



**DEPARTAMENTO
DE POSGRADOS**

Maestría en Hidrosanitaria

Cálculo de porcentaje de pérdidas y agua no contabilizada en el sistema de red de agua potable Cantón Santa Isabel, Zona 1.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título:

Magíster en Hidrosanitaria

Autor:

Carlos Alberto Escandón Calle

Directora:

Ing. Veronica Chumi.

Cuenca – Ecuador

2025

DEDICATORIA 1

Dedico este trabajo de investigación, en primer lugar, a mi amada familia, pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mi esposa, por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo constante, incluso en los momentos más desafiantes. A mis dos hijos, fuente de inspiración diaria, quienes me motivan a ser mejor persona y profesional. Ustedes son mi mayor orgullo y la razón por la que nunca dejo de avanzar.

Asimismo, extendiendo esta dedicatoria con profundo respeto y gratitud a todas las personas de las distintas comunidades en las que he tenido el privilegio de aplicar mis conocimientos. Gracias por confiar en mí, por compartir sus saberes, sus necesidades y sus esperanzas. Su realidad me ha enseñado tanto como cualquier aula, y su resiliencia ha fortalecido mi compromiso con un ejercicio profesional ético, humano y con propósito.

Este logro no me pertenece solo a mí, sino también a ustedes, que han sido parte esencial de este camino.

Carlos Escandón C.

AGRADECIMIENTOS 1

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos los profesionales que, a lo largo de mi formación y ejercicio profesional, han influido de manera significativa en mi desarrollo académico, técnico y humano.

A cada docente que compartió su conocimiento con pasión y vocación; a cada colega que con generosidad aportó su experiencia en los distintos espacios de trabajo; y a cada mentor que me brindó orientación, confianza y enseñanzas que han dejado huella en mi manera de ejercer esta profesión.

Gracias por transmitirme no solo conocimientos técnicos, sino también valores como la responsabilidad, el compromiso, la ética y el respeto por las comunidades a las que servimos. Cada conversación, consejo y ejemplo han sido fundamentales para construir el profesional que soy hoy.

Este trabajo es también resultado del acompañamiento, la guía y el legado que muchos de ustedes me han ofrecido con entrega y desinterés. A todos, mi más profundo reconocimiento y gratitud.

Carlos Alberto Escandón Calle.

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras.....	viii
Resumen.....	xi
Abstract	xii
Introducción	1
Estado del Arte.....	3
Objetivos	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos.....	6
Revisión Literaria.....	7
Perdidas de agua potable.....	7
Tipos y clasificación de fugas.....	7
Detección y cuantificación de pérdidas técnicas de agua potable.	11
Detección y cuantificación de pérdidas comerciales de agua potable	13
Volumen de consumo clandestino	14
Volumen por error de medición.....	14
Volumen no facturado por subestimación de consumo	15
Reducción de pérdidas de agua.....	16
Tipos de pérdidas de agua.....	17
Pérdidas físicas o reales.	17

Perdidas comerciales o aparentes.....	18
Desarrollo.....	20
Información general del sistema de agua potable.....	20
Captación	20
Planta de tratamiento.....	22
Generalidades del área de estudio.....	25
Recopilación y levantamiento de información.	27
Medición y registro de caudales producidos para el sistema Los Pueres.	28
Muestreo de errores de exactitud en la medición de medidores	30
Determinación del volumen ingresado al sistema.	30
Determinación de consumos autorizados.....	32
Perdidas comerciales.....	33
Perdidas de subcontaje o submedición.	33
Consumos no autorizados.	34
Estimación de perdidas comerciales.	34
Perdidas físicas.....	35
Levantamiento de información	35
Perdidas en el sistema de distribución	41
Perdidas monitoreadas en el sistema de distribución.....	41
Aplicación de método BURST and BACKGROUND ESTIMATES (BABE). ...	46
Metodología IWA para el cálculo de perdidas inevitables en el sistema de distribución	47

