



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Maestría en Hidrosanitaria

Simulación y Evaluación del Sistema de Distribución de Agua Potable de la Planta Bella Unión perteneciente a la Parroquia Santa Ana.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Magister en Hidrosanitaria

Autores

Christian Gustavo Ñauta Mendieta
Esteban Gustavo Jara Cárdenas

Director

Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez Dr.C.

CUENCA – ECUADOR

2025

DEDICATORIA

Con profunda gratitud y amor, dedico esta tesis a las personas más importantes de mi vida; a mi esposa, por su amor incondicional, paciencia infinita y apoyo inquebrantable. Gracias por estar siempre a mi lado, creyendo en mí incluso en los momentos más difíciles, este logro también es tuyo. A mi hija, mi mayor motivación, eres la luz que ilumina mis días y la razón por la que me esfuerzo cada día. A mi madre, por ser el pilar que ha sostenido mis sueños con su amor, sacrificio y enseñanzas, gracias por tu apoyo incondicional y por inculcarme los valores que hoy me guían.

Gustavo Jara Cárdenas

Dedico este logro a mi familia, quienes han sido un soporte constante a lo largo de este camino. A Lu, Emi, Sarita y Rafa, por ser mi inspiración diaria, por su compañía y por motivarme a dar lo mejor de mí en cada etapa de este proceso.

A mis padres, que desde mi infancia me enseñaron el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la honestidad. Su ejemplo y apoyo incondicional han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A mis hermanos y sobrinos, gracias por sus palabras de aliento, por su cercanía y por estar siempre presentes en los momentos que más lo necesitaba.

Christian Ñauta Mendieta

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios, por ser nuestra guía y fortaleza en cada paso de este camino. Al Ing. Josué Larriva, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso en la dirección de esta tesis, cuyo apoyo ha sido fundamental para su desarrollo. A la Universidad del Azuay, a todos los docentes y compañeros que nos acompañaron en este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción	1
1.1.	Justificación.....	2
1.2.	Objetivo general	2
1.3.	Objetivos específicos	2
1.4.	Supuestos y riesgos.....	3
2.	Estado del arte y Marco Teórico	4
2.1.	Sistemas de distribución de agua potable	5
2.1.1.	Componentes principales	5
2.1.2.	Factores de diseño	6
2.2.	Técnicas de simulación hidráulica.....	7
2.2.1.	Software utilizado (WaterGEMS).....	7
2.3.	Normativas aplicables al diseño y evaluación.....	7
2.3.1.	Nivel de Servicio en Zonas Rurales	7
2.3.2.	Parámetros de eficiencia en la distribución de agua.....	8
3.	Descripción del Área de Estudio	10
3.1.	Ubicación geográfica y características generales.....	10
3.2.	Infraestructura actual del sistema de distribución	13
3.2.1.	Captación:	14
3.2.2.	Conducción	16
3.2.3.	Planta de Tratamiento:.....	17
3.3.	Demanda hídrica actual y proyectada.....	19

3.3.1.	Población Actual y Proyección de Crecimiento.....	19
3.3.2.	Dotación de Agua Potable.....	20
3.3.3.	Caudales de Diseño	20
3.3.4.	Análisis de la Disponibilidad del Recurso Hídrico	21
3.3.5.	Proyección de Demanda Hídrica para 2040.....	22
3.4.	Problemática identificada.....	22
3.4.1.	Sedimentación excesiva en la captación:.....	22
3.4.2.	Deficiencias en el sistema de floculación:	23
3.4.3.	Interrupciones en la producción de agua potable:	23
3.4.4.	Deficiencia en la Capacidad de producción de agua potable de la planta	23
4.	Metodología	24
4.1.	Recolección de datos	24
4.1.1.	Censo de tanques de reserva de agua potable en viviendas de clientes de ETAPA EP	24
4.1.2.	Toma de datos de campo de la infraestructura administrada por ETAPA EP	30
4.1.3.	Levantamiento de datos topográficos	30
4.1.4.	Registro de consumo y caudal mediante micromedición	31
4.1.5.	Análisis de tarifas de cobro de consumos de agua potable.....	32
4.2.	Modelado del Sistema de Distribución.....	32
4.2.1.	Construcción del modelo hidráulico en WaterGEMS	33
4.2.2.	Información de tuberías, nodos y asignación de propiedades.....	36
4.2.3.	Validación y calibración del modelo	36
4.3.	Simulación de Escenarios operativos	40
4.3.1.	Condiciones actuales del sistema de distribución	40

4.3.2.	Análisis de escenarios para la toma de decisiones	57
5.	Resultados y Discusión	60
5.1.	Diagnóstico del Sistema Actual	60
5.1.1.	Gestión y Problemáticas del Sistema de Agua Potable en la Parroquia Santa Ana	60
5.1.2.	Administración del Sistema y Crecimiento Poblacional	60
5.1.3.	Principales Problemáticas Identificadas	61
5.1.4.	Medidas Implementadas y Mesas de Diálogo.....	62
5.2.	Beneficios de la sectorización propuesta	67
6.	Conclusiones y Recomendaciones.....	69
6.1.	Conclusiones	69
6.2.	Recomendaciones	70
7.	Bibliografía.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parroquias del Cantón Cuenca - Fuente: ETAPA EP	11
Figura 2. Distribución de viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: ETAPA-EP	12
Figura 3. Distribución de viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis – CPV 2022).....	13
Figura 4. Distribución de captaciones Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor	14
Figura 5. Distribución de captaciones Parroquia Santa Ana - Fuente: ETAPA-EP ...	15
Figura 6. Represa de Cuncay - Fuente: Autor	16
Figura 7. Cajón de llegada de agua cruda a la Planta de Agua Potable Bella Unión – Fuente: Autor.....	17
Figura 8. Planta de agua potable Bella Unión, Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor	18
Figura 9. Tasa de crecimiento promedio anual 2010-2022, según parroquia de residencia - Fuente: INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis – CPV 2022).....	19
Figura 10. Demanda vs Caudal disponible en la planta por mes - Fuente: Autor	21
Figura 11. Ubicación de tanques de reserva Comunidad los Laureles - Fuente: Autor	29
Figura 12. Topografía Parroquia Santa Ana - Fuente: ETAPA-EP.....	31
Figura 13. Interfaz QGIS - Fuente: Autor	33
Figura 14. Distribución de usuarios por reservorio - Fuente: ETAPA-EP	34
Figura 15. Medidores pertenecientes a la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor.....	34
Figura 16. Pantalla WaterGEMS - Fuente: Autor	35
Figura 17. Toma de datos Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor	37

Figura 18. Toma de datos Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor.....	37
Figura 19. Toma de datos Reserva de Tepal – Fuente: Autor.....	37
Figura 20. Toma de datos Reserva de Tepal – Fuente: Autor.....	37
Figura 21. Toma de datos Reserva de Ingapirca - Fuente: Autor.....	38
Figura 22. Toma de datos Reserva de Ingapirca- Fuente: Autor.....	38
Figura 23. Toma de datos Reserva de la planta Bella Unión - Fuente: Autor	38
Figura 24. Toma de datos Reserva de la planta Bella Unión - Fuente: Autor	38
Figura 25. Toma de datos Reserva San Antonio de Trabana - Fuente: Autor	39
Figura 26. Toma de datos Reserva San Antonio de Trabana - Fuente: Autor	39
Figura 27. Toma de datos Reserva del Salado - Fuente: Autor.....	39
Figura 28. Toma de datos Reserva del Salado - Fuente: Autor.....	39
Figura 29. Toma de datos Reserva de Playa de los Angeles - Fuente: Autor	40
Figura 30. Toma de datos Reserva de Playa de los Angeles - Fuente: Autor.....	40
Figura 31. Distribución de usuarios reserva Tepal (337 usuarios) - Fuente: ETAPA-EP.....	41
Figura 32. Distribución de usuarios reserva Ingapirca (360 usuarios) - Fuente: ETAPA-EP.....	42
Figura 33. Distribución de usuarios reserva La Dolorosa (484 usuarios) - Fuente: ETAPA-EP	43
Figura 34. Datos de Redes de Distribución Reserva de Tepal - Fuente: ETAPA-EP	44
Figura 35. Polígono de modelación y datos de presiones Reserva de Tepal - Fuente: ETAPA-EP.....	44
Figura 36. Polígono de modelación y datos de presiones Reserva de Ingapirca - Fuente: ETAPA-EP	45
Figura 37. Polígono de modelación y datos de presiones Reserva de la Dolorosa - Fuente: ETAPA-EP.....	45

Figura 38. Calibración del patrón de las reservas de la Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor	46
Figura 39. Curva de descarga de la reserva de Tepal - Fuente: Autor.....	46
Figura 40. Curva de descarga de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor.....	47
Figura 41. Curva de descarga de la reserva de la Dolorosa - Fuente: Autor.....	47
Figura 42. Curva de descarga de la reserva de la Planta de Bella Unión - Fuente: Autor	47
Figura 43. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de Tepal - Fuente: Autor.....	49
Figura 44. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor	50
Figura 45. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de la Dolorosa - Fuente: Autor	51
Figura 46. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de la planta de Bella Unión - Fuente: Autor	53
Figura 47. Descarga de tanqueros de agua potable en la reserva de la Dolorosa - Fuente: Autor	54
Figura 48. Hidrante del Paraíso para carga de tanqueros - Fuente: Autor.....	54
Figura 49. Curva de descarga de la reserva la Dolorosa descargando tanqueros de la empresa ETAPA EP. - Fuente: Autor.....	55
Figura 50. Ruta desde el hidrante hacia la reserva de la Dolorosa - Fuente: Google Maps.....	56
Figura 51. Curva de descarga de la reserva de La Dolorosa - Fuente: Autor	58
Figura 52. Curva de descarga de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor.....	58
Figura 53. Curva de descarga de la reserva de Tepal - Fuente: Autor.....	58
Figura 54. Reunión conjunta con directivos de CODESA-GAD Parroquial - Fuente: Autor	63

Figura 55. Reunión conjunta con directivos de CODESA-GAD Parroquial - Fuente: Autor	64
Figura 56. Reunión conjunta con directivos de CODESA-Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor.....	64
Figura 57. Reunión conjunta con directivos de CODESA-Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor.....	65
Figura 58. Reunión conjunta con directivos de CODESA-Reserva Ingapirca - Fuente: Autor	65
Figura 59. Reservorios viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor.....	66
Figura 60. Reservorios viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor.....	66
Figura 61. Reunión conjunta con GAD Parroquial - Fuente: Autor.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen de reservorios Parroquia Santa Ana.....	14
Tabla 2. Método de cálculo para determinar la población futura - Fuente: Autor	20
Tabla 3. Censo de Tanques de reserva comunidad los Laureles - Fuente: Autor	28
Tabla 4. Pliegos Tarifarios Otros Sistemas - Fuente: ETAPA EP	32
Tabla 5. Medidores por reserva - Fuente: Autor	35
Tabla 6. Longitud y diámetros de tuberías de Agua Potable de la Parroquia Santa Ana – Fuente: Autor.....	36
Tabla 7. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de Tepal - Fuente: Autor.....	49
Tabla 8. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor	50
Tabla 9. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor	51
Tabla 10. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de la planta de Bella Unión - Fuente: Autor	52
Tabla 11. Costo de transporte de agua potable - Fuente: ETAPA EP	56
Tabla 12. Costo operativo de tanqueros de ETAPA EP - Fuente: ETAPA EP	57

RESUMEN

El presente estudio trata de la modelación del sistema de distribución de agua potable de la planta bella unión perteneciente a la parroquia Santa Ana, mediante un software computacional, que facilita la modelación, y posterior calibración y validación. El modelo se lo realiza a partir de información entregada por la Empresa ETAPA EP.; una vez elaborado el modelo hidráulico se calibrará con datos obtenidos en campo. Se comparará los datos de campo con lo simulado y se obtendrá una calibración aceptable. Por último, se analizarán escenarios operativos del sistema para toma de decisiones del personal operativo de la Empresa ETAPA EP.

Palabras clave: modelo hidráulico – Santa Ana – simulación hidráulica- pérdidas de agua.

ABSTRACT

This research aims to develop a hydraulic model of the drinking water distribution system for the Bella Unión plant, located in the Santa Ana district. The modeling process employs specialized software designed for the simulation, calibration, and validation of water distribution networks. The foundational data for model implementation was provided by ETAPA-EP, and an extensive field data collection effort was conducted to accurately calibrate the model. The final step is to assess different operational scenarios using the model, with the aim of supporting decision-making processes for the plant's operation.

Keywords: hydraulic model – Santa Ana – hydraulic simulation – water losses.

Ing. Josué Bernardo Larriva Vásquez Dr.

1. INTRODUCCIÓN

El agua potable es un recurso esencial para la vida y el desarrollo sostenible de las comunidades. Su distribución eficiente y segura representa un desafío técnico y social, especialmente en áreas donde la infraestructura existente es insuficiente para satisfacer la demanda actual y proyectada. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 29% de la población mundial carece de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura, lo que subraya la importancia de optimizar los sistemas de distribución (OMS, 2021).

En este contexto, la Planta Bella Unión, ubicada en la parroquia Santa Ana, desempeña un papel crucial en el suministro de agua potable para la comunidad local. Sin embargo, el sistema de distribución presenta limitaciones, tales como pérdidas de presión, desequilibrios hidráulicos y vulnerabilidad ante el crecimiento demográfico. Estos problemas no solo afectan la calidad del servicio, sino que también aumentan los costos operativos y reducen la sostenibilidad del sistema.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo la simulación y evaluación del sistema de distribución de agua potable de la Planta Bella Unión mediante el uso de herramientas de modelado hidráulico. Este enfoque permite identificar puntos críticos del sistema, analizar escenarios operativos y proponer soluciones técnicas para mejorar su eficiencia y capacidad de respuesta. Como señalan (Walski et al., 2003), las simulaciones hidráulicas son fundamentales para evaluar el comportamiento de los sistemas de distribución y diseñar estrategias de optimización basadas en datos reales.

Además, esta investigación busca ofrecer herramientas prácticas para la toma de decisiones del personal técnico, considerando aspectos como el diseño actual, las demandas proyectadas y las condiciones operativas.

1.1. Justificación

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca es la encargada de proveer agua potable en la mayoría de los sectores rurales del cantón Cuenca, enfocándose en la gestión eficiente de su infraestructura. Dentro de su jurisdicción se encuentra la parroquia Santa Ana, la cual, para mantener un servicio continuo, requiere un flujo de 17 litros por segundo.

Actualmente, la planta de tratamiento de agua potable en funcionamiento en la parroquia fue diseñada con una capacidad de tratamiento de 6 litros por segundo. Sin embargo, debido a que la planta depende de captaciones propias, el caudal puede disminuir hasta 3 litros por segundo en épocas de estiaje, lo que resulta en discontinuidades en el suministro del servicio.

Para mitigar las quejas relacionadas con la interrupción del servicio en la Parroquia Santa Ana, es esencial evaluar, simular y calibrar los problemas operacionales; que permitan reducir las pérdidas de agua potable en las redes de distribución como roturas, accesorios hidráulicos en mal estado, conexiones ilícitas, consumos excesivos, desperdicio de agua.

1.2. Objetivo general

Realizar la simulación hidráulica y evaluación del sistema de distribución de agua potable de la planta Bella Unión de la Parroquia Santa Ana, permitiendo analizar diversos escenarios operativos del sistema.

1.3. Objetivos específicos

- Desarrollar un modelo hidráulico del sistema, que represente la distribución de agua de la Planta Bella Unión, utilizando un software especializado para simular el flujo, velocidades, demandas y la presión en las redes de tuberías.
- Evaluar y calibrar el modelo hidráulico con datos reales, ajustando el mismo a datos obtenidos de mediciones en campo, como presiones, caudales, continuidad del servicio y cobertura del servicio, para asegurar que el modelo refleje de manera precisa el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas.

- Analizar la vulnerabilidad operativa del sistema, identificando los puntos vulnerables y los riesgos asociados con el sistema de distribución de agua, como áreas susceptibles a interrupciones del servicio o ha reducciones significativas en la calidad o presión del agua.
- Proponer estrategias de mitigación basadas en los resultados de la simulación, desarrollando recomendaciones para mejorar la resiliencia y eficiencia del sistema, incluyendo ajustes operacionales y estrategias de gestión operacionales.

1.4. Supuestos y riesgos

- Continuidad del flujo: La continuidad del caudal en la planta de tratamiento; al tratarse de un sistema que trabaja con captaciones a bombeo los cortes de luz sin previo aviso provocarían un comportamiento inusual del sistema de distribución de agua potable. Para este tipo de cortes de luz se podría realizar un levantamiento en diferentes días para promediar los resultados obtenidos siempre y cuando estos se encuentren dentro del rango aceptable de error.
- Roturas en las redes de distribución: El tiempo de reparación en sitios donde no sean de acceso fácil para el personal provocarían una demora en la toma de datos. Para este tipo de roturas se debería planificar los trabajos con el personal de operación y mantenimiento de ETAPA EP y así coordinar la toma de datos cuando ya se encuentre reparada la tubería.
- Datos incompletos o inexactos: Los datos incompletos o inexactos provocarían una mala calibración hidráulica del modelo que no esté apegada a la realidad, y esto generaría datos inexactos en toda la modelación; por lo que se debería tener una secuencia y porcentaje mínimo de toma de datos para poder tener un modelo calibrado que no retrase los trabajos en campo.

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

En la actualidad el agua es un líquido vital que cada día escasea por su mal uso es así que menciona (León A. A et al., 2016) “el agua es actualmente considerada como el recurso natural más crítico del planeta. Numerosos estudios realizados a nivel mundial demuestran que los sistemas de recolección de aguas lluvias han sido necesarias para para suplir diferentes necesidades básicas”.

A lo largo de la historia los ingenieros desempeñan un papel crucial en el diseño, construcción y gestión de infraestructuras relacionadas con el agua para garantizar su uso seguro y eficiente.

Teniendo un papel protagonista en el desarrollo e implementación de soluciones eficientes para el manejo del agua, contribuyendo así a la conservación de este recurso vital y al desarrollo sostenible de las comunidades.

Uno de los principales problemas en las empresas prestadoras del servicio de agua potable es el agua no contabilizada que significa un costo operativo alto y un impacto ambiental en la sobreexplotación del recurso natural es así que menciona (León A. A et al., 2016) las investigaciones a nivel mundial indicaron que, de seguir las prácticas actuales de consumo de agua, enfrentaremos una escasez mundial del 40 %, entre la demanda prevista y el suministro disponible para el año 2030. En el mundo según lo expuesto por (OSE, 2019), más de 32 billones de m³ de agua potable se fugaron de sistemas de abastecimiento al año, con un costo asociado superior a los USD 18. 000 millones.

