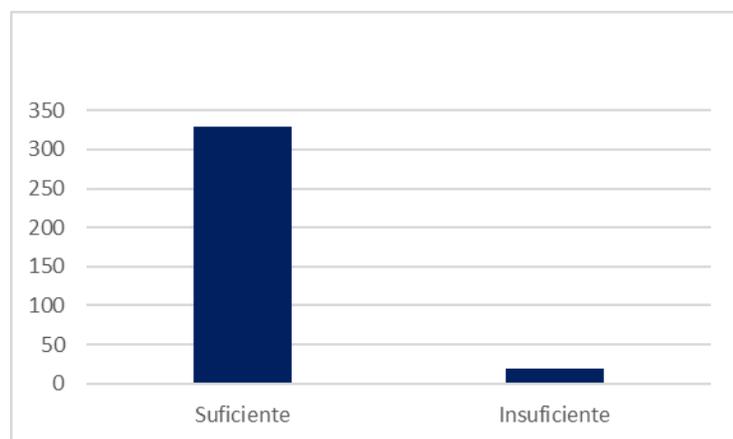
No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Suficiente	330	95%

b.	Insuficiente	19	5%
TOTAL		349	100%

Un 95% de la población encuestada menciona que el agua recibida es más que suficiente; sin embargo, el 5% es insuficiente el agua recibida.

### Figura 31

Gráfico de representación porcentual la suficiencia del agua potable



### ¿Almacena agua para el consumo de su familia?

#### Tabla 20

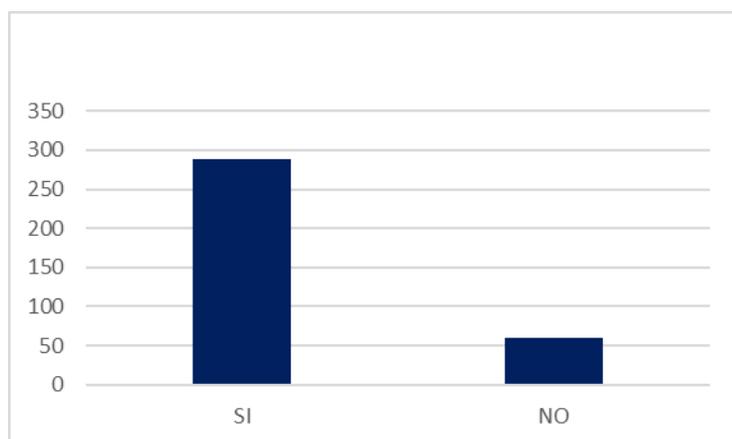
Almacenamiento del agua potable recibida

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	SI	289	83%
b.	NO	60	17%
TOTAL		349	100%

En la población encuestada el 83% afirma almacenar agua por diferentes métodos y un 17% dicen no realizar ningún tipo de almacenaje del agua potable recibida.

### Figura 32

*Gráfico de representación porcentual del Almacenamiento del agua potable recibida*



### Almacenamiento del agua potable recibida

#### Tabla 21

*Lugar de almacenamiento del agua potable recibida*

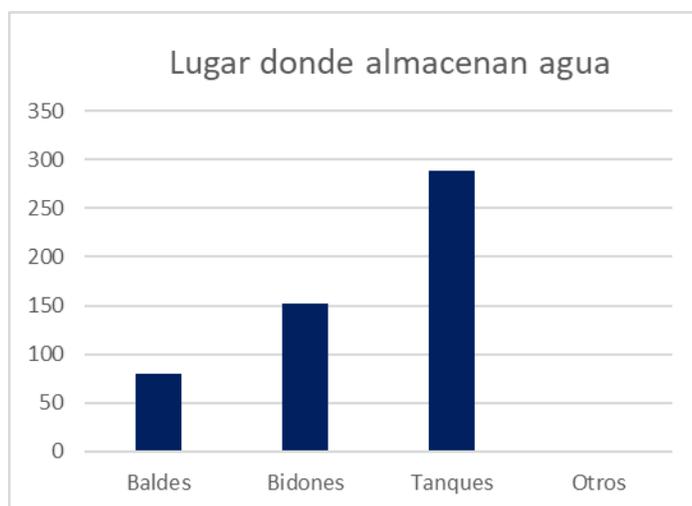
No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Baldes	80	23%
b.	Bidones	152	44%
c.	Tanques	289	83%
d.	Otros	0	0%

De las 289 familias que afirmaron almacenar agua por algún método, la mayoría utilizan varias maneras de realizarlo. Un 23% dicen almacenar en baldes, un 44% por bidones y un 83%

en tanques, muchas familias mencionaron que suelen almacenar agua potable por las tres maneras.

### Figura 33

*Gráfico de representación porcentual del lugar de almacenaje de agua potable*



### Calidad del agua

**Tabla 22**

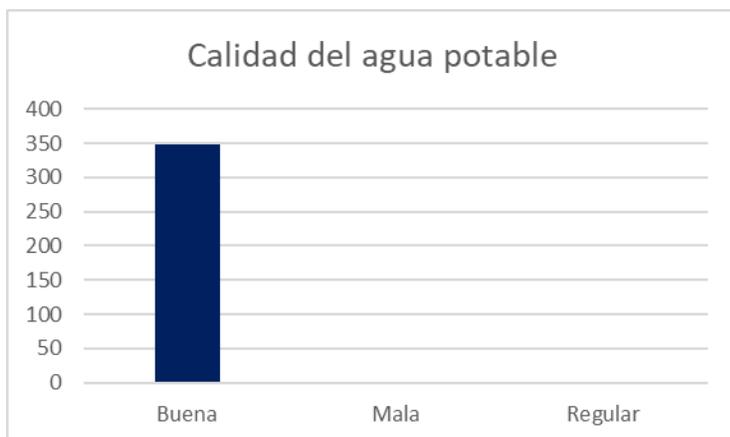
*Calidad del agua potable recibida*

No.	Descripción	Frecuencia	Porcentaje
a.	Buena	349	100%
b.	Mala	0	0%
c.	Regular	0	0%
TOTAL		349	100%

Todos los encuestados afirmaron que la calidad del agua que reciben en sus hogares tiene una excelente calidad.

### Figura 34

*Gráfico de representación porcentual de la calidad del agua potable*



### Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a las 349 viviendas que pertenecen a la jurisdicción de la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku, el 5% de la población carece de agua durante horarios de la tarde y noche.

Por lo tanto, nos confirma la problemática de este proyecto y en cual se tiene como objetivo el poder brindar de agua potable, proveniente del proyecto Pesillo-Imbabura, a todas estas zonas en las que no es posible brindar del líquido vital con el sistema actual de distribución de agua potable de la JAAP Sumak Yaku.