Fugas por acometida	49
Consumo no facturado no medido.	52
Balance Hídrico	54
Indicadores de gestión.....	57
Índice de pérdidas de Agua por Usuario Facturado.....	57
Indicador de perdidas comerciales.....	58
Índice Estructural de Pérdidas Comerciales	59
Volumen incontrolado de fugas (VIF).....	60
Índice de pérdidas de agua (ILI)	61
Conclusiones	62
Recomendaciones	65
Bibliografía	66

Índice de Tablas

Tabla 1. Balance de Agua IWA (Fuente: International Water Association, 2000)	9
Tabla 2. Causas de perdidas comerciales de agua por micro medición (Duran, 2014)	15
Tabla 3 Causas de pérdidas comerciales por conexiones fraudulentas (Duran, 2014).....	16
Tabla 4 Coordinadas de la captación de Paccha.	21
Tabla 5 Pliego tarifario para la categoría Domestica en el cantón Santa Isabel (Elaboración propia)	29
Tabla 6 Volumen mensual de ingreso para la zona de Los Pueres.	31
Tabla 7 Volumen mensual de ingreso para la zona de Los Pueres.	32
Tabla 8 Volumen mensual comercializado en la zona de Los Pueres año 2024.	32
Tabla 9 Longitud de tuberías en el sistema de Los Pueres.	40
Tabla 10 Volumen registrado en horario nocturno en la zona de Los Pueres	43
Tabla 11 Coeficientes de estado de red metodología BABE.....	46
Tabla 12 Muestreo de presiones en domiciliarias en la zona de Los Pueres	48
Tabla 13 Coeficiente de condición para estado de red. (IWA).....	51
Tabla 14 Balance Hídrico para la zona de Los Pueres.....	55
Tabla 15 Rangos de eficiencia IPUF	58

Índice de Figuras

Figura 1. Captación de agua cruda Paccha.	21
Figura 2 Planta de tratamiento de agua potable de Pilancón – EMAPASI EP.	22
Figura 3 Modulo floculador y sedimentador de la planta de tratamiento de Pilancón – EMAPASI EP.	23
Figura 4 Identificación de la zona Los Pueres dentro de la cabecera cantonal Santa Isabel.	25
Figura 5 Predios dentro de la zona Los Pueres	26
Figura 6 Identificación de predios con servicio de agua potable en la zona de los Pueres.	27
Figura 7 Planilla de consumos de agua potable.	29
Figura 8 Tanque de distribución de la zona Los Pueres.	31
Figura 9 Comparación de caudales producidos vs comercializados en la zona Los Pueres.	32
Figura 10 Grupo de medidores probados en el bando de pruebas (Plan Maestro 2022).	33
Figura 11 Catastro de redes de distribución en la zona de Los Pueres.	36
Figura 12 Mala práctica en la reparación de tuberías.	37
Figura 13 Perforaciones en las tuberías de distribución.	38
Figura 14 Malas conexiones domiciliarias.	39
Figura 15 Tramo de tubería monitoreada para el registro de consumo nocturno.	41
Figura 16 Corte de servicio realizado en la zona para obtención de información de consumo nocturno.	42
Figura 17 Colapso de tubería por el exceso de presión.	44
Figura 18 Fugas de agua en los puntos de implementación de accesorios artesanales.	44
Figura 19 Fugas de agua por el uso de materiales diferentes.	45

Figura 20 Humedad en la vía, producto de fugas de la red principal de agua en la zona de Los Pueres.....	45
Figura 21 Toma de presiones en el sistema Los Pueres.....	48
Figura 22 Inspección de acometidas domiciliarias	50
Figura 23 Estado de las acometidas domiciliarias.	51
Figura 24 Conexiones autorizadas sin micromedición	53

Cálculo de porcentaje de pérdidas y agua no contabilizada en el sistema de red de agua potable Cantón Santa Isabel, Zona 1.

