



POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS HIDRÁULICOS URBANOS DE ABASTECIMIENTO Y PROTECCIÓN

RPC-SO-24-NO.381-2022

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

METODOLOGÍA PARA CUALIFICAR,
CUANTIFICAR, CONTROLAR Y MINIMIZAR
LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN LOS SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN ZONAS RURALES
DE LA SIERRA ECUATORIANA, CASO DE
ESTUDIO: PARROQUIA SAN VICENTE,
CANTÓN EL PAN, PROVINCIA DEL AZUAY

AUTORES:

CRISTHIAM GERARDO CÁRDENAS TORRES
CINTHYA PRISCILA RIOS CELI

DIRECTOR:

VERÓNICA VALERIA YÉPEZ MARTÍNEZ

CUENCA – ECUADOR
2025

Autores:**Cristhiam Gerardo Cárdenas Torres**

Ingeniero Civil.

Candidato a Magíster en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

cristhiamct@yahoo.com.mx

**Cinthya Priscila Rios Celi**

Ingeniero Civil.

Candidata a Magíster en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

cprios1794@gmail.com

Dirigido por:**Verónica Valeria Yépez Martínez**

Ingeniera civil.

Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Diseño de Proyectos Hidráulicos.

vyepez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

CRISTHIAM GERARDO CÁRDENAS TORRES

CINTHYA PRISCILA RIOS CELI

Metodología para cualificar, cuantificar, controlar y minimizar las pérdidas de agua en los sistemas de distribución de agua en zonas rurales de la sierra ecuatoriana, caso de estudio: parroquia San Vicente, cantón El Pan, provincia del Azuay

DEDICATORIA

Dedico este trabajo al motor de mi vida, mi hijo Emilio, a mi amada familia, amigos y a todos aquellos que de una u otra forma, aportaron su granito de arena para que este sueño se hiciera realidad. Este logro también es suyo.

Cinthya Priscila Rios Celi

A mis padres Gerardo y Piedad, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo han cultivado en mí el tesón de no desistir ante un proyecto, lo que me ha permitido alcanzar hoy esta meta, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades de la vida por difíciles que éstas sean, porque cuando confías en Dios no hay obstáculo imposible.

A mis hermanos Bella, William, Morelia, Kimberly y Norelly, a mi sobrina Karol, que fueron los pioneros en motivar el inicio de uno de mis objetivos más importantes, como es el estudio universitario, a mi familia por ser siempre mi apoyo incondicional, durante todo mi trayecto académico.

A mis hijos Krysthel, Nasya y Aaron por ser mi alicante y mi mayor motivación, quienes siempre me impulsan con su amor y cariño a cumplir mis objetivos, gracias a ellos he logrado culminar mi carrera, dedico a mis hijos que son mi más grande bendición.

Cristhiam Gerardo Cárdenas Torres

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a los estimados docentes y compañeros de la maestría, quienes, a través de sus valiosos conocimientos, enriquecedoras experiencias laborales y momentos compartidos en las aulas, han sido un motor y ejemplo para mi crecimiento académico, profesional y personal.

Cinthya Priscila Rios Celi

Mi gratitud con Dios, por ser mi compañero incondicional. Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y docentes que con su guía y enseñanza construyeron los conocimientos necesarios para llegar a culminar este proceso.

Cristhiam Gerardo Cárdenas Torres

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	8
Abstract	9
1 Introducción	10
2 Determinación del Problema.....	13
3 Objetivo	15
4 Marco teórico referencial.....	16
4.1 Componentes del sistema de agua potable	16
4.1.1 Reservorio.....	16
4.1.2 Red de distribución de agua potable.....	17
4.1.3 Conexiones domiciliarias	17
4.1.4 Válvulas.....	17
4.1.5 Macromedidores y micromedidores	17
4.2 Pérdidas en los sistemas de distribución.....	18
4.2.1 Pérdidas reales (físicas)	18
4.2.2 Perdidas aparentes (Administrativas)	18
4.2.3 Impacto de las pérdidas de agua en la presión de la red	20
4.3 Gestión de fugas	21
4.3.1 Cualificación y cuantificación de pérdidas	21
4.3.2 Indicadores de desempeño	22
4.3.3 Control y minimización de pérdidas	24
4.4 Modelación hidráulica	25
5 Materiales y Metodología	26
5.1 Área de estudio.....	26
5.2 Metodología	28
5.2.1 Recopilación y análisis de la información	28
5.2.2 Campañas de medición	28
5.2.3 Modelación hidráulica	32
5.2.4 Evaluación de pérdidas de agua	33
5.2.5 Evaluación económica	34
5.2.6 Limitaciones del estudio	34
6 Resultados y discusión.....	36

6.1	Recopilación y análisis de la información.....	36
6.2	Campaña de medición.....	39
6.2.1	Estimación de la muestra y análisis de resultados del censo parcial.....	39
6.2.2	Medición de presiones en la red.....	44
6.2.3	Medición de caudales suministrados a la red.....	49
6.3	Resultados de modelación hidráulica.....	53
6.3.1	Análisis en periodo Estático.....	53
6.3.2	Análisis en periodo Dinámico.....	57
6.4	Evaluación de pérdidas de agua.....	63
6.5	Evaluación económica.....	65
6.5.1	Análisis económico basado en la proyección esperada del sistema.....	65
6.5.2	Análisis económico basado en los consumos reales.....	67
6.5.3	Análisis Socioeconómico.....	68
7	Conclusiones.....	69
8	Recomendaciones.....	72
	Referencias.....	74
	Anexos.....	76

AUTORES:

CINTHYA PRISCILA RIOS CELI
CRISTHIAM GERARDO CARDENAS TORRES

METODOLOGÍA PARA
CUALIFICAR, CUANTIFICAR,
CONTROLAR Y MINIMIZAR
LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN
LOS SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN
ZONAS RURALES DE LA
SIERRA ECUATORIANA,
CASO DE ESTUDIO:
PARROQUIA SAN VICENTE,
CANTÓN EL PAN,
PROVINCIA DEL AZUAY.

RESUMEN

El presente trabajo de ingeniería hidráulica se centra en la gestión eficiente de sistemas de distribución de agua potable en zonas rurales de la sierra ecuatoriana, específicamente aborda el grave problema de pérdidas de agua y la baja sostenibilidad del sistema de distribución de la Parroquia San Vicente, cantón El Pan, provincia del Azuay. Las pérdidas de agua o agua no contabilizada (ANC), corresponde al volumen de agua que se distribuye en la red pero que no se tiene constancia de su consumo y facturación. Se desarrolló una metodología de bajo costo y fácil aplicación para monitorear y minimizar pérdidas, incorporando procedimientos para su cualificación y cuantificación. Para ello se realizó un censo parcial de usuarios, mediciones de presión, modelaciones hidráulicas con el software WaterCAD, análisis de la facturación del servicio, mediciones horarias de volúmenes de agua suministrados a la red, análisis económico y evaluación de indicadores de desempeño. Basado en los resultados se identificaron las causas probables de las pérdidas, se caracterizó el comportamiento del consumo de agua y se evaluó el funcionamiento hidráulico del sistema, además de detectar deficiencias administrativas y técnicas en la operación del sistema. El descubrimiento más relevante fue la coexistencia de una red dual de abastecimiento que incide en el funcionamiento de la red en análisis, presiones excesivas en diez tramos y la baja dependencia de la red pública (solo 188 de 424 usuarios hacen uso efectivo del sistema), factores que comprometen la sostenibilidad técnica y financiera del servicio. Además, se determinó un índice de agua no contabilizada del 42.15% y se le asignó un porcentaje correspondiente a pérdidas administrativas y reales, la última reporta valores de alrededor 951,01 m³ al mes. El sistema registra un déficit financiero anual de USD 10,824.00 lo que confirma la urgencia de implementar las medidas correctivas propuestas.

Palabras clave:

Pérdidas de agua potable; redes de distribución de agua; zonas rurales; gestión de recursos hídricos; presión de agua.

ABSTRACT

This hydraulic engineering study focuses on the efficient management of potable water distribution systems in rural areas of the Ecuadorian highlands. Specifically, it addresses the serious issue of water losses and the low sustainability of the distribution system in the parish of San Vicente, El Pan canton, Azuay province. Non-revenue water (NRW) refers to the volume of water distributed through the network that is neither recorded nor billed for consumption. A low-cost and easy-to-implement methodology was developed to monitor and minimize these losses, incorporating procedures for their qualification and quantification. To achieve this, a partial user census was conducted, along with pressure measurements, hydraulic modeling using WaterCAD software, analysis of service billing, hourly measurements of water volumes supplied to the network, economic analysis, and performance indicator evaluation. Based on the results, the probable causes of water losses were identified, water consumption patterns were characterized, and the hydraulic performance of the system was evaluated. In addition, administrative and technical deficiencies in the operation of the system were detected. The most significant finding was the coexistence of a dual water supply network, which affects the functioning of the analyzed network, excessive pressures in ten sections, and a low reliance on the public network (only 188 out of 424 users make effective use of the system). These factors jeopardize the technical and financial sustainability of the service. Furthermore, a non-revenue water index of 42.15% was determined, and the losses were categorized into administrative and real losses, with the latter estimated at approximately 951.01 m³ per month. The system also records an annual financial deficit of USD 10,824.00, confirming the urgency of implementing the proposed corrective

Keywords:

Drinking water losses; water distribution networks; rural areas; water resource management; water pressure.

1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y el avance de la civilización han incrementado la demanda de agua potable, sin embargo, el acceso a este recurso es cada vez más limitado debido a la contaminación generada por la actividad humana (López & Ochoa, 2017). El agua es un elemento fundamental para un adecuado desarrollo de la vida humana e influye en la organización política, social y económica de los pueblos. No obstante, solo el 3% del agua en el planeta es dulce, y solo un tercio de esta se encuentra disponible para su uso.

De acuerdo a las cifras publicadas por la UNESCO en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre El Agua 2023, el 26% de la población global no tiene acceso al líquido vital y se prevé que para 2050 la escasez incremente sus cifras entre 1700 a 2400 millones de personas (UNESCO & ONU-Agua, 2023)

En Ecuador, la pérdida de agua potable es un problema crítico. De acuerdo a las cifras publicadas por la Agencia de Regulación y control del Agua (ARCA), cada año las empresas y municipios responsables del servicio de agua potable reportan pérdidas de 696.20 millones de metros cúbicos, un equivalente a 320 millones de dólares. Cerca del 50% del agua que se potabiliza en el país no se contabilizada debido a fugas, robos de agua y errores de medición, lo que genera un impacto negativo en la eficiencia operativa y económica del servicio (Torres, 2021).

El agua no contabilizada (ANC) o pérdidas de agua en un sistema de distribución es la diferencia que hay entre la cantidad de agua suministrada al sistema y el volumen de agua considerado como base de facturación y cobro del servicio (García Flores, 2020). En zonas rurales de la sierra ecuatoriana, el agua potabilizada no facturada es consecuencia de diversos factores como:

- **Fallas en la infraestructura:** averías frecuentes por falta de mantenimiento adecuado.

- **Deficiencias operativas:** redes clandestinas, presiones irregulares y errores en los sistemas de medición y facturación.
- **Impacto ambiental:** reducción de caudales en fuentes de agua debido al cambio climático, sequías y deforestación, lo que disminuye la disponibilidad del recurso.

Las pérdidas de agua pueden clasificarse en:

- **Pérdidas reales o físicas,** ocasionadas generalmente por fugas en tuberías, roturas, desbordamientos en tanques de almacenamiento o cualquier otro desperfecto que implique la pérdida del recurso.
- **Pérdidas aparentes o administrativas,** derivadas de errores en la medición y facturación, conexiones ilegales o inexactitudes en las lecturas de los medidores (Benavides, 2011).

Las consecuencias de estas pérdidas van más allá del impacto económico. Las interrupciones en el suministro por reparaciones pueden generar estancamientos que favorecen la proliferación de microorganismos patógenos, comprometiendo la calidad del agua y la salud de los usuarios. Las variaciones de presión derivadas de fugas por rotura pueden dañar los accesorios y fisurar las tuberías, facilitando la contaminación del sistema (Lee & Schwab, 2005).

La presente investigación tiene como propósito el desarrollar una metodología que pueda replicarse en zonas rurales con características similares en la sierra ecuatoriana. Para su aplicación se tomó como caso de estudio el sistema de agua potable de la parroquia San Vicente del cantón El Pan, provincia del Azuay. Este sistema forma parte del proyecto integral de agua potable que beneficia a todo el Cantón, el cual es el resultado del convenio interinstitucional entre el Banco de Desarrollo del Ecuador, Gobierno Municipal y la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP).

Con una inversión de USD 1'935.756,11, el proyecto se ejecutó en tres etapas. Actualmente, las fases I y II están en operación, abasteciendo a 424 conexiones domiciliarias en la parroquia desde 2018 y 2019, respectivamente.

Esta investigación propone una metodología de bajo costo, basada en herramientas accesibles y de fácil aplicación, que permita la evaluación del estado actual de la red, identificar posibles puntos o zonas de mayor concurrencia de fallas o averías y mejorar la eficiencia del sistema. Se adopta un enfoque cuantitativo y cualitativo, con modelación hidráulica de la red en distintos escenarios operativos, con el fin de proporcionar a las autoridades información útil para una mejor gestión de recursos y reducir las pérdidas, mejorando la sostenibilidad del servicio.

2 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

En América latina se ha estimado que el índice de agua no contabilizada oscila entre el 55% y 65%, esta cifra es difícil de calcular debido al bajo grado de medición que existen en países en vías de desarrollo (García Flores, 2020).

Uno de los principales desafíos en los sistemas de distribución de agua potable en zonas rurales es la falta de dispositivos adecuados para la regulación, medición y monitoreo de la red. La ausencia de macro y micromedidores en puntos estratégicos dificulta la sectorización del sistema, impidiendo un control eficiente del caudal y la presión. Además, la carencia de tecnologías especializadas y estrategias sistemáticas de monitoreo retrasa la detección y reparación de fugas, lo que agrava las pérdidas de agua y reduce la eficiencia operativa del sistema.

Por otro lado, la capacidad técnica del personal a cargo de la operación y mantenimiento en estas localidades suele ser limitada. Muchos operadores dependen de inspecciones visuales o reportes de los usuarios para identificar problemas en la red, lo que dificulta la implementación de estrategias efectivas para reducir las pérdidas.

Los métodos convencionales para la gestión de pérdidas de agua suelen estar diseñados para entornos urbanos y requieren inversiones en equipos avanzados y sistemas automatizados de control. Sin embargo, en zonas rurales, donde los recursos financieros y tecnológicos son más limitados, es necesario desarrollar estrategias accesibles, de bajo costo y adaptadas a las condiciones locales.

En el caso particular del proyecto de agua potable que abastece a la parroquia rural San Vicente pese a ser relativamente nuevo, carece de dispositivos y estrategias adecuadas para el monitoreo y control de volúmenes de agua tratada e inyectada a la red, lo que impide un control exacto y continuo de las pérdidas.

Según informes que reposan en el Municipio del cantón El Pan, las pérdidas de agua oscilan entre el 35% al 45%, superando el valor del 25% previsto en el diseño. De

acuerdo con la normativa ARCA (Regulación DIR-ARCA-RG-006-2017, Art. 31), el índice de Agua No Contabilizada (ANC) no debe superar el 35%; de lo contrario, se requiere la implementación de planes de mejora.

Este elevado nivel de pérdidas refleja ineficiencias en el sistema de abastecimiento y recaudación, puesto que los valores que ingresan al organismo operador no son suficientes para cubrir los gastos como insumos energéticos, químicos y operativos. Además, existen reportes de afectaciones en el servicio como consecuencia de las variaciones de presión, integridad de los componentes y calidad del agua.

Este alto nivel de pérdidas genera preocupación a las autoridades responsables ya que la fase III del proyecto, la cual involucra la ampliación del rango de cobertura de la red, está próximo a ejecutarse y bajo estas circunstancias, la incertidumbre acerca del éxito integral del proyecto se pone en duda por lo que identificar, controlar y reducir las pérdidas previo a la implementación de la fase final permite a las autoridades la toma de decisiones informadas.

3 OBJETIVO

Desarrollar y aplicar una metodología para cualificar, cuantificar, controlar y minimizar las pérdidas de agua en el sistema de distribución de agua en la zona rural de la parroquia San Vicente del cantón El Pan, Provincia del Azuay.

1. Realizar una evaluación de la red de distribución para establecer la metodología apropiada para la identificación de pérdidas y fugas en el caso de estudio, tomando en consideración los elementos instalados en la red e información disponible.
2. Cuantificar los volúmenes de agua no contabilizada apoyándonos en datos históricos, identificación de puntos críticos a través de encuestas, mediciones, pruebas de campo y simulación de la red con un software especializado
3. Identificar las problemáticas presentes en la red, evaluar su origen y presentar metodologías que permitan minimizar las pérdidas de agua en el sistema de distribución de agua.

4 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente marco teórico se encontrarán los fundamentos conceptuales y contextuales necesarios para comprender las redes de distribución de agua potable y la problemática que genera las pérdidas de agua en los sistemas de distribución en zonas rurales de la sierra ecuatoriana. En este apartado, se analizarán los conceptos clave relacionados con las pérdidas de agua, incluyendo su cualificación, cuantificación, control y minimización.

4.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE

Un sistema de agua potable es el conjunto de estructuras, procesos y mecanismos que se diseñan para la captación de agua en estado natural, para luego ser conducida, potabilizada, almacenada y finalmente distribuida a los usuarios en cantidad y calidad óptima para el consumo humano. Generalmente un sistema completo se compone de captación, aducción, planta de tratamiento, conducción, reservorios y redes de distribución, en esta sección solo se abordarán los componentes que interactúan en el análisis de esta investigación que corresponde desde las reservas hasta las acometidas domiciliarias (Comisión Nacional del Agua, 2019).

4.1.1 RESERVORIO

Los reservorios de agua potable son estructuras diseñadas para el almacenamiento temporal de agua potabilizada o tratada, el objetivo de almacenarla es garantizar su disponibilidad y distribución a la red. Hay una gran variedad de estos reservorios: elevados, semienterrados o subterráneos, que ayudan a la regulación del caudal en la red de distribución, cubrir las variaciones horarias de consumo, la estabilización de presiones y el abastecimiento en caso de emergencias o mantenimiento del sistema (Comisión Nacional del Agua, 2019).

4.1.2 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Conjunto de tuberías, accesorios, válvulas, dispositivos y estructuras complementarias que transportan el agua desde los reservorios hasta los puntos de consumo. Las redes pueden tener diferentes configuraciones como malladas, ramificadas o combinadas dependiendo de la topografía y las necesidades del sistema (Instituto Ecuatoriano de obras Sanitarias, 1992).

4.1.3 CONEXIONES DOMICILIARIAS

Tomas o derivaciones que conducen agua potable desde la tubería de distribución hasta un domicilio o inmueble. Se compone de una toma o derivación desde la tubería principal, una válvula de control, una tubería de conducción y un medidor para registrar su consumo (Pauta & Quezada, 2017).

4.1.4 VÁLVULAS

Las válvulas en redes de distribución de agua potable son componentes esenciales que permiten regular, controlar, detener el flujo y gestionar la presión. Su función primordial es garantizar la eficiencia del suministro y la protección de la infraestructura, mediante la capacidad de aislar sectores para mantenimiento o emergencias, con tipos especializados para caudal, aire, presión y control.

- **Reguladora de caudal:** Controlan el flujo de agua en la red, evitando variaciones bruscas que puedan afectar el abastecimiento.
- **Reguladora de Presión:** Son dispositivos que reducen y estabilizan la presión en la red para evitar sobrepresiones que puedan dañar tuberías y accesorios.
- **Reguladora de aire:** Facilitan la expulsión y admisión de aire en la red de distribución para evitar golpes de ariete y mejorar la eficiencia del sistema.

4.1.5 MACROMEDIDORES Y MICROMEDIDORES

Los macromedidores son dispositivos esenciales para la medición de grandes caudales en acueductos y redes de distribución de agua. Permiten detectar pérdidas, optimizar la gestión hídrica y comparar flujos con micromedidores, operando mediante tecnologías electromagnéticas, ultrasónicas o mecánicas. (Peñañiel, 2018).

4.2 PÉRDIDAS EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

En este apartado se presentará una categorización de tipo de pérdidas de acuerdo con la IWA (International Water Association) la cual clasifica las pérdidas en reales y administrativas. Se presentará el impacto de las pérdidas sobre las presiones de la red y estrategias para el control y minimización de estos volúmenes.

4.2.1 PÉRDIDAS REALES (FÍSICAS)

Las fugas o escapes físicos (pérdidas reales) no se pueden eliminar por completo de los sistemas de abastecimiento, únicamente se pueden reducir. En la red siempre existirá un volumen mínimo de pérdidas reales inevitables y otro volumen de pérdidas potencialmente recuperables. Las causas más recurrentes que las provocan dependen de múltiples factores y se generan por:

a) Fugas en tuberías y accesorios

Debido al envejecimiento, corrosión, presión excesiva o daños mecánicos.

b) Juntas y conexiones defectuosas

Malas instalaciones o deterioro de las uniones pueden causar filtraciones.

c) Roturas por presiones elevadas o golpes de ariete

En redes con presiones inestables, las tuberías y accesorios pueden fisurarse o romperse, se recomienda el uso de válvulas reductoras de presión y dispositivos de alivio.

d) Reboses en tanques de almacenamiento

No contar con dispositivos de control de nivel o sistemas de automatización que controle en el llenado de tanques, generando pérdidas de agua y presión variable en la red.

4.2.2 PERDIDAS APARENTES (ADMINISTRATIVAS)

Las pérdidas administrativas representan el volumen de agua que no se factura correctamente debido a fallos por lo general humanos en la gestión del sistema de

distribución, aunque el agua realmente no se pierde en términos físicos, su registro incorrecto afecta la eficiencia operativa, financiera y la sostenibilidad del servicio de agua potable (Benavides, 2011). Lo que comúnmente encontramos son:

a) Conexiones ilegales o clandestinas

- Usuarios no autorizados realizan conexiones domiciliarias que no son tomadas en cuenta en los registros, que afectan la presión en la red.
- Se mitigan con inspecciones y regularización de usuarios.

b) Medidores defectuosos o manipulados

- Un medidor defectuoso puede subestimar o sobrestimar el consumo real, generando desbalances en la red.
- Se sugiere calibración periódica y programas de reemplazo.

c) Errores en la facturación y lectura de medidores

- Errores humanos en las lecturas de medidores o errores administrativos al generar cobros, pueden generar pérdidas económicas y afectar la gestión del sistema. Para disminuir estos errores se recomienda usar sistemas de monitoreo y facturación.

d) Errores en la clasificación de usuarios

- Usuarios con tarifas no correspondientes a su uso como, por ejemplo: comercial, industrial o domiciliario.

e) Falta de control en el uso de agua no facturada.

- Control y registro de agua utilizada en hidrantes, limpieza y riego de parques, calles, edificios gubernamentales, etc.

4.2.3 IMPACTO DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN LA PRESIÓN DE LA RED

Las fugas o escapes en una red de distribución de agua potable no solo generan desperdicio del recurso, sino que también afectan la presión hidráulica del sistema, lo que puede comprometer tanto la eficiencia del suministro como la calidad del agua.

Uno de los principales riesgos asociados a la pérdida de presión es la entrada de contaminantes al sistema a través de fugas o conexiones cruzadas. Esto ocurre debido a la generación de presiones negativas, que pueden facilitar la infiltración de microorganismos y otros agentes contaminantes desde el exterior de la tubería. Existen dos mecanismos principales de reflujo que pueden producir este fenómeno:

- **Retrosifonaje (Sifonaje inverso):** Se produce cuando la presión dentro de la tubería desciende lo suficiente como para generar un vacío, lo que puede succionar contaminantes desde el entorno a través de fisuras en la red o conexiones inadecuadas.
- **Contrapresión (presión inversa):** Ocurre cuando la presión generada por bombas individuales o tanques de almacenamiento instalados por los usuarios es mayor que la presión del suministro, lo que puede provocar el retorno de agua potencialmente contaminada al sistema de distribución (Lee & Schwab, 2005).