Es así que el presente estudio busca encontrar soluciones mediante el apoyo de herramientas computacionales que permiten generar modelos hidráulicos, “la modelación hidráulica es el proceso de utilizar modelos matemáticos y computacionales para simular el comportamiento de los sistemas, como ríos, canales, redes de alcantarillado y sistemas de suministro de agua. Estos modelos permiten

predecir cómo fluye el agua, cómo se distribuye y cómo responde el sistema a diferentes condiciones” (Ven Te Chow et al., 1988).

El modelo hidrológico debe ser representativo del área de interés y utilizar métodos de calibración de mejores prácticas para garantizar resultados significativos de la aplicación final, lo que garantizará datos apegados a la realidad del proyecto para la toma de decisiones (Truong Nguyen, Bree Bennet, & Michael Leonard, 2023).

Realizando la modelación hidráulica y la calibración se efectúa un análisis de vulnerabilidad siendo “el análisis de vulnerabilidad el método que permite determinar las debilidades de los componentes de un sistema frente a una amenaza, con un doble objetivo: establecer las medidas de mitigación necesarias para corregir esas debilidades, y proponer las medidas de emergencia para dar una respuesta adecuada cuando el impacto de la amenaza se produce. El objetivo del análisis de vulnerabilidad y de la identificación de las medidas de mitigación para los sistemas de agua potable es tener sistemas sostenibles y seguros frente a las amenazas naturales” (Mejía Rojas & Merchán Charry, 2017).

En el caso específico de la Planta Bella Unión, la implementación de modelos hidráulicos para la evaluación y simulación del sistema ha mostrado ser un enfoque efectivo para la mejora continua y la gestión sostenible del suministro de agua. Estudios futuros podrían centrarse en la adaptación de estas metodologías a las condiciones locales y en la integración de sistemas de monitoreo para mejorar la eficacia operativa.

2.1. Sistemas de distribución de agua potable

Los sistemas de distribución de agua potable son infraestructuras esenciales diseñadas para transportar agua desde su fuente de captación o tratamiento hasta los usuarios finales de manera eficiente, segura y sostenible. Estas redes representan un componente crítico para garantizar el acceso al agua potable, promoviendo la salud pública y el desarrollo económico de las comunidades (Mays, 2010).

2.1.1. Componentes principales

Un sistema de distribución de agua potable consta de varios componentes interconectados que cumplen funciones específicas:

- I. **Fuente de agua:** Pueden ser superficiales (ríos, lagos) o subterráneas (acuíferos). La calidad de la fuente influye en los procesos de tratamiento necesarios (Mays, 2010).
- II. **Estación de tratamiento:** Aquí se procesan las aguas crudas para cumplir con los estándares de calidad establecidos por normativas locales e internacionales (World Health Organization [WHO], 2017).
- III. **Red de distribución:** Conformada por tuberías principales, secundarias y terciarias que transportan el agua desde los tanques de almacenamiento hasta los usuarios. Estas redes deben diseñarse considerando factores como presiones mínimas, caudales necesarios y demandas futuras (Walski et al., 2003).
- IV. **Estaciones de bombeo:** Garantizan que el agua alcance áreas con elevaciones altas o puntos distantes del sistema. Su diseño debe incluir redundancia y eficiencia energética.
- V. **Tanques de almacenamiento:** Regulan la presión del sistema y proporcionan reservas en caso de demandas altas o emergencias (Mays, 2010).

2.1.2. Factores de diseño

El diseño y operación de los sistemas de distribución deben garantizar la entrega de agua en condiciones óptimas de cantidad, calidad y presión. Para ello, es fundamental considerar:

- **Demanda hídrica:** El consumo de agua varía según el número de habitantes, el tipo de actividades económicas y factores estacionales. Proyecciones precisas son esenciales para el diseño adecuado de las redes (AWWA, 2012).
- **Presiones y velocidades:** La presión debe mantenerse entre valores mínimos y máximos para evitar daños a las tuberías y garantizar el suministro a todos los usuarios. Velocidades excesivas pueden causar erosión, mientras que velocidades muy bajas favorecen la sedimentación.
- **Eficiencia hidráulica:** Un diseño eficiente minimiza las pérdidas de agua y reduce los costos operativos, considerando factores como el diámetro de las tuberías, materiales, y la configuración del sistema (Walski et al., 2003).

2.2. Técnicas de simulación hidráulica

Las simulaciones hidráulicas son herramientas clave para evaluar el desempeño de los sistemas de distribución de agua potable. Estas permiten identificar puntos críticos, analizar escenarios operativos y proponer soluciones de optimización basadas en datos reales. Modelos computacionales como WaterGEMS son ampliamente utilizados para este propósito, al facilitar el análisis de presiones, caudales y calidad del agua en diferentes condiciones de operación (Mays, 2010).

2.2.1. Software utilizado (WaterGEMS)

El modelado hidráulico en WaterGEMS se basa en los principios de conservación de masa y energía, aplicados a redes de distribución de agua. Los cálculos hidráulicos incluyen:

- **Ecuaciones de continuidad:** Garantizan el balance entre el agua que entra y sale de un nodo o una tubería.
- **Ecuaciones de energía:** Basadas en el principio de Bernoulli, evalúan las pérdidas de energía debido a fricción, accesorios y cambios de altura (Mays, 2010).

Estos principios permiten representar el comportamiento del sistema en condiciones reales y simular diferentes escenarios operativos, desde demandas pico hasta interrupciones por mantenimiento.

2.3. Normativas aplicables al diseño y evaluación

El diseño y evaluación de sistemas de distribución de agua potable deben alinearse con normativas locales e internacionales que garanticen la calidad del servicio, la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad ambiental. Estas normativas proporcionan lineamientos técnicos para aspectos como el diseño hidráulico, la calidad del agua y los estándares de operación y mantenimiento. A continuación, se detallan las normativas aplicables para zonas rurales en Ecuador.

2.3.1. Nivel de Servicio en Zonas Rurales

Según la norma ecuatoriana CO 10.7-602, el nivel de servicio en los sistemas de abastecimiento de agua potable y eliminación de excretas se clasifica en diferentes categorías, que varían dependiendo del acceso al agua y la infraestructura disponible:

- **Nivel 0:** Sistemas individuales según la disponibilidad técnica y económica del usuario.
- **Nivel Ia:** Abastecimiento mediante grifos públicos y letrinas sin arrastre de agua.
- **Nivel Ib:** Grifos públicos con unidades de lavado de ropa y baño, con letrinas sin arrastre de agua.
- **Nivel IIa:** Conexiones domiciliarias con un solo grifo y letrinas con o sin arrastre de agua.
- **Nivel IIb:** Conexiones domiciliarias con múltiples grifos y sistema de alcantarillado sanitario.

En áreas rurales, la dotación de agua para los diferentes niveles de servicio varía dependiendo del clima. Por ejemplo:

- **Clima frío:** 25-75 litros por habitante al día.
- **Clima cálido:** 30-100 litros por habitante al día.

2.3.2. Parámetros de eficiencia en la distribución de agua

La eficiencia del sistema de distribución de agua potable se mide en función de la continuidad del servicio, la presión, el caudal disponible y la reducción de pérdidas.

- Presiones de Operación.-** Las presiones en la red deben mantenerse dentro de ciertos rangos para garantizar un servicio adecuado según lo indicado en la norma ecuatoriana CO 10.7-601:
 - Presión mínima en la red: 10 mca (metros de columna de agua).
 - Presión máxima estática: 70 mca
 - Presión máxima dinámica: 50 mca
 - Presión mínima en grifos públicos: 5 mca
- Caudales de Diseño.-** El dimensionamiento del sistema de distribución considera distintos caudales de referencia, según lo indicado en la norma ecuatoriana CO 10.7-601:
 - **Caudal medio diario (Qm):** Relacionado con el consumo promedio.
 - **Caudal máximo diario (QMD):** Se calcula con un factor de mayoración de 1,3 a 1,5.

- **Caudal máximo horario (QMH):** Se calcula con un factor de mayoración de 2 a 2,3.
- c) **Reducción de Pérdidas de Agua.-** Las fugas representan una de las principales ineficiencias en la distribución del agua. Según la Norma ecuatoriana CO 10.7-602 se consideran valores promedio aceptables:
- Pérdidas aceptables en zonas urbanas: $\leq 20\%$ del caudal total.
 - Pérdidas aceptables en zonas rurales: $\leq 10\%$ del caudal total.
- d) **Continuidad del Servicio.-** Para garantizar un suministro constante, el diseño del sistema según la Norma ecuatoriana CO 10.7-602 debe prever que:
- La capacidad de almacenamiento sea el 50% del volumen medio diario futuro.
 - La regulación de presiones mediante válvulas reductoras y estaciones de bombeo.
 - El uso de modelos hidráulicos (WaterGEMS) para optimizar la eficiencia operativa.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en una región limitada al Norte con la parroquia Paccha, al Sur con la parroquia Quingeo, al oeste con la parroquia el valle y al este con el cantón Gualaceo y Sigsig.

La parroquia Santa Ana se encuentra conformada por 21 comunidades de las cuales la empresa ETAPA EP suministra de agua potable al 86% de estas comunidades. La comunidad de San Francisco de Mosquera, San Miguel de Pucacruz y Tacalzhapa son las únicas comunidades que poseen sistemas administrados por la comunidad.

Santa Ana presenta un entorno geográfico y climático que limita las fuentes de agua superficiales, las captaciones superficiales tienen un caudal limitado y pueden verse afectadas por factores climáticos como sequías prolongadas, disminución de las precipitaciones o contaminación de las fuentes de agua, generando una crisis hídrica en sus moradores.

3.1. Ubicación geográfica y características generales

La Parroquia Santa Ana se encuentra en el cantón Cuenca, provincia de Azuay, Ecuador. Es una de las parroquias rurales que conforman el territorio, caracterizándose por su topografía montañosa y un clima templado andino. Su principal actividad económica se basa en la agricultura y la ganadería, aunque también se observa un crecimiento en actividades comerciales y turísticas debido a su cercanía con la ciudad de Cuenca.

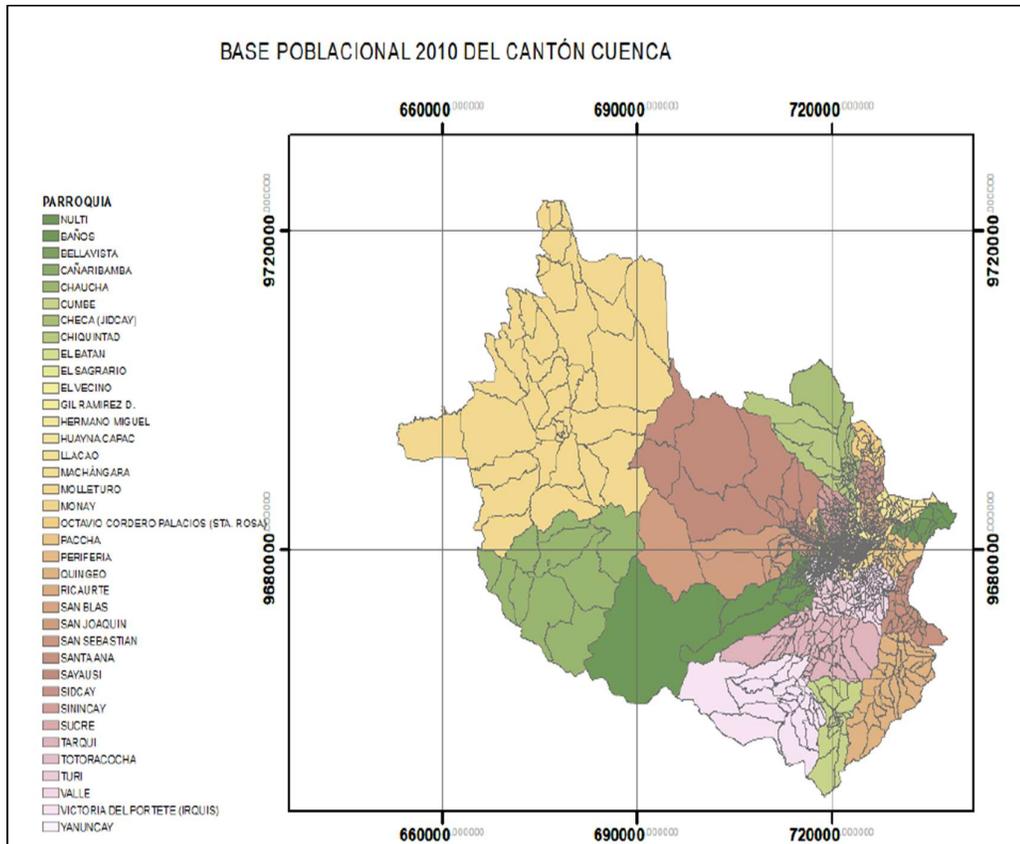


Figura 1. Parroquias del Cantón Cuenca - Fuente: ETAPA EP

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la parroquia Santa Ana cuenta con una población de aproximadamente 5,363 habitantes en el año 2022, distribuidos en 1,383 hogares, con un promedio de 3.88 personas por hogar.

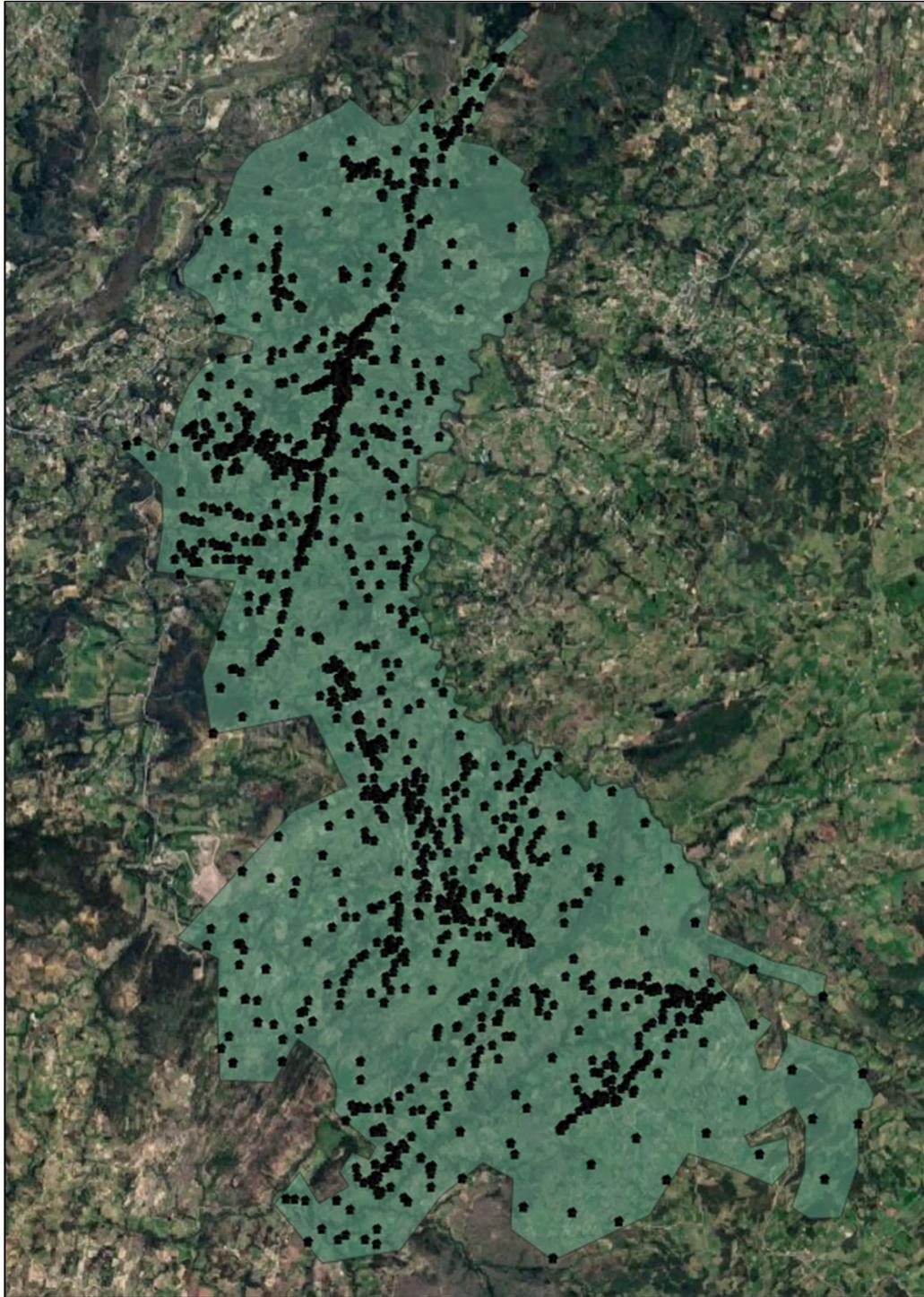


Figura 2. Distribución de viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: ETAPA-EP

Tabla N°: 1.2

Nombre de la tabla: Viviendas por tipo de vivienda (particulares y colectivas) y condición de ocupación, según provincia, cantón y parroquia

Fuente: VIII Censo de Población y VII de Vivienda

Elaboración: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis - CPV 2022

Provincia, cantón y parroquia	Número total de viviendas	Tipo de vivienda										
		Viviendas particulares						Viviendas colectivas				
		Ocupada con personas presentes	Ocupada con personas ausentes	De temporada o vacacional	Desocupada	En construcción	Total viviendas particulares	Con residentes habituales	Sin residentes habituales	Total viviendas colectivas		
Total Nacional	Nacional	Nacional	6,610,236	4,822,122	240,528	614,241	766,776	151,651	6,595,318	3,402	11,516	14,918
Azuy	Total Azuy	Total Azuy	352,814	228,860	13,308	51,497	49,002	9,131	351,798	228	788	1,016
Azuy	Cuenca	Total Cuenca	242,491	169,404	10,605	24,011	32,062	5,915	241,997	176	318	494
Azuy	Cuenca	Cuenca	146,292	107,060	6,889	10,729	18,894	2,334	145,906	165	221	386
Azuy	Cuenca	Santa Ana	3,340	2,033	38	639	467	160	3,337		3	3
Azuy	Cuenca	Sayausi	4,142	2,703	140	509	637	150	4,139		3	3
Azuy	Cuenca	Sidcay	2,432	1,437	100	474	328	91	2,430		2	2
Azuy	Cuenca	Sinincay	9,810	6,921	504	738	1,303	339	9,805	1	4	5
Azuy	Cuenca	Tarquí	5,832	3,576	411	684	910	248	5,829		3	3
Azuy	Cuenca	Turi	4,730	3,271	195	532	505	225	4,728	1	1	2
Azuy	Cuenca	Valle	13,283	9,653	238	1,353	1,538	496	13,278		5	5

Figura 3. Distribución de viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis – CPV 2022)

3.2. Infraestructura actual del sistema de distribución

El sistema de distribución de agua potable en la parroquia Santa Ana está diseñado para un caudal de 6 l/s en época invernal, siendo esta la máxima capacidad de tratamiento de la Planta potabilizadora. Esta planta se encuentra ubicada en el sector de Bella Unión y es la que alimenta a los distintos tanques de reserva, que a su vez llevan el agua a los distintos sectores de la parroquia; se detallan a continuación los diferentes tanques existentes en el sistema alimentado desde Bella Unión:

TANQUE	VOLUMEN (m ³)
Bella Unión	20
La Dolorosa	100
TRP Barzalitos	5
Ingapirca	20

Tepal	20
Santa Teresita	10
Trabana	20

Tabla 1. Volumen de reservorios Parroquia Santa Ana

Su captación es superficial Actualmente, la infraestructura del sistema está conformada por:

3.2.1. Captación:

El sistema de captación de agua cruda de la planta de tratamiento de la Parroquia Santa Ana se encuentra conformado por 12 vertientes en el sector de Quillosisa, Serracpamba y Cuncay, las cuales suministran un caudal que fluctúa de 4.5 a 7.5 l/s en época invernal. Sin embargo, durante la época de estiaje, este caudal se reduce significativamente, alcanzando valores de 1.5 a 2 l/s. El agua captada es transportada por gravedad y bombeo hasta la planta de tratamiento ubicada en el sector de Bella Unión.