Calculation of Loss Percentage and Non-Revenue Water in the Drinking Water Network System of Santa Isabel Canton, Zone 1.

Escandón Calle, Carlos Alberto¹; Chumi Buenaño, Veronica Gladys²

Maestría en Hidrosanitaria – Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo C.P. 010204, Cuenca, Ecuador.

¹ c.escandoncalle@es.uazuay.edu.ec

² veronicachumi@gmail.com

Resumen

La pérdida de agua potable es uno de los problemas más persistentes en los prestadores del servicio de agua potable. En el Ecuador el porcentaje de agua no contabilizada se estima en un promedio de 44.85% según el boletín estadístico de la Agencia de Regulación y Control del Agua para el año 2023 (ARCA, 2023).

Por esta razón, es fundamental que los prestadores del servicio de agua potable analicen sus sistemas para optimizar su operación, reducir pérdidas, incrementar ingresos y garantizar una mayor rentabilidad.

El presente proyecto, identificó las pérdidas técnicas y comerciales de agua potable en uno de los sectores estratégicos del Cantón Santa Isabel, y formuló un programa para el control del agua no contabilizada, proponiendo soluciones dirigidas a su reducción. Estas propuestas están diseñadas para servir como una herramienta estratégica en la toma de decisiones por parte de las autoridades empresariales, con el objetivo de lograr sostenibilidad financiera y técnica.

La metodología incluyó el levantamiento de información técnica y comercial del sistema de agua potable, la medición de caudales producidos y facturados, y la identificación de fugas técnicas y comerciales. A través de un balance hídrico, se determinó que el **52.4%** del volumen corresponde a agua no contabilizada en esta zona de estudio.

Palabras claves.

Medición, medidores, consumo, pérdidas, registros, caudales.

Abstract

Water loss is one of the most persistent issues faced by drinking water service providers. In Ecuador, the percentage of non-revenue water is estimated at an average of 44.85%, according to the 2023 statistical bulletin of the Water Regulation and Control Agency. For this reason, it is essential that service providers analyze their systems to optimize operations, reduce losses, increase revenues, and ensure greater profitability. This project identified both technical and commercial water losses in one of the strategic sectors of the Santa Isabel canton and developed a program for the control of non-revenue water, proposing targeted solutions for its reduction. These proposals are intended to serve as a strategic decision-making tool for utility authorities, aiming to achieve financial and technical sustainability.

The methodology included the collection of technical and commercial data from the drinking water system, measurement of produced and billed flows, and identification of both technical and commercial leaks. Through a water balance, it was determined that 53.56% of the volume corresponds to non-revenue water in the study area. Subsequently, a loss control program was developed, focusing on leak reduction, implementation of macro- and micro-metering, network sectorization, and detection of illegal connections.

Keywords: Measurement, meters, consumption, losses, records, flow rates.

Introducción

El Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado, Manejo Fluvial y Depuración de Residuos Líquidos del Cantón Santa Isabel, EMAPASI EP, atiende las necesidades del servicio de agua potable en diez sectores. Para los fines de este estudio la Zona 1 se identificará como el sector de Los Pueres.

Ningún sistema de agua potable puede garantizar la ausencia total de pérdidas en sus conducciones o sistemas de distribución. Incluso en los sistemas más eficientes, siempre existen pérdidas debidas a fugas, conexiones clandestinas u otros factores.

En el año 2022, la Ilustre Municipalidad de Santa Isabel llevó a cabo los estudios del denominado Plan Maestro (APSI, 2021), el cual concluyó que el porcentaje de agua no contabilizada asciende al 56%. A pesar de estos resultados, no se han registrado acciones concretas para reducir dicho porcentaje.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, Manejo Fluvial y Depuración de Residuos Líquidos de Santa Isabel (EMAPASI-EP) se creó en 2015, recibiendo de la municipalidad un sistema que ha estado en operación por más de 20 años. Actualmente, este sistema genera altos costos debido a constantes reparaciones de tuberías, que sufren frecuentes roturas en la red de distribución.