Según Ccencho (2024) las fluctuaciones de presión en redes con pérdidas significativas pueden generar un efecto conocido como golpe de ariete, que ocurre cuando un cambio brusco en el flujo provoca una variación súbita de presión en la tubería. Este fenómeno puede deberse a:

- Cierre rápido de válvulas en la red.
- Paro repentino de bombas de impulsión.
- Cambios de caudal inesperados debido a la presencia de fugas grandes o roturas de tubería.

El golpe de ariete no solo daña la infraestructura al generar sobrepresiones que superan la capacidad nominal de las tuberías, pudiendo fracturar tuberías y accesorios, sino que también contribuye a la formación de fugas y aumenta la probabilidad de que se

generen presiones negativas, favoreciendo el ingreso de contaminantes. En sectores con altas tasas de fugas, la presión disminuye significativamente, afectando el suministro a usuarios ubicados en zonas alejadas o de mayor altitud. Esta reducción de presión también influye en los niveles de cloro residual, los cuales pueden descender a valores críticos, favoreciendo la proliferación de microorganismos patógenos. Estudios han demostrado que la presencia de coliformes en el agua está directamente relacionada con niveles bajos de cloro residual, lo que incrementa el riesgo sanitario para los usuarios (Lee & Schwab, 2005)

4.3 GESTIÓN DE FUGAS

La gestión de fugas son todos los procedimientos utilizados para el análisis y evaluación de funcionamiento de una red, se suelen realizar de manera semestral o anualmente por parte del organismo encargado del abastecimiento de agua, con el objetivo de sostener y alcanzar un valor de pérdidas de agua en lo mínimo posible para lograr una viabilidad técnica, económica, financiera, política y social. Los mecanismos de medición para la detección de fugas que más comúnmente se utilizan son los que se detallan en la sección *4.3.1 Cualificación y cuantificación de pérdidas*. A partir del balance hídrico se puede diagnosticar basado en indicadores de gestión y parámetros característicos de la red, existen estudios con valores de referenciales de empresas internacionales como la IWA (International Water Association) y IWWA (Indian Water Works Association), organismos internacionales, investigadores para la mejora de la gestión del recurso hídrico a nivel mundial (Medina & Benavides M., 2009).

4.3.1 CUALIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS

Los métodos y estrategias para evaluar y cuantificar las pérdidas en un sistema de distribución de agua y que se usan con mayor frecuencia se presentan a continuación:

- Balance hídrico: Este método calcula las pérdidas totales del sistema, puesto que es la diferencia entre el agua que ingresa al sistema y el agua efectivamente contabilizada de forma autorizada.

- Pruebas de sectorización (District Metered Areas, DMA): Consiste en la división de la red en sectores y evaluar los caudales de entrada y salida, determinando pérdidas de acuerdo con la zonificación, este método hace uso de las válvulas y circuitos de la red.

El aislamiento de la red debe hacerse de tal forma que solo exista un punto de ingreso de caudal al tramo de red y tener un contador de caudal en este punto para poder registrar los volúmenes independientes de cada sector.

- Medición nocturna de caudales mínimos: Se hacen mediciones de caudales en las horas de baja demanda para detectar fugas reales asumiendo que el consumo nocturno legítimo es bajo.
- Medición de presiones: Consiste en realizar mediciones monitoreadas de presión para identificar zonas con fugas o propensas a variaciones significativas de presión.

4.3.2 INDICADORES DE DESEMPEÑO

Los indicadores se calculan basados en la medición y monitoreo en intervalos de 24 horas, incluyendo caudales mínimos nocturnos generados en la red. Si los valores calculados superan los valores de referencia de los indicadores, pueden denotar la existencia de fugas en la red de distribución.

4.3.2.1 Índice de agua no contabilizada (IANC)

El índice de agua no contabilizada es un indicador del porcentaje de pérdidas en un sistema de distribución de agua potable, este valor nos permite diagnosticar la eficiencia del manejo del sistema por parte de la entidad encargada, las cuales buscan alcanzar un nivel aceptable de 25% (valor indicado por el Banco Mundial), sin embargo este puede variar de acuerdo a cada sistema (Comisión Nacional del Agua, 2019).

El valor aceptable de ANC se define mediante un criterio económico, donde el agua no contabilizada (ANC) es viable solo si el ahorro en costos operativos y de producción de agua supera o iguala la inversión requerida para su control y mitigación

Para el cálculo del índice de agua no contabilizada se emplea la formulada planteada por el Banco Mundial y la Asociación Internacional del Agua (IWA)(2006), que se presenta en la *ecuación 1*.

$$IANC(\%) = \left[1 - \frac{W_f}{W_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

W_f =Volumen facturado en un periodo en m^3 .

W_i =Volumen inyectado al sistema en un periodo en m^3 .

El volumen inyectado se define como el volumen que se registra o se mide a la salida de los tanques de almacenamiento a la red durante un periodo de tiempo, sin considerar los usos de agua destinados a mantenimientos.

Los volúmenes facturados son la cantidad de agua que se registran a través de los medidores domiciliarios, durante un periodo de tiempo

4.3.2.2 Índices de consumo

Permite conocer el estado de la red y realizar un análisis comparativo, en la *Tabla 4. 1* encontraremos valores de referencia que indicarán la existencia de sospechas de fugas, su cálculo se basa en la medición horaria por un periodo de 24 horas.

Tabla 4. 1. *Índices de consumo o indicadores de referencia de la existencia de fugas.*

Indicador	Expresión de cálculo	Valores de referencia
Índice de consumo horario	CMH/CMN	CMH/CMN > 3 a 7, indica bajos niveles de fugas CMH/CMN < 3, niveles de fugas considerable
Índice de consumo máximo horario (ICMH)	ICMH=CMH/CHP	Valores recomendados en cada país (1.5 Zonas rurales del Ecuador)
Índice de consumo mínimo nocturno (ICMN)	ICMN=CMN/CHP	ICMN > 0.4 indica sospecha de fugas. AWWA recomienda 0.35

Fuente: (Abarca V., 2012).

Donde:

CMN: Consumo mínimo nocturno (m^3/h).

CMH: Consumo máximo horario (m^3/h).

CHP: Consumo Horario Promedio (m^3/h).

4.3.3 CONTROL Y MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS

Estrategias y tecnologías disponibles para reducir las pérdidas, como la sectorización, detección de fugas y modernización de infraestructuras.

Para la reducción de las pérdidas aparentes o administrativas se recomienda:

- Capacitación permanente y continua al personal encargado de la lectura de medidores.
- Desarrollar campañas de control y concientización de los consumos no autorizados a los usuarios.

Para la reducción de pérdidas reales o fugas de agua de un sistema se deben implementar estrategias como:

- Control activo de fuga que permita la detección y localización.
- Reparación, rehabilitación y renovación, de tuberías y accesorios.
- Gestión de la presión mediante el uso de válvulas reductoras de presión, tanques rompe presiones y otros dispositivos. Verificación de presiones en puntos estratégicos y capacitación al personal sobre tiempos de cierre de válvulas y operación adecuada del sistema
- Mantenimiento efectivo y permanente de la infraestructura hidráulica.
- Control eficiente de la calidad constructiva: personal técnico y constructivo sea calificado, uso de materiales de buena calidad y revisión de metodologías constructivas adecuadas.

Las pérdidas de agua reducen los ingresos para la empresa operadora, lo que dificulta inversiones en mantenimiento y expansión de la red. Además, puede generar desigualdad en el acceso al agua, ya que algunos usuarios consumen agua sin pagar mientras otros pagan tarifas elevadas

4.4 MODELACIÓN HIDRÁULICA

La modelación hidráulica es una herramienta que nos facilita el análisis y diseño de un sistema de distribución de agua, ya que nos permite recrear una simulación computacional que representa y predice el comportamiento hidráulico de la red bajo las condiciones que se programe. Considera variables de caudal, velocidad, pérdidas de carga en diferentes condiciones operativas (estáticas y dinámicas). Las simulaciones computacionales nos permiten evaluar un sistema, detectar anomalías y proponer mejoras en los diseños.

En la modelación hidráulica se emplean ecuaciones hidráulicas basados en principios fundamentales de la mecánica de fluidos como la ecuación de continuidad, ecuación de energía (Bernoulli), fórmula de Darcy Weisbach y la fórmula de Hazen Williams.

Con la modelación hidráulica es posible estimar la presión esperada en los nudos de la red bajo las condiciones de diseño para las que fue concebido. Al comparar los resultados de la simulación con la información de campo como mediciones de presión y caudal, se pueden revelar incoherencias significativas que sugieren la ocurrencia de pérdidas de agua o sobrepresiones u otras anomalías en el funcionamiento de la red.

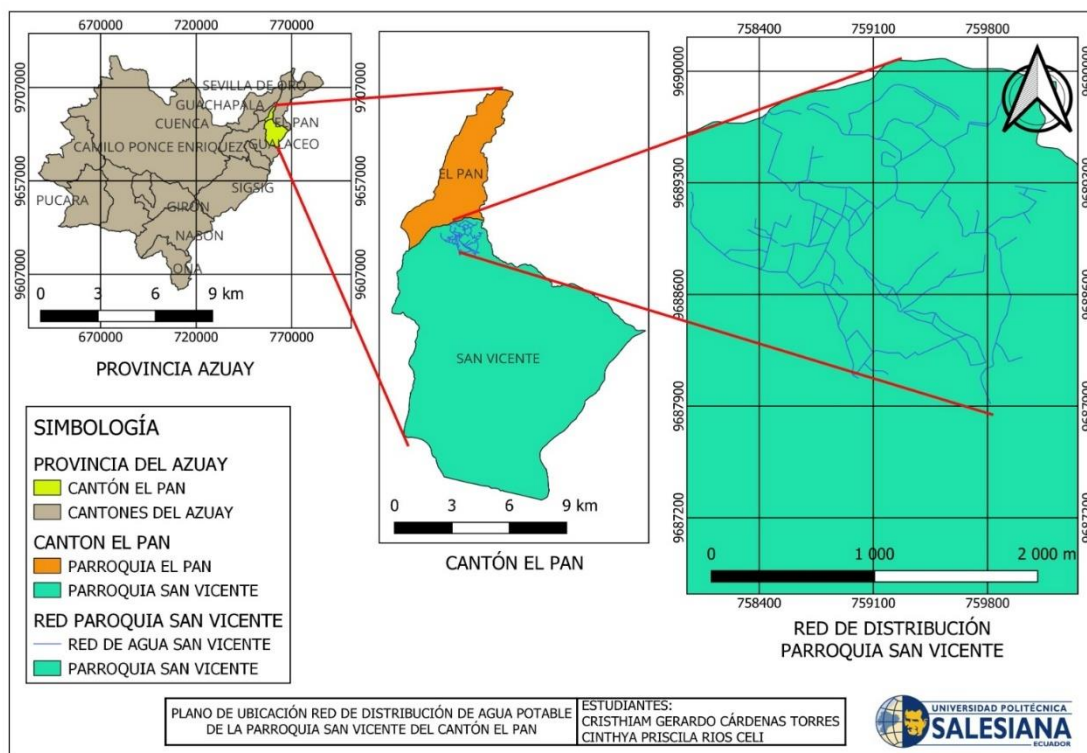
Para esta investigación se selecciona el software WaterCAD, desarrollado por Bentley Systems debido a sus ventajas como su compatibilidad con otros programas tanto para exportación como importación de datos, permite integrar datos del sistema GIS, archivos CAD y permite análisis en condiciones transitorias. Además, ofrece herramientas gráficas de visualización y reportes técnicos que facilitan la interpretación de resultados.(Bentley Institute, 2020)

5 MATERIALES Y METODOLOGÍA

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

La parroquia San Vicente se ubica en la parte Nororiental de la provincia del Azuay, pertenece al cantón el Pan, conformada por ocho comunidades principales: Santa Teresita, La Merced, La Nube, La Dolorosa, Tina Alta, Tina Baja, San Judas y el centro Parroquial. Su clima es templado-frío oscila entre 12 a 20°C con precipitación anual de 900 a 2000mm. Topográficamente el 58% del territorio presenta pendientes fuertes entre el 40 al 70% (Molleturo, 2024).

Figura 5. 1. Ubicación de la zona de estudio y mapa base de la red de distribución de agua potable- Parroquia San Vicente.



Nota: Elaborado a partir de datos del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (2023), utilizando ArcGIS. Fuente: Los autores.

El sistema de agua potable de la parroquia San Vicente forma parte de un proyecto integral que beneficia a todo el cantón, y se ha desarrollado en tres etapas como resultado de un convenio interinstitucional entre el Banco de Desarrollo del Ecuador, el

Gobierno Municipal y la Empresa Pública Estratégica Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP).

- **Etapa I:** Construcción de la captación y la planta de tratamiento de agua potable compacta.
- **Etapa II:** Implementación de redes de distribución y conexiones domiciliarias, abasteciendo a los usuarios de la parroquia San Vicente.
- **Etapa III:** En fase de desarrollo.

Las infraestructuras correspondientes a las Etapas I y II están operativas desde 2018 y 2019, respectivamente. La administración del sistema se

La parroquia San Vicente cuenta con 100% de cobertura en lo que se refiere a la dotación de agua sin embargo solo el 52.04% se abastece de la red de administrada por el GAD Municipal (Tabla 5.1.), mientras que la población restante cubre este servicio con las 34 adjudicaciones de agua existentes autorizadas por la secretaria del Agua SENAGUA, destinado para distintos usos como: domestico, riego, piscícola, industrial y abrevadero. La distribución de la procedencia del agua para consumo humano que tiene a la parroquia se presenta a continuación:

Tabla 5. 1. Procedencia del agua potable según el PDOT

Red de abastecimiento	# de hogares	% Cobertura Parcial	% Acumulado
Empresa pública/Municipio	424	52.04	52.04
Juntas de agua/ Organizaciones comunitarias/ GAD Parroquial	286	35.09	87.13
Pozo	54	6.62	93.75
Otras fuentes (río, vertiente, acequia, canal, grieta o agua lluvia)	51	6.25	100
TOTAL	815	100	100

Fuente: Molleturo (2024)

El 87.13% de los hogares registrados cuenta con agua de la red pública y redes de juntas de agua que trabajan en coordinación con el GAD Municipal y el GAD parroquial para el mantenimiento de los sistemas y potabilización del agua por lo que se la considera de buena calidad mientras el 12.87% se desconoce su calidad.

De acuerdo al Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial 2024-2027 del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural San Vicente existe una problemática en torno a la administración, mantenimiento y operación de los sistemas de agua. En el caso de los sistemas de agua potable municipal en temporada invernal el agua no es apta para el uso doméstico y consumo debido a su alta turbidez, esto se le atribuye al mal diseño de la captación y deterioro de la cobertura vegetal aguas arriba de la captación. En el caso de los sistemas de agua comunitarios las tasas de cobro son muy bajas y los usuarios no cancelan a tiempo, por lo que no es autosustentable ya que no cuentan con recursos para cubrir los gastos de operación, mantenimiento y menos renovación.

5.2 METODOLOGÍA

5.2.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se recopilará información técnica y operativa del sistema de distribución de agua potable proporcionada por el organismo encargado de su operación y mantenimiento.

Esta información incluirá:

- Configuración de la red.
- Características del diseño y materiales utilizados.
- Registros históricos de consumos o de al menos los últimos 6 meses.
- Antecedentes del proyecto y datos relevantes para el análisis del sistema.

Además, se llevará a cabo una actualización o un levantamiento completo de la red utilizando GPS diferencial, estación total o RTK GNSS para obtener una representación precisa de la infraestructura. Esta información se procesará en AutoCAD para la esquematización de la red y posteriormente, se integrará en el software de simulación seleccionado para evaluar su comportamiento hidráulico.

5.2.2 CAMPAÑAS DE MEDICIÓN

Las campañas de medición deben realizarse de manera periódica, al menos cada 6 meses para un monitoreo continuo de la red. Los tiempos de duración de cada etapa y

número de mediciones está limitado al nivel de colaboración de los usuarios y el organismo operador. Se realizarán mediciones cualitativas y cuantitativas a través de:

- **Censo parcial:** Evaluación de la percepción de los usuarios sobre el servicio, calidad del agua, presiones y problemas operativos o administrativos.
- **Pruebas de presión:** Medición en diferentes puntos de la red para identificar zonas críticas.
- **Medición de caudales:** Registro de niveles de agua en tanques de abastecimiento durante 24 horas para determinar consumos pico y estimar el gasto mensual.
- **Inspecciones visuales:** Identificación de fugas y posibles fallas en la infraestructura.

Estos datos permitirán validar la información proporcionada por el operador del sistema y realizar un análisis comparativo para identificar los indicadores de pérdidas de agua.

5.2.2.1 *Censo parcial*

El censo parcial consiste en la recolección de información mediante encuestas aplicadas a una muestra representativa de una población. En este caso, la población de estudio estará conformada por el total de conexiones domiciliarias registradas en la red, a partir de las cuales se calculará el tamaño de la muestra para determinar el número de predios a encuestar.

Para establecer el tamaño de la muestra se usa la siguiente *ecuación 1*.

$$n = \left[\frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * q} \right] \quad (1)$$

Donde:

n=tamaño de la muestra

N=tamaño de la población

Z =nivel de confiabilidad

e= margen de error 5% (0.05)

p= porción esperada de la característica de interés en la población

q =complemento de p , es decir $q=1-p$. Porción de la población que no tiene características de interés

Nota: al no tener un valor de q y p establecido se usa un valor genérico de 0.5 para ambos casos.

Además, se registrará la ubicación geográfica de los predios cuyos propietarios reporten inconvenientes o particularidades con el servicio, para una posterior toma de pruebas de presión. Estos datos facilitan el análisis espacial de los tramos o posibles zonas críticas.

El banco de preguntas que se aplica puede variar de acuerdo a las características propias del sector.

5.2.2.2 *Medición de presiones*

La medición de presiones se realiza con un manómetro comercial tipo Bordón conectado a la llave de agua. Un manómetro es un instrumento de medida de fluidos (líquidos y gases) a presión en circuitos cerrados. Miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor, presión manométrica(Comisión Nacional del Agua, 2019).

Para garantizar mediciones precisas, se realizarán pruebas en diferentes horarios del día:

- Durante el día: Mayor consumo → Presiones más bajas.
- Durante la noche: Menor consumo → Presiones más altas.

Cada medición se registrará en una hoja de control, indicando la ubicación exacta con GPS y el valor de la presión registrada. Las presiones se tomarán en PSI y bares y se transformarán a m.c.a. Se recomienda realizar la mayor cantidad de pruebas posibles o al menos en zonas donde ya se tenga indicios de problemas de presión y que abarquen toda la red para poder realizar el análisis comparativo con las presiones de la modelación hidráulica.

La normativa ecuatoriana recomienda como mínimo 10 metros de columna de agua (m.c.a) en los puntos y condiciones más desfavorables de la red. En condiciones estáticas las presiones no deberán ser mayores a los 70 m.c.a. y en condiciones dinámicas no superar los 50 m.c.a. (Instituto Ecuatoriano de obras Sanitarias, 1992). En caso de que durante la campaña de medición de presiones ocurran estos casos, se considerará zona crítica o susceptible a fugas por comprometerse la integridad de las tuberías.

5.2.2.3 *Medición de caudales*

La medición de caudales se debe realizar en las estructuras que dotan a la red del agua como pueden ser plantas potabilizadoras, tanques de regulación, galerías, etc., de preferencia hacer uso de los macromedidores ya instalados en caso de existir, caso contrario efectuar las mediciones de los niveles de agua en los tanques de abastecimiento o aforos volumétricos. Las mediciones deben hacerse durante la mayor cantidad de días posibles, registrando las 24 horas continuas en intervalos de 1 hora con el objetivo de:

- Identificar horas de consumo pico y mínimo.
- Calcular el volumen de consumo diario.
- Estimar el gasto de aforo mensual.

Con estos datos se establece la curva de consumo diario que caracteriza la red y permitirá representar cómo varía la demanda de agua a lo largo del día (patrón de consumo), datos que se requieren en la simulación dinámica de la red con el software WaterCAD.

Es importante recordar en caso de tener macromedidores instalados, realizar una calibración a los equipos de acuerdo a las indicaciones del fabricante y en caso de emplear el aforo volumétrico asegurarse de tener las medidas reales del tanque de la estructura y verificar que no exista escasez de agua que afecten las mediciones.

Se calcularán los índices de consumo indicados en el apartado 4.3.2.2 *Índices de consumo*.

5.2.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para evaluar el comportamiento hidráulico de la red, se utilizará el software especializado WaterCAD, herramienta ampliamente utilizada para el análisis, diseño y operación de redes de distribución de agua. La modelación permitirá simular tanto el estado estático (flujo constante) como el estado dinámico (variación horaria de demanda) del sistema a lo largo de un período de 24 horas.

Datos de entrada para la modelación: Para la construcción del modelo hidráulico en WaterCAD, se integrará la siguiente información:

- **Información topográfica detallada:** Obtenida mediante levantamientos con GPS diferencial, estación total o equipo RTK GNSS, lo cual permitirá definir correctamente las cotas de elevación de los nodos del sistema.
- **Esquematación de la red:** Realizada previamente en AutoCAD y exportada a WaterCAD, incluye tuberías, diámetros, longitudes, materiales, válvulas, conexiones y demás componentes hidráulicos.
- **Puntos de almacenamiento:** Ubicación, altitud, capacidad de los tanques, niveles mínimo y máximo operativos.
- **Caudales y patrones de consumo:** Utilizar los definidos en el diseño original de la red y a partir de las mediciones de campo, en caso de no poseer esta información, obtener los caudales en cada nudo utilizando el método de áreas de aporte y/o haciendo uso de registros históricos del operador. Se incluirán patrones de demanda horaria, representando variaciones en el consumo durante el día.

Procedimiento de simulación: Una vez ingresados todos los datos, se desarrollará la simulación hidráulica en dos fases:

- **Simulación estática:** para validar las presiones mínimas y máximas en condiciones promedio. Sirve como punto de partida para verificar si el sistema cumple con los criterios de diseño.

- **Simulación en estado dinámico extendido** (EPS - Extended Period Simulation): se ejecutará una simulación a lo largo de 24 horas, incorporando variaciones en la demanda de agua para analizar el comportamiento real de la red en diferentes horarios. Validaremos que las presiones a lo largo del día cumplan con el mínimo y máximo requerido, se pondrá énfasis en la hora de mayor y menor consumo de acuerdo a la curva de consumo diaria

Resultados esperados: Con la modelación hidráulica y su análisis comparativo se espera:

- Identificar sectores con presiones inadecuadas (bajas o excesivas).
- Proponer soluciones técnicas en tramos con posibles pérdidas reales.
- Establecer una base técnica para futuras mejoras en el sistema.

5.2.4 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA

Con los volúmenes medidos de acuerdo al apartado 5.2.2.3 *Medición de caudales*, se estima el volumen promedio mensual que ingresa a la red y con los datos de consumo facturado por el operador, se calculará el volumen de agua no contabilizada (ANC). Esta diferencia será desglosada como consumo autorizado no facturado, pérdidas físicas (fugas) y aparentes (errores de facturación, conexiones clandestinas, etc.), los autores proponen una distribución porcentual de acuerdo a una adaptación de la metodología propuesta por la IWA (International Water Association) para el análisis del Agua No Contabilizada, que se detalla en la siguiente *Tabla 5. 2*.