Figura 4. Distribución de captaciones Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor

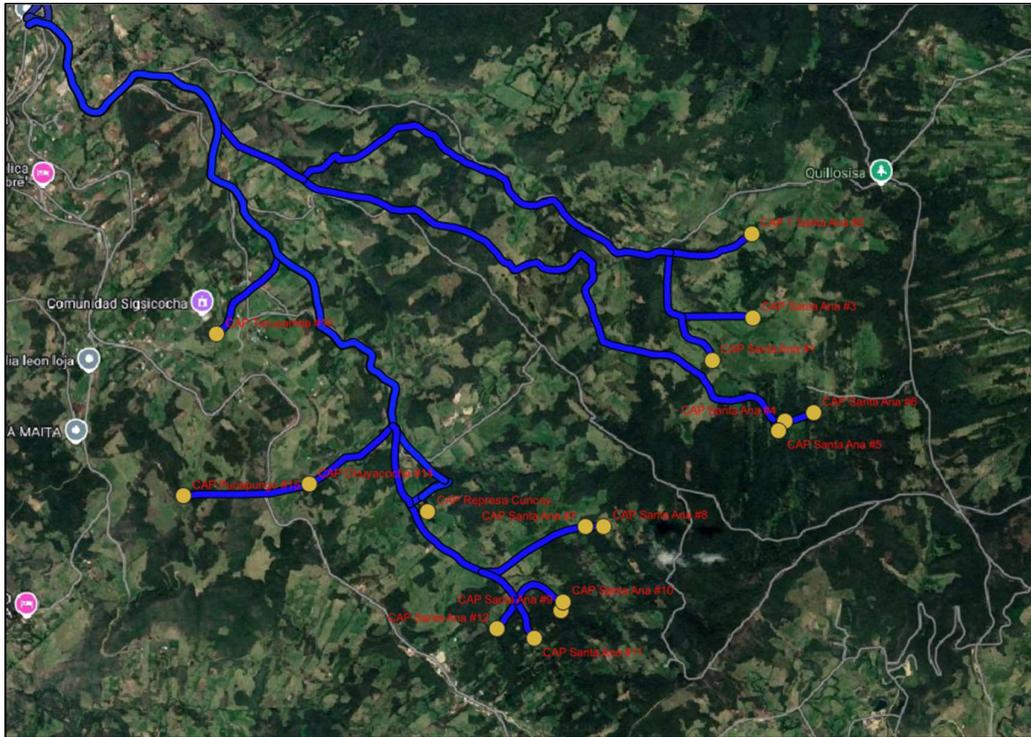


Figura 5. Distribución de captaciones Parroquia Santa Ana - Fuente: ETAPA-EP

Adicionalmente, en el dique del sector de Cuncay, se dispone de una estación de bombeo equipada con bombas sumergibles y una línea de impulsión de HG de 63 mm de diámetro, con una longitud aproximada de 180 metros. Este sistema permite elevar el agua cruda a un desnivel de 55 metros de altura hasta un tanque de reserva de 15 m³, ubicado en la parte alta. Dicho tanque cumple la función de tanque de carga, facilitando el transporte del agua cruda hacia la planta de tratamiento.

En la zona alta de las captaciones de Cuncay, se ha observado una notable reducción de la vegetación nativa, ya que ha sido reemplazada por pastos para la ganadería. Esta deforestación ha generado un impacto negativo en la captación, ya que en época invernal se produce una alta carga de sedimentos que terminan depositándose en la parte baja del dique.



Figura 6. Represa de Cuncay - Fuente: Autor

La represa de Cuncay logra almacenar un volumen total de 1800 m³; los cuales son aprovechados en época de estiaje, bombeando hacia una reserva y luego conducido a gravedad a la planta de Bella Unión; cómo se puede observar en la imagen el lavado de la represa de Cuncay no se lo ha realizado por un largo periodo, lo que significa que los sedimentos se encuentren asentados en el fondo de las reservas generando una reducción en el volumen de almacenamiento de la represa.

3.2.2. Conducción

El agua captada es transportada de las captaciones de Quillosisa y Serracpamba a gravedad por una tubería de 90 mm PVC con una longitud superior a los 6.5 Kilómetros. La conducción de la represa de Cuncay se lo realiza por una línea independiente desde el tanque de carga, ubicado en la parte alta del sector de Cuncay; es transportada a través de una línea de conducción de PVC de 63 mm de diámetro, con una longitud superior a cuatro kilómetros. La evaluación de la capacidad de transporte de esta línea indica un caudal de 1.5 l/s, valor que ha sido confirmado como el volumen efectivamente entregado a la planta de tratamiento de Bella Unión,

proveniente de la estación de bombeo de Cuncay. Este sistema de conducción es fundamental para garantizar la continuidad del abastecimiento de agua cruda hacia la planta en épocas de estiaje, asegurando su posterior tratamiento y distribución.



**Figura 7. Cajón de llegada de agua cruda a la Planta de Agua Potable Bella Unión – Fuente:
Autor**

En épocas de estiaje la conducción de bombeo es la que ayuda amortiguar la falta de caudal de la conducción de gravedad, gracias a esta conducción la planta puede mantener un ingreso de agua cruda para ser tratada en la planta de Bella Unión; por eso es indispensable mantener operativa la represa de Cuncay que es la almacena el agua cruda en épocas invernales.

3.2.3. Planta de Tratamiento:

La planta de tratamiento de agua está conformada por un sistema de mezcla de químicos, floculación y sedimentación. Su capacidad máxima de tratamiento es de aproximadamente 6 l/s.

El caudal de las doce vertientes captadas es de 6 l/s, los cuales se combinan en el cajón de mezcla de químicos con el caudal proveniente de Cuncay (1.5 l/s). Esto permite que la planta reciba un total de 7.5 l/s en época invernal, sin embargo, existen dificultades en el proceso de tratamiento debido a problemas en el sistema de floculación.

Uno de los principales inconvenientes radica en la insuficiente altura de las placas dentro de las unidades de floculación, lo que provoca que el agua sobrepase las placas, generando altas velocidades que destruyen los flóculos en formación dentro de las cámaras anteriores. Como consecuencia, el operador prefiere trabajar con un caudal menor a 6 l/s, a pesar de que este es el caudal de diseño original de la planta.



Figura 8. Planta de agua potable Bella Unión, Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor

Cuando la planta opera con 6 l/s, los flóculos no logran ser retenidos en su totalidad en los sedimentadores, siendo transportados hasta el filtro rápido, donde se acumulan y forman una lámina en la parte superior. Esto genera una obstrucción en el paso normal del agua, obligando al operador a realizar lavados frecuentes en la unidad, lo que provoca interrupciones en el sistema de tratamiento y afecta la producción de agua potable.

3.3. Demanda hídrica actual y proyectada

3.3.1. Población Actual y Proyección de Crecimiento

La parroquia de Santa Ana cuenta con una población actual de aproximadamente 7,027 habitantes en el año 2022, según el catastro de usuarios del sistema de agua potable y los datos del INEC. Tomando en cuenta la tasa de crecimiento poblacional y considerando el método geométrico de proyección, se estima que la población del año 2025 es de 7521 habitantes y para el año 2040 se estima que la población sea de 10,563 habitantes.



Tabla N°: 5.2
 Nombre de la tabla: Tasa de crecimiento promedio anual 2010-2022, según parroquia de residencia
 Fuente: VIII Censo de Población y VII de Vivienda
 Elaboración: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis – CPV 2022

Provincia, cantón y parroquia de residencia			Población 2010	Población 2022	Tasa de crecimiento promedio
Total Nacional	Total Nacional	Total Nacional	14,459,077	16,938,986	1.32
Azuay	Cuenca	Cuenca	334,015	361,524	0.66
Azuay	Cuenca	Baños	16,962	21,797	2.09
Azuay	Cuenca	Cumbe	5,501	6,455	1.33
Azuay	Cuenca	Chaucha	1,296	1,721	2.36
Azuay	Cuenca	Octavio Cordero Palacios	2,246	2,516	0.95
Azuay	Cuenca	Paccha	6,476	8,497	2.26
Azuay	Cuenca	Quingeo	7,436	7,318	-0.13
Azuay	Cuenca	Ricaurte	19,503	26,919	2.68
Azuay	Cuenca	San Joaquín	7,487	10,728	3.00
Azuay	Cuenca	Santa Ana	5,338	7,027	2.29

Figura 9. Tasa de crecimiento promedio anual 2010-2022, según parroquia de residencia - Fuente: INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis – CPV 2022)

Para determinar la población actual y futura del proyecto, fue necesario conocer cuál es la posible distribución de la población. Se deben tomar en cuenta el método tradicional como se muestra en la tabla siguiente.

Método	Fórmula
Geométrico	$P_f = P_o \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$

Tabla 2. Método de cálculo para determinar la población futura - Fuente: Autor

Dónde:

P_f : Población Futura en Hab.

P_o : Población Inicial en Hab.

i : Tasa de Crecimiento Poblacional

t : Periodo de Diseño en años

3.3.2. Dotación de Agua Potable

De acuerdo con la Norma CO 10.7-601, para una población mayor a 5,000 habitantes con un clima frío, la dotación media de agua potable se establece en 180 l/hab/día. Con esta dotación y la población actual, el consumo de agua potable se calcula de la siguiente manera:

- **Población Actual (2025):** 7,521 habitantes
- **Dotación Media Futura:** 180 l/hab/día
- **Caudal Medio Diario (qmd):**

$$qmd = \frac{7,521 \times 180}{86,400} = 15.66 \text{ l/s}$$

3.3.3. Caudales de Diseño

El dimensionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable debe considerar los siguientes caudales de diseño:

- **Caudal Medio Diario (qmd):** 15.66 l/s
- **Caudal Máximo Diario (QMD):** Se obtiene multiplicando el caudal medio diario por un coeficiente de variación (K1) de 1.4.

$$QMD = 1.4 \times 15.66 = 21.94 \text{ l/s}$$

- **Caudal Máximo Horario (QMH):** Considerando un coeficiente K2 de 2.0, el caudal máximo horario es:

$$QMH = 2.0 \times 15.66 = 31.34 \text{ l/s}$$

Estos valores reflejan las condiciones actuales del sistema y la capacidad requerida para garantizar el abastecimiento continuo.

3.3.4. Análisis de la Disponibilidad del Recurso Hídrico

El sistema de abastecimiento de Santa Ana enfrenta desafíos importantes en la disponibilidad de agua, especialmente en épocas de estiaje, cuando el caudal de las fuentes de captación puede reducirse significativamente. Actualmente, el sistema requiere un caudal medio diario de 15.66 l/s para atender la demanda de todos los usuarios registrados.

Se han realizado estimaciones de disponibilidad hídrica a lo largo del año, observándose que, en los meses de menor precipitación (agosto a diciembre), el caudal disponible puede ser insuficiente para cubrir la demanda, lo que requiere estrategias de almacenamiento y regulación.

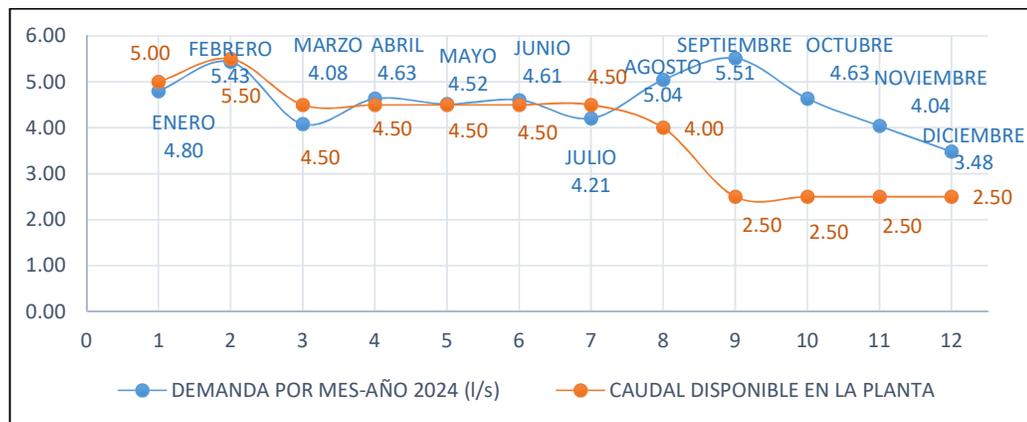


Figura 10. Demanda vs Caudal disponible en la planta por mes - Fuente: Autor

El caudal disponible en la planta de tratamiento de agua potable de la Parroquia Santa Ana fluctúa entre los 4.5 a 5.5 l/s en épocas invernales y en épocas de estiaje ha llegado a bajar el caudal de 1.5 a 2 l/s. Lo que significa no poder cubrir con el caudal medio diario 15.66 l/s, debido a la capacidad limitada de la planta de tratamiento de agua potable. Lo que significa tener un servicio racionado por horas por parte de ETAPA-EP durante todo el año.

3.3.5. Proyección de Demanda Hídrica para 2040

Con base en el crecimiento proyectado de la población y la dotación establecida por las normativas, se estima que para el año 2040, la demanda de agua potable en la parroquia Santa Ana será:

- **Población futura (2040):** 10,563 habitantes
- **Dotación media futura:** 180 l/hab/día
- **Caudal Medio Diario (qmd) proyectado:**

$$qmd = \frac{10,563 \times 180}{86,400} = 22.00 \text{ l/s}$$

- **Caudal Máximo Diario (QMD):**

$$QMD = 1.4 \times 22.00 = 30.8 \text{ l/s}$$

- **Caudal Máximo Horario (QMH):**

$$QMH = 2.0 \times 32.28 = 44.00 \text{ l/s}$$

La deficiencia actual en la demanda de la población implica la necesidad de expandir la capacidad del sistema, mejorar la infraestructura de captación y almacenamiento, y evaluar fuentes alternativas para garantizar el suministro de agua potable futuro a la Parroquia Santa Ana.

3.4. Problemática identificada

El sistema de captación y tratamiento de agua en la parroquia presenta una serie de problemas que afectan su eficiencia operativa y la calidad del servicio. Entre las principales problemáticas identificadas se encuentran:

3.4.1. Sedimentación excesiva en la captación:

- La deforestación en la zona del reservorio ha provocado un aumento en el transporte de sedimentos hacia la captación, afectando la calidad del agua cruda.
- Los sedimentos acumulados en la parte baja del dique han generado fallas constantes en las bombas sumergibles, lo que ha ocasionado su quemado y reemplazo frecuente.

- A pesar de los esfuerzos del equipo de operación y mantenimiento para limpiar el dique, la recuperación del nivel normal del reservorio es un proceso lento, lo que genera interrupciones en el abastecimiento.

3.4.2. Deficiencias en el sistema de floculación:

- La insuficiente altura de las placas en las unidades de floculación genera un flujo descontrolado dentro del sistema, impidiendo la adecuada formación de flóculos.
- Cuando la planta opera con 6 l/s, los flóculos no se retienen completamente en los sedimentadores, afectando el rendimiento del tratamiento.

3.4.3. Interrupciones en la producción de agua potable:

- La obstrucción del filtro rápido debido a la acumulación de flóculos obliga al operador a realizar lavados constantes, interrumpiendo la producción de agua y reduciendo la capacidad operativa de la planta.

3.4.4. Deficiencia en la Capacidad de producción de agua potable de la planta

- Para garantizar un servicio continuo en la parroquia Santa Ana, se requiere un flujo de 15.66 l/s. Sin embargo, la planta de tratamiento en funcionamiento fue diseñada con una capacidad de 5.5 a 6 l/s, lo que resulta insuficiente para cubrir la demanda actual y futura.
- Además, debido a que la planta depende de captaciones propias, el caudal disponible disminuye hasta 4.5 l/s en épocas de estiaje, lo que genera que a más de tener un servicio racionado por parte de ETAPA-EP; en épocas de estiaje se presente mayores discontinuidades en el suministro del servicio y afecta a la dotación de agua potable de la Parroquia Santa Ana.

Estas problemáticas evidencian la necesidad de mejorar la infraestructura del sistema de captación y tratamiento, optimizando los procesos de floculación y sedimentación, además de garantizar una fuente de abastecimiento confiable que permita cubrir la demanda hídrica de la parroquia Santa Ana.

4. METODOLOGÍA

Este capítulo describe los métodos utilizados para la recopilación de datos, la construcción del modelo de simulación y la evaluación de escenarios operativos en el sistema de distribución de agua potable de la Planta Bella Unión, ubicada en la parroquia Santa Ana. La metodología se estructura en tres etapas principales: recolección de datos, modelado del sistema de distribución y simulación de escenarios operativos.

4.1. Recolección de datos

Para la correcta simulación y evaluación del sistema de distribución de agua potable, se requiere una recopilación exhaustiva de información sobre la infraestructura existente, los patrones de consumo y las condiciones operativas del sistema.

4.1.1. Censo de tanques de reserva de agua potable en viviendas de clientes de ETAPA EP

Se realizó un muestreo de tanques de reserva de 113 viviendas del Sector Los Laureles, con la finalidad de conocer la capacidad de almacenamiento en viviendas y su impacto en la distribución del agua potable.