En el centro cantonal, las redes incluyen tramos aún compuestos de material de asbesto-cemento, un componente obsoleto y riesgoso debido a su antigüedad, que ocasiona fugas diarias en el sistema.

Los Pueres se caracteriza por contar con quintas vacacionales y un segmento socioeconómico que frecuentemente utiliza agua potable para riego de vegetación ornamental,

pese a la existencia de sistemas específicos de riego. Además, muchas viviendas poseen piscinas, lo que incrementa significativamente el consumo. Este panorama ha derivado en la proliferación de conexiones clandestinas que buscan evitar la facturación de dichos consumos, afectando negativamente el registro real.

Estas malas prácticas no solo se presentan en Los Pueres, sino que son una problemática generalizada en el cantón Santa Isabel.

Estado del Arte

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos, como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Dentro de esta agenda, el Objetivo 6, denominado "Agua Limpia y Saneamiento", busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Este objetivo es esencial no solo para mejorar la calidad de vida de las personas, sino también para lograr el equilibrio entre el desarrollo humano y la protección del medio ambiente (ONU, 2015).

El acceso al agua potable y al saneamiento adecuado es un derecho humano fundamental, pero la escasez de agua afecta actualmente a más del 40% de la población mundial, y este porcentaje podría aumentar con el tiempo si no se toman medidas efectivas. La gestión eficiente de los recursos hídricos y de las infraestructuras de saneamiento es clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), no solo por su impacto directo en la salud humana, sino también por su contribución al bienestar de los ecosistemas y la reducción de los efectos del cambio climático (ONU, 2015).

El control de las pérdidas en los sistemas de agua potable es uno de los principales pilares de una gestión eficiente del recurso. Las pérdidas de agua, ya sean por fugas, robos o mediciones incorrectas, no solo representan un desperdicio de este recurso vital, sino también un desafío financiero, social y ambiental. En términos ambientales, la disminución de las pérdidas de agua reduce la presión sobre los ecosistemas hídricos, contribuyendo a una menor explotación del recurso natural y a la preservación de la biodiversidad acuática. A su vez, en términos sociales,

esta reducción beneficia a las comunidades al mejorar la disponibilidad de agua potable (Jouravlev, 2004).

Desde el punto de vista financiero, implementar un programa de control de pérdidas puede generar múltiples beneficios para las entidades proveedoras de agua, entre los que se incluyen (Ramírez, 2014).

Reducción de costos de producción: Al disminuir el volumen de agua tratada, se reducen los gastos operativos de las plantas de tratamiento.

Aumento de ingresos: Al incorporar en la facturación a aquellos usuarios que se benefician del servicio, pero no están legalizados, se incrementan los ingresos.

Mejora en la planificación de inversiones: Tener una visión clara del estado de la infraestructura permite una mejor toma de decisiones sobre las necesidades de inversión.

Extensión de la vida útil de la infraestructura: Reducir la demanda de agua al mejorar la eficiencia del sistema prolonga la vida útil de las infraestructuras existentes.

Posponer la necesidad de expansión del sistema: Al reducir las pérdidas, se puede aplazar la ejecución de obras costosas de expansión de la red.

Reducción de costos operativos: Las mejoras en la eficiencia operativa también conllevan una disminución de los costos de mantenimiento y operación de la infraestructura.

Disminución de los costos de tratamiento de aguas residuales: Al reducir el volumen de agua que se desperdicia, también se reduce la cantidad de agua residual que necesita tratamiento.

En conclusión, la gestión adecuada y sostenible del agua es un componente clave para lograr el desarrollo sostenible, y el control de pérdidas en los sistemas de agua potable tiene un impacto positivo tanto en el entorno natural como en la rentabilidad financiera de las empresas proveedoras de agua, contribuyendo al bienestar general de la sociedad.