Tabla 5. 2. *Distribución de agua no contabilizada*

Concepto	Rango de porcentaje estimado
Consumo autorizado no facturado (actividades de limpieza de parques, bomberos, etc.)	5-10%
Pérdidas aparentes (errores de medición, errores de facturación)	5-10%
Pérdidas reales (fugas físicas, conexiones clandestinas, etc.)	25-30%

Fuente: Estudio de Agua Potable GAD Municipal El Pan

5.2.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se realizará un análisis económico de la producción, operación y recaudación del sistema de distribución analizado, con el objetivo de determinar su sostenibilidad financiera. Para ello, se efectuará una comparación entre los costos totales de producción del servicio y los ingresos generados a través de la facturación a los usuarios.

Este análisis permitirá identificar si existe una brecha entre lo que cuesta proveer el servicio y lo que realmente se recupera, evaluando así la viabilidad económica del sistema. En caso de detectarse desequilibrios, se propondrán medidas correctivas como la mejora en los mecanismos de cobro, control de pérdidas de agua no contabilizada o ajuste tarifario conforme a la normativa vigente del ARCA.

Se establecerá el costo global del consumo mensual, basado en los registros de consumo y considerando los rangos y tarifas establecidos por la entidad operadora y otros valores de facturación de ser el caso. Se determinará el gasto de operación, mantenimiento y producción agua potable ya sea mensual o anual y finalmente se comparará los costos de producción versus lo facturado para establecer si hay o no un margen de ganancia y sostenibilidad financiera.

5.2.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El estudio enfrentó diversas limitaciones que comprometieron la ejecución integral de la metodología propuesta.

En el ámbito técnico, la ausencia de dispositivos adecuados de macro y micromedición redujo la precisión de los datos recolectados, mientras que la configuración ramificada de la red dificultó su sectorización y monitoreo. A esto se suma la carencia de registros históricos completos y confiables.

Desde el punto de vista logístico, la limitada coordinación con el operador del sistema para el manejo de válvulas, sumada la escasa cooperación de algunos usuarios afecta la información obtenida durante este estudio.

En el plano institucional, se identificaron restricciones presupuestarias que impiden la adquisición de tecnologías más avanzadas, una limitada capacitación del personal operativo y una débil articulación entre el GAD Municipal y las comunidades, lo que fragmenta la gestión del sistema actual de agua potable.

Si se presentaran las limitaciones de datos o de instrumentación inherentes a la infraestructura existente, se procederá a la extrapolación controlada de información proveniente de sistemas de distribución de agua potable en zonas geográficamente adyacentes o con características hidrológicas, demográficas y socioeconómicas análogas. Esta estrategia de complementación de datos permitirá mitigar las incertidumbres asociadas a la información incompleta o inexistente, posibilitando la aplicación de la metodología propuesta para la cuantificación y cualificación de pérdidas, y consecuentemente, garantizando la validez estadística y la representatividad técnica del análisis en las condiciones operativas reales de la red.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Como resultado de la recopilación, procesamiento y análisis de la información, se presenta en la Tabla 6. 1. *Información General e Hidráulica del Sistema de agua Potable, Parroquia San Vicente* Tabla 6. 1. un resumen de las características generales, hidráulicas y operativas del sistema de distribución de agua potable de la parroquia San Vicente.

El sistema de abastecimiento de agua potable de la parroquia San Vicente, perteneciente al cantón El Pan, es administrado, operado y mantenido por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD-M) de El Pan, con el apoyo del Gobierno Autónomo Parroquial. Este sistema cuenta con una red de distribución de 19.90 km de longitud, 44 válvulas reductoras-sostenedoras de presión, y 424 conexiones domiciliarias activas a la fecha de realización de este estudio.

Tabla 6. 1. *Información General e Hidráulica del Sistema de agua Potable, Parroquia San Vicente*

Área	Detalle	Cantidad	Observación
Operacional	Organismo encargado de la operación de la red	1	GAD del Cantón el Pan
	Número de acometidas	424	
	Área de cobertura de la red	52.04%	Del total del territorio
	Tipo de Red	-	Red Abierta/Ramificada
Tuberías	Longitud total de la red	19.90km	Tubería PVC
		10031m	Tubería PVC E/C 1.25 MPA - 32 mm
		2704m	Tubería PVC U/E 1.00 MPA - 50 mm
		5479m	Tubería PVC U/E 1.00 MPA - 63 mm
		690m	Tubería PVC U/E 1.00 MPA - 63 mm
		999m	Tubería PVC U/E 1.00 MPA - 110 mm

Área	Detalle	Cantidad	Observación
Válvulas	Número de válvulas reductoras-sostenedora de presión	44	De las cuales 21 son de 32mm de diámetro, 6 de 50mm, 12 de 63mm, 4 de 75mm y 1 de 110mm
	Número de válvulas reguladores de caudal	0	La red no está sectorizada
Diseño	Dotación neta	120	lt/hab*día
	Factor de fugas	20	%
	Factor de pérdidas	25	%
	Dotación Bruta	144	lt/hab*día
	Periodo de diseño	25	años
	Población actual	1060	habitantes
	Tasa de crecimiento	1.27	%
	Población Futura	1453	habitantes
	Caudal medio (Qm)	2.02	l/s
	Caudal máximo diario (QMD)	2.52	l/s
	Caudal máximo horario (QMH)	6.45	l/s
Reserva	Volumen de reserva	150.30 m ³	3 tanques de Subsistema San Vicente de 50.10m ³ cada uno

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Pan, 2022)

En la Tabla 6. 2 que se presenta a continuación encontraremos el volumen promedio de metros cúbicos de agua registrados durante el periodo entre julio 2024 y enero 2025, además el número de usuarios que no registran consumo y valores promedio que facilitan el entendimiento del comportamiento de los usuarios al uso de la red pública.

Tabla 6. 2. Resumen de volúmenes facturados en el periodo comprendido entre julio 2024 y enero 2025

Detalle	Julio-Agosto	Agosto-Septiembre	Septiembre-October	October-Notiembre	Notiembre-Diciembre	Diciembre-Enero	Promedio
Volumen facturado mensual (m³)	2361	476	2781	1883	2426	1799	1954.33
Número de usuarios con consumo en 0	208	344	199	249	202	212	236
Número de usuarios que si registran consumo	216	80	225	175	222	212	188

Detalle	Julio- Agosto	Agosto- Septiembre	Septiembre- Octubre	Octubre- Noviembre	Noviembre- Diciembre	Diciembre- Enero	Promedio
Promedio de consumo mensual total (m³)	5.57	1.12	6.56	4.44	5.72	4.24	4.61
Promedio de consumo entre usuarios que si registran lecturas (m³)	10.93	5.95	12.36	10.76	10.93	8.49	10.4

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Pan, 2022)

En base a la información detallada sobre los usuarios y los volúmenes de consumo registrados durante los últimos seis meses, se identificó una particularidad relevante en relación con el uso real del sistema de distribución de agua potable. El sistema cuenta con un total de 424 usuarios registrados, sin embargo se constató que únicamente en promedio solo 188 usuarios hacen uso efectivo del servicio y los 236 usuarios restante presentan valores en 0 m³ de consumo mensual.

En promedio el volumen mensual de agua facturada es de 1954.33 m³; con este volumen y considerando un total de 424 acometidas, el valor promedio de consumo por usuarios sería de 4.61m³. Sin embargo, considerando que solo 188 usuarios hacen uso de la red el promedio real es de 10.40m³. En ambos casos este valor está por debajo de lo esperado de acuerdo con la dotación de diseño que considera una población actual de 1060 habitantes y una dotación de 120 lt/hab*día, lo que nos da un volumen esperado mensual de 3816.00m³ en 30 días, es decir 48.79% más bajo de lo proyectado.

Esta situación se explica por el hecho de que una proporción significativa de la población se abastece de fuentes alternativas, principalmente a través de conexiones facilitadas por la Junta Administradora de Agua. La red administrada por la Junta está ubicada de forma paralela e independiente a la red del sistema público; por ende, muchos de los usuarios cuentan con los dos servicios conectados a su domicilio y al ser de menor costo es la que registra un mayor consumo.

Esta condición refleja una baja dependencia del sistema de agua potable gestionado por el Gobierno Autónomo, lo que incide directamente en la demanda real, los ingresos por consumo, la eficiencia hidráulica y los niveles de pérdida aparente del sistema. Asimismo, evidencia problemas estructurales relacionados con la confianza,

continuidad, calidad o cobertura del servicio público, factores que deben ser considerados en la planificación de mejoras operativas y de gestión.

6.2 CAMPAÑA DE MEDICIÓN

La campaña de medición en la zona de estudio permitió recopilar información directa y actualizada sobre el estado del sistema, los hábitos de consumo, la percepción de los usuarios y el comportamiento hidráulico de la red en condiciones reales de operación.

6.2.1 ESTIMACIÓN DE LA MUESTRA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CENSO PARCIAL

Usamos la *Ecuación 1* para obtener el número de conexiones o predios para aplicar el censo parcial. De un total de 424 conexiones domiciliarias instaladas y asumiendo un margen de error del 5% y un 85% de confiabilidad ($Z=1.44$), se establece una muestra de 139 conexiones o acometidas.

$$n = \left[\frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * q} \right]$$

$$n = \left[\frac{424 * 1.44^2 * 0.5 * 0.5}{(424 - 1) * 0.05^2 + 1.44^2 * 0.5 * 0.5} \right]$$

$$n = 139 \text{ acometidas}$$

A continuación, encontrarán los resultados de mayor relevancia obtenidos de la aplicación de la encuesta. Las preguntas fueron estructuradas con el objetivo de evaluar el estado del servicio de agua potable y detectar problemas asociados a las pérdidas de agua en la red de distribución.

En el *Anexo A*, se adjunta el banco de preguntas aplicado en el censo parcial y la tabulación completa de las encuestas aplicadas.

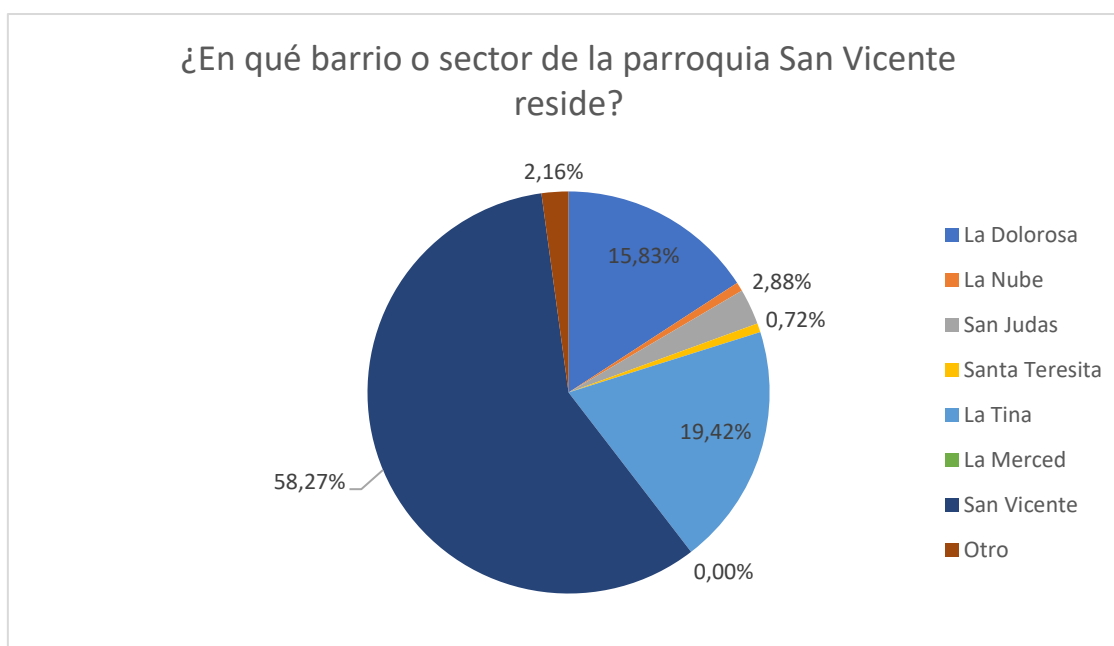
6.2.1.1 Disponibilidad del servicio y características de usuarios

De acuerdo a la tabulación de los datos obtenidos se establece que el 100% de los predios encuestados, cuenta con el servicio de la red operada por el municipio.

El censo en su totalidad se aplicó únicamente a usuarios de uso residencial, sin embargo es importante indicar que la red cuenta con usuarios de categoría institucional (entidades públicas), categoría industrial y comercial.

En la Figura 6. 1 encontraremos los resultados de los barrios con mayor recurrencia a los cuales se aplicó el censo parcial.

Figura 6. 1. Resultados de la pregunta: ¿En qué barrio o sector de la parroquia San Vicente reside?

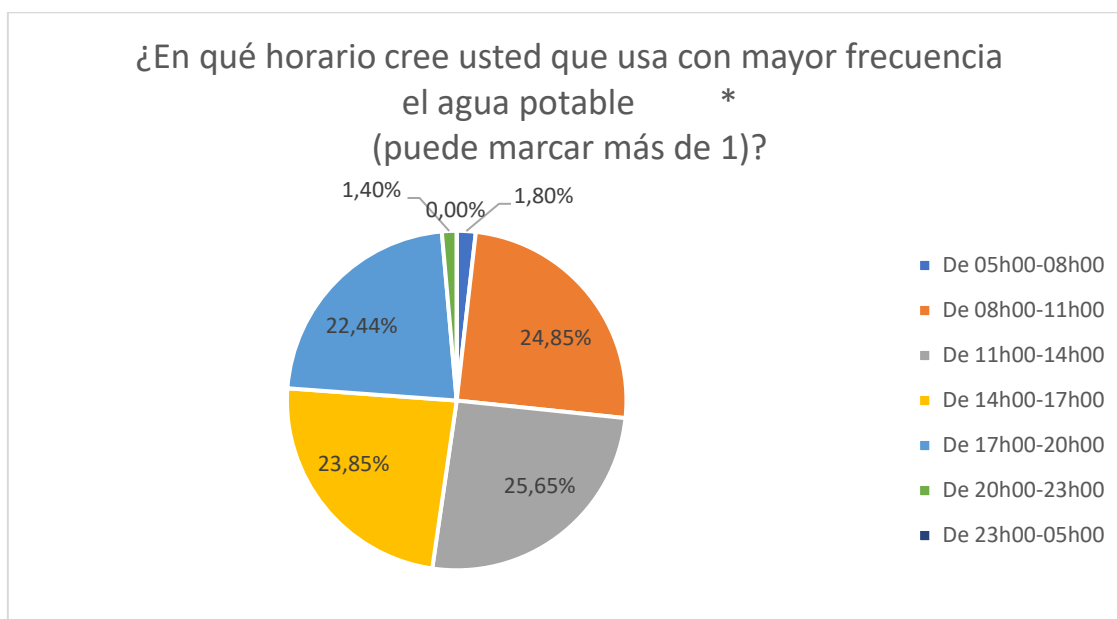


Nota: Elaborado a partir de la tabulación de resultados del censo parcial. Fuente: Los autores.

En la parroquia Rural San Vicente la mayor concentración de usuarios se encuentran en los barrios: San Vicente, La Tina y barrio La Dolorosa con un porcentaje del 58.27%, 19.42% y 15.83% respectivamente.

En la Figura 6. 2 de acuerdo a los encuestados, hay una mayor demanda o uso del agua de la red a partir de las 08h00 a 20h00, mientras que el horario de 23h00 a 05h00 lo señalan como el horario donde uso es mínimo y ocasional.

Figura 6. 2. Resultados de la pregunta: ¿En que horario cree usted que usa con mayor frecuencia el agua potable (puede marcar más de 1)



Nota: Elaborado a partir de la tabulación de resultados del censo parcial. Fuente: Los autores.

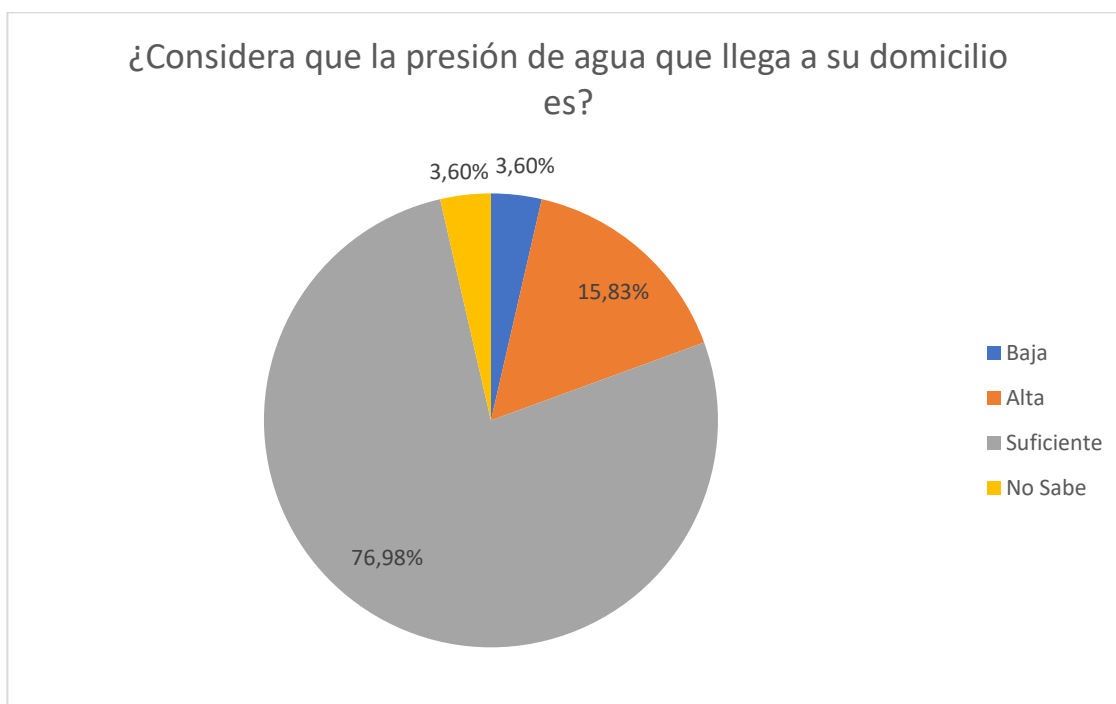
6.2.1.2 Disponibilidad y calidad del servicio.

Al preguntar a los usuarios sobre la disponibilidad del agua las 24 horas del día, el 82.01% afirmó que sí cuenta con un suministro continuo, mientras que el 17.99% indicó que sufre interrupciones, lo que sugiere la necesidad de optimizar la infraestructura del sistema de distribución.

De acuerdo a como los usuarios perciben la calidad del agua que llega a su domicilio, el 59.71% consideran que la calidad del agua potable es regular, el 34.53% lo cataloga como bueno y el 5.76% como malo.

Otro de los indicadores de calidad del servicio es la presión de agua que llega los predios, ver Figura 6. 3 El 76.98% la percibe como suficiente, el 3.60% la considera baja, mientras que un 15.83% reporta presión alta y un 3.60% no sabe o no tiene una opinión al respecto.

Figura 6. 3. Resultados de la pregunta: ¿Considera que la presión de agua que llega a su domicilio es?



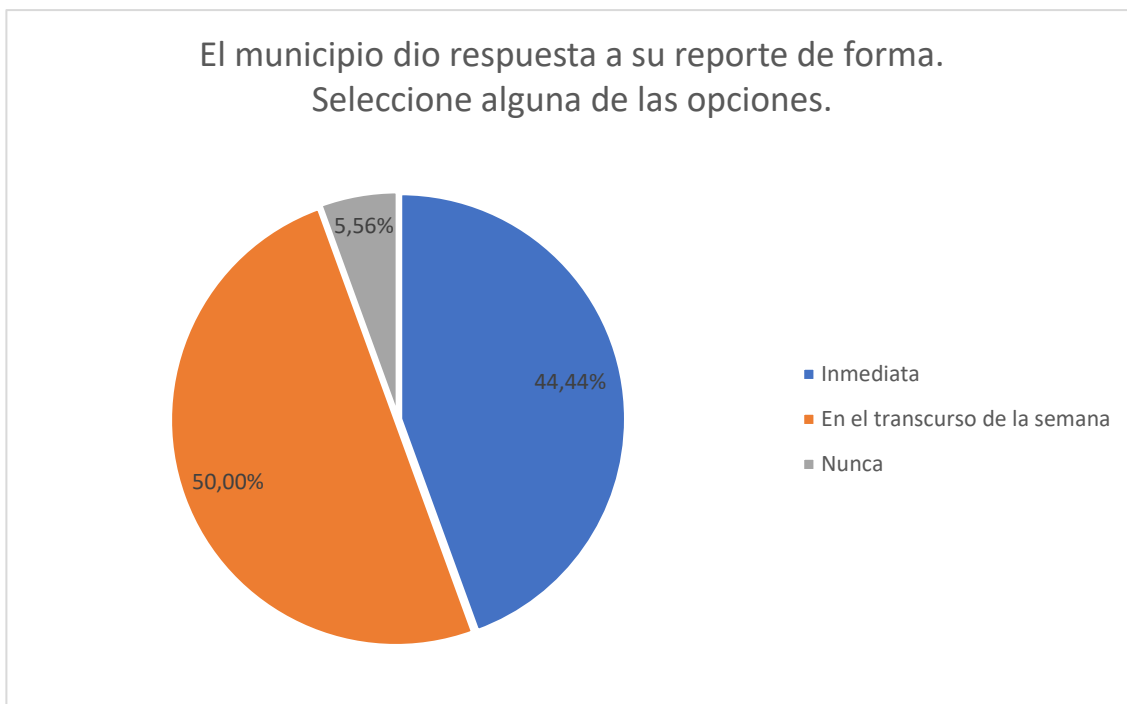
Nota: Elaborado a partir de la tabulación de resultados del censo parcial. Fuente: Los autores.

El 45.45% de los encuestados notaron que los problemas de suministro de agua ocurren con mayor frecuencia en la estación lluviosa, ya que el agua se vuelve turbia y no es apta para consumo y esto lo atribuyen a problemas en la captación, mientras que el 9.35% indica que esto ocurren en la estación seca y el 48.20% no ha notado ningún patrón.

6.2.1.3 Pérdidas de agua y reportes de fugas.

Tan solo el 12.95% de los usuarios han detectado fugas y el 100% de las fugas han sido reportadas al organismo encargado, en este caso el Municipio. De un total de 18 fugas ver Figura 6. 4, el 44.441% fueron atendidas de forma inmediata, el 50.00% en el transcurso de una semana y tan solo el 5.56% indican que nunca. Lo que muestra que el nivel de respuesta del organismo encargado frente a inconvenientes reportados es alto.

Figura 6. 4. Resultados de la pregunta: El municipio dio respuesta a su reporte de forma. Seleccione alguna de las opciones: Inmediata, en el transcurso de la semana o nunca.



Nota: Elaborado a partir de la tabulación de resultados del censo parcial. Fuente: Los autores.