ítem	X:	Y:	CODIGO:	V Res (m3)
1	731027.722	9674516.47	A0147540	5
2	730356.52	9674552.52	A0147485	2.5
3	730939.37	9674556.39	A0147506	2.5
4	730899	9674562	A0150055	1.1
5	730899	9674562	A0150056	1.1
6	730740.576	9674566.77	A0147497	1.1
7	730905.862	9674581.76	A0147505	5
8	730362.737	9674583.8	A0147483	2.5
9	730362.737	9674583.8	A0147484	2.5
10	730350.775	9674586.17	A0147482	0
11	730805.129	9674598.75	A0147501	2.2
12	730879.602	9674598.8	A0147503	2.5
13	730460.561	9674600.18	A0147486	2.5
14	730759.61	9674600.88	A0147498	2.2
15	730504.777	9674603.54	A0147488	2.5
16	730790.101	9674606.27	A0147499	1.1
17	730791.555	9674606.81	A0147500	1.1
18	730475.424	9674613.41	A0147487	2.5
19	730803.318	9674626.06	A0147502	1.1
20	731014.338	9674627.12	A0147537	1.1
21	730991.14	9674628.87	A0147536	0
22	730929.405	9674633.14	A0147324	0.5
23	730947.058	9674639.16	A0147322	0
24	730947.058	9674639.16	A0147323	1.1
25	730730.829	9674639.94	A0147496	1.1
26	730991.619	9674642.35	A0147535	5
27	730910.897	9674644.79	A0147321	2.5
28	730872.171	9674647.16	A0147325	1.1
29	731019.68	9674648.38	A0147534	5
30	730831.299	9674652.88	A0147327	0.5
31	730844.175	9674653.27	A0148559	10

32	730488.413	9674661.09	A0147489	5
33	730780.082	9674671.19	A0147331	1.1
34	730803.43	9674674.75	A0147328	0.5
35	730795.633	9674678.77	A0147329	0.25
36	730795.633	9674678.77	A0147330	0.5
37	730713.968	9674681.4	A0147495	1
38	730407.323	9674694.32	A0147367	1.1
39	730767.117	9674695.48	A0147332	0.5
40	730288.26	9674695.85	A0147481	2.5
41	730403.775	9674698.4	A0147368	1.1
42	730682.9	9674699.97	A0147494	2.5
43	730381.921	9674702.68	A0147369	1.1
44	730381.921	9674702.68	A0147370	1.1
45	730365.711	9674714.96	A0147371	1.1
46	731078	9674716	A0129965	0
47	730873.48	9674724.31	A0147320	1.1
48	730458.92	9674727.37	A0148560	0.5
49	730656.702	9674729.53	A0147493	1.1
50	730391.741	9674732.69	A0147364	0
51	730366.372	9674735.15	A0147365	2.5
52	730469.479	9674737.69	A0147360	1.1
53	731095.834	9674739.84	A0147529	2.5
54	731095.865	9674740.38	A0147530	2.5
55	730636.252	9674742.59	A0147492	1.1
56	730360.603	9674743.02	A0147366	2.5
57	730625.7	9674747.57	A0147491	1.1
58	730437.639	9674748.13	A0147361	1.1
59	730435.758	9674748.36	A0147362	2.5
60	731099.76	9674750.23	A0147528	2.5
61	730484.19	9674751.16	A0147359	1.1
62	730404.956	9674751.75	A0148561	0.5
63	730402.222	9674752.16	A0147363	1.6
64	730458	9674753	A0129924	1.1

65	730534.719	9674757.22	A0147490	5
66	730468.532	9674757.41	A0147358	2.5
67	730232.213	9674758.49	A0147479	1.1
68	730718.463	9674760.88	A0147334	1.1
69	730718.463	9674760.88	A0147335	1.1
70	730234.623	9674761.81	A0147478	1.1
71	730473.22	9674764.43	A0147357	5
72	730729.48	9674765.79	A0147333	1
73	730688.773	9674769.96	A0147336	1.1
74	730482.707	9674776.99	A0147356	5
75	730661.953	9674779.37	A0147338	1.1
76	730688.963	9674780.93	A0147337	1.1
77	731106.062	9674783.69	A0147526	5
78	730550.19	9674785.46	A0147351	1.1
79	730552.002	9674786.37	A0147352	1.1
80	730646.058	9674788.66	A0147339	0.5
81	730563.885	9674789.2	A0147353	5
82	730563.004	9674794.95	A0147355	2.5
83	731104.499	9674799.67	A0148563	10
84	730525.535	9674801.36	A0147346	0
85	730588.385	9674801.8	A0147354	0.5
86	730502.778	9674802.46	A0147350	1
87	730502.837	9674804.36	A0147349	2.5
88	730511.61	9674814.13	A0147348	0
89	730531.818	9674814.65	A0147345	0.5
90	730514.844	9674817.19	A0147347	2.5
91	730495.971	9674820.09	A0129889	0
92	731016.801	9674832.96	A0147317	2.5
93	730549.105	9674847.12	A0147344	2.5
94	731019.455	9674849.96	A0147316	2.5
95	731109.15	9674851.24	A0147523	1.1
96	731109.049	9674861.45	A0147522	5
97	731059.831	9674877.03	A0147520	5

98	731059.831	9674877.03	A0147521	1.1
99	730554.042	9674909.21	A0147378	1.1
100	730554.351	9674927.89	A0147379	1.1
101	730559.557	9674928.63	A0147380	1.1
102	731123.723	9674936.27	A0147517	2.5
103	730557.818	9674951.59	A0147381	1.1
104	731126.478	9674957.06	A0147516	1.1
105	730581.605	9674959.73	A0147382	1.1
106	731089.881	9674960.71	A0147312	1.1
107	731125.427	9674964.12	A0129878	1.1
108	731152.833	9674982.64	A0147515	1.1
109	730537.282	9674990.01	A0147383	0
110	731159.716	9675000.91	A0147514	1.1
111	730497.116	9675026.25	A0147384	1.1
112	730561.855	9675116.42	A0147385	1.1
113	730448.099	9675171.55	A0147386	3.3

Tabla 3. Censo de Tanques de reserva comunidad los Laureles - Fuente: Autor

Del censo realizado se aprecia que la mayoría de la población posee un tanque de reserva para acaparar agua y realizando la sumatoria de todos los reservorios, se cuantifica un volumen total de 211,75 m³ que tienen que ser cubiertos por la red de distribución.

En la siguiente imagen se puede observar la ubicación de las viviendas que se utilizaron para el muestreo del volumen de los tanques reservorios que posee cada usuario.

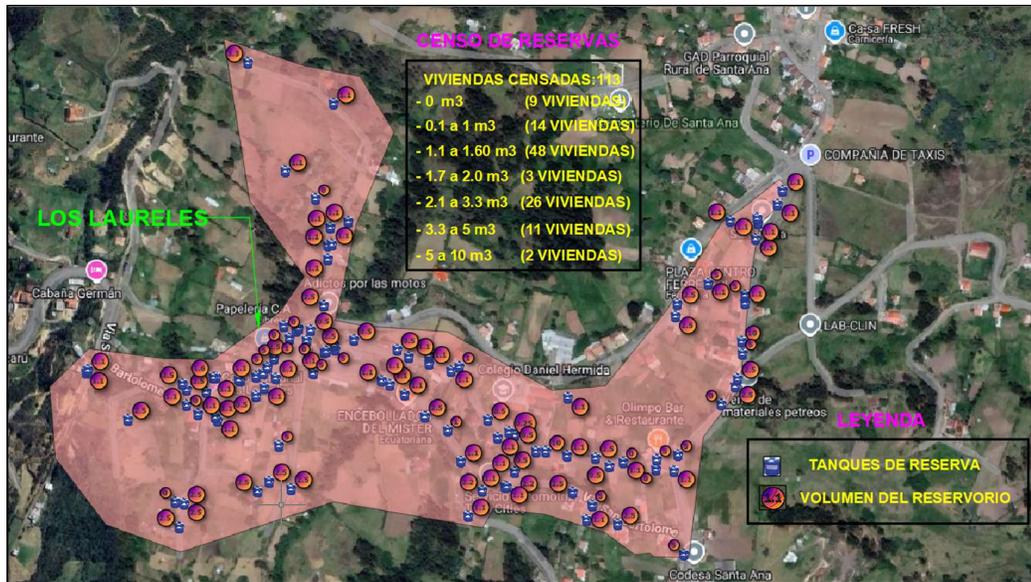


Figura 11. Ubicación de tanques de reserva Comunidad los Laureles - Fuente: Autor

Al considerar el volumen de los tanques de reserva de cada vivienda, se puede analizar la influencia que generan estos en la presión, caudal y continuidad del servicio del sistema; observándose a su vez que muchas de las viviendas cuentan con reservas sobredimensionadas.

Tomando como referencia un consumo promedio de la micro medición entregada por ETAPA EP de 80 litros/habitante/día y los datos del INEC, que indican un promedio de 3.88 habitantes por medidor, se puede obtener su consumo diario por medidor:

$$\text{Consumo diario} = 80 \frac{l}{\text{hab}} \times 3.88 \frac{\text{hab}}{\text{medidor}} = 310 \text{ l/día/medidor}$$

Proponiendo una sectorización del sistema cada 3 días,

$$\begin{aligned} \text{Volumen de reserva necesario} &= 310 \frac{l}{\text{medidor}} \times 2 \text{ día} = 930 \frac{l}{\text{medidor}} \\ &= 0.93 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Con esto se puede observar que el 83% de la población posee tanques de reserva con capacidad suficiente, que les permitirían recolectar y almacenar agua para amortiguar

los efectos de la sectorización, asegurando la continuidad del servicio. Esta estrategia facilitará la presurización de las redes de distribución, mejorando la operación y eficiencia del sistema de agua potable en la parroquia Santa Ana.

4.1.2. Toma de datos de campo de la infraestructura administrada por ETAPA EP

Se realizó un levantamiento de la infraestructura del sistema de distribución, identificando los elementos clave, tales como:

- **Red de tuberías:** diámetros, materiales y longitudes.
- **Tanques de almacenamiento:** volumen de reserva y niveles de operación.
- **Válvulas de control y regulación:** ubicación y funcionamiento.
- **Presiones y caudales en puntos estratégicos de la red:** se realizó mediciones en puntos críticos para establecer condiciones base del sistema.
- **Tanques rompe presiones:** Se analizó su ubicación, diseño y función dentro de la red para garantizar un control adecuado de las presiones en zonas con diferencias altimétricas significativas.

Estos datos permitieron la construcción de un modelo preciso del sistema y su validación posterior.

4.1.3. Levantamiento de datos topográficos

Para la calibración y evaluación del sistema de agua potable de la parroquia Santa Ana, la topografía desempeña un papel fundamental en la identificación de problemas de presión dentro de las redes de distribución.

El análisis del relieve permite detectar puntos críticos donde pueden producirse descargas significativas, afectando el funcionamiento del sistema. Al identificar estos puntos estratégicos, es posible implementar mejoras operativas, optimizando la eficiencia de la distribución y garantizando un servicio más estable y equitativo para la comunidad.

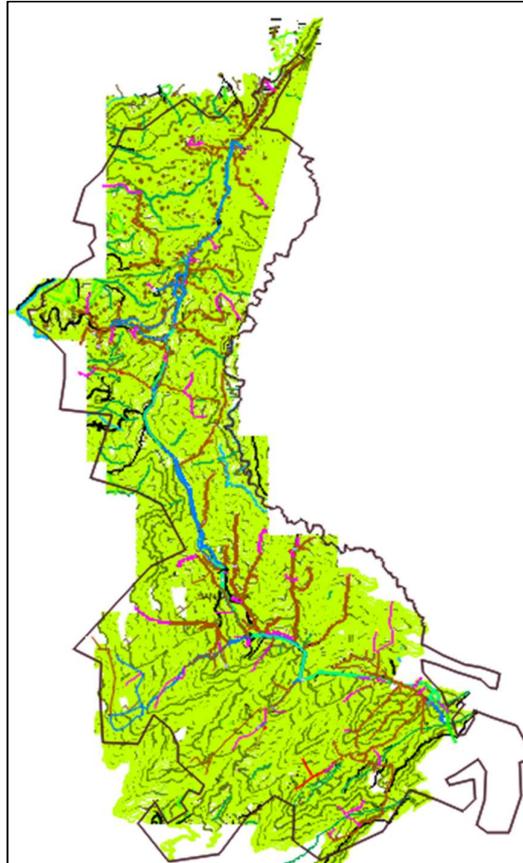


Figura 12. Topografía Parroquia Santa Ana - Fuente: ETAPA-EP

La información topográfica fue proporcionada por ETAPA EP como se indica en la figura. Las curvas de nivel que se encuentran delimitadas por el área de cobertura de la Parroquia Santa Ana serán utilizadas en la modelación del sistema para poderle proyectarles en los nodos y elementos hidráulicos con sus elevaciones correspondientes.

4.1.4. Registro de consumo y caudal mediante micro medición

El monitoreo del consumo de los usuarios es clave para simular el comportamiento real del sistema. Se utilizaron datos de micro medición de usuarios residenciales, obtenidos de los registros del departamento de comercialización de ETAPA EP. (Revisar Anexo de Consumos de Micro medición)

4.1.5. Análisis de tarifas de cobro de consumos de agua potable

El análisis tarifario permitió evaluar la relación entre el costo del servicio y el consumo de los usuarios en la parroquia Santa Ana. Se realizó una comparación entre las tarifas urbanas de Cuenca y las tarifas únicas rurales aplicadas en Santa Ana.

Este análisis evidenció que las tarifas rurales, al no considerar las particularidades del sistema y los costos reales de operación, se convierten en un factor que contribuye a los problemas existentes en la distribución de agua potable en la parroquia. La falta de un esquema tarifario ajustado a las necesidades locales dificulta la sostenibilidad del sistema y la implementación de mejoras operativas y de infraestructura.

SISTEMA	CATEGORÍA	Rangos de consumo (m ³)	Cargo por disponibilidad (US\$/mes)	Cargo variable (US\$/m ³)
TUTUPALI	RESIDENCIAL	0 - 20	\$ 0,20	\$ 0,000
		21 - 30		\$ 0,020
		31 - 40		\$ 0,040
		41 en adelante		\$ 0,080
CHAULLAYACU	RESIDENCIAL	0 - 15	\$ 1,50	\$ 0,000
		16 - 20		\$ 0,200
		21 - 25		\$ 0,300
		26 - 30		\$ 0,400
GUALAY	RESIDENCIAL	31 - 50	\$ 1,55	\$ 0,500
		0 - 15		\$ 0,000
		16 - 20		\$ 0,130
		21 - 25		\$ 0,170
		26 - 30		\$ 0,220
PUCACRUZ	RESIDENCIAL	31 - 35	\$ 2,50	\$ 0,290
		36 - 40		\$ 0,370
		41 en adelante		\$ 0,480
		0 - 10		\$ 0,000
MOLLETURO	RESIDENCIAL	11 - 15	\$ 0,08	\$ 0,400
		16 en adelante		\$ 0,600
		0 - 15		\$ 0,000
		16 - 20		\$ 0,016
TARQUI	RESIDENCIAL	21 - 30	\$ 2,50	\$ 0,032
		31 - 40		\$ 0,048
		0 - 14		\$ 0,000
QUINGELOMA	RESIDENCIAL	15 en adelante	\$ 2,50	\$ 0,250
		0-15		\$ 0,000
TARIFA UNICA RURAL	RESIDENCIAL	16 en adelante	\$ 2,00	\$ 0,250
		0-5		\$ 0,020
		6-15		\$ 0,050
		16-30		\$ 0,300
		31 en adelante		\$ 0,700

Tabla 4. Pliegos Tarifarios Otros Sistemas - Fuente: ETAPA EP

4.2. Modelado del Sistema de Distribución

El modelado del sistema se llevará a cabo utilizando WaterGEMS, un software especializado en simulación hidráulica de redes de distribución de agua potable.

4.2.1. Construcción del modelo hidráulico en WaterGEMS

QGIS ofrece una amplia y creciente gama de capacidades mediante sus funciones básicas y complementos, permitiendo la visualización, gestión, edición y análisis de datos, así como el diseño de mapas imprimibles. (<https://www2.qgis.org/es/site/about/index.html>)

En este proyecto, QGIS fue utilizado para dividir las áreas de aporte correspondientes a cada una de las reservas analizadas. Con los datos de micro medición proporcionados por el departamento de Comercialización de ETAPA-EP, se logró asignar la cantidad de usuarios pertenecientes a cada una de las redes de distribución de agua potable que conforman el sistema de agua de la parroquia Santa Ana.

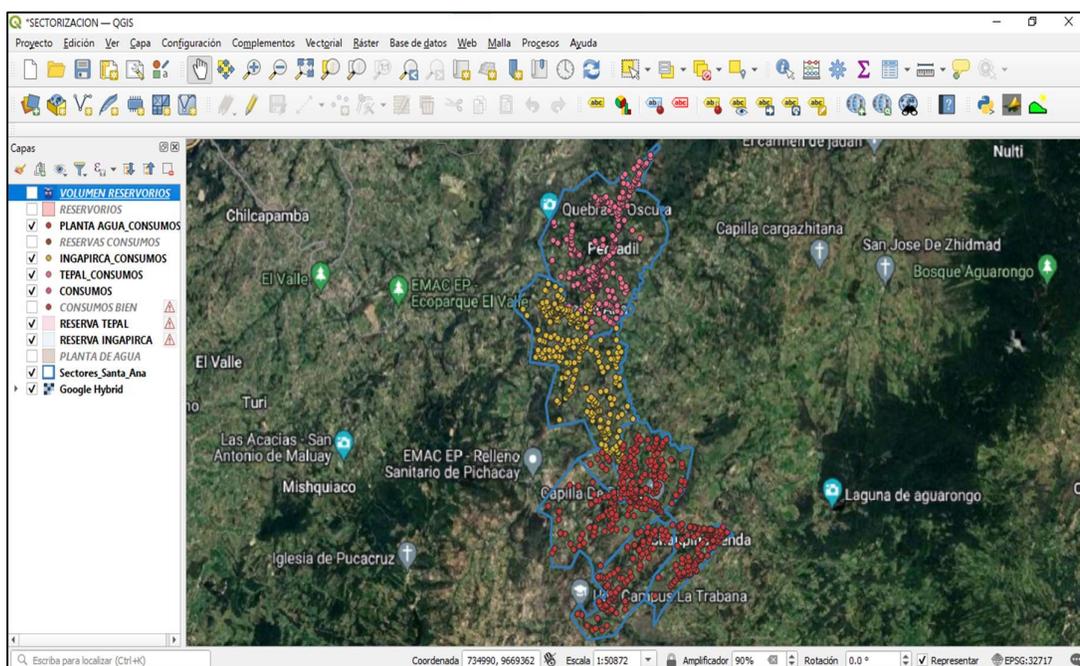


Figura 13. Interfaz QGIS - Fuente: Autor

Con el programa QGIS se dibujó el polígono del área de cobertura de la empresa ETAPA EP en la parroquia Santa Ana, además con los datos facilitados por el departamento de comercialización se procedió a georreferenciar cada uno de los medidores pertenecientes al catastro de ETAPA EP en el área de estudio.