Objetivos

Objetivo General

- Determinar el volumen de agua no contabilizada (ANC) en la zona Los Pueres, perteneciente al cantón Santa Isabel, mediante un diagnóstico integral que identifique las pérdidas técnicas y comerciales.

Objetivos Específicos

- Recopilar la información comercial de la empresa EMAPASI EP, levantar información técnica-comercial para diagnosticar el sistema de agua de dicha zona.
- Obtener registros de volúmenes de agua potable en la salida del tanque de reserva de dicha zona.
- Obtener los volúmenes comerciales de dicha zona
- Identificar y cuantificar las pérdidas técnicas y comerciales.

Revisión Literaria

Perdidas de agua potable.

El control de las pérdidas de agua en los sistemas de distribución es crucial para garantizar la eficiencia del servicio y reducir los impactos económicos y sociales. Una de las metodologías más empleadas en este control es la sectorización, que incluye una serie de acciones para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Esto implica verificar la calidad de la macro medición, asegurarse de la estanqueidad del sector, instalar metros colectivos para medir el consumo de agua de manera general y de los micromedidores para cada usuario, así como gestionar la calidad de la lectura en estos medidores y supervisar la gestión de clientes (Ramos, 2016).

Además, es importante comprender los diferentes factores que influyen en la red de agua potable, como el crecimiento de la población, las fallas en el sistema, la explotación del recurso, los desperdicios y las pérdidas (Chávez, 2018). Estos factores deben ser considerados en un estudio exhaustivo de la red para poder garantizar la continuidad del servicio a los usuarios y minimizar las pérdidas de agua

Tipos y clasificación de fugas.

Las fugas representan un impacto significativo tanto social como económico, ya que afectan directamente a los recursos hídricos captados, bombeados, tratados, almacenados y distribuidos. Las fugas en los sistemas de distribución de agua no solo implican pérdida de agua, sino también recursos financieros y energía. Según la magnitud de las fugas, estas pueden clasificarse en tres categorías principales (CEPIS, 1981):

1. **Categoría 1:** Se refiere a las fugas de volúmenes muy pequeños, que suelen localizarse en juntas o uniones de tuberías o piezas especiales. Estas fugas son casi imperceptibles, a menudo manifestándose como sudor o goteo.
2. **Categoría 2:** Son fugas pequeñas, pero no aparentes, que son más grandes que las de la categoría 1. Sin embargo, solo se detectan mediante una inspección minuciosa del sistema.
3. **Categoría 3:** Incluye grandes fugas de agua, que son claramente visibles. Estas fugas suelen ser causadas por roturas en las tuberías debido a fallas estructurales o externos.

Las causas de las fugas en las tuberías pueden ser diversas, y las más comunes incluyen:

- Defectos de fabricación o instalación de las tuberías.
- Daños durante la instalación, como un mal manejo o mal posicionamiento.
- Deterioro o fatiga debido a la corrosión o el envejecimiento del material de las tuberías.
- Altas presiones de agua que exceden la capacidad de resistencia de las tuberías.
- Acomodo natural del suelo, que puede ejercer presión sobre las tuberías, especialmente en terrenos inestables.

Los factores clave que contribuyen al origen de las fugas en los sistemas de distribución de agua incluyen el movimiento del terreno, la corrosión de las tuberías, las altas presiones del servicio, la antigüedad de las tuberías y las condiciones de instalación de la red (Campaña, 2016). Estos factores pueden combinarse de diversas maneras para generar fallas en el sistema, que se traducen en pérdidas de agua y aumento de los costos operativos del sistema.

En resumen, comprender los tipos y causas de las fugas es esencial para desarrollar estrategias efectivas de mantenimiento y prevención, que permitan minimizar las pérdidas de agua y garantizar un suministro eficiente y sostenible a los usuarios.