6.2.1.4 Satisfacción en el servicio

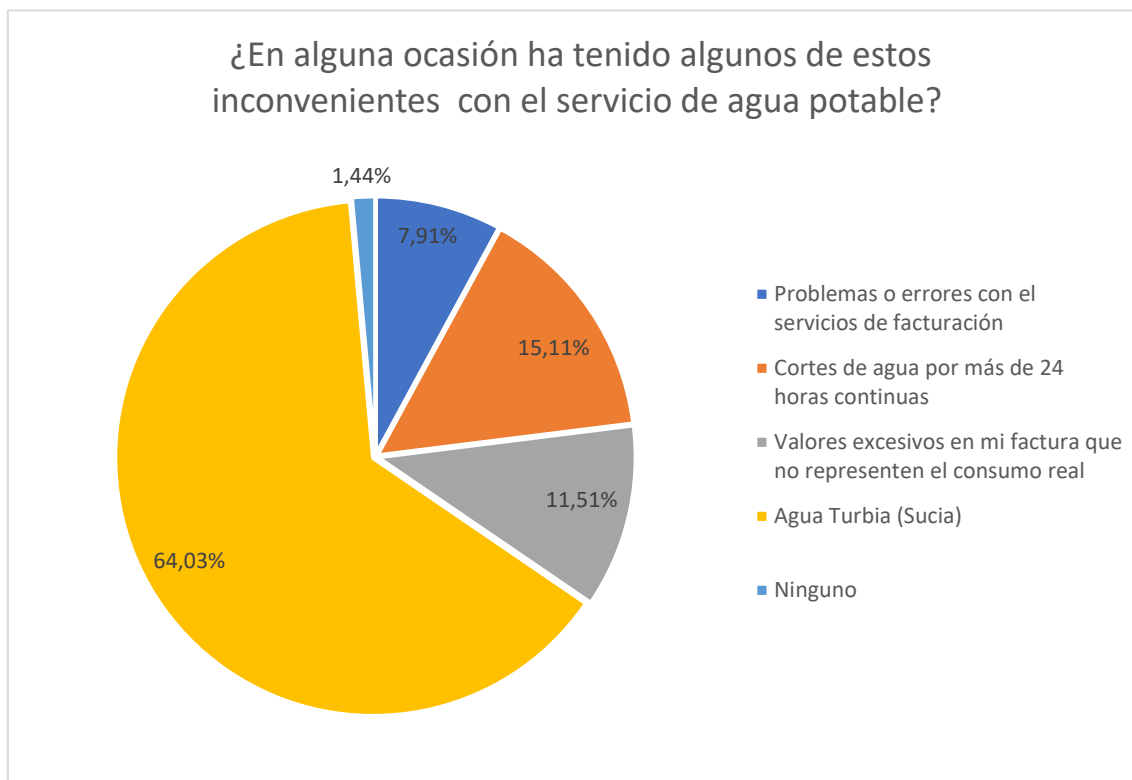
El 69.78% de los usuarios han notado una mejora en la calidad del agua desde que entró en funcionamiento la nueva red. Cuando se pidió a los encuestados que calificaran el servicio en una escala del 1 al 5, donde 1 es insatisfactorio y 5 es excelente, los resultados fueron los siguientes:

- 4.32% calificó con 1 (muy insatisfecho).
- 10.79% con 2.
- 26.62% con 3 (nivel medio de satisfacción).
- 30.94% con 4.
- 27.34% con 5 (muy satisfecho).

Los problemas que más comúnmente se presentan en la red se pueden ver en la Figura 6. 5 , donde los 7.91% de los usuarios indican errores con el servicio de facturación, un 15.11% indican cortes de agua por más de 24 horas continuas, el 11.51% de los censados aseguran valores excesivos en sus facturas y un 64.03 reporta agua turbia o sucia en

temporada y un 1.44% no reporta ningún inconveniente. Es importante mencionar que estos problemas son ocasionales.

Figura 6. 5. Resultados de la pregunta: ¿En alguna ocasión ha tenido algunos de estos inconvenientes con el servicio de agua potable?



Nota: Elaborado a partir de la tabulación de resultados del censo parcial. Fuente: Los autores.

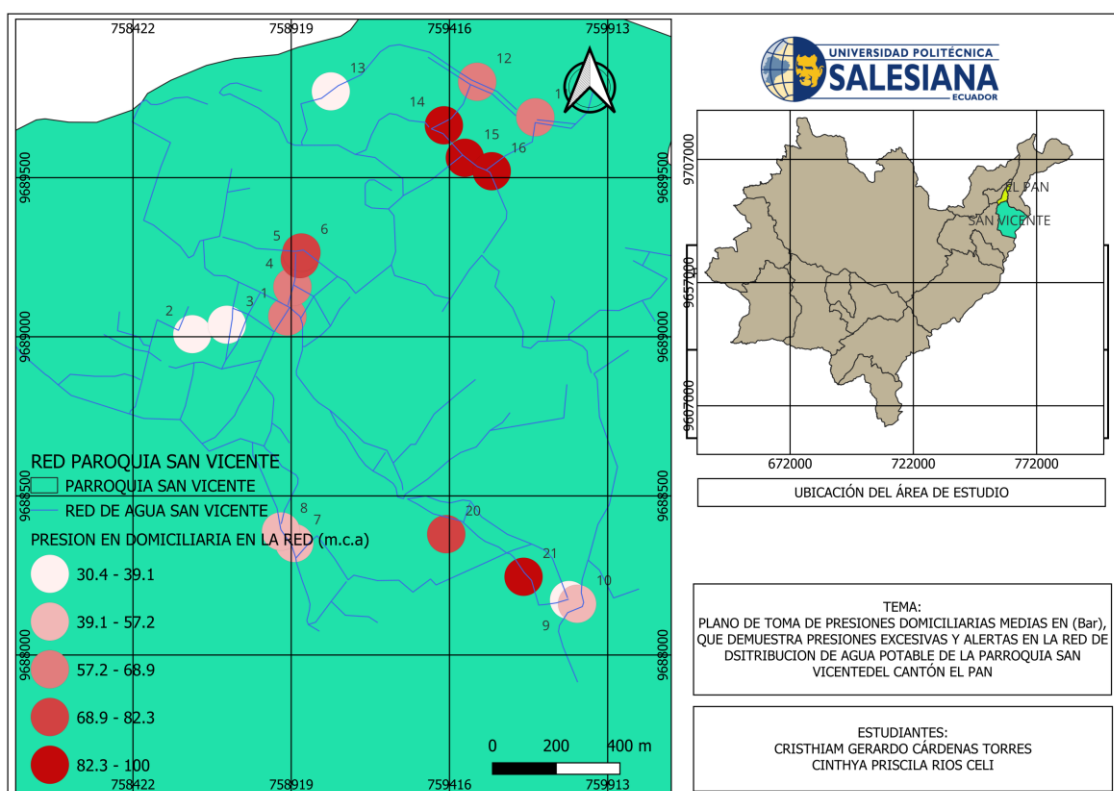
6.2.2 MEDICIÓN DE PRESIONES EN LA RED

Para la toma de pruebas de presión se recomienda implementar la sectorización de la red con el fin de reducir el área de evaluación y facilitar el análisis. Sin embargo, en las zonas rurales de la sierra ecuatoriana, predominan las redes abiertas debido a la compleja topografía y las grandes distancias entre los usuarios, lo que limita la aplicación de esquemas sectorizados. Por lo tanto, se sugiere dividir en tres zonas: alta, media y baja, tomando como referencia las curvas de nivel.

La red de la parroquia El Pan ha sido diseñada con 115 nudos, cada uno cuenta con un código N seguido de un guion medio y un número, por ejemplo, N-1, N-110, etc. En el *Anexo B. Características geométricas e hidráulicas de la red*, encontraremos una tabla con información más detallada.

Se tomaron 18 pruebas de presión en distintos horarios y zonas, algunas de ellas coinciden con predios en los cuales los usuarios en el censo parcial mencionaron problemas de presión. Para una mejor comprensión de la distribución espacial donde se realizaron las pruebas se presenta la Figura 6. 6. *Mapa de presiones resultante de la campaña de medición. Parroquia San Vicente.*

Figura 6. 6. *Mapa de presiones resultante de la campaña de medición. Parroquia San Vicente.*



Nota: Elaborado a partir de datos del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (2023), utilizando ArcGIS. Fuente: Los autores

Podemos ver 5 colores distintos que representan rangos de presión desde los más bajos con color blanco y que incrementan paulatinamente hasta las presiones más altas de color rojo.

En las tablas de resultados se encontrarán un código de referencia asignado a cada predio evaluado con su ubicación geográfica, la hora que se realizó la lectura y la medida de presión (se presentan los resultados en metros columna de agua).

Los resultados de las mediciones de la zona baja se presentan la *Tabla 6. 3.*

Tabla 6. 3. Resultados de pruebas de presión en zona alta.

Ref.	Coordenadas		Hora de Prueba	Presión Promedio m.c.a.	Max	Min	Observación
	X	Y					
7	758929	9688352	10:34:00	56.21	56.90	52.76	
			11:00:00	54.49			
			15:15:00	56.90			
			18:25:00	56.72			
			19:20:00	52.76			
8	758887	9688389	10:40:00	57.07	58.29	56.21	Supera lo máximo permitido de 50 m.c.a. de acuerdo a normativa vigente. Tramo entre N-13 y N-10
			11:40:00	56.21			
			18:30:00	57.07			
			19:10:00	56.21			
			19:40:00	58.29			

Fuente: Los autores

La Tabla 6. 4 muestra los resultados de las mediciones de la zona media de la red.

Tabla 6. 4. Resultados de pruebas de presión en zona media.

Ref.	Coordenadas		Hora de Prueba	Presión Promedio m.c.a.	Max	Min	Observación
	X	Y					
1	758907	9689064	10:45:00	58.96	67.45	52.25	En censo también indican problemas con presiones altas. Tramo entre N-33 y N-36
			12:30:00	56.21			
			14:00:00	52.25			
			17:45:00	67.45			
			18:30:00	65.03			
2	758608	9689008	10:25:00	28.36	32.51	28.36	Presiones adecuadas con variaciones pequeñas durante las horas de medición
			12:00:00	32.51			
			13:00:00	28.36			
			15:00:00	30.09			
			17:54:00	31.65			
3	758717	9689038	10:35:00	35.45	35.45	32.87	
			14:00:00	35.45			
			18:03:00	32.87			
			18:30:00	32.87			
			19:00:00	33.73			
4	758923	9689157	10:45:00	61.07	77.48	55.35	Usuarios indican en censo probl. con presiones altas. Tramo entre N-40 y N-46; y entre N-40 y N-37
			11:30:00	61.93			
			14:15:00	55.35			
			18:06:00	71.61			
			18:20:00	75.76			
			19:10:00	77.48			

Ref.	Coordenadas		Hora de Prueba	Presión Promedio m.c.a.	Max	Min	Observación
	X	Y					
5	758946	9689244	10:00:00	69.53	81.99	69.53	
			11:00:00	76.11			
			13:30:00	74.90			
			15:00:00	73.33			
			18:10:00	74.90			
			18:20:00	81.99			
			19:00:00	78.70			
6	758951	9689265	10:25:00	76.62	84.06	71.25	Usuarios indican en censo problemas con presiones altas. Tramo entre N-40 y N-46; y entre N-40 y N-37
			11:30:00	71.25			
			14:45:00	72.27			
			18:12:00	81.99			
			19:05:00	78.70			
			19:45:00	84.06			
9	759791	9688173	10:50:00	33.73	48.60	33.73	
			12:00:00	34.59			
			18:40:00	37.18			
			19:00:00	35.45			
			19:30:00	48.60			
10	759817	9688161	10:59:00	43.40	46.18	42.89	Presiones adecuadas
			11:40:00	42.89			
			14:00:00	42.89			
			18:42:00	43.76			
			19:00:00	42.89			
			19:30:00	46.18			
17	759406	9688380	10:00:00	70.38	81.60	70.38	
			10:30:00	71.40			
			14:00:00	73.44			
			19:00:00	79.56			
			19:45:00	81.60			
18	759649	9688246	10:25:00	86.30	86.30	83.36	Presiones por sobre los 50 m.c.a. entre N-51 y N-52 y en tramo entre N-51 y N-61
			11:00:00	83.87			
			14:00:00	83.36			
			19:00:00	86.30			
			19:30:00	85.79			

Fuente: Los autores

Tabla 6. 5. Resultados de pruebas de presión zona baja.

Ref.	Coordenadas		Hora de Prueba	Presión Promedio m.c.a.	Max	Min	Observación
	X	Y					
11	759686	9689690	08:00:00	67.65	69.88	67.65	Presiones que superan los 50 m.c.a. Tramo N-106 al N-105.
			11:00:00	68.16			
			18:04:00	67.65			
			18:30:00	68.16			
			19:15:00	69.88			

Ref.	Coordenadas		Hora de Prueba	Presión			Observación
	X	Y		Promedio m.c.a.	Max	Min	
12	759503	9689801	08:09:00	56.21	58.80	56.21	Presiones que superan los 50 m.c.a. Tramo N-106 al N-105.
			10:00:00	57.94			
			18:07:00	56.21			
			18:45:00	57.43			
			19:30:00	58.80			
13	759043	9689771	08:18:00	34.94	35.45	30.35	Presiones adecuadas
			08:30:00	34.94			
			12:00:00	35.45			
			18:45:00	34.94			
			19:30:00	30.35			
14	759399	9689665	08:32:00	94.60	106.35	94.60	
			09:30:00	96.52			
			12:00:00	99.26			
			18:13:00	101.69			
			18:45:00	106.35			
15	759464	9689562	08:39:00	97.03	102.75	97.03	Tramo comprendido entre N-86, N-85 y VRP-36; y el tramo entre N-86 y N87
			09:30:00	102.75			
			18:17:00	97.38			
			18:30:00	98.24			
			19:00:00	99.96			
16	759549	9689520	08:46:00	97.38	100.98	97.38	
			10:00:00	98.59			
			18:25:00	98.24			
			18:40:00	99.10			
			19:10:00	100.98			

Fuente: Los autores

Con apoyo de las referencias geográficas y el plano de la red, se pueden identificar los tramos (tuberías), donde tienen lugar las presiones elevadas. En la *Tabla 6. 6* encontraremos un resumen con los resultados divididos en zonas.

Tabla 6. 6. *Tramos de tubería con presiones sobre los 50 m.c.a.*

Zona	Etiqueta	Nudo inicial	Nudo Final	Diámetro	Longitud
Alta	T-12	N-13	N-10	75,0	107
Media	T-54	N-51	N-52	63,0	168
	T-37	VRP-14	N-46	63,0	86
	T-40	N-33	N-36	63,0	91
	T-107	N-40	N-37	32,0	65
	T-153	N-51	N-61	32,0	200
Baja	T-70	N-85	VRP-36	50,0	51
	T-74	N-86	N-87	50,0	88
	T-75	N-86	N-85	50,0	131
	T-134	N-106	N-105	32,0	121

En la zona alta, encontramos que el tramo de tubería T-12 comprendido entre el nudo N-13 y el nudo N-10, presenta presiones ligeramente por encima de 50 m.c.a.

En la zona media y de mayor densidad poblacional se pudo verificar algunas presiones elevadas cuando la red está operando en condiciones dinámicas y que concuerdan con la aplicación del censo donde los usuarios indicaban tener inconvenientes. Y en la zona baja, en algunos puntos más alejados de la red se identifican los valores de presión más altos en especial por la tarde/noche, alcanzando valores de hasta 106 m.c.a.

En general la red no cuenta con nudos con presiones por debajo de los 10 m.c.a., lo cual es un indicativo de la no existencia de fugas, sin embargo, presenta presiones elevadas por encima de los 51 m.c.a. valor recomendado por la normativa ecuatoriana para este tipo de redes que de acuerdo con el numeral 4.6.1 de la NTE INEN 1 680 menciona “La presión o altura manométrica de trabajo en las tuberías de la red de distribución debe estar de acuerdo a las alturas de las edificaciones proyectadas. En todo caso, la presión mínima será de 0,10 MPa y la máxima de 0,50 MPa. De requerirse presiones superiores a 0,50 MPa, se diseñarán sistemas especiales adecuados para el efecto.”

Las presiones elevadas aumentan el riesgo de roturas y pérdidas reales, sobre todo en PVC con uniones sensibles o en zonas de alta pendiente.

6.2.3 MEDICIÓN DE CAUDALES SUMINISTRADOS A LA RED

Se registraron los volúmenes que ingresan a la red en intervalos de 1 hora, lo que nos permite tener una idea general del comportamiento de consumo de los usuarios. La hora de llenado de los tanques fue entre las 2h00 y 3h00 por lo que se asume valores similares a los registrados entre la 1h00 y 2h00 como constantes. En la Tabla 6. 7 se presentan los volúmenes parciales medidos en intervalos de 1 hora que ingresan a la red durante 24 horas en un periodo de 5 días continuos.

Tabla 6. 7. Resumen de caudales suministrados a la red

Rango horario		Viernes 04-04-2026	Sábado 05-04-2025	Domingo 06-04-2025	Lunes 07-04-2025	Martes 08-04-2025	VALORES PROMEDIO
		(m ³ /h)					
23:59 - 01:00	1	0	1.99	2.32	2.32	1.99	1.72
01:00 - 02:00	2	1.99	1.99	2.32	2.32	1.99	2.12
02:00 - 03:00	3	1.99	1.99	2.32	2.32	1.99	2.12
03:00 - 04:00	4	1.99	1.99	1.99	2.32	1.66	1.99
04:00 - 05:00	5	2.32	2.99	1.99	2.65	1.66	2.32
05:00 - 06:00	6	4.65	5.64	4.65	4.98	4.65	4.91
06:00 - 07:00	7	7.3	5.97	6.97	7.63	7.63	7.1
07:00 - 08:00	8	7.63	5.97	6.97	7.3	6.3	6.83
08:00 - 09:00	9	5.97	5.64	5.64	5.97	5.97	5.84
09:00 - 10:00	10	4.98	9.95	5.97	5.97	7.3	6.83
10:00 - 11:00	11	6.64	8.96	8.96	6.97	8.96	8.1
11:00 - 12:00	12	8.63	8.3	7.96	7.3	8.63	8.16
12:00 - 13:00	13	8.63	8.3	7.96	6.64	7.63	7.83
13:00 - 14:00	14	8.63	8.63	7.63	6.64	6.97	7.7
14:00 - 15:00	15	4.98	6.3	4.31	3.98	3.65	4.64
15:00 - 16:00	16	3.98	5.31	4.31	4.31	3.32	4.25
16:00 - 17:00	17	3.98	4.98	4.31	4.98	3.65	4.38
17:00 - 18:00	18	4.31	4.65	4.65	5.97	4.65	4.85
18:00 - 19:00	19	5.31	4.98	4.31	4.98	4.31	4.78
19:00 - 20:00	20	4.98	4.65	4.31	4.65	5.97	4.91
20:00 - 21:00	21	2.65	3.32	1.99	4.31	3.32	3.12
21:00 - 22:00	22	2.32	2.32	1.99	3.65	3.32	2.72
22:00 - 23:00	23	2.32	2.32	1.99	3.65	3.32	2.72
23:00 - 23:59	23.59	2.32	2.32	2.32	2.99	3.32	2.65

Fuente: Los autores

Los volúmenes más altos de consumo se registran entre las 11h00 y 12h00 con 8.16m³ en promedio, mientras que las entras las 23h59 y la 1h00 el valor promedio es de 1.72m³, el más bajo registrado. En promedio en un día se consumen 112.61m³ y en promedio general cada hora se consumen 4.69m³/h.

El índice de consumo horario promedio es de 4.74 lo cual de acuerdo con la bibliografía nos indica un nivel bajo de fugas, sin embrago el índice de consumo mínimo nocturno ICMN de 0.37 al ser mayor a 0.35 nos indica una sospecha de fuga.

Los volúmenes más altos de consumo se registran entre las 11h00 y 12h00 con 8.16m³ en promedio, mientras que las entras las 23h59 y la 1h00 el valor promedio es de

1.72m³, el más bajo registrado. En promedio en un día se consumen 112.61m³ y en promedio general cada hora se consumen 4.69m³/h.

Tabla 6. 8. Indicadores de consumo.

Detalle	Viernes 04-04-2026	Sábado 05-04-2025	Domingo 06-04-2025	Lunes 07-04-2025	Martes 08-04-2025	VALORES PROMEDIO
	(m ³ /h)					
Volumen diario (m ³)	108.5	119.46	108.14	114.8	112.16	112.61
Consumo máximo horario (CMH) m ³ /h	8.63	9.95	8.96	7.63	8.96	8.16
Consumo mínimo nocturno (CMN) m ³ /h	1.99	1.99	1.99	2.32	1.66	1.72
Consumo horario promedio (CHP) m ³ /h	4.52	4.98	4.51	4.78	4.67	4.69
Índice de consumo horario	4.34	5	4.5	3.29	5.4	4.74
Índice de consumo máximo horario (ICMH)	1.91	2	1.99	1.6	1.92	1.74
Índice de consumo mínimo nocturno (ICMN)	0.44	0.4	0.44	0.49	0.36	0.37

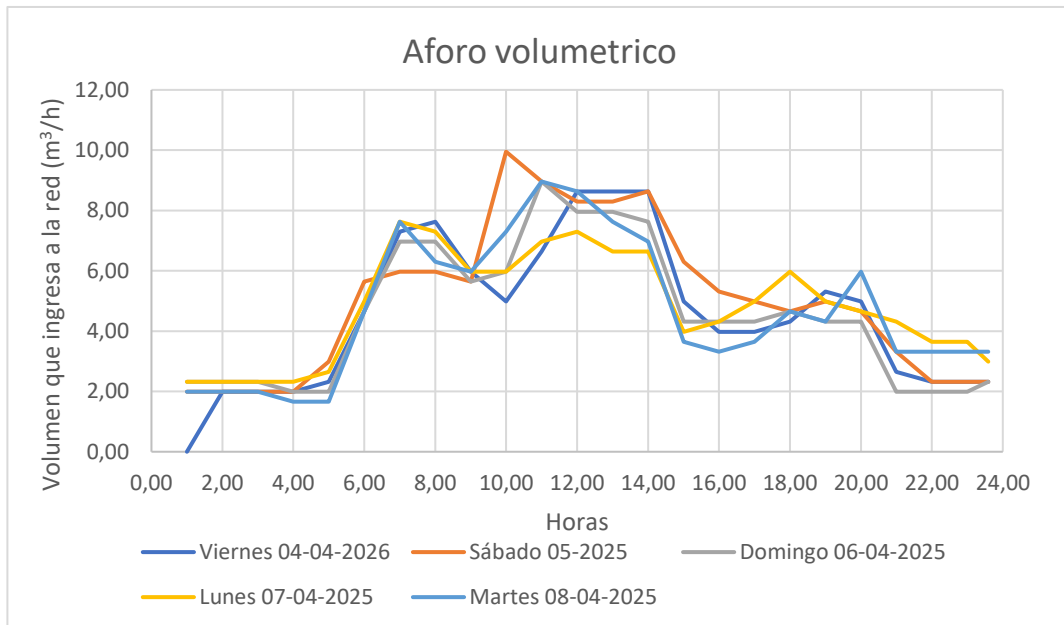
Fuente: Los autores

Los volúmenes más altos de consumo se registran entre las 11h00 y 12h00 con 8.16m³ en promedio, mientras que las entras las 23h59 y la 1h00 el valor promedio es de 1.72m³, el más bajo registrado. En promedio en un día se consumen 112.61m³ y en promedio general cada hora se consumen 4.69m³/h.

El índice de consumo horario promedio es de 4.74 lo cual conforme a la bibliografía nos indica un nivel bajo de fugas, sin embrago el índice de consumo mínimo nocturno ICMN de 0.37 al ser mayor a 0.35 nos indica una sospecha de fuga.

En la Figura 6. 7 mostramos los resultados de manera gráfica, con lo cual se puede ver que el consumo a lo largo de los días es muy similar a excepción del día sábado que incrementa los volúmenes y la curva sobresale de las demás y se nota una reducción de consumo en horas de la mañana, pero incrementos por la tarde.