**Tabla 23***Características de los tanques*

ID Nudo	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Diámetro (m)	Nivel inicial (m)	Nivel máximo (m)	Nivel medio (m)	Coordenada-X	Coordenada-Y
Depósito 1	2732,06	300	11,5	2,5	3	1	810760,17	23464,37
Depósito 2	2735,17	300	11,5	2,5	3	1	810798,05	23491,72
Depósito 3	2778,07	40	4,2	2	3	1	810891,66	23557,04
Depósito 4	2827,50	50	4,6	2,5	3	1	810999,29	23626,14
Depósito 5	2844,67	200	9,45	2,5	3	1	811150,79	23709,07
Depósito 6	2844,70	200	9,45	2,5	3	1	811162,09	23713,16
Depósito 7	2841,73	300	9,64	3,5	4	1	810660,30	24619,03
Depósito 8	2811,89	100	7,48	2	2,5	1	809678,28	25754,03
Depósito 9	2831,25	200	9,6	3	3,5	1	809612,00	26435,04
Depósito 10	2707,23	200	9,15	3,5	4	1	808629,41	25909,23
Depósito 11	2704,54	500	11,83	4	4,5	1	807536,04	26885,29

En la tabla, podemos apreciar los diferentes tanques en funcionamiento de la red, con sus respectivas capacidades, elevaciones y coordenadas. Estos datos han sido ingresados directamente del software.

### **Evaluación de los Resultados**

En la Tabla B1 de los Anexo B, se puede observar que las presiones inferiores a 10 mca, con un valor mínimo negativo de -33 mca. Esto es porque existen algunas viviendas por encima del nivel de los tanques de almacenamiento, con evidentes problemas de presión de agua y un servicio de calidad. Se encuentran también valores medidos entre 40 a 50 mca, resultados recomendados en el funcionamiento adecuado de una red de agua potable. El valor máximo de

presión es de 122 mca, zona que debe ser evaluada para prevenir futuros problemas y daños en la red por la presión excesiva.

Además, Como se evidencia en la Tabla C1, Anexo C, la red actual presenta problemas por velocidades; ya que el valor mínimo en varias tuberías de diferentes diámetros tienen velocidades de 0,08 m/s, al existir velocidades tan bajas pueden existir problemas como sedimentaciones o depósitos de materias que lleve en suspensión el agua. Existen velocidades medias que van desde 0,5 a 0,9 m/s, valores recomendables para un correcto funcionamiento de la red. En la red no se presentan velocidades máximas elevadas, siendo la máxima de 2.74 m/s. Las velocidades máximas permisibles dependen en gran medida de la resistencia del material de la tubería.

Como se puede evidenciar, hay zonas de la red que tiene problemas en su servicio incluso con valores de presiones negativas, reflejando la realidad de los usuarios de la red, al no tener un servicio estable y continuo.

## **Interconexión de la JAAP Sumak Yaku con el Proyecto Pesillo-Imbabura**

### ***Descripción del Sistema de Distribución de Agua Potable***

El proyecto Pesillo-Imbabura tiene como finalidad brindar de agua potable por un sistema de conducción y distribución a gravedad, hacia los distintos puntos de la provincia de Imbabura y Pichincha. Cubriendo 162 comunidades rurales y 5 cantones, con un caudal en total de 700 litros por segundo distribuidos según la demanda de cada uno de los beneficiarios. La Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku recibirá un caudal de 36 l/s.

## Diseño de la Ampliación de las Redes de Conducción

Para el diseño de la red en su estado actual, ya se calculó el número estimado de habitantes siendo un total de:

$$P_0 = 3475 * 5 = 17375 \text{ habitantes}$$

Para determinar de la población futura se hicieron uso de tres métodos, así como lo recomienda la normativa.

Para la obtención de la tasa de crecimiento la norma INEN recomienda que en caso de no constar los datos censales se debe utilizar para la zona Sierra es del 1%, para el cálculo de la población futura.

Se establece, tal como sugiere la norma, un período de diseño de 25 años. En la Tabla 24, se procede a calcular la población futura en base a los métodos; Aritmético, Geométrico y Wappaus.

**Tabla 24**

*Cálculo de la población futura*

	<b>AÑO</b>	<b>Método Aritmético</b>	<b>Método Geométrico</b>	<b>Método Wappaus</b>
	2021	17375	17375	17375
<b>1</b>	2022	17549	17549	17550
<b>2</b>	2023	17723	17724	17726
<b>3</b>	2024	17896	17901	17904
<b>4</b>	2025	18070	18080	18084
<b>5</b>	2026	18244	18261	18266
<b>6</b>	2027	18418	18444	18450
<b>7</b>	2028	18591	18628	18635
<b>8</b>	2029	18765	18815	18823
<b>9</b>	2030	18939	19003	19012
<b>10</b>	2031	19113	19193	19204
<b>11</b>	2032	19286	19385	19397
<b>12</b>	2033	19460	19579	19593
<b>13</b>	2034	19634	19774	19791
<b>14</b>	2035	19808	19972	19991
<b>15</b>	2036	19981	20172	20193
<b>16</b>	2037	20155	20374	20397

<b>17</b>	2038	20329	20577	20603
<b>18</b>	2039	20503	20783	20812
<b>19</b>	2040	20676	20991	21023
<b>20</b>	2041	20850	21201	21236
<b>21</b>	2042	21024	21413	21452
<b>22</b>	2043	21198	21627	21670
<b>23</b>	2044	21371	21843	21891
<b>24</b>	2045	21545	22062	22114
<b>25</b>	<b>2046</b>	<b>21719</b>	<b>22282</b>	<b>22339</b>

### Cálculo de caudales

Las dotaciones de agua contra incendios, así como el número de incendios simultáneos debe adoptarse según la norma CPE INEN quinta parte indica que: Para poblaciones entre 10000 y 25000 habitantes, se considera una dotación por incendio de 10 l/s (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias , 1992).

Por tal motivo, como se presenta en la Tabla 25, para la adecuación de la conexión de Pesillo con la red de distribución de la JAAP Sumak Yaku, el caudal de diseño sería el caudal máximo horario + incendio.

$$Qd = 136,42 \text{ l/s}$$

**Tabla 25**

*Cálculo del caudal de diseño para la adecuación de la red de Pesillo*

		<b>Unidades</b>	<b>Coeficientes</b>	
<b>Dotación</b>	190,00	<b>l/hab/día</b>		
<b>Qmed</b>	58,80	l/s	f (fugas)	20%
<b>QMD</b>	82,32	l/s	Kmáx.día	1,4
<b>QMH</b>	126,42	l/s	Kmáx.hor	2,15

---

<b>Q diseño</b>	136,42	l/s	Incendio	10
-----------------	--------	-----	----------	----

---

### **Diseño de Tanques de Almacenamiento Requeridos**

El siguiente apartado tiene por objeto describir el procedimiento de cálculo y diseño de los elementos estructurales que componen los dos tanques de almacenamiento de agua potable con características similares e igual capacidad volumétrica.

A continuación, se presenta la información referente a la valoración de las cargas y solicitaciones que actuarán sobre la estructura; y al diseño de las estructuras de hormigón armado.