Volumen Introducido al Sistema m3/año	Consumo Autorizado m3/año	Consumo Autorizado Facturado m3/año	Consumos Facturado Medido	Agua Comercializada m3/año
			Consumo Facturado No Medido	
	Perdidas de Agua m3/año	Consumo Autorizado no Facturado m3/año	Consumo Facturado Medido	Agua No comercializada m3/Año
			Consumo No Facturado NO Medido	
		Perdidas Aparentes m3/año	Consumo No Autorizado	
			Errores de Medición	
	Perdidas Reales m3/año		Fugas en la red	
			Desborde de Reservorios	
			Fugas en Conexiones Domiciliarias	

Tabla 1. Balance de Agua IWA (Fuente: (IWA, 2000).

Las pérdidas reales, también conocidas como pérdidas técnicas, son aquellas que ocurren como resultado de daños en la hermeticidad de los componentes del sistema de distribución, tales como tanques de almacenamiento, tuberías, conexiones, accesorios de unión y de control. Estas fugas pueden ser visibles o no visibles (Ochoa & Bourguett, 2001):

- **Fugas visibles:** Son aquellas que emergen hacia la superficie del terreno o pavimento y generalmente pueden ser detectadas por lecturistas, operadores o incluso los usuarios del sistema. Estas fugas son más fáciles de identificar y reparar.
- **Fugas no visibles:** Son aquellas que no son perceptibles fácilmente, ya que se infiltran en el suelo o drenan hacia las tuberías de alcantarillado o canales. Estas fugas son más difíciles de detectar y requieren métodos más complejos para su localización.

Las características que influyen en la determinación de las pérdidas reales incluyen:

- **Presión de la red de distribución:** Las altas presiones en la red pueden generar rupturas en las tuberías, aumentando las fugas.
- **Caudales de fugas visibles y no visibles:** El volumen de agua perdido debido a las fugas, tanto visibles como no visibles, es clave para evaluar las pérdidas reales.

Las pérdidas aparentes están relacionadas con el sistema de medición y suelen dar lugar a pérdidas de ingresos. Estas pérdidas se deben principalmente a consumos no registrados y no facturados, que incluyen (Ochoa & Bourguett, 2001):

- **Conexiones clandestinas:** Aquellas conexiones no autorizadas que permiten el uso de agua sin ser contabilizadas.
- **Conexiones de uso público:** Las conexiones que no se facturan adecuadamente o no están registradas correctamente.
- **Errores de medición:** Inexactitudes en los medidores de consumo, que pueden ocurrir por fallos en los equipos o por una calibración incorrecta.
- **Errores de estimación de consumos no registrados:** Son estimaciones incorrectas de los consumos de agua de aquellos usuarios que no están adecuadamente medidos.
- **Sistemas sin medición:** En estos sistemas, las pérdidas reales son las más significativas, ya que no hay un registro preciso de las fugas de agua, lo que hace más difícil la detección y control de las mismas.
- **Sistemas con medición:** En estos sistemas, las pérdidas aparentes tienden a ser más relevantes, ya que los problemas relacionados con las conexiones ilegales, errores

de medición y estimaciones incorrectas se vuelven más notorios cuando se cuenta con un sistema de medición.

La Asociación Internacional del Agua (International Water Association) señaló que las fugas reales son el principal componente de las pérdidas de agua en los países desarrollados. Esto se debe a que, en estos países, las infraestructuras tienden a ser más avanzadas y se centran en mejorar la eficiencia de la red de distribución (IWA, 2000).

Por otro lado, en los países en desarrollo, las conexiones ilegales, los errores de medición y los errores de estimación son más importantes y significativos debido a que los sistemas de distribución suelen ser más precarios, y la falta de infraestructura y tecnología avanzada facilita la práctica de conexiones no autorizadas y una medición inexacta.

Detección y cuantificación de pérdidas técnicas de agua potable.