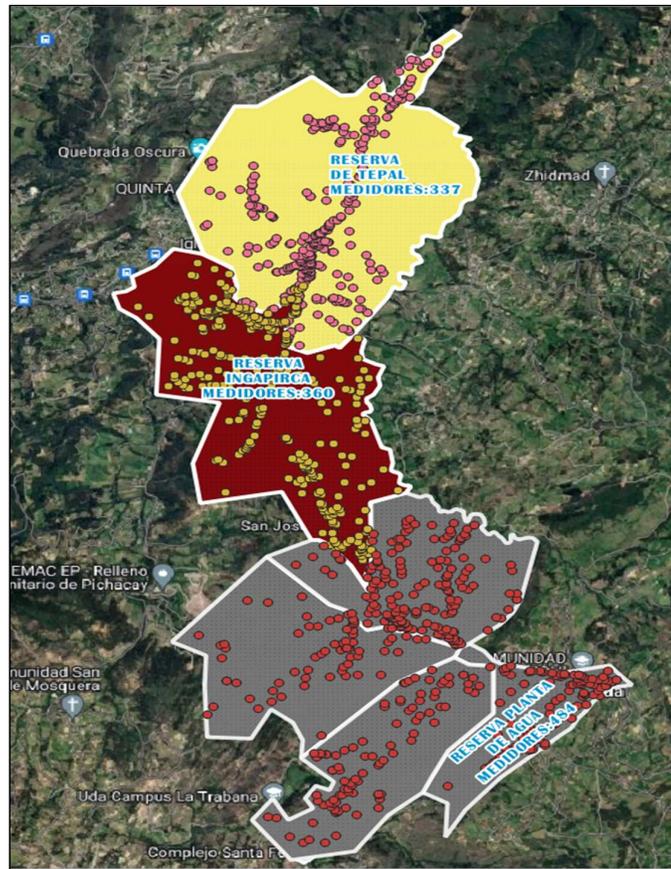


Figura 14. Distribución de usuarios por reservorio - Fuente: ETAPA-EP

Con los datos de micro medición proporcionados por la empresa ETAPA-EP, se logró determinar la cantidad de usuarios asignados a cada una de las reservas que abastecen las redes de distribución de agua potable, las cuales conforman el sistema de abastecimiento de la parroquia Santa Ana.

X	Y	INSID	INLVALLE	INLLECAN	LECTURA	INLMEDID	LECTURA VA	Q	HMINLINK	
350	730850.1210369...	9674296.735090...	A0147565	2121	2110	11	2000133565	11	0.004243827160...	436
351	730517.3751910...	9674303.704010...	A0147605	0	3072	-3072	2004065632	0	0	0
352	730485.5877629...	9674306.744300...	A0147603	5610	5593	17	2002116820	17	0.006558641975...	190
353	731007.4317560...	9674309.381510...	A0147549	2466	2456	10	2002115626	10	0.003858024691...	414
354	730497.7568269...	9674320.689510...	A0147604	1485	1475	10	2014905010	10	0.003858024691...	190
355	730366.8331610...	9674327.500770...	A0147601	995	992	3	2004086201	3	0.001157407407...	193
356	731018.1656949...	9674337.499220...	A0147548	496	494	2	2010941834	2	0.000771604938...	414
357	730123.9853459...	9674459.037280...	A0147480	663	660	3	2002115795	3	0.001157407407...	557
358	729920.3913640...	9674693.418609...	A0147467	545	520	25	2021920174	25	0.009645061728...	557
359	729919.0000000...	9674694.000000...	A0153714	912	887	25	2017013552	25	0.009645061728...	557
360	729835.2047119...	9674798.312119...	A0147465	2494	2494	0	1999024694	0	0	0

Figura 15. Medidores pertenecientes a la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor

RESERVAS SANTA ANA		
TEPAL	#MEDIDORES	337
INGAPIRCA	#MEDIDORES	360
DOLOROSA	#MEDIDORES	484
TOTAL:		1181

Tabla 5. Medidores por reserva - Fuente: Autor

De los datos procesados en QGIS se pudo observar que hay un total de 1181 medidores que son alimentadas de los reservorios en estudio; además la máxima demanda se concentra en la reserva de la Dolorosa con un total de 484 medidores presentes en la misma.

Con el programa WaterGEMS que es una herramienta de ayuda para la toma de decisiones completa y fácil de usar para los profesionales del agua que diseñan, planifican y operan sistemas de distribución de agua. El software le ayuda a mejorar su conocimiento acerca del comportamiento de la infraestructura como un sistema, la forma en que reacciona ante las estrategias operativas y cómo debe crecer a medida que aumenta la población y las demandas.

(https://datuming.com/producto/watergems/?srsltid=AfmBOooUvBwBAv_5-eIE21BpXEGuisV927QD1P33rkndd_LzWc_H7ERy)

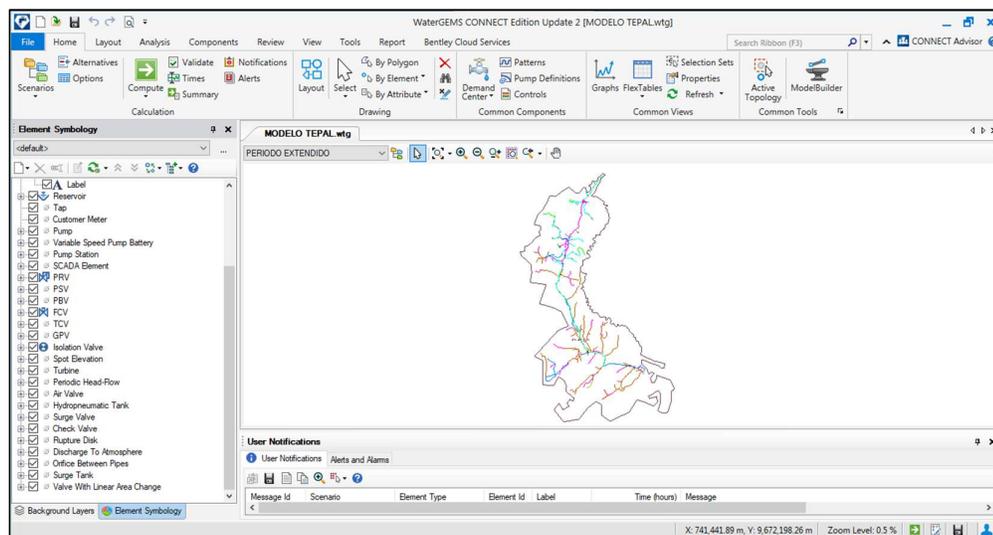


Figura 16. Pantalla WaterGEMS - Fuente: Autor

4.2.2. Información de tuberías, nodos y asignación de propiedades

Para obtener la información de las tuberías la empresa ETAPA-EP en el 2019 tuvo que realizar un levantamiento catastral de todas las redes pertenecientes al sistema de agua potable de la Parroquia Santa Ana; ya que antes era administrado por una junta de agua llamada CODESA, los mismos que no poseían un plano digital de las redes existente del sistema. Con los datos proporcionados por la empresa ETAPA EP se pudo realizar una cuantificación de las redes que pertenecen al sistema de distribución de agua potable de la Parroquia Santa Ana.

Diámetro	Material	Longitud (m)
32 mm	PVC	20572.94
63 mm	PVC	15076.4
25 mm	PVC	11791.28
20 mm	PVC	415.21
50 mm	PVC	517.75
110 mm	PVC	81.52
Longitud Total (m):		48455.1
Longitud Total (km):		48.4551

Tabla 6. Longitud y diámetros de tuberías de Agua Potable de la Parroquia Santa Ana – Fuente: Autor

Del catastro actualizado al 2024 se aprecia una longitud total de tuberías de 48,5 km aproximadamente, haciendo referencia que las tuberías de mayor longitud son las tuberías de diámetros pequeños las cuales deben ser consideradas para un cambio futuro. Este tipo de sistema fue construido con materiales donados a la Parroquia Santa Ana y por mingas comunitarios realizadas por los moradores del sector. Por eso es que existe lugares en los que las tuberías pasan de diámetros grandes a diámetros pequeños sin ningún direccionamiento técnico.

4.2.3. Validación y calibración del modelo

Para la validación y calibración del modelo en la parroquia Santa Ana, se realizó un registro de datos durante varios días, monitoreando la variación del nivel de cada reserva en función del tiempo. Esta información permitió generar curvas de comportamiento, las cuales fueron fundamentales para modelar con precisión la dinámica real de las redes de distribución y reservorios.

A partir de estos datos, se llevó a cabo la calibración del modelo hidráulico utilizando el software WaterGEMS, asegurando que la simulación reflejara fielmente las condiciones operativas del sistema de abastecimiento de agua potable.



Figura 17. Toma de datos Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor



Figura 18. Toma de datos Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor



Figura 19. Toma de datos Reserva de Tepal - Fuente: Autor



Figura 20. Toma de datos Reserva de Tepal - Fuente: Autor



Figura 21. Toma de datos Reserva de Ingapirca - Fuente: Autor



Figura 22. Toma de datos Reserva de Ingapirca- Fuente: Autor



Figura 23. Toma de datos Reserva de la planta Bella Unión - Fuente: Autor



Figura 24. Toma de datos Reserva de la planta Bella Unión - Fuente: Autor



Figura 25. Toma de datos Reserva San Antonio de Trabana - Fuente: Autor



Figura 26. Toma de datos Reserva San Antonio de Trabana - Fuente: Autor



Figura 27. Toma de datos Reserva del Salado - Fuente: Autor



Figura 28. Toma de datos Reserva del Salado - Fuente: Autor



Figura 29. Toma de datos Reserva de Playa de los Angeles - Fuente: Autor



Figura 30. Toma de datos Reserva de Playa de los Angeles - Fuente: Autor

La toma de datos fue realizada en colaboración con el personal de la Subgerencia de Operaciones de Agua Potable y Saneamiento. La cuadrilla del Departamento de Agua Potable Periférico está conformada por dos plomeros, dos peones y una camioneta, equipo encargado de atender reclamos y llevar a cabo la operación de las válvulas del sistema.

Gracias al apoyo del personal de ETAPA EP, se logró recopilar los datos necesarios para la modelación hidráulica, permitiendo la calibración del modelo y facilitando la toma de decisiones sobre el comportamiento de las reservas y la gestión operativa del sistema de distribución de agua potable.

4.3. Simulación de Escenarios operativos

4.3.1. Condiciones actuales del sistema de distribución

El sistema de distribución de agua potable está compuesto, en su mayoría, por tuberías de materiales antiguos, lo que ha generado problemas de fugas y deterioro con el tiempo. Además, se han identificado tuberías con diámetros que no cumplen con las especificaciones mínimas establecidas por ETAPA EP, lo que impide que tengan la capacidad adecuada para satisfacer la demanda de la población.

El sistema de distribución no tiene un trazado óptimo de la red, lo que ha generado dificultades en la modelación hidráulica, mantenimiento y reparación del sistema. Se ha identificado que varias redes están interconectadas con los reservorios, lo que genera confusión al momento de su modelación. En algunas zonas, por una misma zanja han sido instaladas hasta tres redes diferentes, de las cuales dos corresponden a redes de distribución y una a la conducción hacia la reserva, lo que ocasiona errores en la asignación de la demanda a los nodos dentro del modelo.

Para lograr un modelo hidráulico pegado a la realidad, se generaron polígonos de consumo para cada una de las reservas, asignando las demandas de micro medición proporcionadas por el departamento de Comercialización de ETAPA EP. Posteriormente, se modelaron las redes de distribución de cada una de las reservas y se calibró el modelo mediante mediciones tomadas en campo, en conjunto con el personal de operación y mantenimiento de ETAPA EP.

Este proceso permitió mejorar la precisión de la modelación y optimizar la gestión del sistema de distribución, facilitando futuras intervenciones y mejoras en la infraestructura.

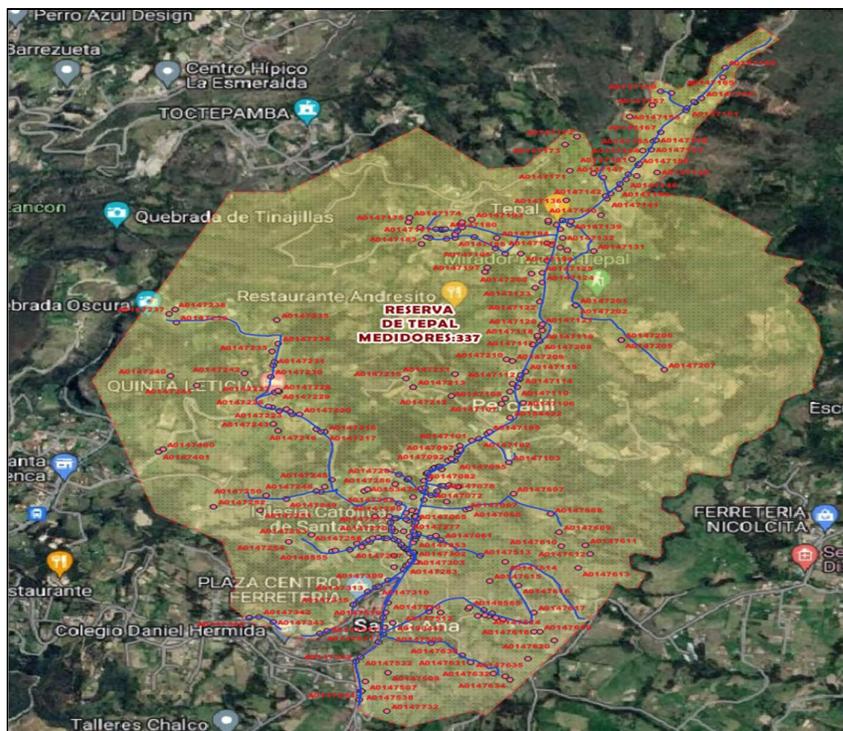


Figura 31. Distribución de usuarios reserva Tepal (337 usuarios) - Fuente: ETAPA-EP

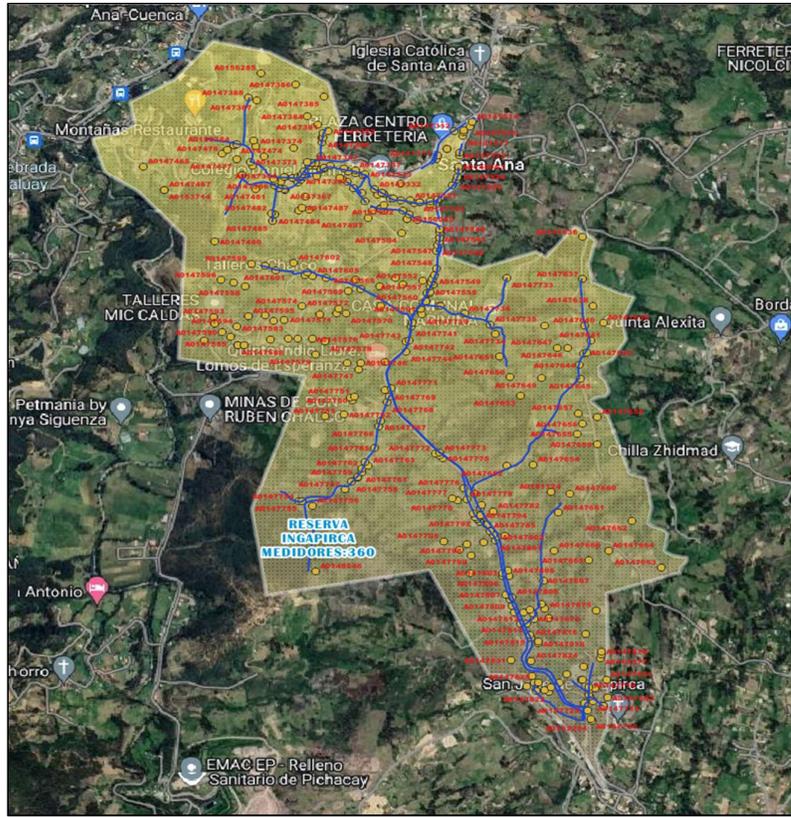


Figura 32. Distribución de usuarios reserva Ingapirca (360 usuarios) - Fuente: ETAPA-EP

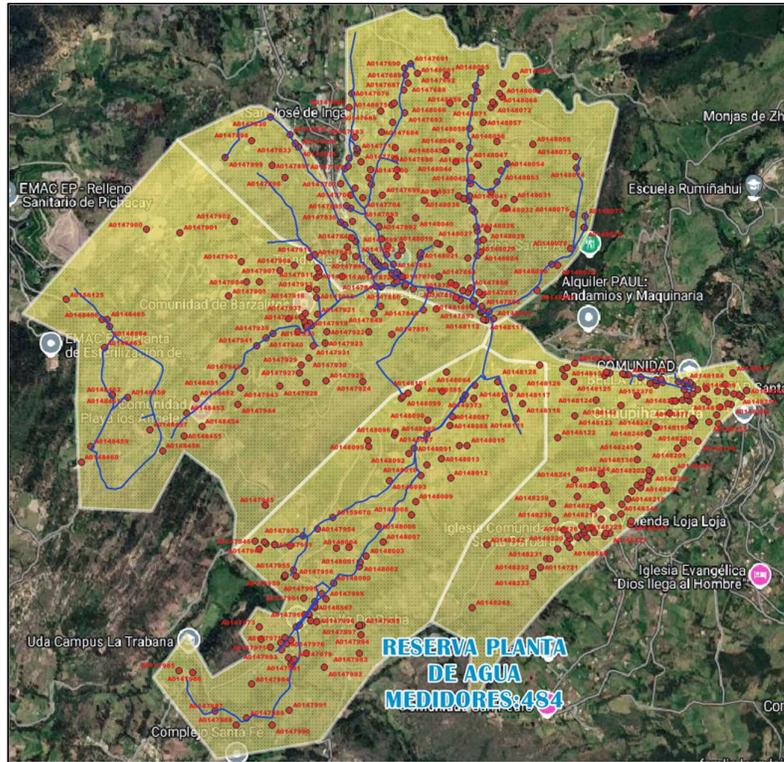


Figura 33. Distribución de usuarios reserva La Dolorosa (484 usuarios) - Fuente: ETAPA-EP

Con el software QGIS, se llevó a cabo una sectorización del sistema de distribución, permitiendo la asignación precisa de demandas en los nodos dentro del modelo hidráulico en WaterGEMS. Este proceso permitió realizar una modelación y calibración ajustada a la realidad, facilitando el análisis del comportamiento del sistema y determinando con mayor precisión el tiempo de descarga de cada uno de los reservorios de la parroquia Santa Ana.