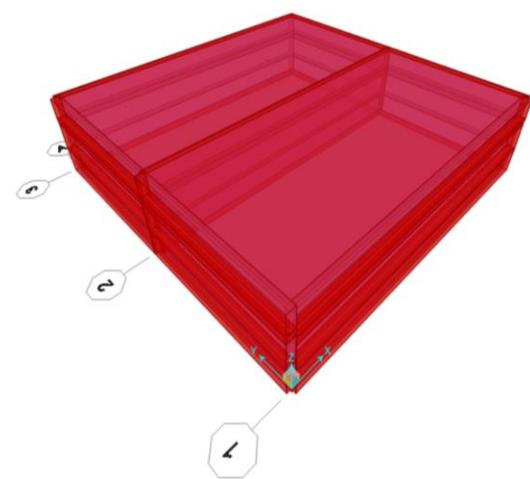
#### ***Descripción del Sistema Estructural***

El proyecto de cada uno de los tanques está implantado en un terreno relativamente plano sin desniveles apreciables, Figura 18, cercanos a la zona de conducción de la tubería del proyecto Pesillo.

#### **Figura**

**35**

*Vista isométrica frontal del tanque*



### ***Definición del Sistema Estructural Resistente***

El proyecto de los tanques se implanta en su totalidad sobre el área del terreno abarcando un área aproximada en planta de 150 m<sup>2</sup>, teniendo que desplazar o realizar un movimiento de tierras.

Para la cimentación se prevé la utilización de una losa de cimentación apoyada sobre un recubrimiento de piedra, las mismas que se encargaran de repartir las cargas uniformemente al suelo a nivel de cimentación.

La estructura portante, está planteada mediante la utilización de un sistema de muros y una losa maciza como tapa.

Se recomienda la construcción de un cerramiento para la protección de la infraestructura.

### ***Identificación de las Cargas***

Los elementos estructurales se someterán a fuerzas internas y externas provocadas por el peso propio de la estructura las cargas de servicio y las cargas accidentales como son las sísmicas, y empujes de suelos o agua detallados a continuación.

- **Cargas Gravitacionales.**
- ***Carga por peso propio (PP).***
- ***Carga Muerta (D).***
- ***Carga Viva (L).***
- **Cargas externas.**
- ***Cargas de empuje (E).***

### ***Diagnóstico y pronóstico***

Los elementos estructurales se someterán a fuerzas internas y externas provocadas por el peso propio de la estructura las cargas de servicio y las cargas accidentales como son las sísmicas, empujes de suelos, viento, agua, etc.

Para realizar un chequeo del comportamiento de la estructura ante las cargas mencionadas vamos a tener que realizar una revisión en los siguientes parámetros de diseño para que este dentro de los valores admitidos tanto en la norma ecuatoriana NEC-15 así como otras de referencia como son ACI, ASIC, etc.

### ***Modelo matemático***

Se realizó un modelo matemático en SAP2000 de la estructura incluye todos los elementos estructurales antes descritos.

### ***Combinaciones de carga***

En el modelo matemático se asignaron las combinaciones de carga recomendadas en las normativas NEC-15 y ACI 350.

### ***Definición de materiales***

La resistencia a la compresión del hormigón no será menor a 210 Kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo las normas NTE INEN 1 855-1 (ASTM C 94) y NTE INEN 1 855-2.

El refuerzo longitudinal y transversal de los elementos de hormigón tendrá una fluencia de 4200 Kg/cm<sup>2</sup>, que cumpla con las normas NTE INEN 102 (ASTM A615-68.)

### ***Elementos estructurales***

En el diseño de los elementos se unificó las secciones para que los dos bloques tengan secciones similares en su estructuración, la diferencia de elementos se presenta en las vigas principales.

Losa de cimentación  $e = 30$  cm.

Losa de tapa  $e = 15$  cm.

Muro central  $e = 20$  cm.

Muros perimetrales  $e = 30$  cm.

### **Hipótesis de cargas**

Las cargas utilizadas en el modelo están basadas en la normativa vigente NEC-SE-2015.

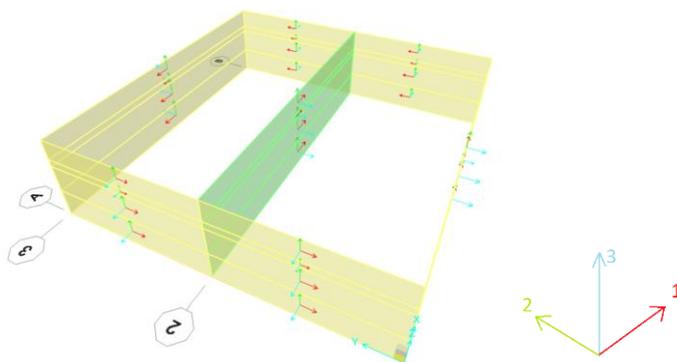
El peso propio de la estructura es un cálculo interno dentro del programa de análisis y diseño.

- **Carga Muerta (D).**
- **Carga Viva (L).**
- **Empuje del agua (EA).**

Se debe verificar la ubicación de los ejes de los muros, Figura 19, para la correcta asignación de los empujes.

### **Figura 36**

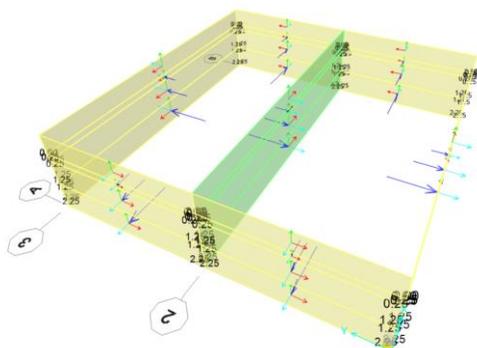
*Ejes de los muros perimetrales y muro central*



La altura máxima de agua para el tanque es de 2,25 m, como se puede apreciar las cargas de empuje están al sentido contrario de los ejes del muro. Se puede comprobar la correcta asignación del sentido de la carga.

**Figura 37**

*Empuje de agua hacia los muros*

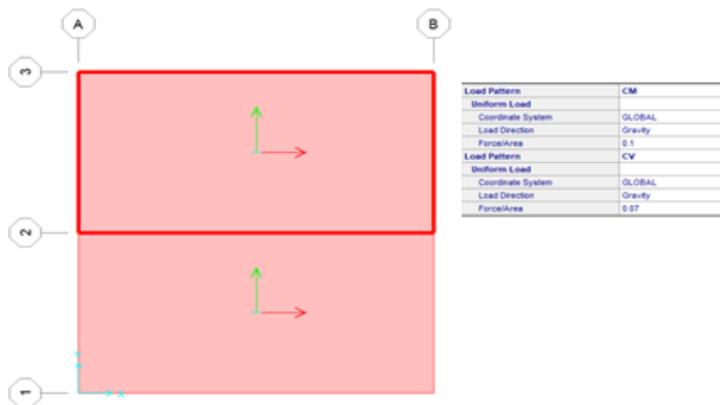


### **Asignación de cargas uniformes**

Se asigno una carga permanente y viva a la losa de tapa. Figura 38.