Figura 6. 7. Curvas de consumo correspondientes 5 días continuos. Parroquia San Vicente

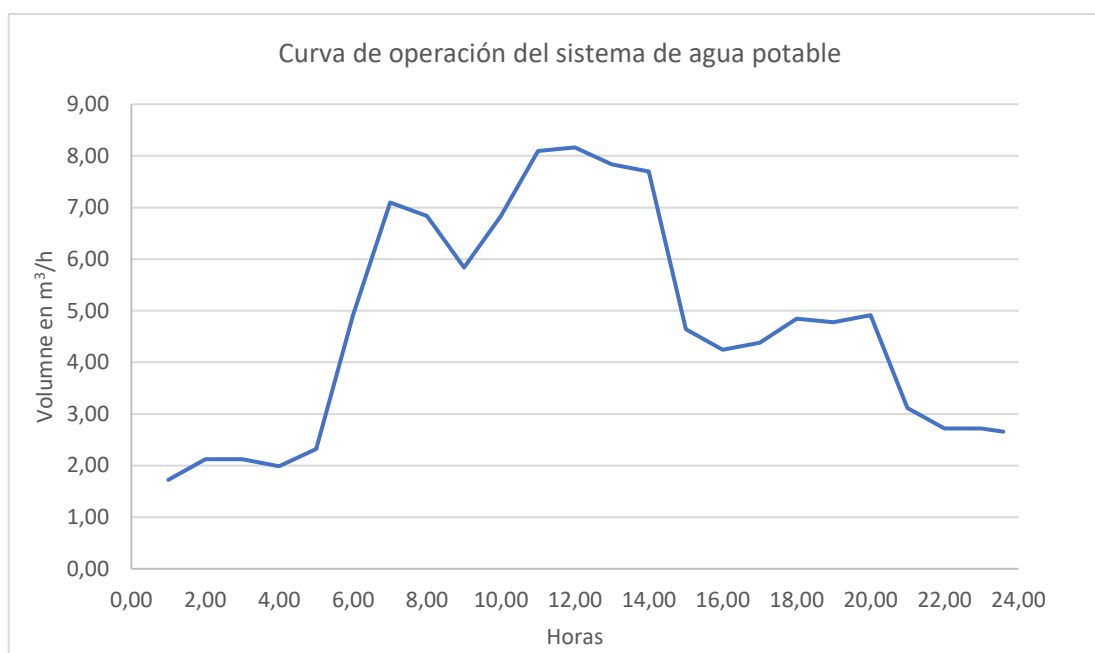


Nota: Datos obtenidos de la campaña de medición de volumen de agua que ingresan a la red. Fuente: Los autores.

El comportamiento de los usuarios refleja que hay un consumo activo entre las 5h00 y las 21h00, mientras que entre las 21h00 y las 5h00, la demanda es baja.

La curva de operación o curva de comportamiento del sistema que se construye con los valores promedio diarios de todos los días medidos durante la campaña nos permitirá trabajar la modelación de la red en estado dinámico, verificando presiones de trabajo. Ver Figura 6. 8. *Curva de operación del sistema de agua potable de la Parroquia San Vicente.*

Figura 6. 8. Curva de operación del sistema de agua potable de la Parroquia San Vicente.



Fuente: Los autores

6.3 RESULTADOS DE MODELACIÓN HIDRÁULICA

Una vez recopilada la información topográfica y características del diseño se procede al trazado y modelado de la red con apoyo de herramientas informáticas como AutoCAD y WaterCAD. Para alcanzar una mejor comprensión del funcionamiento de la red bajo distintas condiciones de operación, se realizaron dos tipos de análisis, el primero en estado estático y el segundo en estado dinámico.

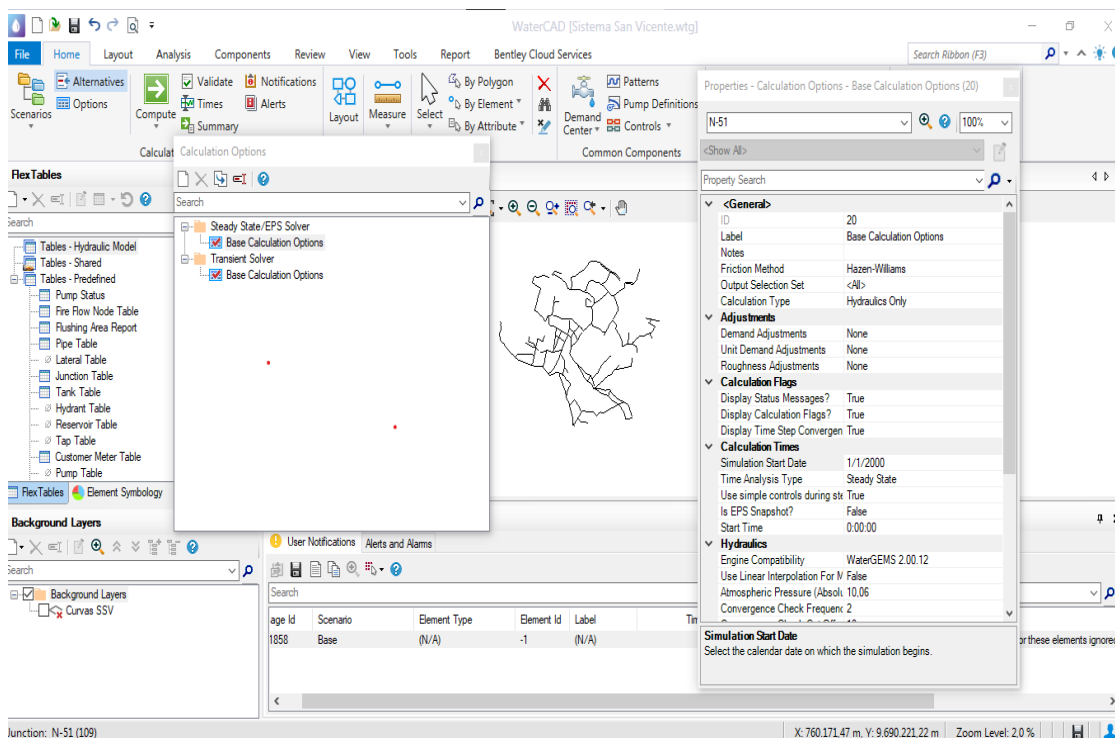
Las características hidráulicas usadas en la modelación se detallan en el Anexo B y el ajuste de control de las válvulas de presión de acuerdo al diseñador se adjuntan en el Anexo C. Estas características están incluidas en ambos análisis.

6.3.1 ANÁLISIS EN PERIODO ESTÁTICO

En un periodo estático, se evalúa la red en condiciones sin demanda o con demanda mínima, es decir cuando casi no hay consumo, por lo que en este estado las presiones dependen principalmente de las alturas de los tanques y geometría del sistema (elevaciones del terreno y estructuras).

En la Figura 6. 9 podemos verificar que en las opciones de cálculo o “Calculation Options” del escenario simulado, el tiempo de simulación (Time Analysis Type) se realiza en “Steady State” o periodo estático con los nudos con demanda base igual a 0.

Figura 6. 9. Modelación con el programa WaterCAD en periodo estático.



Nota: Capturas de pantalla de la modelación en el programa WaterCAD, condiciones de programación de operación de la red en periodo estático.

Los resultados de la modelación en periodo estado se muestra en la Figura 6. 9 y de manera más detallada en la Tabla 6. 6. Presiones resultantes de presiones estáticas. En base a los resultados de la modelación se verifica que todas las presiones se ajustan a los parámetros de diseño pues no superan los 70 m.c.a. y si cumplen el mínimo requerido de 10 m.c.a. Es decir, son adecuadas.

Figura 6. 10. Resultados de la modelación en periodo estático

FlexTable: Junction Table (Current Time: 0,000 hours) (Sistema San Vicente.wtg)

ID	Label	Elevation (m)	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Pressure Head (m)
78: N-26	78 N-26	2.613,39	0	2.634,58	21	21,19
79: N-60	79 N-60	2.539,00	0	2.569,91	31	30,91
80: N-43	80 N-43	2.578,69	0	2.625,23	46	46,54
81: N-23	81 N-23	2.616,88	0	2.636,86	20	19,98
82: N-87	82 N-87	2.443,13	0	2.479,74	37	36,61
83: N-86	83 N-86	2.446,00	0	2.479,84	34	33,84
84: N-9	84 N-9	2.646,58	0	2.670,24	24	23,66
85: N-33	85 N-33	2.596,06	0	2.627,15	31	31,09
86: N-61	86 N-61	2.539,00	0	2.569,71	31	30,71
87: N-69	87 N-69	2.527,56	0	2.569,70	42	42,14
88: N-2	88 N-2	2.693,00	0	2.706,53	14	13,53
89: N-6	89 N-6	2.658,06	0	2.706,57	48	48,51
90: N-47	90 N-47	2.566,70	0	2.586,91	20	20,21
91: N-44	91 N-44	2.571,16	0	2.625,07	54	53,91
92: N-3	92 N-3	2.676,35	0	2.707,38	31	31,03
93: N-104	93 N-104	2.378,45	0	2.398,24	20	19,79
94: N-115	94 N-115	2.301,54	0	2.349,50	48	47,96
95: N-105	95 N-105	2.378,32	0	2.397,94	20	19,62
96: N-91	96 N-91	2.431,73	0	2.448,30	17	16,57
97: N-85	97 N-85	2.448,09	0	2.479,78	32	31,69
98: N-83	98 N-83	2.461,00	0	2.479,59	19	18,59
99: N-94	99 N-94	2.425,49	0	2.458,86	33	33,37
100: N-90	100 N-90	2.432,94	0	2.455,30	22	22,36
101: N-93	101 N-93	2.425,88	0	2.455,26	29	29,38
102: N-99	102 N-99	2.409,72	0	2.448,37	39	38,65
103: N-30	103 N-30	2.604,58	0	2.626,95	22	22,37
104: N-57	104 N-57	2.545,95	0	2.575,87	30	29,92
105: N-15	105 N-15	2.631,85	0	2.669,70	38	37,85
106: N-101	106 N-101	2.393,63	0	2.439,95	46	46,32
107: N-100	107 N-100	2.403,19	0	2.439,90	37	36,71
108: N-11	108 N-11	2.638,47	0	2.659,93	21	21,46
109: N-51	109 N-51	2.559,44	0	2.569,92	10	10,48
110: N-78	110 N-78	2.488,68	0	2.505,82	17	17,14
111: N-89	111 N-89	2.436,49	0	2.459,51	23	23,02

115 of 115 elements displayed

Nota: Capturas de pantalla de la modelación en el programa WaterCAD, características de los nudos después de la simulación.

Tabla 6. 9. Presiones resultantes de análisis estático.

Nudo	Cota	Presión (m.c.a.)	Nudo	Cota	Presión (m.c.a.)	Nudo	Cota	Presión (m.c.a.)
N-1	2694.46	14.3	N-39	2585.83	39.89	N-77	2488.89	21.02
N-2	2693	13.53	N-40	2580.96	43.99	N-78	2488.68	17.14
N-3	2676.35	31.03	N-41	2580.84	24.09	N-79	2480.57	39.08
N-4	2666.29	16.28	N-42	2579.34	45.61	N-80	2477.97	31.49
N-5	2662.62	19.96	N-43	2578.69	46.54	N-81	2474.47	35.43
N-6	2658.06	48.51	N-44	2571.16	53.91	N-82	2466.21	23.56
N-7	2655	39.92	N-45	2568.64	18.28	N-83	2461	18.59
N-8	2647.55	23.3	N-46	2568	12	N-84	2449.11	25.59
N-9	2646.58	23.66	N-47	2566.7	20.21	N-85	2448.09	31.69
N-10	2639.48	43.19	N-48	2562.49	16.52	N-86	2446	33.84
N-11	2638.47	21.46	N-49	2560.3	17.33	N-87	2443.13	36.61
N-12	2636	24.99	N-50	2559.47	18.17	N-88	2438.23	34.64
N-13	2635	47.8	N-51	2559.44	10.48	N-89	2436.49	23.02
N-14	2633.86	26.13	N-52	2558.04	11.86	N-90	2432.94	22.36
N-15	2631.85	37.85	N-53	2548.28	16.42	N-91	2431.73	16.57
N-16	2628.7	41.05	N-54	2547.71	17.28	N-92	2431.3	41.57
N-17	2625.98	43.73	N-55	2547.31	17.33	N-93	2425.88	29.38
N-18	2622.5	47.25	N-56	2546.7	23.19	N-94	2425.49	33.37

Nudo	Cota	Presión (m.c.a.)	Nudo	Cota	Presión (m.c.a.)	Nudo	Cota	Presión (m.c.a.)
N-19	2621.6	39.4	N-57	2545.95	29.92	N-95	2418.78	29.55
N-20	2618.5	18.35	N-58	2545.58	24.3	N-96	2417.35	17.34
N-21	2618.17	13.56	N-59	2543.09	11.73	N-97	2416.67	32.88
N-22	2618.13	14.77	N-60	2539	30.91	N-98	2412.85	35.56
N-23	2616.88	19.98	N-61	2539	30.71	N-99	2409.72	38.65
N-24	2616.35	44.55	N-62	2535.5	19.32	N-100	2403.19	36.71
N-25	2614.5	45.49	N-63	2535	23.87	N-101	2393.63	46.32
N-26	2613.39	21.19	N-64	2534.45	19.23	N-102	2384.79	27.2
N-27	2608.81	52.09	N-65	2533.91	35.96	N-103	2384	31.68
N-28	2608.72	52.12	N-66	2533.83	25.02	N-104	2378.45	19.79
N-29	2604.76	28.13	N-67	2531.9	26.94	N-105	2378.32	19.62
N-30	2604.58	22.37	N-68	2531.7	21.97	N-106	2371	26.97
N-31	2600.43	29.47	N-69	2527.56	42.14	N-107	2371	26.99
N-32	2599.31	30.62	N-70	2527	42.79	N-108	2359.61	39.06
N-33	2596.06	31.09	N-71	2527	37.5	N-109	2353.3	45.38
N-34	2596.06	36.83	N-72	2526.73	48.05	N-110	2349	48.89
N-35	2587.65	41.74	N-73	2526.18	38.32	N-111	2317.29	32.26
N-36	2587.59	39.47	N-74	2522.04	42.46	N-112	2316.04	33.51
N-37	2587.59	37.36	N-75	2508.39	11.59	N-113	2315.4	34.11
N-38	2586.97	42.19	N-76	2504.55	20.31	N-114	2308.46	41.06
						N-115	2301.54	47.96
		Presión Mínima (m.c.a)					10.48	
		Presión Máxima (m.c.a)					53.91	

Fuente: Los autores

Durante el análisis en régimen estático, se identificaron los nodos con valores extremos de presión en la zona media de la red; el nodo N-44 presentó una presión máxima de 53.91 m.c.a., mientras que el nodo N-51 registró la presión mínima con 10.48 m.c.a.

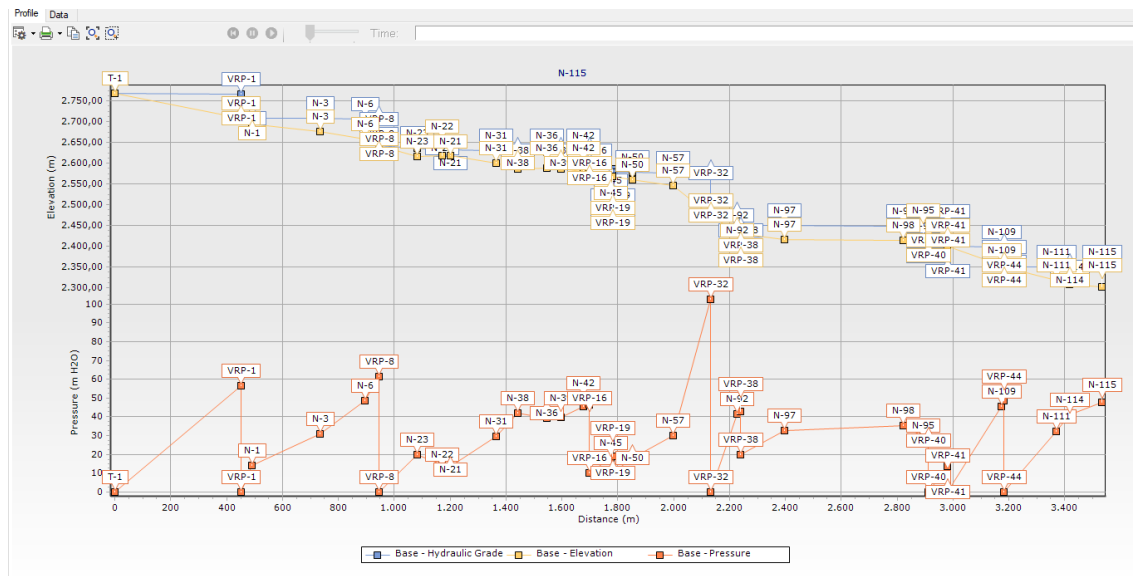
Las presiones obtenidas no responden directamente al gradiente topográfico, ya que se ven influenciadas por la ubicación y operación de las válvulas reductoras de presión instaladas en la red, así como por las pérdidas de carga generadas por fricción a lo largo de las tuberías.

El sistema presenta un desnivel topográfico significativo entre el punto de almacenamiento más alto (T-1: 2769.47 m.s.n.m.) y el nodo más bajo (N-115: 2301.54 m.s.n.m.), con una diferencia de altitud de 467.93 m, lo que justifica la implementación de 44 válvulas reductoras de presión distribuidas a lo largo del sistema. Esta configuración es común en sistemas de abastecimiento ubicados en la región andina

ecuatoriana, donde las condiciones topográficas abruptas, propias de la Cordillera de los Andes, condicionan el diseño hidráulico.

En la Figura 6.11 se presenta el perfil hidráulico correspondiente al tramo entre el punto T-1 y el nodo N-115, donde se detallan la línea piezométrica, la elevación del terreno y la presión manométrica resultante.

Figura 6. 11. Perfil hidráulico desde la reserva T-1 al nudo N-115



Nota: Capturas de pantalla de la modelación en el programa WaterCAD, características de los nudos después de la simulación.

Se puede observar que la incorporación de cuatro válvulas reductoras de presión a lo largo del tramo evaluado permite una reducción escalonada de la carga hidráulica, controlando eficientemente la presión hasta alcanzar un valor cercano al límite normativo de 50 m.c.a. en el nodo terminal. Este mecanismo de control evita la generación de sobrepresiones que podrían ocasionar fallas estructurales en la red y garantiza condiciones operativas seguras, preservando la vida útil de los materiales.

6.3.2 ANÁLISIS EN PERIODO DINÁMICO.

A diferencia del periodo estático, este evalúa la red en diferentes tiempos durante las 24 horas del día, es decir cuando si hay consumo. Con la curva característica de consumo diaria, se construye la tabla de patrón de demanda la cual convierte la curva de variación en factores de demanda relativos a la demanda base para cada hora.

La Tabla 6. 10. *Factores de demanda horaria*, encontraremos los factores de demanda de la red. Se construye dividiendo cada caudal entre el máximo registrado, en este caso el máximo es de 8.16m³/h por lo que su factor de demanda es 1.

Tabla 6. 10. *Factores de demanda horaria*

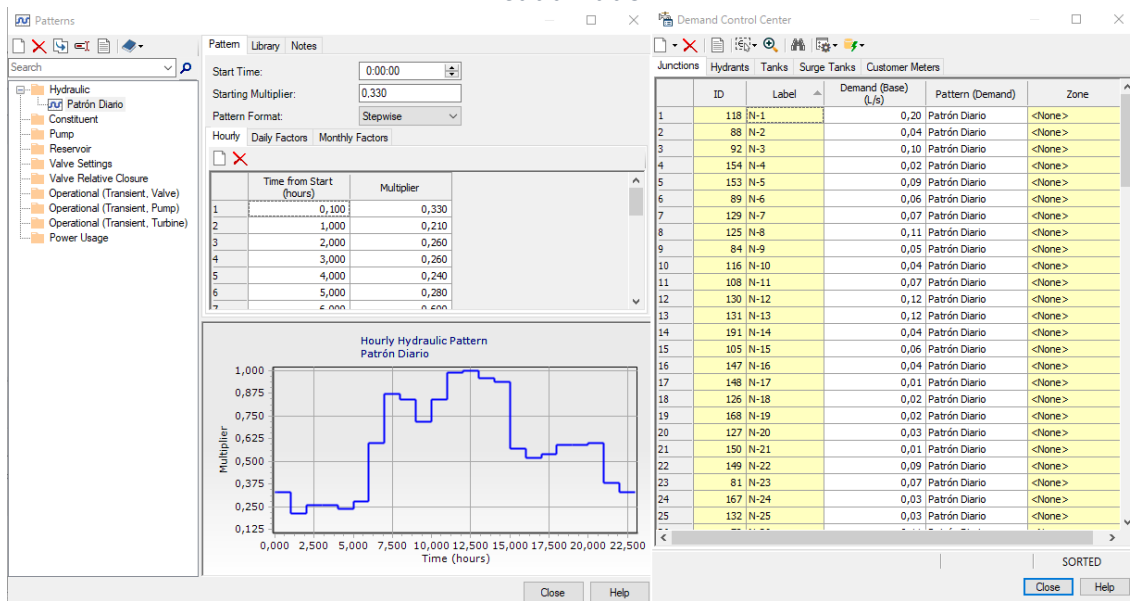
Hora	Caudal (m ³ /h)	Factor de demanda
23.59	2.65	0.33
1	1.72	0.21
2	2.12	0.26
3	2.12	0.26
4	1.99	0.24
5	2.32	0.28
6	4.91	0.6
7	7.1	0.87
8	6.83	0.84
9	5.84	0.72
10	6.83	0.84
11	8.1	0.99
12	8.16	1
13	7.83	0.96
14	7.7	0.94
15	4.64	0.57
16	4.25	0.52
17	4.38	0.54
18	4.85	0.59
19	4.78	0.59
20	4.91	0.6
21	3.12	0.38
22	2.72	0.33
23	2.72	0.33

Fuente: Los autores

Adicional se asigna la demanda base a cada uno de los nudos en base a la distribución dada por el método de áreas de aporte que es un procedimiento para distribuir la demanda total de agua entre los distintos nodos (uniones) del sistema. Nosotros utilizamos los valores del diseñador de la red.

En la *Figura 6.12.* mostramos la programación del patrón de demanda y la asignación del caudal a cada nudo en el programa WaterCAD para su simulación en periodo dinámico.