FlexTable: Pipe Table (Current Time: 0.000 hours) (MODELO TEPAL.wtg)

ID	Label	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Flow (L/s)
3984: P-22	3984 P-22	63	J-110	J-69	32.0	PVC	80.0	0.023
3982: P-23	3982 P-23	19	J-113	J-110	32.0	PVC	80.0	0.070
4095: P-24	4095 P-24	88	J-209	TANQUE ESCUELA TE...	63.0	PVC	80.0	0.000
4094: P-25	4094 P-25	4	J-212	J-209	63.0	PVC	80.0	0.000
3971: P-26	3971 P-26	26	J-154	J-153	32.0	PVC	80.0	0.007
3969: P-27	3969 P-27	20	J-158	J-154	32.0	PVC	80.0	0.011
3967: P-28	3967 P-28	28	J-165	J-158	32.0	PVC	80.0	0.011
3965: P-29	3965 P-29	25	J-167	J-165	32.0	PVC	80.0	0.021
3963: P-30	3963 P-30	22	J-175	J-167	32.0	PVC	80.0	0.040
3961: P-31	3961 P-31	33	J-184	J-175	32.0	PVC	80.0	0.053
3959: P-32	3959 P-32	29	J-187	J-184	32.0	PVC	80.0	0.053
3957: P-33	3957 P-33	31	J-180	J-176	32.0	PVC	80.0	0.001
3955: P-34	3955 P-34	87	J-172	J-180	32.0	PVC	80.0	0.001
3953: P-35	3953 P-35	45	J-183	J-172	32.0	PVC	80.0	0.001
3951: P-36	3951 P-36	90	J-163	J-183	32.0	PVC	80.0	0.015
3949: P-37	3949 P-37	79	J-178	J-163	32.0	PVC	80.0	0.045
3947: P-38	3947 P-38	103	J-182	J-178	32.0	PVC	80.0	0.055
3945: P-39	3945 P-39	109	J-206	J-182	32.0	PVC	80.0	0.071
3944: P-40	3944 P-40	111	J-179	J-206	32.0	PVC	80.0	0.073
3942: P-41	3942 P-41	172	J-188	J-179	32.0	PVC	80.0	0.093
3940: P-42	3940 P-42	77	J-187	J-188	32.0	PVC	80.0	0.102
3938: P-43	3938 P-43	23	J-164	J-187	32.0	PVC	80.0	0.160
3936: P-44	3936 P-44	80	J-170	J-164	32.0	PVC	80.0	0.167
3934: P-45	3934 P-45	41	J-161	J-170	32.0	PVC	80.0	0.168
3932: P-46	3932 P-46	22	J-169	J-161	32.0	PVC	80.0	0.168
3930: P-47	3930 P-47	21	J-186	J-169	32.0	PVC	80.0	0.168

225 of 225 elements displayed SORTED

Figura 34. Datos de Redes de Distribución Reserva de Tepal - Fuente: ETAPA-EP

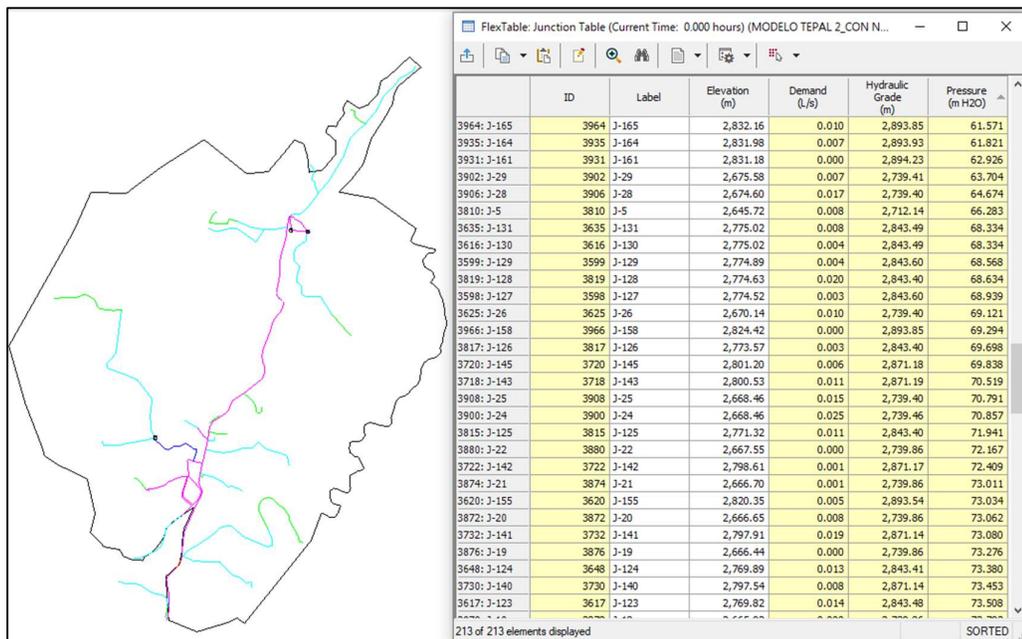


Figura 35. Polígono de modelación y datos de presiones Reserva de Tepal - Fuente: ETAPA-EP

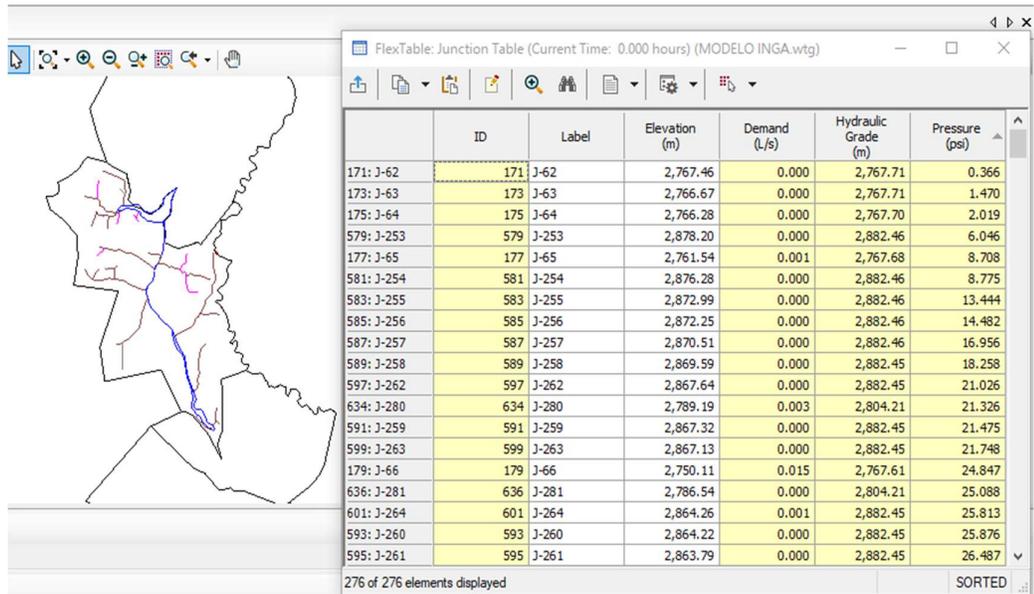


Figura 36. Polígono de modelación y datos de presiones Reserva de Ingapirca - Fuente: ETAPA-EP

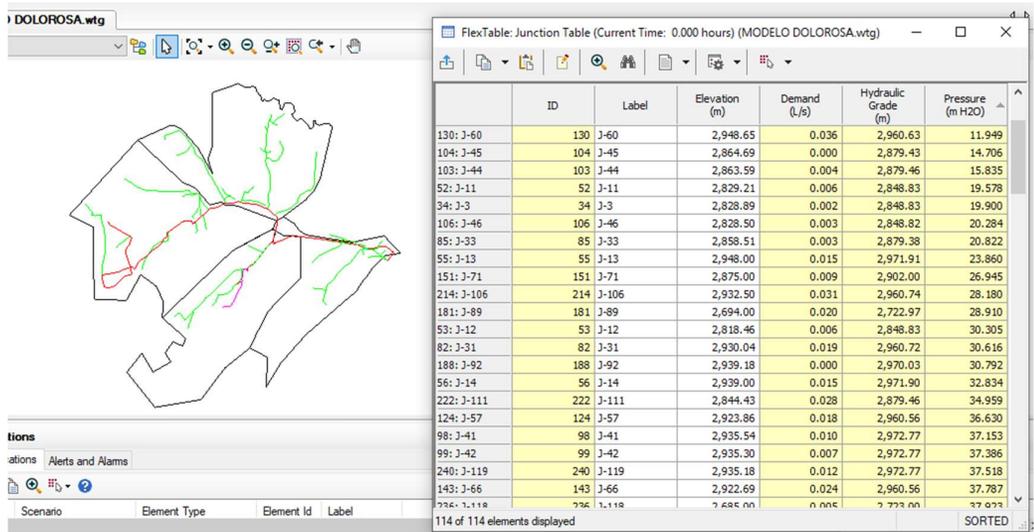


Figura 37. Polígono de modelación y datos de presiones Reserva de la Dolorosa - Fuente: ETAPA-EP

En la Figura 34 y Figura 35 se muestra el modelo de Tepal en conjunto con un extracto de los caudales y presiones presentes en cada nodo.



Figura 38. Calibración del patrón de las reservas de la Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor

Tal como se muestra en la Figura 38, se realizaron ajustes en las curvas de consumo de las reservas correspondientes a la parroquia Santa Ana. Este patrón fue calibrado teniendo en cuenta características de la distribución del agua potable de la zona. Es importante destacar que la curva de consumo presenta una particularidad en comparación con el consumo normal de otros sistemas de distribución de agua, lo que refleja comportamientos inusuales en los niveles de las reservas de la parroquia Santa Ana.

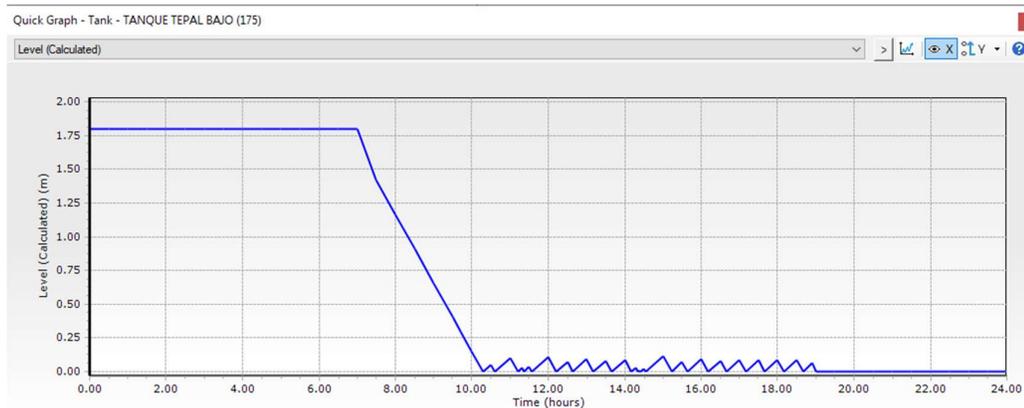


Figura 39. Curva de descarga de la reserva de Tepal - Fuente: Autor

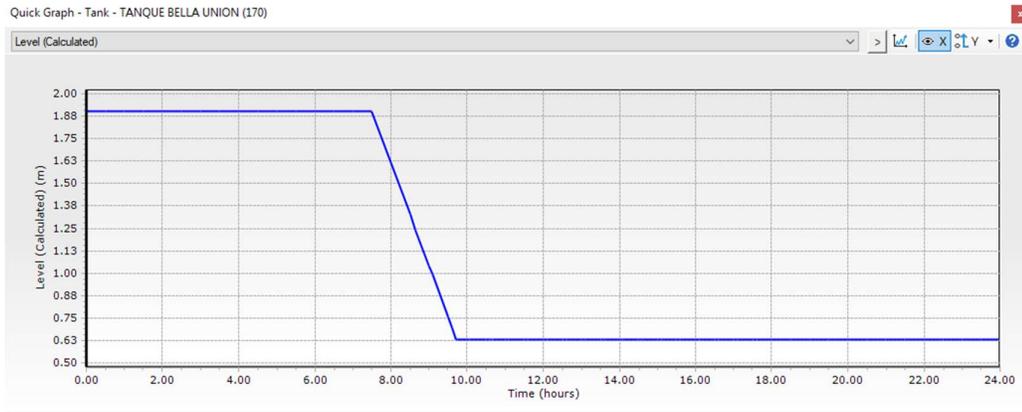


Figura 40. Curva de descarga de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor

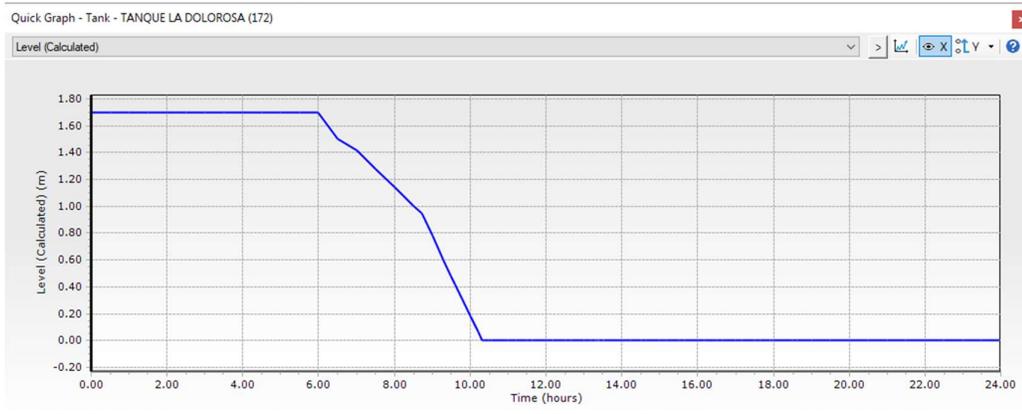


Figura 41. Curva de descarga de la reserva de la Dolorosa - Fuente: Autor

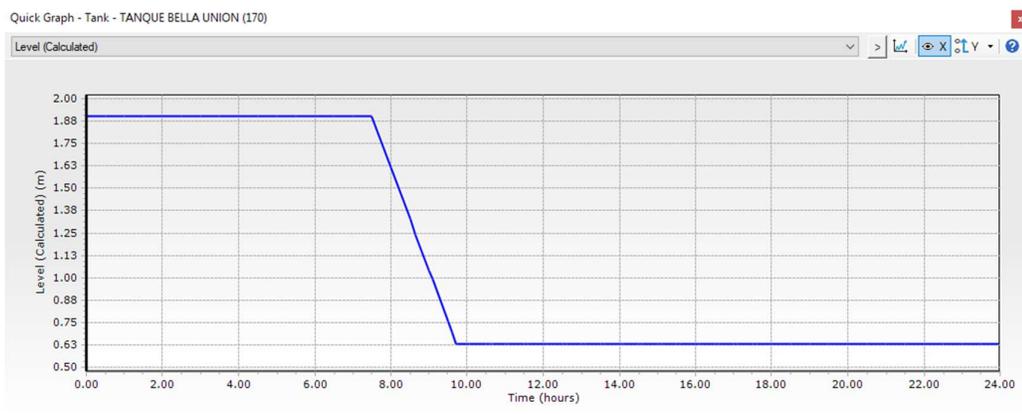


Figura 42. Curva de descarga de la reserva de la Planta de Bella Unión - Fuente: Autor

Como se observa en las Figura 39, Figura 40, Figura 41 y Figura 42, las reservas del sistema de distribución de la parroquia Santa Ana presentan una disminución considerable en su nivel en pocas horas. Actualmente, el personal de ETAPA EP cierra

las válvulas a las 12:00 p. m., y el operador de la planta las abre nuevamente a las 07:00 a. m., permitiendo así la distribución del agua potable.

Sin embargo, debido a la alta demanda generada por los tanques de reserva instalados en las viviendas, el suministro se ve comprometido, generando puntos críticos donde la red de distribución no logra presurizarse adecuadamente.

Como resultado, las reservas se agotan por completo en pocas horas, lo que indica que su capacidad no es suficiente para cubrir la demanda durante el tiempo de cierre de válvulas. Este problema está directamente relacionado con la gestión del abastecimiento de agua por parte de ETAPA EP, lo que resalta la necesidad de optimizar la operación y almacenamiento del sistema para garantizar una distribución más eficiente.