**Figura 38**

*Cargas sobre losa tapa*

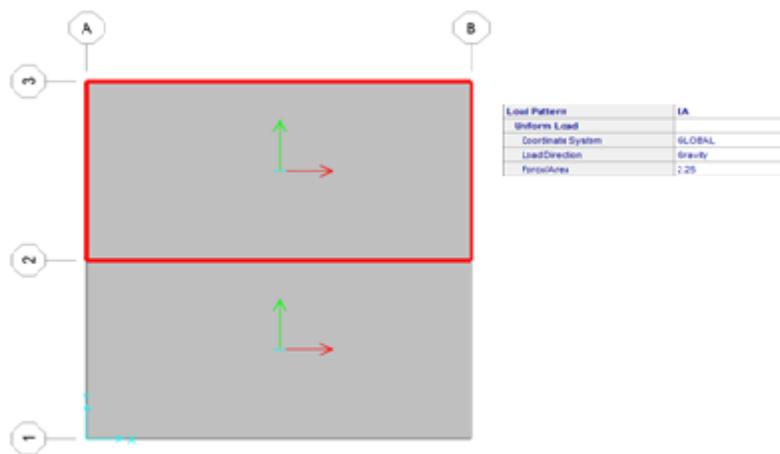


Además, a la losa de cimentación se le debe incorporar un valor de coeficiente de balasto, para lo cual se necesita un estudio de suelo. En esta ocasión se asumió un valor tentativo.

Además, se asignó la carga de agua para las losas de cimentación, Figura 39, a partir del peso específico del agua y la altura máxima que alcanzara el tanque.

**Figura 39**

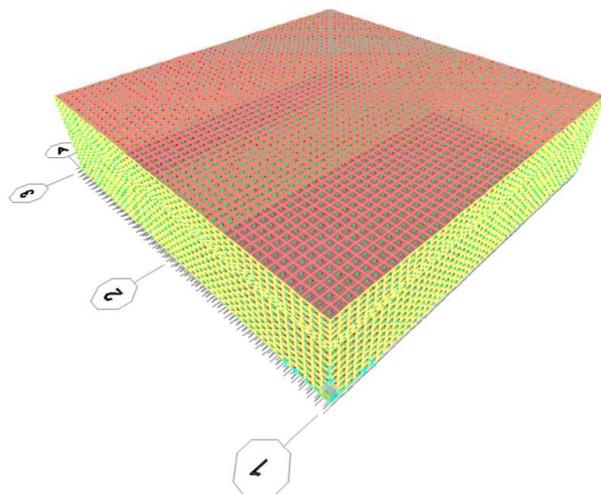
*Cargas sobre la losa de cimentación*



Para el modelo analítico, se realiza un mallado automático mediante la opción (Automatic Area Mesh). Figura 40.

**Figura 40**

*Mallado del modelo*

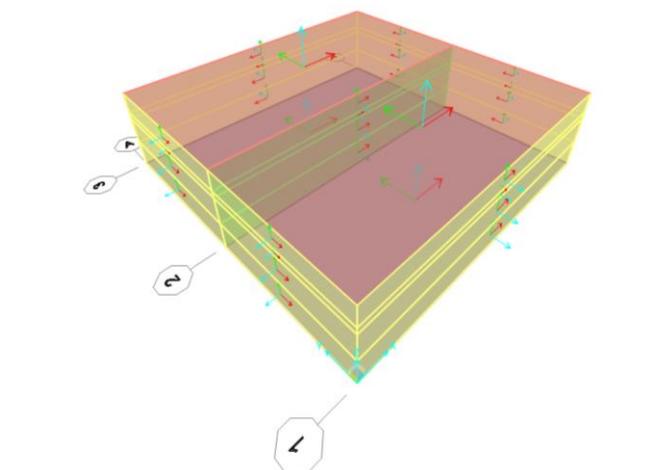


### **Resultados y Diseño de los Elementos Estructurales**

Se presenta los resultados obtenidos a través del análisis en el software SAP2000. Figura 41.

**Figura 41**

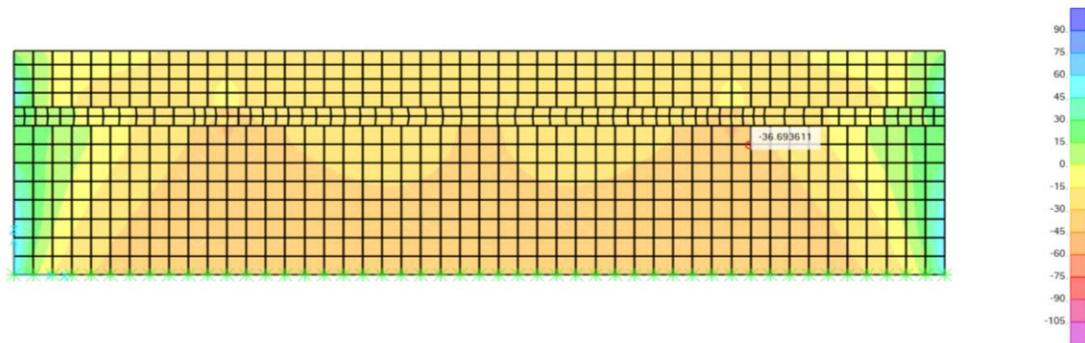
*Vista 3D – ejes axiales*



Esfuerzos en el muro (eje axial 2) – Compresión en casi todo el muro y Tracción en los apoyos. Figura 42 en el eje 1 y Figura 43 en el eje A.