Las pérdidas técnicas (o físicas) se refieren a la cantidad de agua que se pierde debido a fallas en la infraestructura del sistema de distribución, como fisuras, roturas y filtraciones. La detección y cuantificación de estas pérdidas es crucial para gestionar y reducir las fugas de agua en un sistema de abastecimiento. Según (MIDEPLAN, 1997), las causas de estas fallas pueden dividirse en dos grandes grupos:

1. **Factores controlables:** Son aquellos sobre los cuales se puede intervenir para reducir las pérdidas. Estos incluyen:
 - *Presiones máximas:* El control de las presiones en la red de distribución es esencial para evitar la ruptura de tuberías o conexiones.
 - *Calidad de los materiales:* Utilizar materiales de alta calidad y duraderos ayuda a prevenir daños en la infraestructura.

- *Procesos constructivos:* Un diseño y una construcción adecuados de las instalaciones son fundamentales para garantizar la hermeticidad del sistema.
 - *Estado de conservación de los materiales y elementos estructurales:* El mantenimiento adecuado de la infraestructura reduce las probabilidades de que ocurran fugas.
2. **Factores no controlables:** Son aquellos que no pueden ser modificados fácilmente y que contribuyen a las fallas del sistema, tales como:
- *Características del agua:* El agua con altas concentraciones de minerales o de agresividad puede provocar la corrosión de las tuberías.
 - *Características del suelo:* El tipo de terreno puede afectar las tuberías y generar fisuras o movimientos.
 - *Siniestros provocados por terceros:* Daños causados por actividades externas, como excavaciones sin el debido cuidado.
 - *Efectos de las raíces de los árboles:* Las raíces pueden invadir las tuberías, provocando daños y fugas.
 - *Presiones externas:* Factores como el peso de las construcciones o el terreno pueden afectar la integridad de las tuberías.

En sistemas sin medición, las principales pérdidas de agua son las pérdidas reales, ya que no se pueden medir adecuadamente las fugas. Por otro lado, en sistemas con medición, las pérdidas aparentes (como las pérdidas comerciales) pueden ser más significativas. Los factores que inciden directamente en las fugas incluyen movimientos del terreno, corrosión de las tuberías, la presión del servicio, la antigüedad de las tuberías y las condiciones de instalación (MIDEPLAN, 1997).

Detección y cuantificación de pérdidas comerciales de agua potable

Las pérdidas comerciales de agua son aquellas que no se registran ni se facturan correctamente debido a imprecisiones en el sistema de medición o por otros factores relacionados con la contabilización de los consumos. Estas pérdidas suelen originarse debido a:

1. **Imprecisión en los registros de consumo:** Se pueden dar subvaloraciones en los caudales medidos, especialmente cuando los medidores están cerca de su límite de sensibilidad o si la precisión del medidor se ve afectada por su uso prolongado. En ambos casos, se produce un subcontaje del consumo real de agua.
2. **Subcontaje:** Este fenómeno ocurre cuando el medidor no registra la cantidad de agua consumida correctamente, lo que afecta directamente a la facturación y genera pérdidas de ingresos. Para reducir este subcontaje, es necesario realizar un reemplazo frecuente de los medidores y llevar a cabo investigaciones sobre cómo aumenta el caudal entregado y medido con el tiempo o la antigüedad del medidor (MIDEPLAN, 1997).

Las causas principales de las pérdidas comerciales incluyen:

- **Errores de medición:** Los medidores pueden ser defectuosos o descalibrados, lo que lleva a mediciones inexactas.
- **Errores de facturación:** La falta de registros adecuados o problemas en el proceso de facturación pueden generar pérdidas.
- **Usos no autorizados:** Conexiones ilegales o desvíos de agua que no se registran ni se facturan adecuadamente.

La literatura técnica clasifica las causas de las pérdidas comerciales en dos grupos principales:

1. **Acciones fraudulentas:** Incluyen las conexiones ilegales, desvíos no autorizados de agua y otros actos deliberados que resultan en el no registro de los consumos.
2. **Micromedición:** Está relacionada con las fallas en los sistemas de medición, como la baja precisión de los micromedidores que no pueden registrar adecuadamente el consumo de agua.