Figura 6. 12. Programación de patrón de consumo y asignación de demanda a cada nudo



Nota: Capturas de pantalla de la modelación en el programa WaterCAD, características de los nudos después de la simulación

Con esta simulación podemos ver la variación de presiones a lo largo del día cada hora, para efectos de este análisis solo usaremos los resultados más relevantes, los resultados de la hora de mayor y menor consumo que se presentan en la tabla

Tabla 6. 11. Presiones resultantes de análisis dinámico

Nudo	Demanda base (l/s)	Cota Elevación	Presión (m) a las 01:00	Clasificación	Presión (m) a las 12h00	Clasificación
N-1	0.2	2694.46	14.53	Normal	14.32	Normal
N-2	0.04	2693	15.86	Normal	13.58	Normal
N-3	0.1	2676.35	32.56	Normal	31.07	Normal
N-4	0.02	2666.29	16.76	Normal	16.26	Normal
N-5	0.09	2662.62	20.43	Normal	19.93	Normal
N-6	0.06	2658.06	50.81	Elevada	48.55	Normal
N-7	0.07	2655	40	Normal	39.92	Normal
N-8	0.11	2647.55	23.44	Normal	23.31	Normal
N-9	0.05	2646.58	24.38	Normal	23.62	Normal
N-10	0.04	2639.48	43.58	Normal	43.17	Normal
N-11	0.07	2638.47	21.53	Normal	21.45	Normal
N-12	0.12	2636	25	Normal	24.99	Normal
N-13	0.12	2635	48.06	Normal	47.78	Normal
N-14	0.04	2633.86	26.14	Normal	26.13	Normal
N-15	0.06	2631.85	39.07	Normal	37.79	Normal
N-16	0.04	2628.7	42.23	Normal	40.99	Normal
N-17	0.01	2625.98	44.94	Normal	43.66	Normal

Nudo	Demanda base (l/s)	Cota Elevación	Presión (m) a las 01:00	Clasificación	Presión (m) a las 12h00	Clasificación
N-18	0.02	2622.5	48.43	Normal	47.18	Normal
N-19	0.02	2621.6	39.4	Normal	39.4	Normal
N-20	0.03	2618.5	24.16	Normal	18.43	Normal
N-21	0.01	2618.17	24.2	Normal	13.69	Normal
N-22	0.09	2618.13	24.31	Normal	14.89	Normal
N-23	0.07	2616.88	25.78	Normal	20.05	Normal
N-24	0.03	2616.35	44.64	Normal	44.55	Normal
N-25	0.03	2614.5	45.5	Normal	45.49	Normal
N-26	0.11	2613.39	21.59	Normal	21.19	Normal
N-27	0.03	2608.81	52.18	Elevada	52.09	Elevada
N-28	0.07	2608.72	52.27	Elevada	52.12	Elevada
N-29	0.13	2604.76	37.68	Normal	28.25	Normal
N-30	0.07	2604.58	22.42	Normal	22.37	Normal
N-31	0.09	2600.43	41.84	Normal	29.62	Normal
N-32	0.07	2599.31	42.96	Normal	30.77	Normal
N-33	0.04	2596.06	46.06	Normal	31.27	Normal
N-34	0.04	2596.06	46.38	Normal	36.95	Normal
N-35	0.03	2587.65	54.59	Elevada	41.9	Normal
N-36	0.08	2587.59	54.52	Elevada	39.66	Normal
N-37	0.03	2587.59	54.4	Elevada	37.57	Normal
N-38	0.06	2586.97	55.26	Elevada	42.35	Normal
N-39	0.02	2585.83	56.21	Elevada	40.09	Normal
N-40	0.03	2580.96	61.03	Elevada	44.21	Normal
N-41	0.1	2580.84	24.16	Normal	24.08	Normal
N-42	0.08	2579.34	62.65	Elevada	45.83	Normal
N-43	0.04	2578.69	63.32	Elevada	46.74	Normal
N-44	0.04	2571.16	70.84	Elevada	54.12	Elevada
N-45	0.04	2568.64	19.32	Normal	18.31	Normal
N-46	0.04	2568	12	Normal	12	Normal
N-47	0.06	2566.7	21.26	Normal	20.25	Normal
N-48	0.04	2562.49	16.53	Normal	16.52	Normal
N-49	0.1	2560.3	17.68	Normal	17.32	Normal
N-50	0.03	2559.47	18.53	Normal	18.18	Normal
N-51	0.23	2559.44	10.56	Normal	10.48	Normal
N-52	0.07	2558.04	11.95	Normal	11.85	Normal
N-53	0.08	2548.28	18.12	Normal	16.44	Normal
N-54	0.09	2547.71	17.29	Normal	17.28	Normal
N-55	0.02	2547.31	19.09	Normal	17.34	Normal
N-56	0.03	2546.7	23.29	Normal	23.19	Normal
N-57	0.06	2545.95	31.95	Normal	29.98	Normal
N-58	0.1	2545.58	24.41	Normal	24.29	Normal
N-59	0.1	2543.09	14.72	Normal	11.52	Normal
N-60	0.03	2539	30.99	Normal	30.9	Normal
N-61	0.08	2539	30.98	Normal	30.71	Normal
N-62	0.03	2535.5	22.31	Normal	19.1	Normal
N-63	0.09	2535	23.99	Normal	23.86	Normal

Nudo	Demanda base (l/s)	Cota Elevación	Presión (m) a las 01:00	Clasificación	Presión (m) a las 12h00	Clasificación
N-64	0.06	2534.45	23.29	Normal	18.95	Normal
N-65	0.16	2533.91	36.08	Normal	35.95	Normal
N-66	0.02	2533.83	25.16	Normal	25.02	Normal
N-67	0.04	2531.9	27.09	Normal	26.94	Normal
N-68	0.01	2531.7	26.04	Normal	21.69	Normal
N-69	0.04	2527.56	42.42	Normal	42.13	Normal
N-70	0.08	2527	42.99	Normal	42.8	Normal
N-71	0.03	2527	39.39	Normal	37.5	Normal
N-72	0.07	2526.73	51.11	Elevada	48.14	Normal
N-73	0.06	2526.18	40.21	Normal	38.32	Normal
N-74	0.03	2522.04	44.35	Normal	42.45	Normal
N-75	0.02	2508.39	11.63	Normal	11.59	Normal
N-76	0.09	2504.55	20.44	Normal	20.32	Normal
N-77	0.14	2488.89	21.1	Normal	21.02	Normal
N-78	0.21	2488.68	17.78	Normal	17.15	Normal
N-79	0.09	2480.57	39.43	Normal	39.09	Normal
N-80	0.14	2477.97	32	Normal	31.46	Normal
N-81	0.03	2474.47	35.52	Normal	35.43	Normal
N-82	0.15	2466.21	23.78	Normal	23.56	Normal
N-83	0.07	2461	18.98	Normal	18.6	Normal
N-84	0.13	2449.11	25.87	Normal	25.57	Normal
N-85	0.05	2448.09	31.9	Normal	31.69	Normal
N-86	0.09	2446	33.99	Normal	33.85	Normal
N-87	0.04	2443.13	36.86	Normal	36.61	Normal
N-88	0.02	2438.23	34.76	Normal	34.64	Normal
N-89	0.17	2436.49	23.48	Normal	23.02	Normal
N-90	0.13	2432.94	23.02	Normal	22.37	Normal
N-91	0.05	2431.73	18.21	Normal	16.59	Normal
N-92	0.09	2431.3	41.69	Normal	41.57	Normal
N-93	0.06	2425.88	30.08	Normal	29.39	Normal
N-94	0.05	2425.49	34.45	Normal	33.42	Normal
N-95	0.03	2418.78	31.17	Normal	29.57	Normal
N-96	0.12	2417.35	17.63	Normal	17.35	Normal
N-97	0.07	2416.67	33.34	Normal	32.87	Normal
N-98	0.17	2412.85	37.1	Normal	35.58	Normal
N-99	0.06	2409.72	40.23	Normal	38.67	Normal
N-100	0.06	2403.19	36.8	Normal	36.72	Normal
N-101	0.08	2393.63	46.37	Normal	46.32	Normal
N-102	0.07	2384.79	27.25	Normal	27.2	Normal
N-103	0.32	2384	35.76	Normal	31.69	Normal
N-104	0.09	2378.45	20.05	Normal	19.78	Normal
N-105	0.05	2378.32	20.17	Normal	19.61	Normal
N-106	0.01	2371	27.49	Normal	26.96	Normal
N-107	0.05	2371	27.49	Normal	26.98	Normal
N-108	0.03	2359.61	40.32	Normal	39.08	Normal
N-109	0.11	2353.3	46.63	Normal	45.4	Normal

Nudo	Demanda base (l/s)	Cota Elevación	Presión (m) a las 01:00	Clasificación	Presión (m) a las 12h00	Clasificación
N-110	0.07	2349	49.48	Normal	48.89	Normal
N-111	0.08	2317.29	32.68	Normal	32.25	Normal
N-112	0.01	2316.04	33.93	Normal	33.5	Normal
N-113	0.03	2315.4	34.57	Normal	34.1	Normal
N-114	0.02	2308.46	41.51	Normal	41.05	Normal
N-115	0.05	2301.54	48.43	Normal	47.94	Normal

Fuente: Los autores

En algunos nudos podemos ver que hay presiones por encima de los 50 metros columna de agua en la hora de menor y mayor consumo, pero al ser una excedencia poco significativa solo clasificaremos como sospechoso a las que superan los 60 m.c.a.

La Tabla 6. 12 se presentada un resumen de los resultados de simulaciones hidráulicas estáticas y dinámicas en donde se analizaron presiones en cuatro nudos (N-40 al N-44) durante dos momentos críticos: a la 01h00 (hora de menor consumo) y a las 12h00 (hora de mayor consumo), comparándolos con la presión estática.

Tabla 6. 12 *Nudos sospechosos basándose en las simulaciones efectuadas.*

Zona	Nudo	Presión Estática (m.c.a.)	Presión (m.c.a.) a la 01h00 (hora de menor consumo)	Presión (m.c.a.) a las 12h00 (hora de mayor consumo)
Media	N-40	43.99	61.03	44.21
Media	N-42	45.61	62.65	45.83
Media	N-43	46.54	63.32	46.74
Media	N-44	53.91	70.84	54.12

Fuente: Los autores

Presión estática vs. presión dinámica a las 01:00: En todos los nudos, la presión dinámica es significativamente mayor que la estática, lo cual es esperable dado el bajo consumo y, por tanto, menor pérdida de carga en las tuberías. Por ejemplo, en el nodo N-44, la presión pasa de 53.91 m (estática) a 70.84 m a la 01:00.

Presión estática vs. presión dinámica a las 12:00: En esta franja horaria, las presiones dinámicas disminuyen respecto a la condición estática, reflejando el incremento del consumo y, por ende, una mayor pérdida de carga. Por ejemplo, en el nodo N-40, la presión cae de 43.99 m (estática) a 44.21 m, apenas por encima, lo que puede indicar un comportamiento ineficiente o pérdidas en la red.

Estas simulaciones permiten identificar nodos “sospechosos” donde las variaciones de presión son anómalas. Un descenso excesivo de presión durante el alto consumo o una presión excesivamente alta en horas de bajo consumo pueden ser indicativos de: Pérdidas por fugas (presiones anormalmente altas pueden agravar esto), malas prácticas de operación (válvulas mal reguladas, sectores sin sectorización hidráulica).

6.4 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA

Con el aforo y proyección de volúmenes consumidos en un mes versus los valores facturados otorgados por el organismo operador se pudo realizar el balance hídrico que permite saber las pérdidas totales del sistema, puesto que es la diferencia entre el agua suministrada al sistema y el agua efectivamente contabilizada de forma autorizada.

Tabla 6. 13. Balance hídrico

Concepto	Resultado
Volumen mensual promedio facturado (m ³)	1954.33
Volumen mensual promedio que ingresa a la red (m ³)	3378.36
Índice de agua no contabilizada (IANC) %	42.15

Fuente: Los autores

De acuerdo con la normativa ARCA (Regulación DIR-ARCA-RG-006-2017, Art. 31), el índice de Agua No Contabilizada no debe superar el 35%; de lo contrario, se requiere la implementación de planes de mejoras.

El volumen de agua no contabilizada es de 1423.21m³ al mes aproximadamente que se distribuyen usando valores típicos recomendados para zonas rurales y se presenta en la Tabla 6. 14.

Tabla 6. 14. Distribución de agua no contabilizada

Concepto	Rango de porcentaje Estimado	Porcentaje usado en el análisis	Volumen mensual (m ³)
Consumo autorizado no facturado.	5-10%	6%	202.7
Pérdidas aparentes	5-10%	8%	270.27
Pérdidas reales	25-30%	28.15%	951.01
TOTAL ANC		42.15%	1423.98

Fuente: Los autores

Se estima una pérdida aproximada de 951.01 m³ debido a fugas en la red, una situación agravada por la complejidad innecesaria generada por la coexistencia de dos sistemas de agua potable conectados a la misma red domiciliaria, a pesar de contar con medidores distintos.

Es comprensible que los usuarios, al tener dos llaves de paso y dos medidores, se confundan al momento de seleccionar qué sistema utilizar. El olvido de cerrar una llave y abrir la otra puede atribuirse a fallos operativos por parte del usuario en este sistema dual, el retorno de agua entre el sistema nuevo y el antiguo es un fenómeno crítico que, aunque no esté cuantificado genera pérdidas, para corroborar este suceso se efectuó la prueba en un domicilio, en donde se dio apertura ambas llaves sistema antiguo y nuevo, como resultado el medidor de la nueva acometida continuaba marcando, lo que demuestra una conexión indebida sumado la diferencia de presión permite el flujo retrógrado hacia la red antigua.

Este fenómeno provoca que el agua del nuevo sistema pase por el medidor del sistema antiguo sin ser utilizada para el consumo directo en el hogar, contamina el agua potable del nuevo sistema y genera inconsistencias en la facturación.

Como consecuencia directa del retorno de agua, los medidores del sistema antiguo registran un consumo mayor al real. Esto lleva a facturas de agua infladas para los usuarios, quienes están pagando por agua que no están utilizando directamente.

Esta configuración no solo afecta a los usuarios, sino que también revela una ineficiencia en la gestión del sistema de agua potable. Se está midiendo y potencialmente tratando un volumen de agua que no se destina al consumo útil, por lo que las facturas elevadas e injustificadas pueden generar frustración y disputas entre los usuarios y la entidad proveedora del servicio de agua potable.

6.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La viabilidad a largo plazo de estos proyectos no se limita a su excelencia técnica sino a la sostenibilidad financiera por lo que este análisis económico se enfoca en una evaluación detallada de los ingresos, costos y rentabilidad del proyecto. Busca proporcionar información valiosa para la optimización de la gestión de recursos y la garantía de la sostenibilidad financiera a largo plazo, considerando las características de consumo y tarifas específicas de este proyecto.

De acuerdo con la información emitida por el organismo operador anualmente los costos operativos ascienden a los \$21.000,00 en total entre insumos, personal y otros gastos administrativos para la producción de agua potable que es suministrada a 424 acometidas domiciliarias. La escasez de información detallada sobre los costos operativos de los \$21,000.00 es una restricción metodológica significativa, pues impide un análisis a detalle para identificar ineficiencias o determinar el costo real por acometida.

6.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO BASADO EN LA PROYECCIÓN ESPERADA DEL SISTEMA

A continuación, se detalla los ingresos de consumo de acuerdo con el rango estimado en el estudio tarifario que maneja la entidad con una distribución de rangos de consumo esperados al inicio del proyecto. Es importante aclarar que si se consume entre 0- 10m³ de agua, se paga el costo de la tarifa base que es de \$2.00, mientras que si el consumo es de 11m³ en adelante la base es de \$2.00+ \$0.25 por cada m³ consumido. Ver Tabla 6.15.

Se considera en este análisis los ingresos de los valores adicionales que se facturan como lo es la recolección de basura y alcantarillado.

Tabla 6. 15. Rango de consumo por mes según la proyección inicial

RANGO DE CONSUMO (m ³) POR MES	No DE USUARIOS	PORCENTAJE	TARIFA POR AGUA POR USUARIO (Promedio del Rango)	INGRESO TOTAL POR RANGO (Agua)
0 - 10	134	31.65%	\$2.00	\$268.00
10 - 15	166	39.38%	\$2.00 + (2.5 * \$0.25) = \$2.63	\$436.58
15 - 20	38	8.91%	\$2.00 + (7.5 * \$0.25) = \$3.88	\$147.25
20 - 25	43	10.09%	\$2.00 + (12.5 * \$0.25) = \$5.13	\$220.38
25 - 30	29	6.76%	\$2.00 + (17.5 * \$0.25) = \$6.38	\$184.88
30 - 35	10	2.25%	\$2.00 + (22.5 * \$0.25) = \$7.63	\$76.25
35 - 40	4	0.97%	\$2.00 + (27.5 * \$0.25) = \$8.88	\$35.50
Total	424	100%		\$1,368.83

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Pan, 2022)

Ingreso Mensual Total por Agua: 1,368.83

Ingreso Promedio Mensual por Usuario (Agua): $\$1,368.83 / 424$ usuarios = $\$3.22$ (aproximadamente)

Ingreso Total Mensual por Otros Servicios (Estimado): 424 usuarios * $(\$1.13 + \$4.80)$ /usuario = $\$2,514.32$

Ingreso Total Mensual (Agua + Otros Servicios): $\$1,368.83 + \$2,514.32 = \$3,883.15$

Ingreso Total Anual (Agua + Otros Servicios): $\$3,883.15/\text{mes} * 12$ meses = $\$46,597.80$

La estimación del ingreso total anual es de $\$46,597.80$ al año considerando el consumo promedio mensual de los 424 usuarios registrados

Ganancia Anual: $46,597.80$ (Ingreso Total) - $\$21,000$ (Costos Operativos) = $\$25,597.00$

Indicadores de Rentabilidad:

Es fundamental señalar que el margen de rentabilidad considerado para el proyecto de agua potable en San Vicente, en su evaluación inicial, no incluye partidas esenciales para la verdadera sostenibilidad a largo plazo del sistema. Específicamente, este margen no contempla la amortización de la infraestructura existente, los costos asociados a la

renovación o reemplazo de equipos y redes al final de su vida útil, ni la inversión futura necesaria para la expansión del servicio o mejoras tecnológicas.

Para una evaluación financiera robusta y realista, que garantice la resiliencia y la expansión futura del sistema de agua potable en San Vicente, es imperativo que los análisis de rentabilidad incorporen explícitamente estas provisiones para depreciación, renovación e inversión de capital.

- Ingreso Promedio por Usuario por Año (Agua): $(\$1,368.83 * 12) / 424$ usuarios = \$38.74/usuario/año
- Ingreso Promedio por Usuario por Año (Total): $\$46,597.80 / 424$ usuarios = \$109.90/usuario/año
- Costo Operativo por Usuario por Año: $\$21,000 / 424$ usuarios = \$49.53/usuario/año
- Margen de Ganancia (Total): $(\$25,597.00 / \$46,597.80) * 100\% = 54.93\%$

6.5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO BASADO EN LOS CONSUMOS REALES.

Se presenta a continuación un análisis ajustado a la realidad de la zona, que es de naturaleza social que condiciona en el comportamiento del sistema analizado, como lo es la existencia de un sistema de agua alternativo en la parroquia, operado por la junta local. Este sistema alternativo ofrece costos más bajos, lo que lleva a muchos residentes a preferirlo y, en consecuencia, a mantener un consumo relativamente bajo en el sistema analizado. Esta dualidad en la oferta de agua potable tiene un impacto directo en los ingresos del sistema bajo análisis; basado en las lecturas de medidores del período comprendido entre Julio y diciembre de 2024, abarcando un total de seis meses. El consumo promedio de agua por usuario se ha determinado en 4.61 metros cúbicos (m³) mensualmente. Este dato representa la cantidad de agua que, en promedio, cada hogar o establecimiento consume cada mes.

Tabla 6. 16. *Rango de consumo por mes en base al consumo real*

RANGO DE CONSUMO (m ³) POR MES	No DE USUARIOS	PORCENTAJE	TARIFA POR AGUA POR USUARIO (Promedio del Rango)	INGRESO TOTAL POR RANGO (Agua)
0 - 10	424	100%	\$2.00	\$848.00

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Pan, 2022)

Para este análisis no se tomará en cuenta los valores de recolección de basura y alcantarillado por que desconocemos si dentro de los \$21,000 están incluidos los costos operacionales de estos servicios

Ingresos mensuales totales: 424 usuarios * \$2/usuario = \$848

Ingresos anuales potenciales: \$848/mes * 12 meses = \$10,176

Déficit anual: \$21,000 - \$10,176 = \$10,824

En este escenario, el sistema de agua potable opera con un **déficit significativo**. Los ingresos generados por la tarifa fija no son suficientes para cubrir los gastos anuales, por lo que el sistema no es rentable y requiere de un subsidio o ajuste en la estructura de costos/ingresos para ser financieramente sostenible.

6.5.3 ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

- La tarifa promedio basándose en el gasto analizado de \$2 mensuales es extremadamente baja y es el resultado del mínimo consumo que existe por la dualidad del sistema nuevo con el antiguo de la junta de agua que es más económico, lo que la hace muy accesible para todos los usuarios y prefieren usar este sistema, mientras que el nuevo sistema al tener un mejor tratamiento lo usan únicamente para actividades de alimentación y aseo.
- La existencia de un sistema de agua alternativo (la junta) con costos más bajos es un factor crucial. Esto explica el bajo consumo en el sistema analizado y la viabilidad de una tarifa tan baja. Los usuarios optan por el sistema más económico, lo que reduce los ingresos del sistema analizado.

Este escenario presenta un fuerte enfoque en la accesibilidad social, pero a expensas de la viabilidad financiera del sistema. Se requiere una revisión cuidadosa de las opciones para garantizar un servicio de agua sostenible y equitativo para la parroquia San Vicente.

7 CONCLUSIONES

- Se realizó una evaluación integral del sistema de distribución de agua potable de la parroquia San Vicente, la cual incluyó el análisis detallado de los componentes físicos existentes, así como la recopilación y validación de la información técnica y operativa disponible. Esta evaluación permitió identificar limitaciones estructurales y funcionales significativas, entre ellas la carencia de dispositivos adecuados para la medición de caudales como macromedidores y la configuración de una red de tipo abierta, que dificulta la sectorización hidráulica y el control de presiones y fugas.
- Se desarrolló una metodología técnica de bajo costo, replicable y de fácil implementación, orientada a la cuantificación y análisis de pérdidas de agua, la misma usa herramientas accesibles y técnicas de campo adaptadas al contexto rural, lo que representa una alternativa viable para diagnosticar el desempeño hidráulico del sistema, identificar zonas críticas y proponer medidas de mejora ajustadas a las condiciones reales de operación de la red.
- Entre lo más destacado que nos dejó la información del censo parcial es que los usuarios, han notado una mejora del servicio con la nueva red, sin embargo un 66.22% mencionan tener aun inconvenientes con agua turbia en la época invernal y un 10.13% indica problemas con el suministro de agua ya sea por no contar con agua de forma continua las 24 horas y presiones inadecuadas. En base a las modelaciones y aforo volumétrico del sistema este problema estaría asociado a que las reservas resultan insuficientes en épocas de mayor consumo y no contar con volúmenes de agua en casos particulares o emergentes como cuando el agua a captar para el tratamiento no esté en condiciones adecuadas.
- Con los registros de facturación de los 6 meses se identificó que, aunque el sistema de distribución de agua potable registra un total de 424 usuarios tan solo 188 hacen uso efectivo del servicio y en muchos casos dicho uso es mínimo con valores de 1m^3 al mes. Esta situación responde a la existencia de una red alternativa gestionada por la Junta Administradora de Agua, lo que evidencia una baja dependencia del sistema público y con el análisis económico verificamos la

incidencia negativa en la sostenibilidad económica del sistema. Como medida recomendamos realizar campañas de concientización e ir eliminando paulatinamente la red alterna, empleando estrategias que incentiven al uso de la red pública como descuentos económicos, y mostrando los beneficios del consumo de agua segura.

- De la medición de las pruebas de presión podemos identificar 6 tramos entre nudos en la zona media de la red y 4 en la zona baja con presiones por encima de lo recomendado por la normativa ecuatoriana, si bien no se detectaron fugas visibles, se pudo establecer zonas con alta probabilidad de falla por presiones excesivas que ponen en peligro la integridad de la tubería.
- La modelación es una herramienta que nos permite la simulación de la red bajo diferentes escenarios, pero en este caso particular los resultados no son confiables ya que la demanda con la que se trabajó es la del diseño y la que está operando la red es muy distinta debido al bajo nivel de uso por parte de los usuarios.
- La red de la parroquia Rural San Vicente presenta un Índice de agua no contabilizada de 42.15%, que es un valor por encima de lo recomendado por el ARCA del 35%, de este volumen de pérdidas entre el 5 al 10% son consecuencia por pérdidas administrativas en nuestro caso de estudio es por la dualidad de los sistemas de agua potable conectados a la misma red domiciliaria en San Vicente, con dos medidores distintos, generando confusión, ineficiencia y, lo más importante, lecturas de consumo de agua inexactas.
- Se estima un volumen de 951.01m³ de agua al mes en pérdidas reales ya sean fugas o conexiones clandestinas que abarca un 28.15% de agua potabilizada que ingresa al sistema, al no encontrar fugas visibles e indicadores como presiones bajas en la red, se concluye que la principal causa de este problema radica en la posibilidad de que el agua del sistema nuevo ingresa al de la junta y viceversa, cuando los usuarios no hacen el cierre de las llaves de paso al usar cualquiera de los dos sistemas.
- El análisis financiero del sistema de agua potable en la parroquia San Vicente revela una situación crítica de insostenibilidad, que contradice las proyecciones iniciales de rentabilidad y pone en serio riesgo la viabilidad a largo plazo del

servicio. Se demostró una gran discrepancia entre Proyección y Realidad, ya que el proyecto se concibió con la expectativa de generar un margen de ganancia significativo, específicamente un 50%. Se estimó que este margen podría alcanzar incluso el 54.93%, lo que indicaba una sólida base financiera y la capacidad de reinversión y mejora continua del servicio. Sin embargo, al analizar los datos reales de facturación, el sistema incurre en una pérdida operativa de \$10,824.00 anuales.