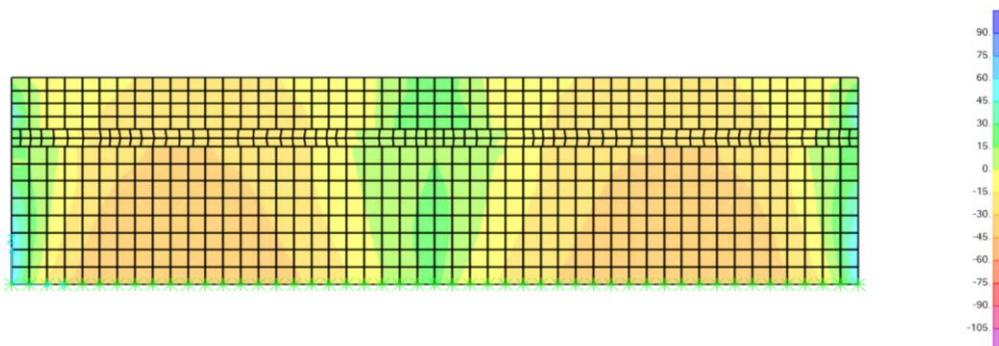
### Figura 42

*Esfuerzos en el muro del eje 1*

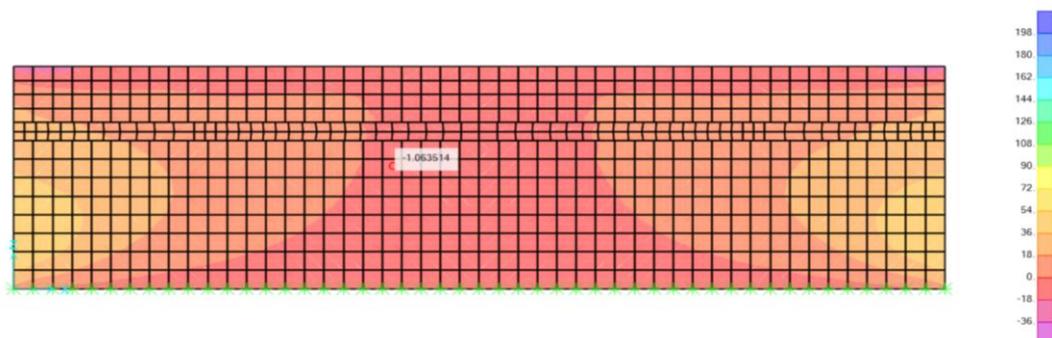
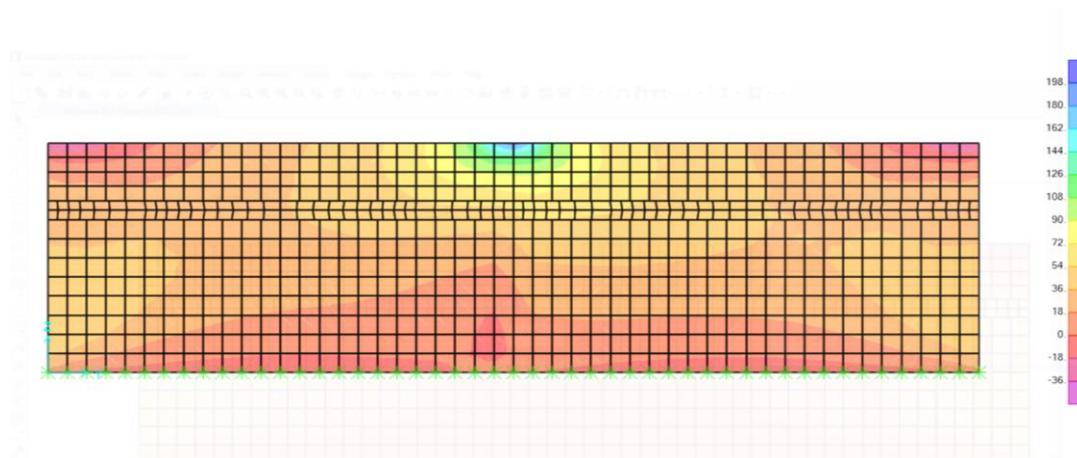


### Figura 43

*Esfuerzos en el muro del eje A*



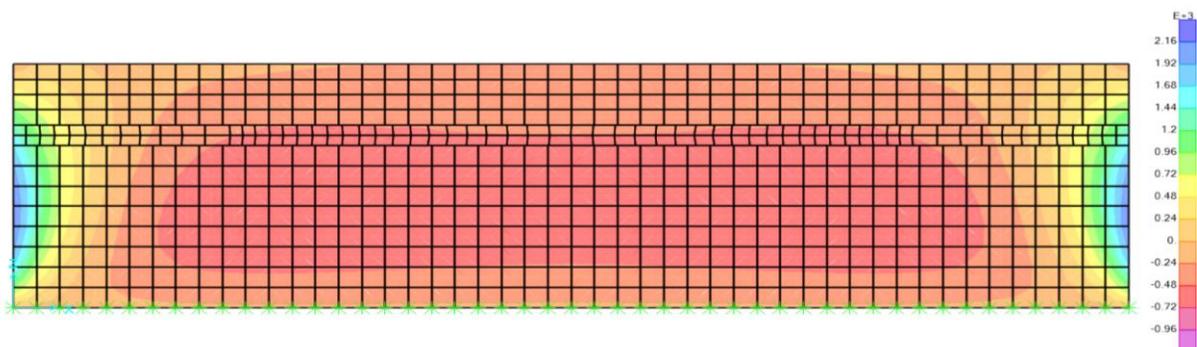
En la figura 44 y Figura 45, se indica los esfuerzos en el muro (eje axial 1) –Tracción en las zonas de las esquinas de los muros.

**Figura 44***Esfuerzos en el muro del eje 1***Figura 45***Esfuerzos en el muro del eje A*

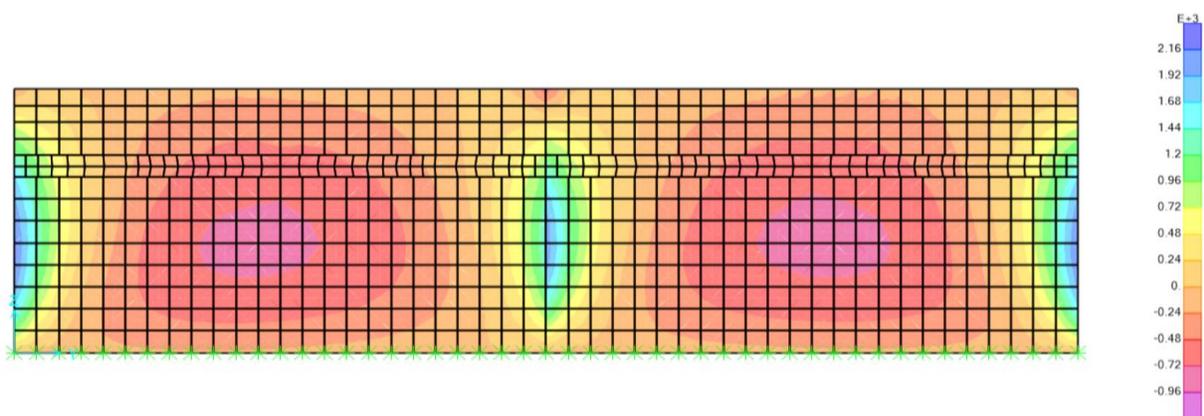
En la Figura 46 y Figura 47, se puede apreciar que hay momentos negativos en el tramo y positivos en los apoyos de las esquinas.