NIVEL DE LA RESERVA DE TEPAL (140 m3)

Hora	%real	Nivel medido en campo	Nivel simulado	%simulado	e
7:00	100%	1.8	1.8	100.00%	0.00%
8:00	66.67%	1.2	1.12	62.22%	4.44%
9:00	27.78%	0.5	0.6	33.33%	5.56%
10:00	5.56%	0.1	0.15	8.33%	2.78%
11:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
12:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
13:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
14:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
15:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
16:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
17:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
18:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
19:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
20:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
21:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
22:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
23:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
0:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
1:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
2:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
3:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
4:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
5:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%

6:00	0.00%	0	0	0.00%	0.00%
------	-------	---	---	-------	-------

Tabla 7. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de Tepal - Fuente:

Autor



Figura 43. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de Tepal - Fuente:

Autor

NIVEL DE LA RESERVA DE INGAPIRCA (90 m3)

Hora	%real	Nivel medido en campo	Nivel simulado	%simulado	e
7:00	100%	1.5	1.5	100.00%	0.00%
8:00	76.67%	1.15	1.06	70.67%	6.00%
9:00	36.67%	0.55	0.63	42.00%	5.33%
10:00	13.33%	0.2	0.25	16.67%	3.33%
11:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
12:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
13:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
14:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
15:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
16:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
17:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
18:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
19:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
20:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
21:00	0%	0	0	0.00%	0.00%

22:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
23:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
0:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
1:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
2:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
3:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
4:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
5:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
6:00	0%	0	0	0.00%	0.00%

Tabla 8. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de Ingapirca -

Fuente: Autor

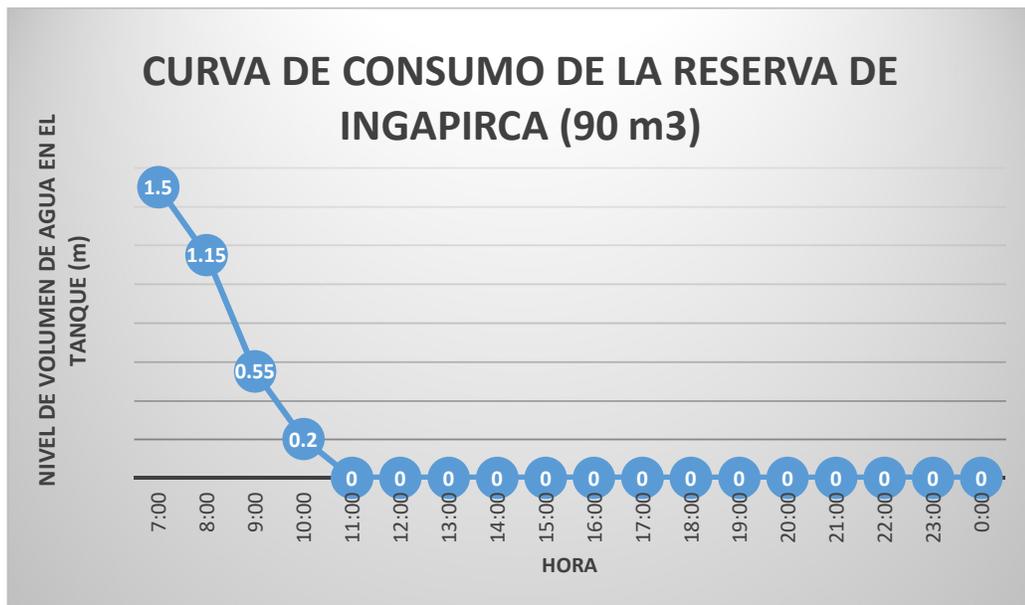


Figura 44. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de Ingapirca - Fuente:

Autor

NIVEL DE LA RESERVA LA DOLOROSA (90 m3)

Hora	%real	Nivel medido en campo	Nivel simulado	%simulado	e
6:00	100%	1.7	1.7	100.00%	0.00%
7:00	79.41%	1.35	1.4	82.35%	2.94%
8:00	64.71%	1.1	1.18	69.41%	4.71%
9:00	41.18%	0.7	0.8	47.06%	5.88%
10:00	5.88%	0.1	0.15	8.82%	2.94%
11:00	0%	0	0	0.00%	0.00%

12:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
13:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
14:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
15:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
16:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
17:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
18:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
19:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
20:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
21:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
22:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
23:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
0:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
1:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
2:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
3:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
4:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
5:00	0%	0	0	0.00%	0.00%

Tabla 9. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de Ingapirca -

Fuente: Autor

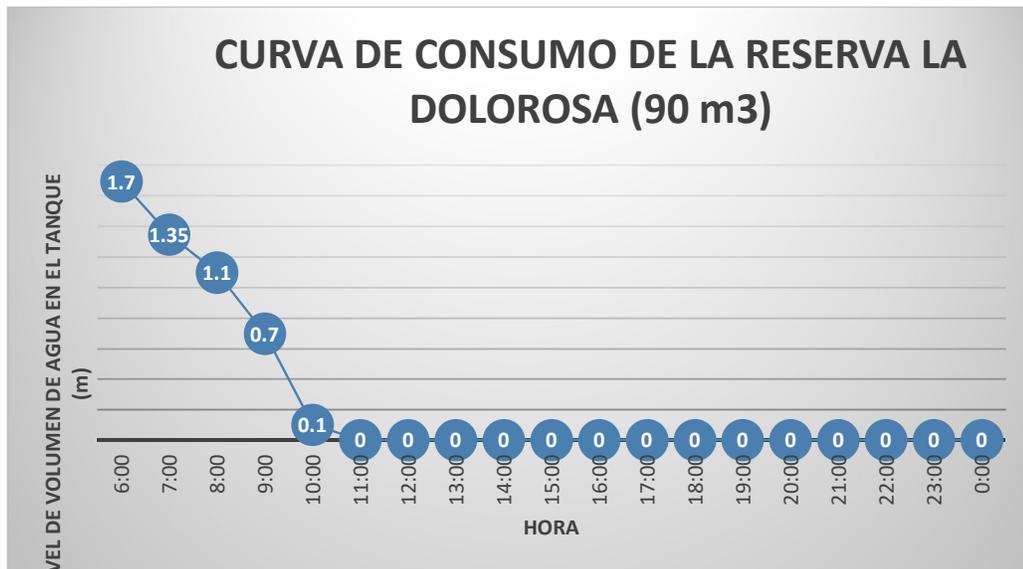


Figura 45. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de la Dolorosa -

Fuente: Autor

NIVELES DE LA RESERVA DE LA PLANTA DE AGUA (70 m3)

Hora	%real	Nivel medido en campo	Nivel simulado	%simulado	e
7:00	100%	1.9	1.9	100.00%	0.00%
8:00	76%	1.45	1.58	83.16%	6.84%
9:00	47%	0.9	1	52.63%	5.26%
10:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
11:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
12:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
13:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
14:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
15:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
16:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
17:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
18:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
19:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
20:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
21:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
22:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
23:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
0:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
1:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
2:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
3:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
4:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
5:00	0%	0	0	0.00%	0.00%
6:00	0%	0	0	0.00%	0.00%

Tabla 10. Datos de nivel medidos en campo y datos simulados de la reserva de la planta de Bella Unión - Fuente: Autor

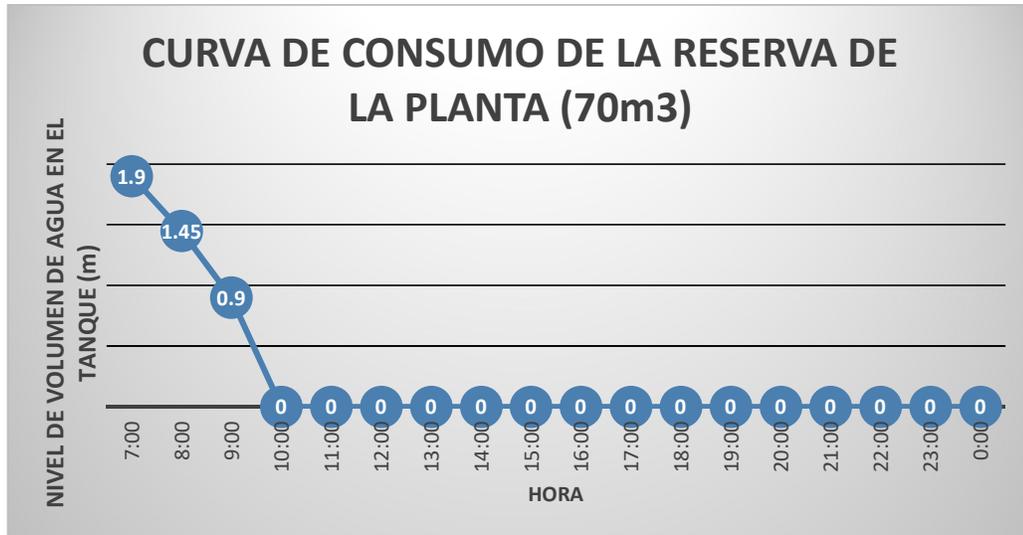


Figura 46. Curva de descarga con datos medidos en campo de la reserva de la planta de Bella Unión - Fuente: Autor

Como se evidencia en las tablas y figuras, la calibración del modelo se realizó utilizando datos tomados en campo. Al comparar los resultados de las tres simulaciones con los datos observados, se determinó que existe un pequeño margen de error estadístico entre los valores obtenidos y los valores simulados, lo que indica una baja desviación en la estimación del modelo.

Esta diferencia mínima se encuentra dentro de los límites estadísticamente aceptables, lo que confirma que las simulaciones reflejan de manera precisa las condiciones reales del sistema administrado por ETAPA EP.



Figura 47. Descarga de tanqueros de agua potable en la reserva de la Dolorosa - Fuente: Autor



Figura 48. Hidrante del Paraíso para carga de tanqueros - Fuente: Autor

Las acciones implementadas por ETAPA EP para mitigar el déficit en el suministro de agua potable incluyen el refuerzo del caudal de ingreso desde la planta de tratamiento hacia la reserva de La Dolorosa, mediante el uso de tanqueros de agua potable.

Estos tanqueros realizan la carga de agua en el hidrante ubicado en la parroquia El Valle, sector UPC del Paraíso, y efectúan aproximadamente ocho viajes diarios, distribuidos entre dos unidades. En total, se transporta y descarga un volumen de 40

m³/día en la reserva de La Dolorosa, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de agua mientras se implementan soluciones a largo plazo para la normalización del suministro.

Para evaluar el impacto de esta medida, se utilizó el software WaterGEMS, modelando la influencia de la descarga de los tanqueros en la reserva de La Dolorosa, obteniendo los siguientes resultados.



Figura 49. Curva de descarga de la reserva la Dolorosa descargando tanqueros de la empresa ETAPA EP. - Fuente: Autor

Los resultados obtenidos indican que el nivel del tanque alcanza el 0% de su capacidad a las 10:45 a. m., lo que representa un incremento en el tiempo de servicio de aproximadamente 15 minutos.

Según los datos proporcionados por la Subgerencia de Operación de Agua Potable y Saneamiento, los tanqueros descargan un total de 1,200 m³ mensuales, lo que equivale a un promedio diario de 40 m³, distribuido entre dos tanqueros.

El costo operativo de los tanqueros, según un estudio de mercado realizado por el Parque Automotor de ETAPA EP, varía en función de la distancia de descarga, lo que influye directamente en la eficiencia y sostenibilidad de esta medida de mitigación.

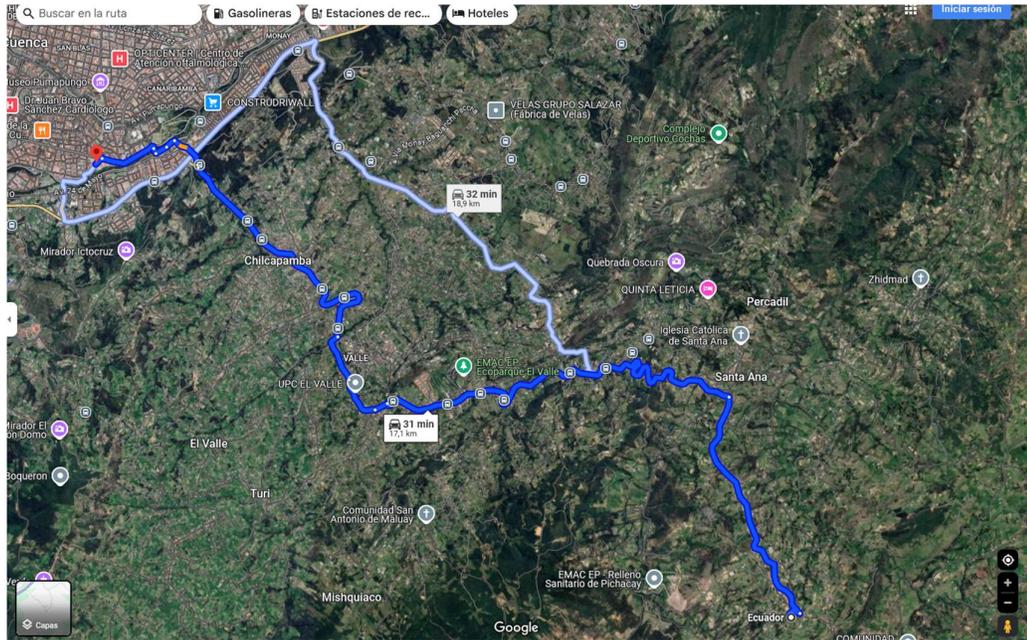


Figura 50. Ruta desde el hidrante hacia la reserva de la Dolorosa - Fuente: Google Maps

A partir de la Figura 50, se puede medir la distancia entre el hidrante ubicado en la parroquia El Valle y la reserva de La Dolorosa, determinando un recorrido de 17.1 km por cada tanquero para efectuar las descargas en la reserva.

	RANGO	DISTANCIA Km	DISTANCIA Km
A	>1 hasta		\$1.42
B	>5 hasta	10	\$0.77
C	>10		\$0.52

Tabla 11. Costo de transporte de agua potable - Fuente: ETAPA EP

De acuerdo con la distancia recorrida por los tanqueros, el costo del transporte de agua potable se encuentra dentro del rango “C”, con un valor de 0.52 USD/m³·km.

Considerando que los tanqueros realizan 8 viajes diarios en promedio, con una capacidad de 7 m³ por viaje, el volumen total descargado en la parroquia alcanza aproximadamente 1,200 m³/mes.

Con estos datos, se logró estimar el costo operativo asociado a la operación de los tanqueros en la parroquia Santa Ana, proporcionando una referencia clave para la evaluación económica de esta medida de abastecimiento.

V mensual:	1200 m3
-------------------	----------------

Distancia:	17.1	km
Valor por Km:	\$0.52	
Valor mensual:	\$10,670.40	

Tabla 12. Costo operativo de tanqueros de ETAPA EP - Fuente: ETAPA EP

En capítulos anteriores se mencionó que la parroquia Santa Ana se encuentra dentro de la categoría de tarifa única rural, lo que implica que su tarifa es más baja en comparación con las tarifas correspondientes a la zona residencial urbana o comercial. Este hecho refleja que la inversión realizada por la empresa ETAPA EP con los tanqueros es considerable, pero que la tasa de retorno es nula; lo que no justifica el capital invertido en los costos operativos de los tanqueros de agua.

4.3.2. Análisis de escenarios para la toma de decisiones

Se simuló diferentes escenarios para evaluar posibles estrategias de mejora:

- Se evaluó la posibilidad de abrir una sola reserva por día, con el fin de garantizar un mayor volumen de agua almacenado y controlado que pudiera ser distribuido de manera más eficiente. Esta estrategia se centró en priorizar el abastecimiento a las zonas de mayor consumo, asegurando que, al abrir las válvulas el agua de un único reservorio, se maximizaría el volumen disponible para las áreas con una demanda más alta.
- Además, con el objetivo de optimizar el abastecimiento a la parroquia Santa Ana. Una de las principales estrategias evaluadas fue la sectorización de la red, que consistió en dividir la red de distribución en sectores más pequeños y controlables, cada uno con un suministro específico de agua.
- Análisis de alternativas de fuentes de abastecimiento complementarias (tanqueros), considerando el crecimiento proyectado de la demanda.

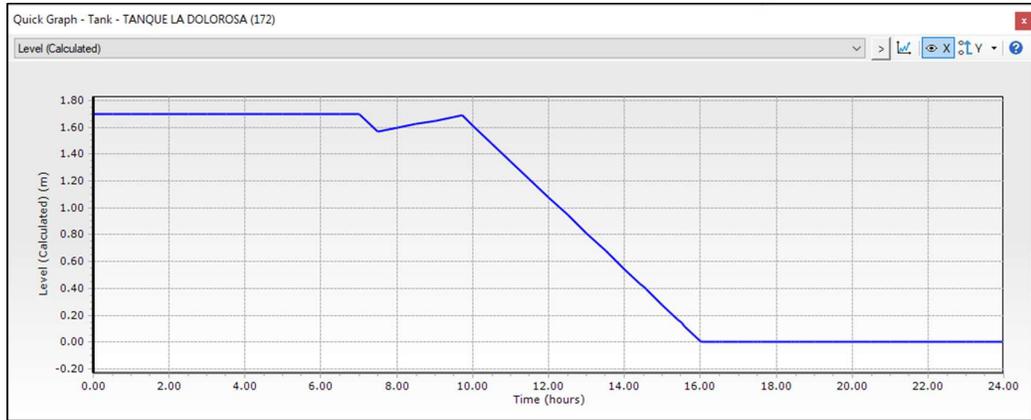


Figura 51. Curva de descarga de la reserva de La Dolorosa - Fuente: Autor

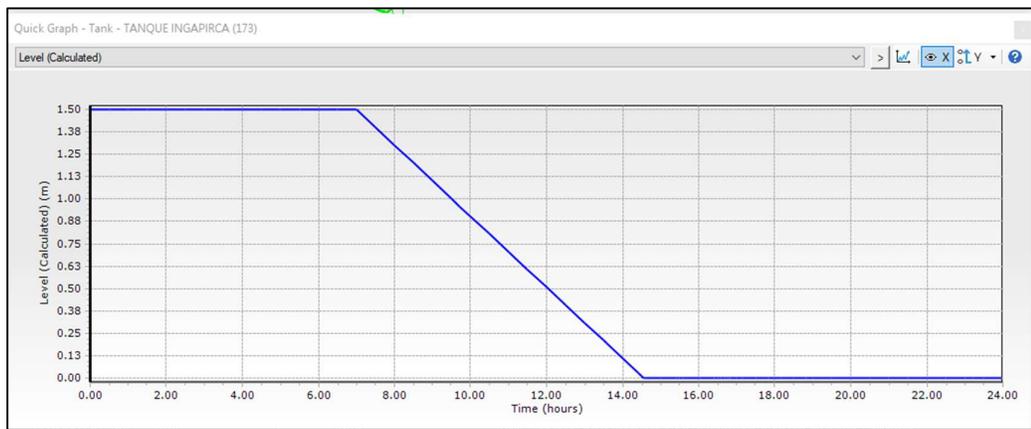


Figura 52. Curva de descarga de la reserva de Ingapirca - Fuente: Autor

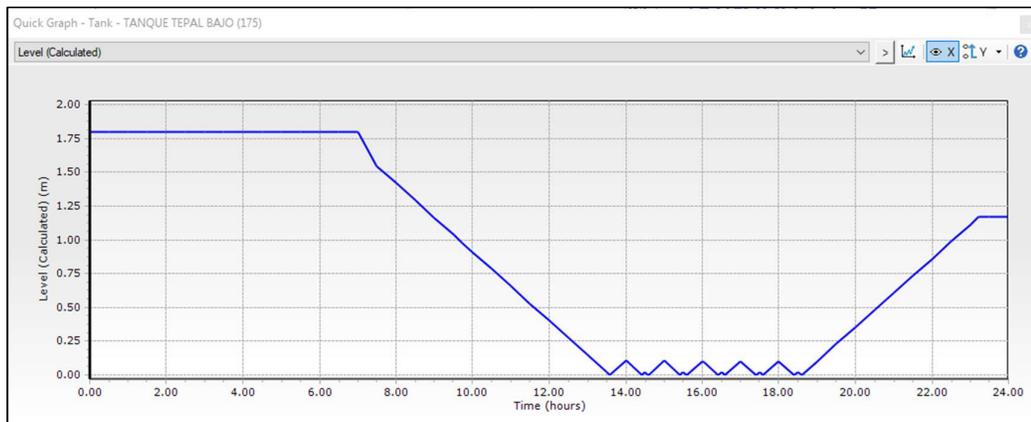


Figura 53. Curva de descarga de la reserva de Tepal - Fuente: Autor

La implementación de la sectorización en el sistema tiene como objetivo la optimización en la distribución del agua potable, logrando una distribución más

equilibrada y controlada. Esta estrategia consiste en almacenar un volumen de agua significativamente mayor en varios y que estos alimenten a un solo reservorio que será el encargado de distribuir progresivamente a través de la red, permitiendo que se realice un seguimiento de manera más eficiente según las demandas específicas de cada sector.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis realizado sobre el sistema de distribución de agua de la parroquia Santa Ana, se observó que las reservas de agua disminuyen rápidamente su nivel crítico. Este fenómeno ha sido atribuido a diversos factores, como la alta demanda de agua, el aumento de consumo en ciertas áreas, la falta de regulación de tarifas de consumo y la infraestructura insuficiente para garantizar una distribución adecuada. A medida que las reservas se agotan rápidamente, se incrementa la presión de los usuarios a ETAPA EP, afectando la sostenibilidad del suministro y la eficiencia operativa de la empresa.