- La pérdida anual de \$10,824.00 confirma que el sistema, en su configuración actual, no es rentable en absoluto. Los ingresos son insuficientes para cubrir los costos, lo que impide la acumulación de reservas, la realización de inversiones en infraestructura, la reposición de equipos y, en última instancia, la garantía de la continuidad y calidad del servicio. La persistencia de esta situación de déficit financiero expone al sistema a un alto riesgo de colapso. La falta de fondos puede llevar al deterioro de la infraestructura, la interrupción del suministro, la disminución de la calidad del agua y, en el peor de los casos, la imposibilidad de seguir operando el servicio. Esto tendría graves consecuencias para la salud pública, el bienestar de la comunidad y el desarrollo socioeconómico de la parroquia San Vicente.

8 RECOMENDACIONES

- La replicabilidad del caso de estudio de la parroquia San Vicente mediante la metodología desarrollada para cualificar, cuantificar, controlar y minimizar las pérdidas de agua, demuestra ser adaptable y efectiva para la realidad rural de la sierra ecuatoriana, por lo que tiene un alto potencial de ser replicada, ofreciendo instrucciones invaluable sobre tipos de pérdidas predominantes, herramientas de detección costo-efectivas y modelos de gestión viables. No obstante, para garantizar su replicabilidad, es necesario acompañarlo con procesos de fortalecimiento institucional y participación comunitaria, ajustados al contexto socioeconómico local.
- La implementación de una sectorización progresiva del sistema de distribución permitiría dividir la red en zonas hidráulicamente independientes, facilitando el monitoreo y control de caudales y presiones en tiempo real. Esta medida es especialmente importante en los tramos donde se han identificado pérdidas significativas o presiones elevadas, ya que permite detectar con mayor precisión las fugas, optimizar el mantenimiento y reducir los tiempos de respuesta ante emergencias. Además, la sectorización mejora la eficiencia operativa al posibilitar trabajos focalizados sin afectar a toda la red.
- La colocación de macromedidores en puntos estratégicos como la entrada y salida de tanques de almacenamiento o en nodos de derivación clave, permitiría conocer con exactitud los volúmenes de agua que ingresan y se distribuyen en cada sector de la red. Complementariamente, establecer un programa periódico de mantenimiento y calibración de micromedidores domiciliarios garantizaría lecturas precisas del consumo, lo cual es crucial para reducir las pérdidas aparentes, mejorar la facturación y fomentar una cultura de uso eficiente del recurso por parte de los usuarios.
- Implementar programas de capacitación técnica continua para el personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema. Los temas prioritarios deben incluir el monitoreo de presiones y técnicas de detección de fugas. Esta formación contribuirá a fortalecer las capacidades locales, optimizar la gestión

operativa del sistema y generar soluciones más rápidas y eficaces frente a los problemas identificados.

- Se recomienda ejecutar campañas de concientización dirigidas a los usuarios para fomentar el pago puntual del servicio, incentivar el reporte inmediato de fugas y promover el uso racional del agua. Estas acciones deben incluir charlas educativas, materiales visuales, y participación comunitaria activa, con el fin de generar una cultura de corresponsabilidad y cuidado del recurso hídrico, así como la sensibilización y retiro paulatino de la red alterna.


REFERENCIAS

- Abarca V., D. C. (2012). *Técnicas de detección y localización de fugas de agua en redes de distribución*.
- Banco Mundial, & Asociación Internacional del Agua (IWA). (2006). Manual de Mejores Prácticas: Pérdidas de Agua. In *Water Supply and Sanitation Working Notes No. 3*. (Vol. 3).
- Benavides, H. (2011). Metodología para el Diagnóstico de la Sostenibilidad de Empresas de Servicios Públicos. *Journal of Construction Engineering and Management*, 343. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000470](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000470)
- Bentley Institute. (2020). WaterCAD V8i user's guide. In *Bentley Systems, Incorporated*.
- Ccencho, R. (2024). *Atenuación del golpe de ariete en líneas de conducción de agua, analizados mediante métodos computacionales, Chupaca, Junín 2021* [Universidad Nacional del Centro Del Perú]. <https://orcid.org/0009-0005-2874-7397>
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 39: Mejora de eficiencia física. Gobierno de México*. (1st ed., Vol. 1). www.conagua.gob.mx
- García Flores, J. C. (2020). Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues. *Dominio de Las Ciencias*, 6, 452–470. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i4.1478>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón El Pan. (2022). *Estudio tarifario agua potable, El Pan 2021*.
- Instituto Ecuatoriano de obras Sanitarias. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. <https://doi.org/10.07>
- Lee, E. J., & Schwab, K. J. (2005). Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *Journal of Water and Health*, 109–127. <http://iwaponline.com/jwh/article-pdf/3/2/109/396282/109.pdf>
- Medina, G. M., & Benavides M., H. M. (2009). *POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS*. Universidad Técnica Particular de Loja.

- Molleturo, J. (2024). *“PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2024-2027 DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PARROQUIA RURAL SAN VICENTE.”*
- Pauta, A. D., & Quezada, A. D. (2017). *Determinación de la tendencia corrosiva e incrustante de agua potable distribuida en la cuida de Azogues*. Universidad de Cuenca.
- Peñañiel, L. (2018). *Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*. Instituto Politécnico de Leiria.
- Torres, W. (2021). Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable. *Primicias*.
- UNESCO, & ONU-Agua. (2023). *Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU- Agua)*. Unesco.Org.

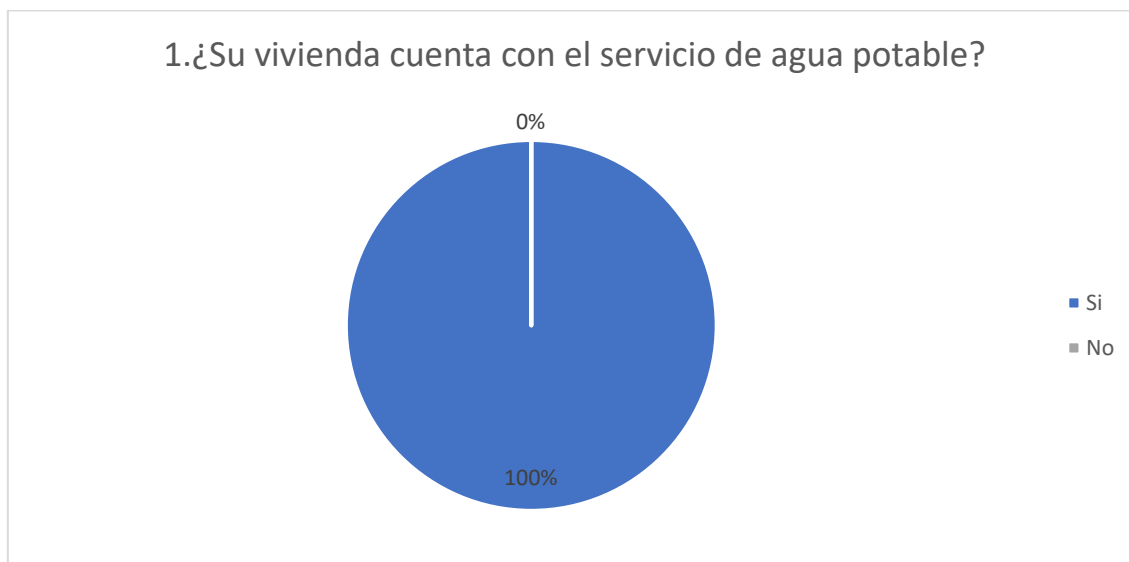
ANEXOS

Anexo A. Banco de preguntas de encuestas de censo parcial.

ENCUESTA N°: <input type="text"/>		Maestría en Sistemas Hidráulicos Urbanos de Abastecimiento y Protección			
ENCUESTA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: "METODOLOGÍA PARA CUALIFICAR, CUANTIFICAR, CONTROLAR Y MINIMIZAR LAS PÉRDIDAS DE AGUA EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN ZONAS RURALES DE LA SIERRA ECUATORIANA, CASO DE ESTUDIO: PARROQUIA SAN VICENTE, CANTÓN EL PAN, PROVINCIA DEL AZUAY.					
El presente formulario es para conocer el comportamiento de los usuarios del servicio de agua potable del cantón El Pan, así como el nivel de satisfacción, inconvenientes y problemas que se pueden identificar para la mejora de este servicio.					
1. ¿Su vivienda cuenta con el servicio de agua potable? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		11. ¿Cuál es la principal causa de los problemas de suministro de agua potable que usted considera? <input type="checkbox"/> Fugas de agua de la red <input type="checkbox"/> Falta de mantenimiento <input type="checkbox"/> Problemas en la captación <input type="checkbox"/> Otro: _____			
2. ¿En qué barrio o sector de la parroquia San Vicente reside? <input type="checkbox"/> La Dolorosa <input type="checkbox"/> La Nube <input type="checkbox"/> San Judas <input type="checkbox"/> Santa Teresita <input type="checkbox"/> La Tina <input type="checkbox"/> San Vicente <input type="checkbox"/> Otro: _____		12. ¿Ha detectado fugas de agua en su vivienda o en la red pública de su sector? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
3. ¿Su predio se considera de uso? <input type="checkbox"/> Familiar <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Institucional <input type="checkbox"/> Otro: _____		13. ¿En qué lugares ha observado fugas? <input type="checkbox"/> Dentro de la vivienda <input type="checkbox"/> En la conexión domiciliar <input type="checkbox"/> En la red de la vía Pública			
4. ¿Cuántas personas habitan en su vivienda? <input type="checkbox"/> Personas		14. ¿Ha reportado estas fugas al municipio? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
5. ¿En qué horario cree usted que usa con mayor frecuencia el agua potable? <input type="checkbox"/> De 05h00 - 08h00 <input type="checkbox"/> De 08h00 - 11h00 <input type="checkbox"/> De 11h00 - 14h00 <input type="checkbox"/> De 14h00 - 17h00 <input type="checkbox"/> De 17h00 - 20h00 <input type="checkbox"/> De 20h00 - 23h00 <input type="checkbox"/> De 23h00 - 05h00		15. El municipio dio respuesta a su reporte de forma: <input type="checkbox"/> Inmediata <input type="checkbox"/> En el transcurso de la semana <input type="checkbox"/> Nunca			
6. ¿Considera que la calidad del agua potable que llega a su domicilio es? <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> Regular		16. ¿Con qué frecuencia se producen estas fugas? * <input type="checkbox"/> Diariamente <input type="checkbox"/> Semanalmente <input type="checkbox"/> Mensualmente <input type="checkbox"/> Esporádicamente			
7. ¿Cuenta con el servicio de agua potable las 24 horas de forma continua? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		17. ¿Ha notado alguna mejora en la calidad del agua desde que entro en funcionamiento la nueva red? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
8. ¿Considera que la presión de agua que llega a su domicilio es? <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/> Suficiente <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> No Sabe		18. Califique el servicio de agua potable, considerando 1 como menor satisfacción y 5 como máxima. <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5			
9. ¿Con qué frecuencia tiene problemas con el suministro de agua? <input type="checkbox"/> Nunca <input type="checkbox"/> Ocasionalmente <input type="checkbox"/> Frecuentemente		19. ¿En alguna ocasión ha tenido algunos de estos inconvenientes con el servicio de agua potable? <input type="checkbox"/> Problemas o errores con el servicio de facturación <input type="checkbox"/> Cortes de agua por mes de 24 horas continuas <input type="checkbox"/> Valores excesivos en mi factura que no representen el consumo real <input type="checkbox"/> Agua turbia (sucio)			
10. ¿Cuándo ocurren con mayor frecuencia estos problemas? <input type="checkbox"/> Estación Seca <input type="checkbox"/> Estación Lluviosas <input type="checkbox"/> Sin Patrón Definido		20. Marque entre que rango de valores usted paga mensualmente por el servicio de agua potable <input type="checkbox"/> Valor base \$3.60 <input type="checkbox"/> De \$3.30 a \$10.00 <input type="checkbox"/> De \$10.00 a \$20.00 <input type="checkbox"/> De \$20.00 a \$30.00 <input type="checkbox"/> Mes de \$30.00			

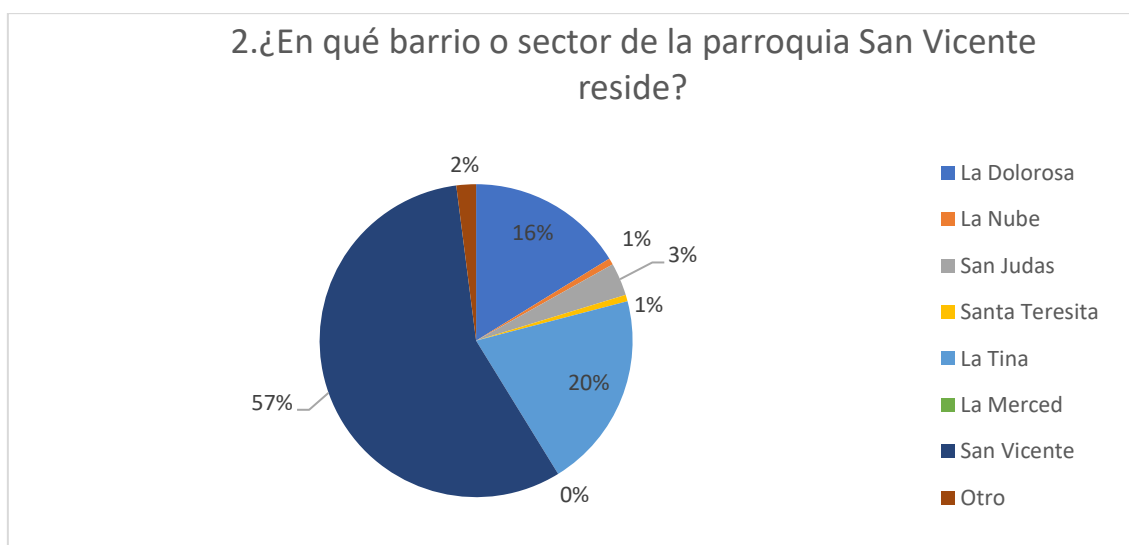
1. ¿Su vivienda cuenta con el servicio de agua potable?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Si	148	100
No	0	0



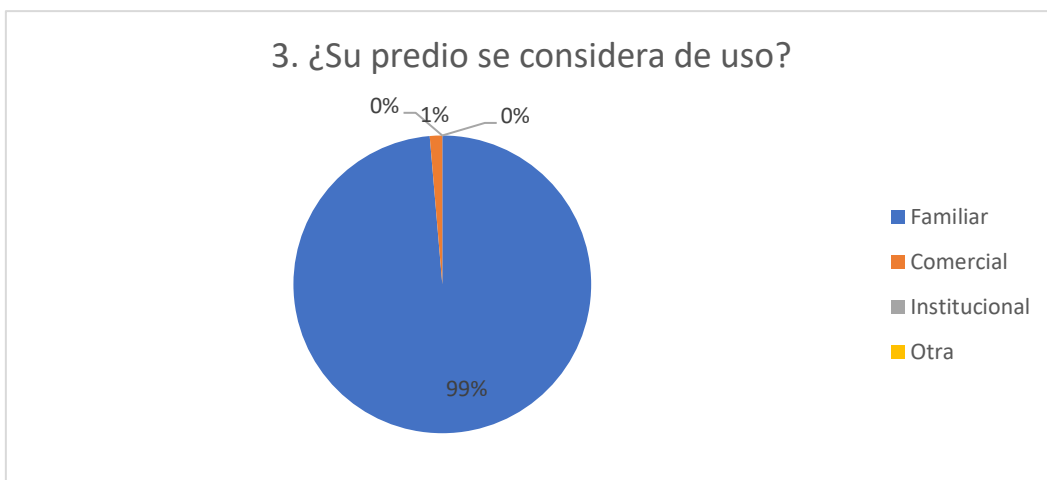
2. ¿En qué barrio o sector de la parroquia San Vicente reside?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
La Dolorosa	24	16.22
La Nube	1	0.68
San Judas	5	3.38
Santa Teresita	1	0.68
La Tina	30	20.27
La Merced	0	0.00
San Vicente	84	56.76
Otro	3	2.03



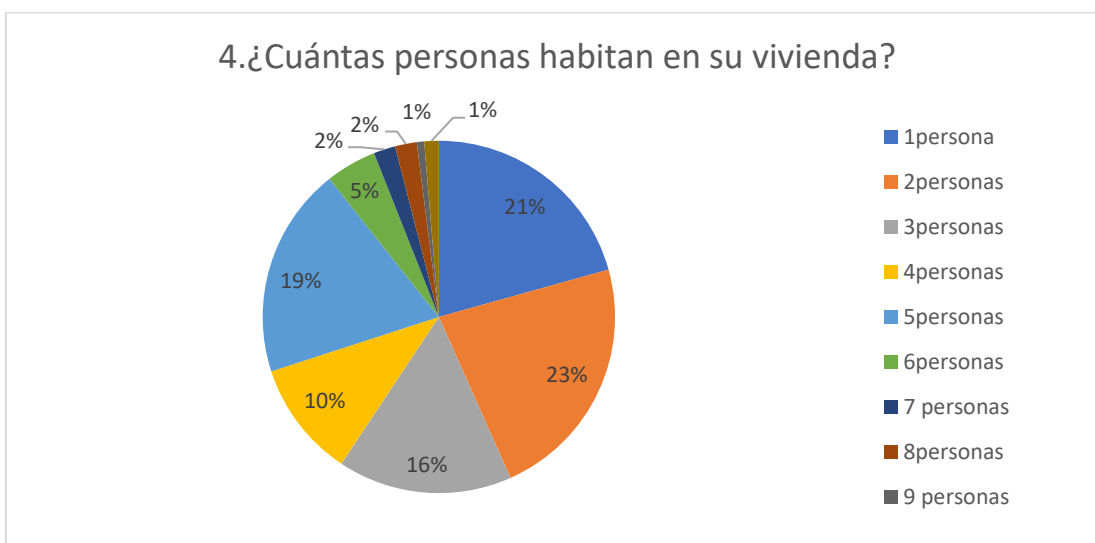
3. ¿Su predio se considera de uso?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Familiar	146	98.65
Comercial	2	1.35
Institucional	0	0.00
Otra	0	0.00



4. ¿Cuántas personas habitan en su vivienda?

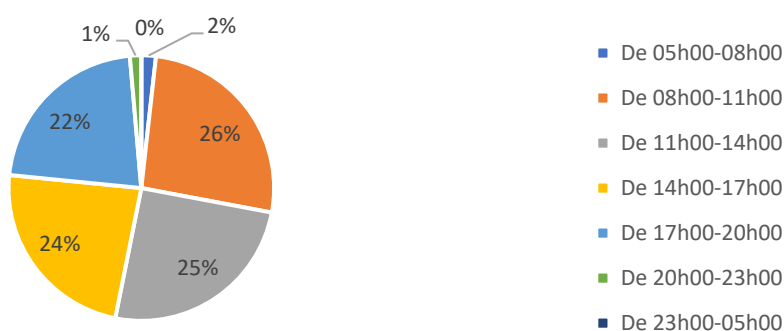
Opciones	Cantidad	Porcentaje %
1 persona	31	20.95
2 personas	34	22.97
3 personas	24	16.22
4 personas	16	10.81
5 personas	29	19.59
6 personas	7	4.73
7 personas	3	2.03
8 personas	3	2.03
9 personas	1	0.68
no da información	2	1.35



5. En qué horario cree usted que usa con mayor frecuencia el agua potable * (puede marcar más de 1)?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
De 05h00-08h00	9	1.77
De 08h00-11h00	133	26.18
De 11h00-14h00	128	25.20
De 14h00-17h00	119	23.43
De 17h00-20h00	112	22.05
De 20h00-23h00	7	1.38
De 23h00-05h00	0	0.00

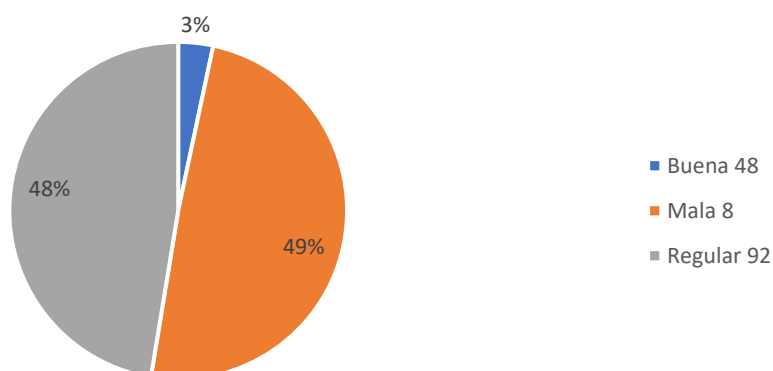
5. En qué horario cree usted que usa con mayor frecuencia el agua potable * (puede marcar más de 1)?



6. ¿Considera que la calidad del agua potable que llega a su domicilio es?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Buena	48	32.43
Mala	8	5.41
Regular	92	62.16

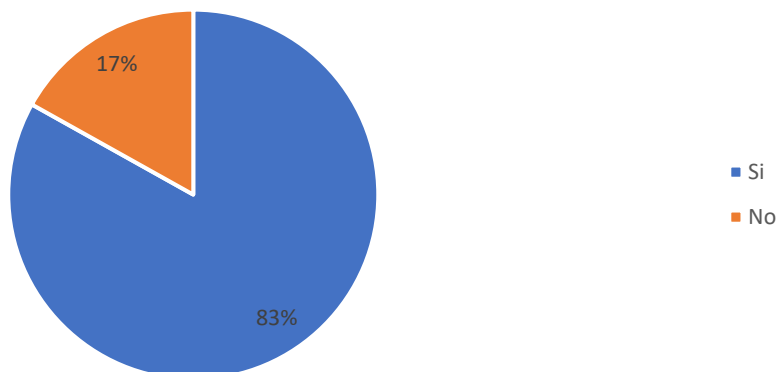
6. ¿Considera que la calidad del agua potable que llega a su domicilio es?



7. ¿Cuenta con el servicio de agua potable las 24 horas de forma continua?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Si	123	83.11
No	25	16.89

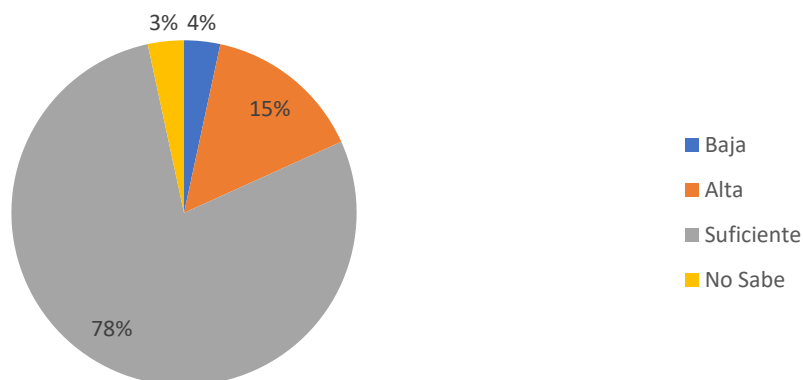
7. ¿Cuenta con el servicio de agua potable las 24 horas de forma continua?