**Figura 46**

*Momentos en los muros del eje 1*

**Figura 47**

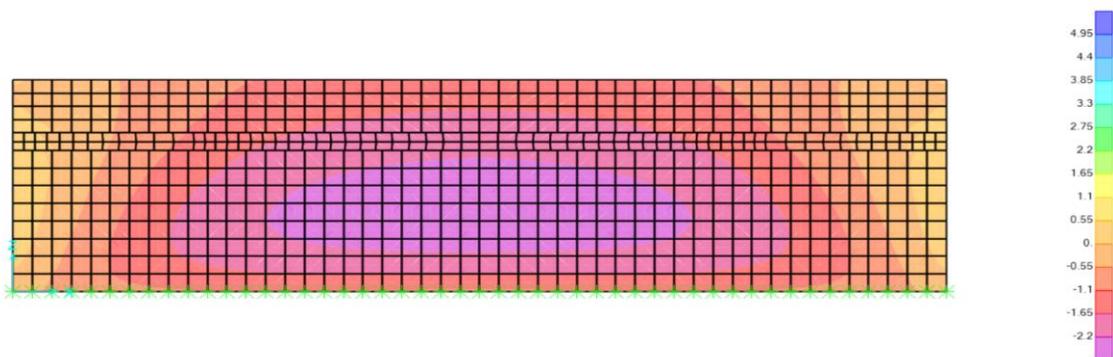
*Momentos en los muros del eje A*



Momentos (eje axial 2) en muros:

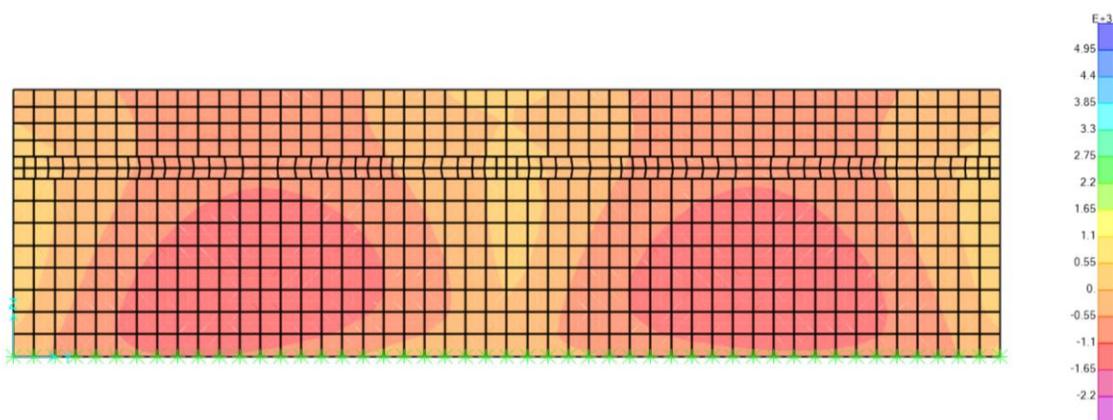
**Figura 48**

*Momentos en los muros del eje 1*



**Figura 49**

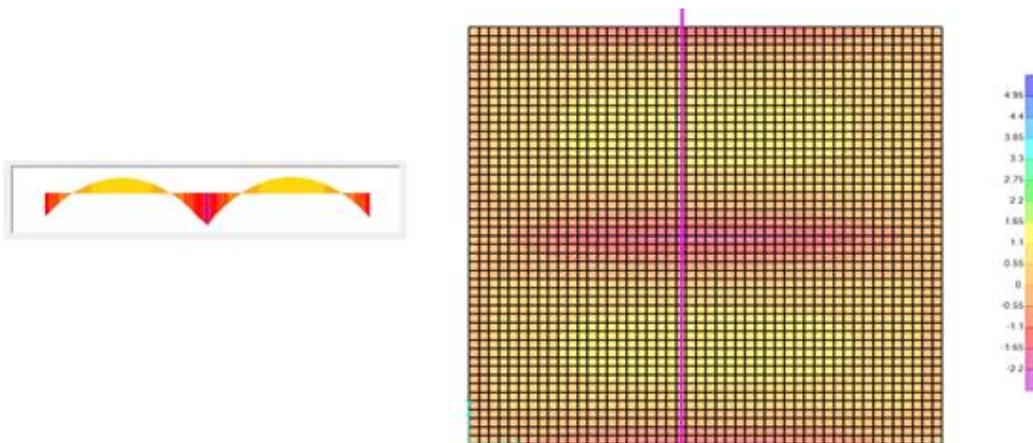
*Momentos en los muros del eje A.*



Momentos en Losa tapa:

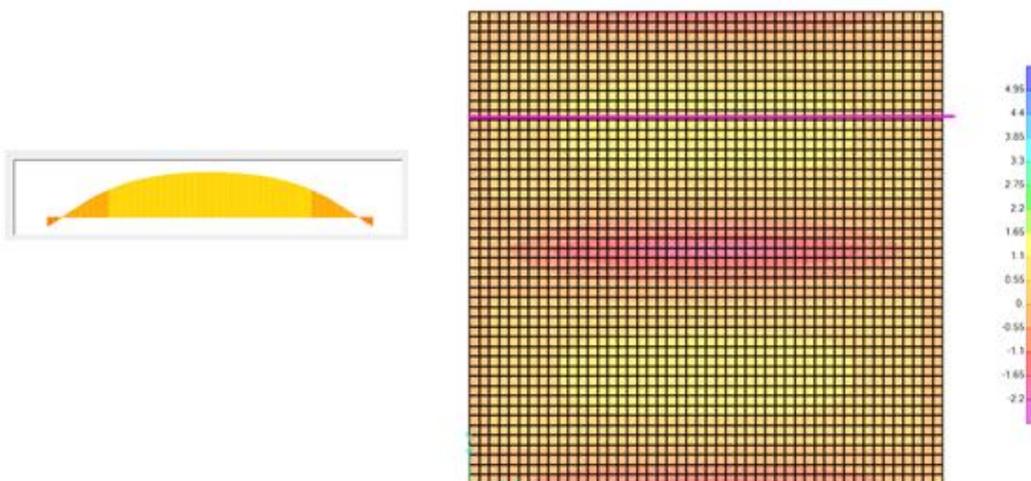
**Figura 50**

*Momentos en losa tapa sentido Y.*



**Figura 51**

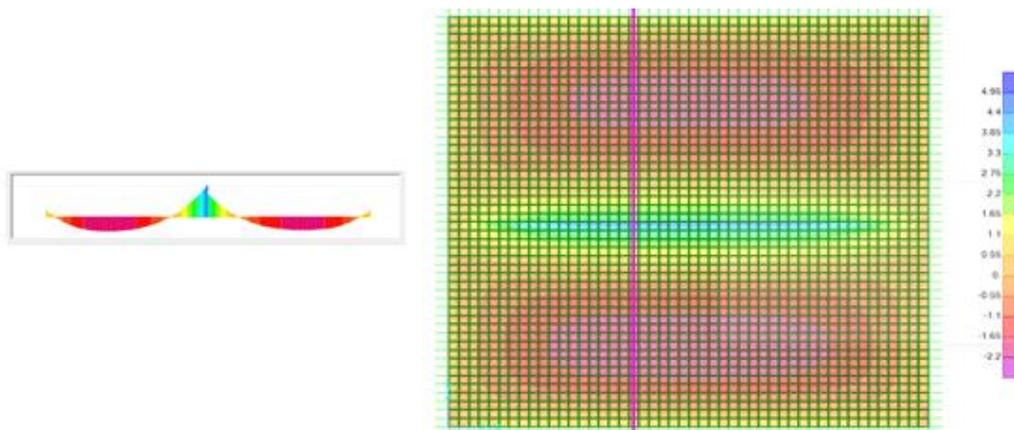
*Momentos en losa tapa sentido X.*



Momentos en losa de cimentación.