En este contexto, se plantearon varias mejoras estratégicas con el objetivo de prolongar la distribución de agua potable. Las mejoras planteadas buscan no solo prolongar el tiempo de duración de las reservas, sino también garantizar un suministro más equilibrado y eficiente, minimizando el desperdicio y asegurando la disponibilidad de agua para todos los usuarios de ETAPA EP.

5.1. Diagnóstico del Sistema Actual

5.1.1. Gestión y Problemáticas del Sistema de Agua Potable en la Parroquia Santa Ana

La parroquia Santa Ana depende exclusivamente de fuentes superficiales para el suministro de agua cruda hacia su planta de tratamiento. Sin embargo, enfrenta restricciones de acceso a este recurso, especialmente durante las épocas invernales y, con mayor intensidad, en los períodos de estiaje. La planta de tratamiento cuenta con una capacidad limitada de potabilización, lo que agrava el problema cuando el caudal de ingreso disminuye considerablemente, generando conflictos y desigualdades en el acceso al agua.

5.1.2. Administración del Sistema y Crecimiento Poblacional

Históricamente, la gestión del sistema de agua potable estuvo a cargo de una junta de agua conformada por los habitantes de la parroquia, conocida como CODESA. Esta entidad administraba el sistema y autorizaba el ingreso de nuevos usuarios, a pesar de que la infraestructura había sido construida con mano de obra local y donaciones de materiales por parte de actores políticos de la época.

Sin embargo, la junta de agua autorizó nuevas conexiones sin un sustento técnico, sin evaluar la capacidad operativa de la planta de tratamiento ni sus limitaciones. Como resultado, el sistema superó su capacidad de abastecimiento, afectando la presión en la red de distribución y provocando una serie de problemas operativos.

El crecimiento poblacional y la alta demanda de agua han sobrepasado la capacidad de gestión de la junta de agua, lo que ha ocasionado:

- **Disminución de la presión en la red de distribución**, afectando principalmente a las zonas altas.
- **Uso descontrolado del recurso hídrico**, debido a la ausencia de normativas que regulen el consumo.
- **Instalación de reservorios de gran capacidad** por parte de los moradores, lo que aumenta el consumo y reduce la disponibilidad de agua para otros usuarios.
- **Compartición de medidores entre predios colindantes**, incrementando el volumen de consumo por usuario.

Como consecuencia, la planta de tratamiento ha comenzado a operar por encima de su capacidad, lo que ha generado interrupciones en el suministro y un aumento en los costos operativos.

5.1.3. Principales Problemáticas Identificadas

- **Asentamientos cercanos a las fuentes de captación:**
 - La facilidad de acceso a las captaciones ha permitido la expansión de asentamientos humanos en la zona.
 - Estos predios, en su mayoría ganaderos, han ocasionado erosión cerca de las captaciones, afectando la calidad del agua.
 - Se han identificado daños provocados intencionalmente en las captaciones para abastecer bebederos de ganado, lo que disminuye el caudal de ingreso a la planta de tratamiento.
- **Aumento de la demanda de agua debido a actividades comerciales y ganaderas:**
 - Con el crecimiento poblacional, ha aumentado la instalación de granjas y comercios en la parroquia, elevando la demanda de agua potable.

- Algunos establecimientos han instalado reservas que superan los 10 m³, generando un consumo excesivo.
- **Estructura tarifaria inadecuada:**
 - La aplicación de una tarifa única rural en la parroquia, establecida por ETAPA EP, ha incentivado un consumo excesivo de agua potable.
 - El costo del metro cúbico de agua en Santa Ana es inferior al de la zona urbana, lo que ha fomentado el uso desmedido del recurso.
- **Deficiencias en el manejo de reservas y consumo descontrolado:**
 - Se ha identificado la existencia de reservas sin flotadores, provocando reboses continuos y un desperdicio considerable de agua.
 - Algunos moradores utilizan el agua potable para el riego de pastizales y abastecimiento de ganado, mientras que otros han comercializado el acceso al agua dentro de la parroquia.
- **Problemas en la distribución y presurización de la red:**
 - Dependiendo de la topografía del terreno, se han identificado puntos críticos en zonas altas donde la presión es insuficiente debido al alto consumo en los predios ubicados en zonas bajas.
 - En estas áreas, la red de distribución nunca logra presurizarse adecuadamente, afectando la disponibilidad del servicio.
- **Disminución súbita de los niveles de las reservas:**
 - Las reservas que abastecen a la parroquia alcanzan su nivel mínimo de operación en apenas 3 horas, provocando bajas presiones y desabastecimiento en los puntos altos.

5.1.4. Medidas Implementadas y Mesas de Diálogo

Ante la crisis del abastecimiento de agua potable en la parroquia Santa Ana, ETAPA EP, en conjunto con los moradores y el GAD Parroquial, ha impulsado mesas de diálogo para encontrar soluciones sostenibles. Como parte de estas acciones, se han realizado reuniones con los dirigentes de CODESA para:

- Comprender el manejo actual de las válvulas en la red de distribución.

- Analizar los reglamentos internos de la junta de agua, incluyendo las sanciones impuestas a los moradores que realizan uso inadecuado del recurso hídrico.
- Identificar alternativas para mejorar la gestión del sistema y optimizar la distribución del agua potable en la parroquia.

Este trabajo conjunto busca establecer medidas correctivas y regulaciones efectivas que permitan garantizar la sostenibilidad del servicio, optimizar la operación del sistema y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la parroquia Santa Ana.



Figura 54. Reunión conjunta con directivos de CODESA-GAD Parroquial - Fuente: Autor



Figura 55. Reunión conjunta con directivos de CODESA-GAD Parroquial - Fuente: Autor



Figura 56. Reunión conjunta con directivos de CODESA-Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor



Figura 57. Reunión conjunta con directivos de CODESA-Reserva la Dolorosa - Fuente: Autor



Figura 58. Reunión conjunta con directivos de CODESA-Reserva Ingapirca - Fuente: Autor



Figura 59. Reservorios viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor



Figura 60. Reservorios viviendas Parroquia Santa Ana - Fuente: Autor



Figura 61. Reunión conjunta con GAD Parroquial - Fuente: Autor

Como se puede observar en las fotografías, la empresa ETAPA EP ha mantenido una comunicación directa con los moradores, realizando recorridos en conjunto con el personal técnico del GAD Parroquial y los directivos de CODESA. Durante estas visitas, se constató un incremento en la población, lo que ha llevado a muchos usuarios a adquirir reservorios de mayor capacidad en sus predios.

Sin embargo, la falta de una política de regulación del consumo ha generado una percepción errónea entre los moradores, quienes creen que ampliar el tamaño de sus reservas ayudará a reducir las dificultades de abastecimiento. En realidad, esta práctica ha provocado un mayor desbalance en la distribución del agua, contribuyendo al desabastecimiento en los puntos críticos de la red y afectando especialmente a las zonas más altas del sistema.

5.2. Beneficios de la sectorización propuesta

Dentro de los principales beneficios se tienen los siguientes:

- **Distribución prolongada y controlada:** La sectorización permite almacenar un volumen grande de agua en diferentes reservas que se distribuirá equitativamente durante el día de un solo reservorio. Esto permite regular el flujo y garantizar que los sectores con mayor demanda reciban un suministro

adecuado, sin comprometer la capacidad de almacenamiento para las jornadas siguientes.

- **Operación de válvulas:** El personal operativo de ETAPA EP puede realizar sub-sectorizaciones de la sectorización propuesta diariamente, así se evitará desperdicios de agua y equidad en la distribución. Esto proporcionará un equilibrio en el suministro de agua por la alta demanda presente en la parroquia, evitando sobrecargas en puntos específicos y asegurando una distribución eficiente en toda la red.
- **Monitoreo y control eficiente del uso del agua:** La sectorización facilita un control más riguroso por parte del personal operativo sobre el consumo del agua, permitiendo identificar y monitorear de manera más precisa las áreas con mayores índices de desperdicio o mal uso del agua potable. La cuadrilla operativa puede centrar sus esfuerzos en estos puntos críticos, aplicando medidas correctivas inmediatas cuando existan reservorios con rebose de agua.
- **Equilibrio en la distribución y prevención de desabastecimiento:** Al distribuir el agua de manera equitativa entre los sectores y con un monitoreo constante, se asegura que las zonas de mayor elevación o las que se encuentran más cercanas a los reservorios puedan seguir siendo abastecidas de manera adecuada. Esta sub-sectorización por personal de ETAPA EP minimiza el riesgo de desabastecimiento, sin comprometer el balance general del sistema y garantizando el suministro a sus usuarios.
- **Optimización del desempeño del sistema:** La implementación de la sectorización permite mantener un equilibrio constante entre la oferta y la demanda de agua, ajustando el caudal según las variaciones de consumo. Esto contribuye a la eficiencia del sistema y reduce la subutilización del agua potable.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Para la construcción del modelo se solicitó información a la empresa ETAPA EP, y para la calibración del mismo se realizó un seguimiento con datos de campo durante varios días para poder tener un modelo apegado a la realidad del sistema. Se utilizaron los softwares QGIS, AutoCAD Map para realizar una modelación por cada reserva del sistema; ya que por su complejidad era difícil realizar un solo modelo que se apegue a la realidad.
- Con el software WATERGEMS se elaboró los modelos respectivos con la situación actual de la parroquia Santa Ana, de la misma manera se modelo mejoras para poder obtener un plan operativo que mejora las condiciones de distribución de agua potable a los usuarios pertenecientes al catastro de ETAPA EP.
- El seguimiento detallado incluyó la inspección de las instalaciones de almacenamiento de agua, la revisión de la micro medición de consumo en las viviendas; se observó que en varias comunidades la actitud del cuidado del agua es nula, se encontraron fugas en varias tuberías por trabajos de agricultura, mejoramiento de vías, por los años de vida útil de las mismas que no fueron reportados a tiempo para el arreglo respectivo por la empresa ETAPA EP; además de un uso desmedido de agua en actividades no esenciales, como el lavado de vehículos, uso agrícola, uso ganadero o en el riego de pastizales.
- Se instalaron manómetros para detectar pérdidas o fugas no visibles. A pesar de estos esfuerzos, los niveles de las reservas de agua siguen bajando su nivel rápidamente, lo que es un indicativo del desperdicio, y compromete la disponibilidad de agua para los puntos altos de la red de distribución. La comunidad en general se encuentra aferrada en un ciclo de exceso y escasez, donde la falta de control en el consumo genera una presión adicional de los moradores hacia el Gad Parroquial y del Gad Parroquial hacia la empresa ETAPA EP.
- La empresa ETAPA EP sigue enfrentando desafíos importantes para lograr un uso responsable del agua. Es crucial que todos los miembros de la comunidad tomen conciencia de la importancia de este recurso y asuman su

responsabilidad en la conservación, evitando desperdicios innecesarios y adoptando hábitos más sostenibles.

- En conclusión, el seguimiento realizado durante estos meses ha puesto de manifiesto tanto la urgencia como la complejidad del problema del consumo de agua. Si bien se han tomado algunas medidas, la lucha contra el desperdicio es un esfuerzo continuo que requiere la colaboración activa de todos los sectores de la comunidad, el Gad Parroquial y la empresa ETAPA EP.

6.2. RECOMENDACIONES

- La situación actual subraya la necesidad de un proyecto nuevo que logre abastecer a la población actual y a la población futura, y dar un enfoque integral, que combine la educación, la tecnología y la regulación, para garantizar que las futuras generaciones puedan acceder al agua de manera suficiente y eficiente.
- La empresa ETAPA EP a través del departamento de relaciones comunitarias debe realizar campañas de sensibilización sobre el desperdicio de agua y el uso inadecuado que son fundamentales para crear conciencia en la parroquia Santa Ana, sobre la importancia de este recurso. Las campañas deben educar a las personas sobre los impactos negativos que tiene el derroche de agua, tanto a nivel ambiental como social. Además, de promover prácticas responsables, como cerrar bien los grifos, reparar fugas, colocar flotadoras en reservorios, reutilizar el agua potable como el agua lluvia. La idea es motivar a los ciudadanos a tomar conciencia de su papel en la conservación del agua, adoptando hábitos sostenibles que contribuyan a preservar el agua potable.
- A partir de las modelaciones realizadas, se identificó una zona del centro parroquial que tiene alta presión en la red de distribución, y al haber cumplido la mayoría de tuberías su vida útil, podría ocasionar roturas en las mismas; o provocar un consumo elevado de agua por parte de los usuarios, dado que la presión del agua influye directamente en la cantidad consumida. Para mitigar estos problemas, se recomienda la instalación de una cámara reductora de presión en el sector del cementerio del centro parroquial. Esta cámara permitirá controlar de manera más efectiva la presión en la red, reduciendo los riesgos antes mencionados.

- Se recomienda a la empresa ETAPA EP realizar inspecciones de las redes de distribución, con el objetivo de identificar y prevenir posibles conexiones clandestinas. Este sistema, al haber sido construido por los comuneros de la zona, presenta una alta probabilidad de que personas con conocimiento sobre la ubicación de las tuberías puedan realizar conexiones clandestinas. Dado que se trata de un sistema sectorizado con servicio por horas, existiendo la posibilidad de que se efectúen conexiones durante la noche, cuando el flujo de agua por las redes de distribución no existe. Estas visitas constantes permitirán detectar a tiempo las conexiones clandestinas, evitando pérdidas de agua no contabilizada.
- A la empresa ETAPA EP se recomienda revisar el pliego tarifario que regula el consumo de agua en la parroquia Santa Ana. Al no tener un costo significativo se observa consumos más elevados que en la zona urbana; provocados por la falta de interés en el arreglo de roturas internas de tuberías, colocación de flotadoras en reservorios, distribución de un mismo medidor a múltiples predios colindantes, volumen excesivo de reservorios internos de viviendas, uso del agua para construcciones, consumo para uso agrícola y ganadero. Se sugiere la implementación de tarifas diferenciadas que incentiven el ahorro y promuevan el mantenimiento adecuado de las instalaciones, con el fin de lograr una gestión más eficiente y sostenible del agua en la parroquia.
- La empresa ETAPA EP, en su compromiso con la parroquia Santa Ana, debe disponer de sus tanqueros para realizar viajes diarios a los reservorios, con el fin de reforzar las reservas de agua potable que distribuyen a la parroquia. Aunque es cierto que el costo operativo de esta medida no genera un retorno financiero directo, su implementación resulta fundamental por razones sociales. La presencia constante de los tanqueros refuerza la percepción de que la empresa está atendiendo de manera efectiva las necesidades de los usuarios, lo cual contribuye a reducir los reclamos relacionados con la escasez o distribución insuficiente de agua. Esta acción refuerza el compromiso de ETAPA EP con la satisfacción de la población, al mismo tiempo que mejora la imagen de la empresa frente a la comunidad.

- El incremento en el número de tanqueros por parte de la empresa ETAPA EP no resultaría en una mejora significativa en las horas de distribución dentro del sistema, como se evidenció en las modelaciones realizadas anteriormente. Este enfoque, en lugar de optimizar la distribución del agua, generarían gastos operativos elevados que aumentarían considerablemente los costos operativos del sistema. En lugar de aumentar la flota de tanqueros, se recomienda la posibilidad de establecer convenios de concurrencia entre ETAPA EP y el GAD Parroquial, en los cuales la empresa suministre el agua potable y el GAD Parroquial se encargue de la distribución a los usuarios que no cuentan con medidor. Esta estrategia permitiría optimizar recursos, reducir costos operativos y asegurar la dotación de agua a usuarios que no son usuarios de la empresa ETAPA EP.
- Del catastro de infraestructura entregado por ETAPA EP mostró que existen válvulas de control ubicadas en puntos estratégicos de la red, las cuales pueden ser aprovechadas para realizar una sub sectorización, mejorando la sectorización que actualmente posee la parroquia. Esto permitirá una distribución más equitativa del agua, especialmente en las zonas altas de la red de distribución, garantizando que el suministro llegue de manera más eficiente y balanceada a todos los usuarios de ETAPA EP.
- Dentro del análisis realizado en el plan operativo, las modelaciones indicaron que el volumen de agua reservado tiene un impacto directo en las horas de distribución a la parroquia Santa Ana. Se determinó que la opción más eficiente es abrir una reserva de agua por día, lo que permitirá garantizar una distribución prolongada y un mejor control de la operación por parte de la cuadrilla operativa de ETAPA EP. Asimismo, se recomienda implementar una apertura temprana de las válvulas por parte del operador de la planta de Santa Ana, con el fin de evitar el desperdicio de agua.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Mays, L. W. (2010). *Water distribution systems handbook*. McGraw-Hill.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020*. Recuperado de <https://www.who.int>
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W. M., Beckwith, S., & Koelle, E. (2018). *Advanced water distribution modeling and management*. Bentley Institute Press.
- León Agatón, A., Córdoba Ruiz, J. C., & Carreño Sayago, U. F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141-153. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a11>
- Obras Sanitarias del Estado (OSE). (2019). *Agua no contabilizada*. Recuperado de <https://www.ose.com.uy/agua/agua-no-contabilizada>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Truong Nguyen, T., Bennet, B., & Leonard, M. (2023). Calibration of Hydrological Models: Best Practices and Applications. *Journal of Hydrology*, 615, 128765. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128765>
- Mejía Rojas, D. P., & Merchán Charry, A. A. (2017). Análisis de vulnerabilidad en sistemas de abastecimiento de agua potable frente a amenazas naturales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 95-112. <https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a5>
- World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO Press.
- American Water Works Association (AWWA). (2012). *Principles of Water Rates, Fees, and Charges*. AWWA.