8. ¿Considera que la presión de agua que llega a su domicilio es? *

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Baja	5	3.38
Alta	22	14.86
Suficiente	116	78.38
No Sabe	5	3.38

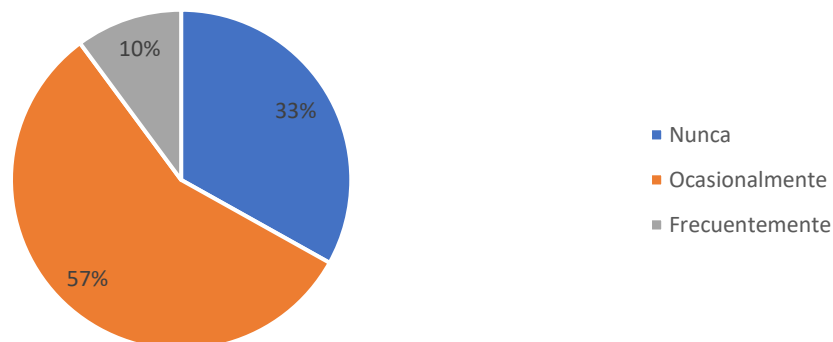
8. ¿Considera que la presión de agua que llega a su domicilio es? *



9. ¿Con qué frecuencia tiene problemas con el suministro de agua?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Nunca	49	33.11
Ocasionalmente	84	56.76
Frecuentemente	15	10.14

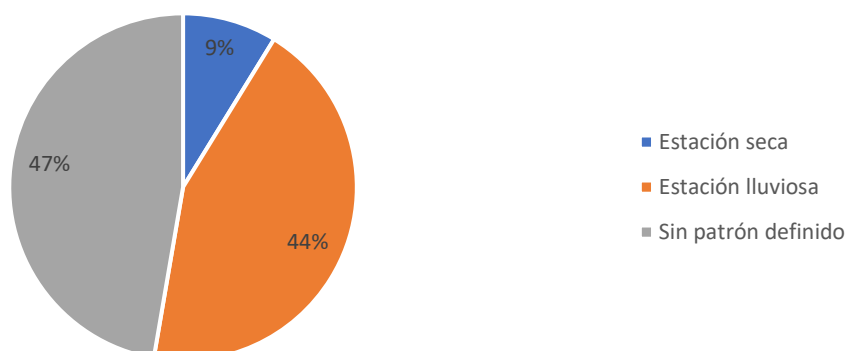
9. ¿Con qué frecuencia tiene problemas con el suministro de agua?



10. ¿Cuándo ocurren con mayor frecuencia estos problemas?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Estación seca	13	8.78
Estación lluviosa	65	43.92
Sin patrón definido	70	47.30

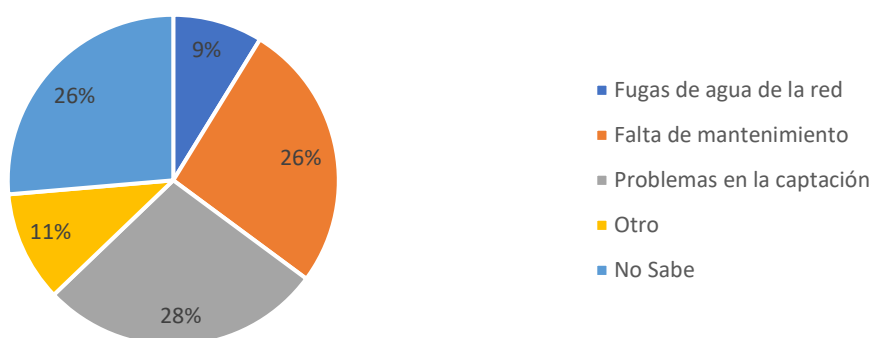
10. ¿Cuándo ocurren con mayor frecuencia estos problemas?



11. ¿Cuál es la principal causa de los problemas de suministro de agua potable que usted considera

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Fugas de agua de la red	13	8.78
Falta de mantenimiento	39	26.35
Problemas en la captación	41	27.70
Otro	16	10.81
No Sabe	39	26.35

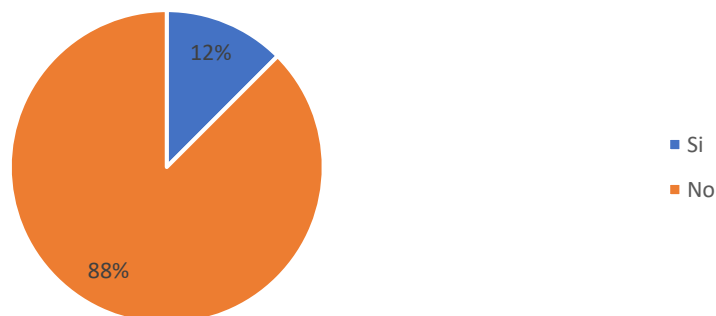
11. ¿Cuál es la principal causa de los problemas de suministro de agua potable que usted considera



12. ¿Ha detectado fugas de agua en su vivienda o en la red pública de su sector?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Si	19	12.84
No	133	89.86

12. ¿Ha detectado fugas de agua en su vivienda o en la red pública de su sector?



13. ¿En qué lugares ha observado fugas?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Dentro de la vivienda	0	0
En la conexión domiciliaria	0	0
En la red de la vía pública	148	100



14. ¿Ha reportado estas fugas al municipio?

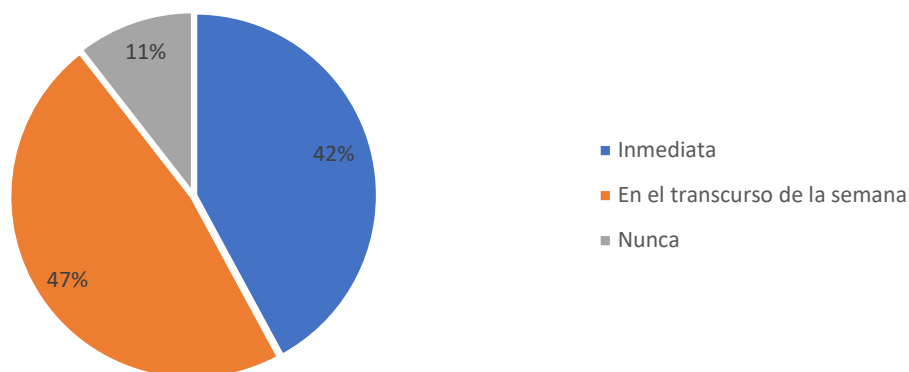
Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Si	19	12.84
No	129	87.16



15.El municipio dio respuesta a su reporte de forma

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Inmediata	8	42.11
En el transcurso de la semana	9	47.37
Nunca	2	10.53

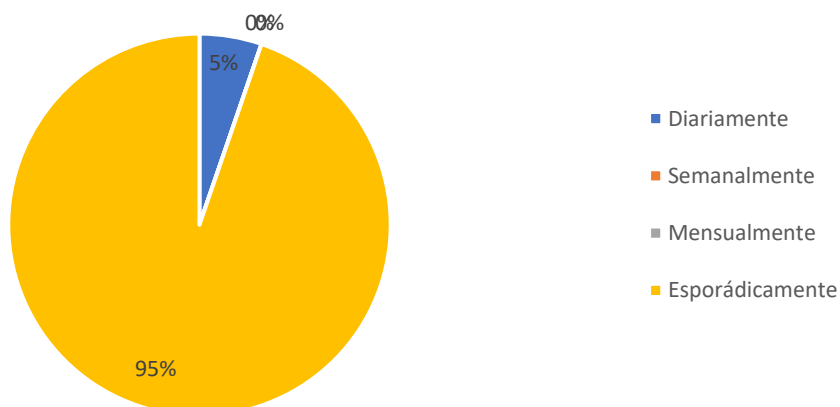
15.El municipio dio respuesta a su reporte de forma



16. ¿Con qué frecuencia se producen estas fugas?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Diariamente	1	5.26
Semanalmente	0	0.00
Mensualmente	0	0.00
Esporádicamente	18	94.74

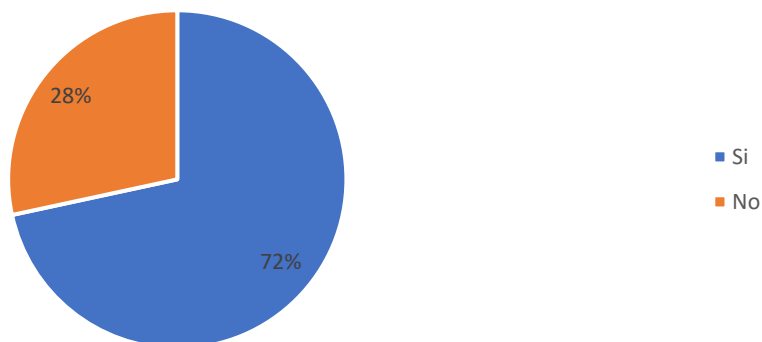
16. ¿Con qué frecuencia se producen estas fugas?



17. ¿Ha notado alguna mejora en la calidad del agua desde que entró en funcionamiento la nueva red?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Si	106	71.62
No	42	28.38

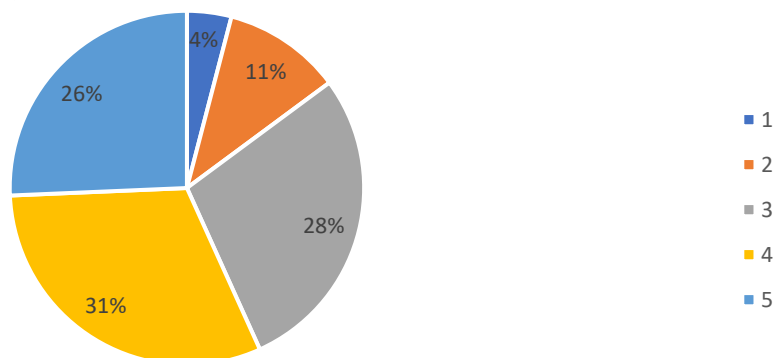
17. ¿Ha notado alguna mejora en la calidad del agua desde que entró en funcionamiento la nueva red?



18. Califique el servicio de agua potable, considerando 1 como menor satisfacción y 5 como máxima satisfacción

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
1	6	4.05
2	16	10.81
3	42	28.38
4	46	31.08
5	38	25.68

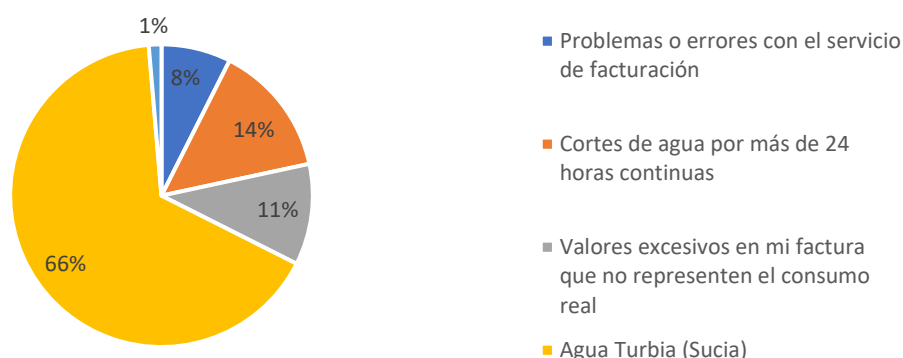
18. Califique el servicio de agua potable, considerando 1 como menor satisfacción y 5 como máxima satisfacción



19. ¿En alguna ocasión ha tenido algunos de estos inconvenientes con el servicio de agua potable?

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Problemas o errores con el servicio de facturación	11	7.43
Cortes de agua por más de 24 horas continuas	21	14.19
Valores excesivos en mi factura que no representen el consumo real	16	10.81
Agua Turbia (Sucia)	98	66.22
Ninguno	2	1.35

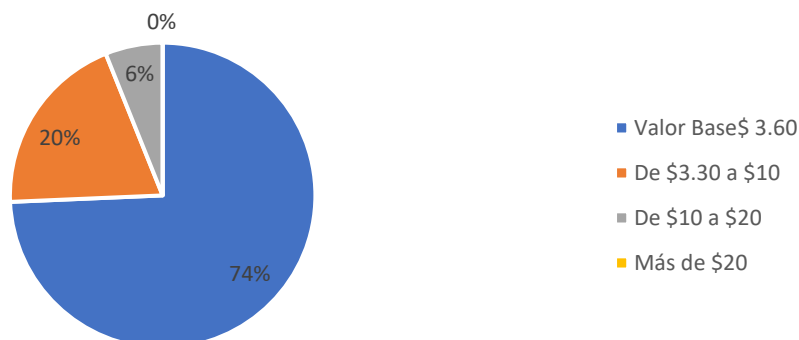
19. ¿En alguna ocasión ha tenido algunos de estos inconvenientes con el servicio de agua potable?



20. Marque entre que rango de valores usted paga por el servicio de agua potable

Opciones	Cantidad	Porcentaje %
Valor Base\$ 3.60	110	74.32
De \$3.30 a \$10	29	19.59
De \$10 a \$20	9	6.08
Más de \$20	0	0.00

20. Marque entre que rango de valores usted paga por el servicio de agua potable



Anexo B. Características geométricas e hidráulicas de la red

Etiqueta	Nudo inicial	Nudo Final	Diámetro	Longitud	Etiqueta	Nudo inicial	Nudo Final	Diámetro	Longitud
T-1	VRP-1	N-1	110,0	40	T-43	N-38	N-36	63,0	103
T-2	N-6	N-2	110,0	102	T-44	N-44	N-42	63,0	107
T-3	N-3	N-6	110,0	161	T-45	N-43	N-44	63,0	111
T-4	N-1	N-3	110,0	245	T-46	N-35	VRP-20	63,0	118
T-5	T-1	VRP-1	110,0	451	T-47	N-57	VRP-32	63,0	136
T-6	N-7	VRP-6	75,0	7	T-48	VRP-29	N-86	63,0	126
T-7	N-45	VRP-19	75,0	8	T-49	N-29	N-22	63,0	128
T-8	VRP-6	N-19	75,0	31	T-50	N-50	N-57	63,0	143
T-9	VRP-2	N-7	75,0	39	T-51	N-45	N-47	63,0	161
T-10	VRP-19	N-50	75,0	71	T-52	N-21	N-31	63,0	163
T-11	N-7	VRP-9	75,0	74	T-53	N-21	N-32	63,0	166
T-12	N-13	N-10	75,0	107	T-54	N-51	N-52	63,0	168
T-13	N-2	VRP-2	75,0	139	T-55	N-2	VRP-5	63,0	171
T-14	VRP-9	N-13	75,0	214	T-56	VRP-10	N-26	63,0	252
T-15	N-6	VRP-8	63,0	50	T-57	N-57	N-72	63,0	184
T-16	N-23	N-22	63,0	90	T-58	N-75	N-79	63,0	226
T-17	VRP-8	N-23	63,0	135	T-59	VRP-15	N-49	63,0	237
T-18	N-43	VRP-15	63,0	9	T-60	VRP-21	N-54	63,0	222
T-19	VRP-25	N-75	63,0	9	T-61	N-19	N-12	63,0	303
T-20	N-40	VRP-14	63,0	12	T-62	N-26	VRP-17	63,0	500
T-21	N-47	VRP-21	63,0	12	T-63	N-29	N-34	63,0	94
T-22	N-10	VRP-10	63,0	15	T-64	N-49	VRP-22	50,0	11
T-23	N-42	VRP-16	63,0	20	T-65	N-92	VRP-38	50,0	12
T-24	N-22	N-21	63,0	29	T-66	N-64	N-68	50,0	14
T-25	N-36	N-39	63,0	50	T-67	N-79	VRP-30	50,0	15
T-26	N-32	N-31	63,0	52	T-68	N-5	VRP-7	50,0	25
T-27	N-72	VRP-25	63,0	53	T-69	N-63	N-66	50,0	44
T-28	VRP-5	VRP-11	63,0	59	T-70	N-85	VRP-36	50,0	51
T-29	VRP-17	N-51	63,0	62	T-71	N-98	N-95	50,0	70
T-30	N-42	N-40	63,0	73	T-72	N-14	N-25	50,0	77
T-31	N-35	N-38	63,0	77	T-73	VRP-7	N-14	50,0	81
T-32	VRP-16	N-45	63,0	77	T-74	N-86	N-87	50,0	88
T-33	N-31	N-38	63,0	79	T-75	N-86	N-85	50,0	131
T-34	N-39	N-42	63,0	81	T-76	VRP-26	N-77	50,0	137
T-35	N-51	N-60	63,0	84	T-77	VRP-36	N-101	50,0	143
T-36	N-32	N-35	63,0	85	T-78	VRP-30	N-83	50,0	158
T-37	VRP-14	N-46	63,0	86	T-79	VRP-38	N-97	50,0	157
T-38	N-39	N-43	63,0	89	T-80	N-52	N-65	50,0	193
T-39	VRP-32	N-92	63,0	95	T-81	N-68	VRP-26	50,0	200
T-40	N-33	N-36	63,0	91	T-82	VRP-22	N-63	50,0	212
T-41	VRP-11	N-29	63,0	101	T-83	N-10	N-5	50,0	217
T-42	N-75	VRP-29	63,0	101	T-84	N-60	N-58	50,0	241

Etiqueta	Nudo inicial	Nudo Final	Diámetro	Longitud	Etiqueta	Nudo inicial	Nudo Final	Diámetro	Longitud
T-85	N-97	N-98	50,0	427	T-128	VRP-12	N-30	32,0	129
T-86	N-83	VRP-34	32,0	4	T-129	N-1	VRP-3	32,0	112
T-87	N-109	VRP-44	32,0	7	T-130	VRP-4	N-9	32,0	107
T-88	N-87	VRP-37	32,0	8	T-131	VRP-44	N-111	32,0	188
T-89	N-3	VRP-4	32,0	9	T-132	N-104	N-107	32,0	115
T-90	N-49	VRP-23	32,0	11	T-133	N-114	N-115	32,0	116
T-91	N-95	VRP-40	32,0	18	T-134	N-106	N-105	32,0	121
T-92	N-16	N-17	32,0	19	T-135	N-95	N-91	32,0	137
T-93	N-107	N-106	32,0	20	T-136	N-94	VRP-39	32,0	126
T-94	N-72	VRP-24	32,0	26	T-137	VRP-34	N-94	32,0	133
T-95	N-44	VRP-18	32,0	30	T-138	N-59	N-64	32,0	139
T-96	N-111	N-112	32,0	32	T-139	N-90	N-93	32,0	147
T-97	N-101	VRP-42	32,0	35	T-140	VRP-42	N-102	32,0	139
T-98	N-5	N-4	32,0	39	T-141	N-98	N-99	32,0	145
T-99	N-17	VRP-12	32,0	49	T-142	N-55	N-73	32,0	141
T-100	N-92	N-88	32,0	47	T-143	N-78	VRP-33	32,0	181
T-101	N-83	VRP-35	32,0	48	T-144	VRP-28	N-82	32,0	146
T-102	N-16	N-18	32,0	47	T-145	N-16	N-15	32,0	151
T-103	N-79	VRP-31	32,0	51	T-146	N-24	N-28	32,0	167
T-104	N-111	N-114	32,0	49	T-147	N-101	N-100	32,0	157
T-105	N-53	N-55	32,0	52	T-148	VRP-3	N-8	32,0	163
T-106	VRP-43	N-104	32,0	61	T-149	N-14	N-11	32,0	168
T-107	N-40	N-37	32,0	65	T-150	N-87	VRP-43	32,0	171
T-108	VRP-24	N-76	32,0	210	T-151	N-106	N-110	32,0	186
T-109	VRP-40	VRP-41	32,0	69	T-152	VRP-41	N-109	32,0	194
T-110	N-59	N-62	32,0	69	T-153	N-51	N-61	32,0	200
T-111	N-73	N-71	32,0	71	T-154	N-58	N-65	32,0	204
T-112	N-73	N-74	32,0	74	T-155	VRP-31	N-84	32,0	262
T-113	N-109	N-108	32,0	75	T-156	N-60	N-70	32,0	212
T-114	N-19	N-24	32,0	77	T-157	VRP-33	N-89	32,0	246
T-115	N-114	N-113	32,0	77	T-158	N-66	VRP-28	32,0	228
T-116	VRP-27	N-78	32,0	77	T-159	VRP-23	N-59	32,0	226
T-117	N-23	N-20	32,0	81	T-160	VRP-37	N-96	32,0	292
T-118	VRP-18	N-48	32,0	80	T-161	VRP-35	N-90	32,0	283
T-119	VRP-13	N-41	32,0	102	T-162	N-53	VRP-27	32,0	446
T-120	N-24	N-27	32,0	83	T-163	N-77	N-80	32,0	340
T-121	N-77	N-81	32,0	84	T-164	VRP-39	N-103	32,0	673
T-122	VRP-20	N-53	32,0	88	T-165	N-52	N-56	32,0	64
T-123	N-66	N-67	32,0	90					
T-124	N-9	N-16	32,0	92					
T-125	N-17	VRP-13	32,0	139					
T-126	N-61	N-69	32,0	95					
T-127	N-31	N-33	32,0	98					

Anexo C. Configuración de presiones de válvulas reguladoras de presión

Etiqueta	Nudo inicial	Nudo Final	Presión de entrada (m H2O)	Presión de salida final (m H2O)	Diámetro
T-5	T-1	VRP-1	57	0	110,0
T-6	N-7	VRP-6	34	00	75,0
T-7	N-45	VRP-19	19	10	75,0
T-11	N-7	VRP-9	52	40	75,0
T-13	N-2	VRP-2	11	0	75,0
T-15	N-6	VRP-8	61	0	63,0
T-18	N-43	VRP-15	47	0	63,0
T-20	N-40	VRP-14	45	0	63,0
T-21	N-47	VRP-21	22	0	63,0
T-22	N-10	VRP-10	48	0	63,0
T-23	N-42	VRP-16	47	10	63,0
T-27	N-72	VRP-25	64	10	63,0
T-28	VRP-5	VRP-11	33	00	63,0
T-42	N-75	VRP-29	40	0	63,0
T-46	N-35	VRP-20	63	0	63,0
T-47	N-57	VRP-32	102	0	63,0
T-55	N-2	VRP-5	43	0	63,0
T-62	N-26	VRP-17	64	0	63,0
T-64	N-49	VRP-22	19	0	50,0
T-65	N-92	VRP-38	43	20	50,0
T-67	N-79	VRP-30	40	0	50,0
T-68	N-5	VRP-7	23	0	50,0
T-70	N-85	VRP-36	40	0	50,0
T-81	N-68	VRP-26	43	0	50,0
T-86	N-83	VRP-34	20	0	32,0
T-87	N-109	VRP-44	49	0	32,0
T-88	N-87	VRP-37	45	0	32,0
T-89	N-3	VRP-4	36	0	32,0
T-90	N-49	VRP-23	19	0	32,0
T-91	N-95	VRP-40	34	0	32,0
T-94	N-72	VRP-24	50	0	32,0
T-95	N-44	VRP-18	56	0	32,0
T-97	N-101	VRP-42	48	20	32,0
T-99	N-17	VRP-12	43	0	32,0
T-101	N-83	VRP-35	23	0	32,0
T-103	N-79	VRP-31	45	0	32,0
T-109	VRP-40	VRP-41	14	0	32,0
T-125	N-17	VRP-13	64	0	32,0
T-129	N-1	VRP-3	38	0	32,0
T-136	N-94	VRP-39	38	0	32,0
T-143	N-78	VRP-33	45	0	32,0
T-147	N-101	N-100	37	0	32,0
T-150	N-87	VRP-43	90	10	32,0
T-158	N-66	VRP-28	68	0	32,0
T-162	N-53	VRP-27	54	0	32,0