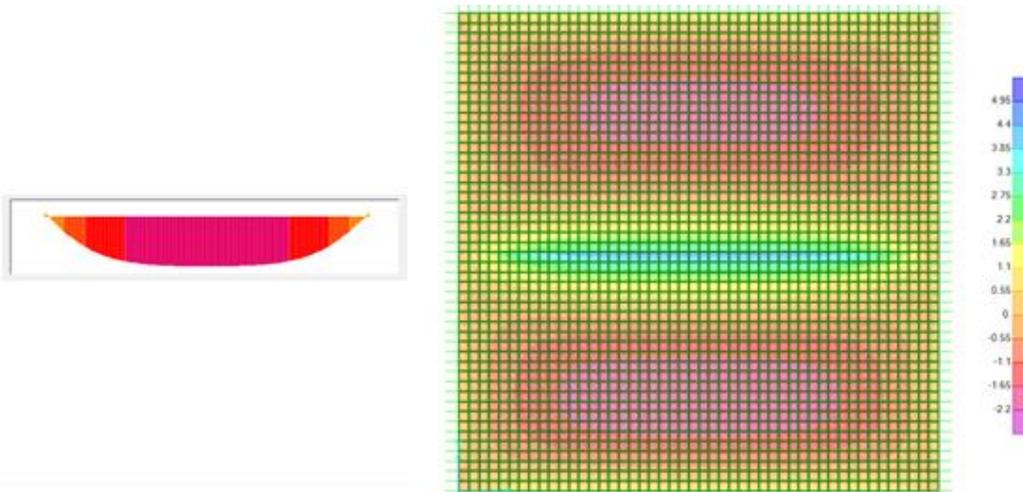
**Figura 52**

*Momentos en losa tapa sentido Y.*



**Figura 53**

*Momentos en losa tapa sentido X.*



Los tanques deben ser diseñados bajo el criterio de evitar cualquier presencia de grieta. Para ello es necesario emplear procedimientos de diseño que permitan eliminar la posibilidad de presencia de grietas anchas u otras fuentes de fugas del líquido contenido en los tanques. Para su diseño será necesario tener en cuenta ciertas condiciones de carga y cumplir las consideraciones mínimas de las normas, para garantizar un buen diseño y lograr la impermeabilidad del tanque.

El programa SAP 2000, nos otorga fuerzas y esfuerzos que se generan en cada elemento del tanque. A partir de las figuras, podemos comprobar el comportamiento de tracción o compresión, esperado de los elementos estructurales del tanque por las cargas asignadas. Los componentes del tanque rectangular (muros, fondo y tapa) trabajan a flexión y fuerza cortante, motivo por el cual se requiere que las dimensiones sean lo suficiente como para garantizar rigidez a flexión y resistencia a fuerza cortante. Por ello con los datos obtenidos a partir del modelo en SAP2000, se determinaron los momentos flectores que traccionan los elementos, y con los valores de momento máximos de las figuras correspondientes se diseñó el acero horizontal y vertical de la estructura.

### **Demanda en los Nodos**

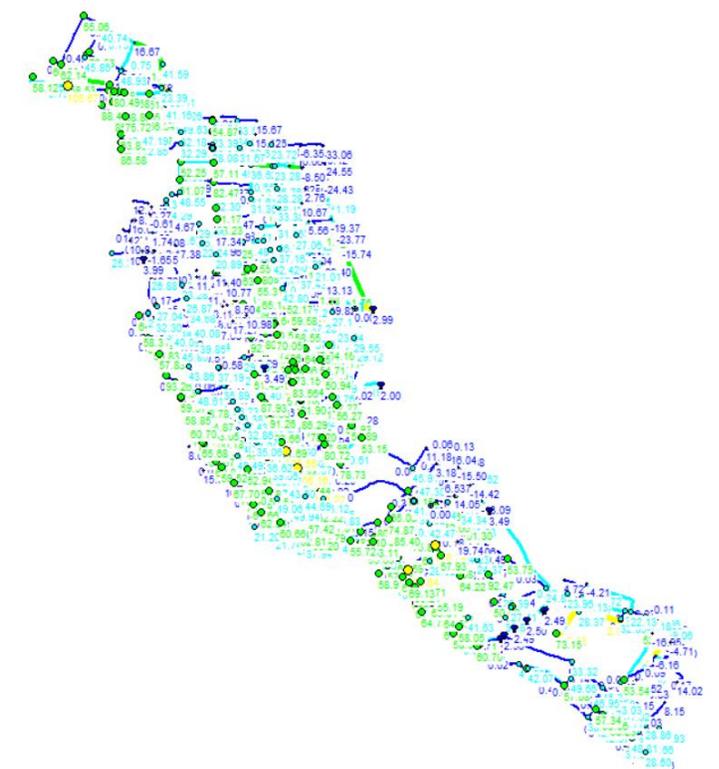
En demanda por nodos a la que se contribuye la red de distribución se utiliza el método de áreas que consiste en determinar el área de influencia de cada nodo y definir una demanda unitaria, las áreas fueron distribuidas por polígonos y tablas generados en Excel y importadas a EPANET como un Escenario.

## Modelamiento de la Nueva Red

En la Figura 54, se presenta el modelo hidráulico de la propuesta de la nueva red de agua potable de la JAAP Sumak Yaku.

**Figura 54**

*Modelo hidráulico realizado en EPANET*



## Análisis de Red Periodo Estático

En la Tabla D1 y Tabla D2, dispuestas en los Anexos D, se presentan los resultados de la red de agua potable de la JAAP Sumak Yaku en periodo estático.

## Evaluación de los Resultados

En la Tabla D1, se puede presentar que se ha logrado disminuir el problema de velocidades que estaban por debajo de los 0,30 m/s que se recomienda, sin embargo, todavía

se presentan valores mínimos como 0,28 m/s en ciertos tramos de tuberías, pero ya muy cercanos al mínimo erradicando los futuros problemas debido a que las bajas velocidades, que causan efectos contraproducentes en el funcionamiento ideal del sistema, dado que en estas condiciones se favorece la sedimentación de partículas y la acumulación en las paredes de las tuberías en el caso que existan averías en la red.

Además, estas velocidades bajas promueven el aumento de tiempo de residencia del agua en la red, disminuyendo en este sentido la eficiencia de la desinfección (pérdida de la calidad del agua) como consecuencia de la degradación del cloro en la red.

En la Tabla D2, se puede apreciar que con las modificaciones realizadas el número de nodos menores a 10 mca es nulo. En la tabla, el valor máximo es de 48 mca, asegurando un caudal y presión apropiados en cualquier punto de la red, prevaleciendo el factor técnico-económico en la adecuación de la red.

## Capítulo IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Con la modelación realizada en el software EPANET a la red actual, se comprobó que en las partes altas de la Comunidad de Camuendo, Compañía Alta y Agato, situadas al mismo nivel o por encima de los tanques de almacenamiento las presiones son inferiores a 10 mca, de la misma manera las velocidades presentes son de 0,08 m/s, lo que no garantiza el correcto funcionamiento de la red de agua potable.
- Para la adaptación del proyecto Pesillo-Imbabura, se diseñaron dos tanques de almacenamiento, de hormigón armado, de 250 m<sup>3</sup> cada uno. Adicional a ello, se diseñaron redes de conducción con tubería de PVC con un diámetro de 160 mm, con una longitud de 3330,34 m desde el primer tanque y 2132,01 m desde segundo, con un valor del presupuesto referencial de \$ 307.570,76 dólares americanos.
- El rediseño del sistema, se realizó en base a acoplamiento y adaptación del proyecto Pesillo-Imbabura al modelo hidráulico en EPANET de la red actual, el número de nodos menores a 10 mca es nulo y el rango de presiones esta entre 10 mca y 50 mca. Así también, se logró disminuir el porcentaje de las tuberías con velocidades menores a 0,30 m/s, de un 53,58% del total de tuberías en toda la red a un 0,02%.
- El modelo hidráulico de la nueva red con el proyecto Pesillo-Imbabura, permitió que las presiones en las zonas con un servicio deficiente, sean superiores a 30 mca, corrigiendo también las velocidades en la red. Además, el nuevo sistema de conducción permite el llenado de los tanques a gravedad, logrando así el ahorro en mantenimiento progresivo de equipos e instalaciones, en sistemas de bombeo y consumos eléctricos que se requiere para el funcionamiento del sistema actual.

## Recomendaciones

- Elaborar un cronograma de operación y mantenimiento constante de las diferentes modificaciones, mantenimientos, remplazos o cualquier otro tipo de alteración a la red, permitiendo de esta mantener actualizada la información base del sistema de agua potable Sumak Yaku.
- Para un óptimo funcionamiento del sistema, es importante reducir el índice de aguas no contabilizadas, como fugas o conexiones clandestinas, mediante un control y mantenimiento constante a lo largo de toda la red por parte del equipo operativo.
- Se recomienda que, en el caso de desarrollar la construcción del proyecto, se realicen los estudios geotécnicos en las zonas propuestas para los tanques de almacenamiento de agua potable de hormigón armado, y efectuar las correcciones del diseño si fuera el caso, conociendo ya los parámetros y características del suelo.

## Bibliografía

- Álava Montesdeoca, G. D. (2019). *Modelación Hidráulica Y Ampliación De La Red De Distribución De Agua Potable De La Comuna Joa, Cantón Jipijapa*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2013/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2019-96.pdf>
- Asamblea nacional. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Cardenas Jaramillo, D., & Patiño Guaraca, F. (2010). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE TUTUCÁN, CANTÓN PAUTE, PROVINCIA DEL AZUAY*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/725/1/ti853.pdf>
- González-Ramírez, E. A., & Bejarano-Salazar, E. (2019a). Sistemas de información geográfica y modelado hidráulico de redes de abastecimiento de agua potable: estudios de caso en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 293–318. <https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.11>
- González-Ramírez, E. A., & Bejarano-Salazar, E. (2019b, June 17). Sistemas de información geográfica y modelado hidráulico de redes de abastecimiento de agua potable: estudios de caso en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 293–318. <https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.11>
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES (Vol. 1)*. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5%20Parte\\_9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf)
- Moreno Salazar, I. (2006). *DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DELAS COMUNIDADES DEL TIGRITO, MATARUCA Y EL PARDILLAL. MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA*. <https://doczz.net/doc/43969/dise%C3%B1o-de-la-red-de-distribuci%C3%B3n-de-agua-potable-de-las>
- Terán Pineda, D. (2012a). Automatización de dos zonas de bombeo y monitoreo de la red principal del sistema de agua potable de la junta administradora de agua potable Sumak Yaku –Araque –Otavalo. *Universidad Técnica Del Norte (UTN)*. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/996/7/04%20MEC%20006%20Informe%20T%C3%A9cnico%20Automatizaci%C3%B3n%20y%20HMI-Diego%20Teran.pdf>
- Terán Pineda, D. (2012b). *AUTOMATIZACIÓN DE DOS ZONAS DE BOMBEO Y MONITOREO DE LA RED PRINCIPAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE SUMAK YAKU –ARAQUE –OTAVALO*. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/996/6/04%20MEC%20006%20automatizaci%C3%B3n%20sumak%20yaku-diego%20teran%20tesis%20marco%20teorico.pdf>

ARQHYS. (2012). *Red de abastecimiento de agua potable*.

Escuela de Organización Industrial, E. (2015). *Redes de distribución*.

García Alcaraz, M. (2006). Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas. En M. d. García Alcaraz, *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas*. Cartagena.

Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias . (1992). CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C. NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. En *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C. NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES* (págs. 1-288). Quito.

Jaramillo, D. L., & Guaraca, F. E. (2010). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE TUTUCAN, CANTON PAUTE, PROVINCIA DEL AZUAY*. Cuenca.

Martínez Alzamora, F. (2005). *Análisis, Diseño, Operación y Gestión de Redes de Distribución de Agua con EPANET*. Valencia: Instituto Tecnológico del Agua.

Nacional, A. (06 de Agosto de 2014). *Secretaría del Agua*. Obtenido de Secretaría del Agua: <http://www.agua.gob.ec/ley-de-aguas/>

Perugachi Cachimuel, J. M., & Cachipuendo Ulcuango, C. (2020). *La lucha por el agua. Gestión Comunitaria del Proyecto de Agua Potable Pesillo-Imbabura*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

República del Ecuador Asamblea Nacional. (21 de Junio de 2014). *contrattoacqua.it*. Obtenido de [http://contrattoacqua.it/public/upload/1/2/tab\\_elms\\_docs/140663762823-06-14-ley-de-aguas-version-remitida-a-la-presidencia--2-.pdf](http://contrattoacqua.it/public/upload/1/2/tab_elms_docs/140663762823-06-14-ley-de-aguas-version-remitida-a-la-presidencia--2-.pdf)

Salazar, I. A. (2006). *Diseño de la Red de Distribucion de Agua Potable de las comunidades del tigríto, Mataruca y el pardillal, Municipio Guaicaipuro, Estado Miranda*. Sartenejas.

Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRCCIÓN DE RESERVORIOS APOYADOS*. Obtenido de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/038\\_dise%C3%B1o\\_y\\_construcion\\_reservorios\\_apoyados/dise%C3%B1o\\_y\\_construccion\\_reservorios\\_apoyados.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/038_dise%C3%B1o_y_construcion_reservorios_apoyados/dise%C3%B1o_y_construccion_reservorios_apoyados.pdf)

## **Anexos**