Teniendo en cuenta estos factores, se pueden evidenciar ciertos volúmenes de pérdidas comerciales en función de la incidencia de cada uno de los problemas mencionados (Duran, 2014). Estas pérdidas comerciales afectan no solo la eficiencia del sistema, sino también la viabilidad económica del servicio de agua potable, por lo que es esencial contar con métodos efectivos para su detección y corrección.

Volumen de consumo clandestino

Se refiere al volumen de agua consumido que no es registrado ni facturado debido a conexiones ilegales. Incluye también el uso no autorizado de hidrantes.

Volumen por error de medición

Corresponde al volumen de agua efectivamente consumido por los usuarios, pero no facturado, como resultado del deterioro, mal funcionamiento o imprecisión de los equipos de medición.

Volumen no facturado por subestimación de consumo

Hace referencia al volumen de agua consumido que excede el monto facturado para los usuarios sin medidor, cuya facturación se basa en un promedio estimado y, por lo tanto, puede subestimar el consumo real.

En la Tabla 2 se presentan las principales causas que afectan la eficiencia de la micromedición durante su operación. (Duran, 2014)

Causas de pérdidas comerciales de agua por micromedición	
Medidores desajustados	Obsolescencia debido a que sus componentes han sido desgastados por la utilización a través del tiempo.
	Por algún elemento no perteneciente al equipo ingresa en la unidad por la limpieza o vienen defectuosos
	Sub conteo e imprecisión debido a la descalibración natural provocada por la limpieza o sustitución de piezas.
Medidores detenidos	Habiendo consumo en el medidor no registra la cantidad de m ³ consumidos debido principalmente a la obsolescencia del medidor
	Negativa de los usuarios a cambiar el medidor por obsolescencia

Tabla 2. Causas de perdidas comerciales de agua por micro medición (Duran, 2014)

Respecto a las pérdidas comerciales derivadas de conexiones fraudulentas, que no están relacionadas con la obsolescencia de los equipos, se identifican diversas causas principales que pueden afectar los medidores, las acometidas y las redes de distribución, como se muestra en la tabla 2.

Causas de pérdidas comerciales por conexiones fraudulentas.	
Medidores manipulados	No se registra el volumen consumido o se registra un valor menor estimado.
	Suplantar el medidor (colocar otro por un tiempo y luego instalar el medidor registrado por la empresa.
	Medidor invertido (cambio de la posición de la instalación del medidor).
	Desconectar el medidor y generar paso directo (retirar el medidor y conectar de manera directa un tubo a la red).
	Separar la unidad del registro del medidor (generar un paso directo del fluido sin registro del consumo).
Conexiones clandestinas.	Se presentan en todos los usos: residencial, comercial e industrial. Con el objeto de extraer agua ya tratada y que no sea registrada por un medidor.
	Se instala o adhiere un tubo a la red matriz alterando las presiones y disminuyendo la eficiencia de distribución.

Tabla 3. Causas de pérdidas comerciales por conexiones fraudulentas (Duran, 2014)

Reducción de pérdidas de agua

La reducción de pérdidas de agua es un proceso dinámico que requiere tiempo y dedicación para diagnosticar el sistema, identificar y eliminar en su mayoría las fugas. Contar con un control efectivo del sistema permite mejorar la eficiencia y reducir las pérdidas.

Para diagnosticar las pérdidas, se evalúan los volúmenes perdidos y sus causas recurrentes, generando un patrón de ocurrencia. La identificación de estas pérdidas se realiza mediante métodos de detección de fugas a través de análisis estadísticos operacionales y muestreos en campo.

Para la aplicación de estos métodos, es necesario sectorizar la red, lo que facilita el análisis y la reducción del agua no contabilizada. Una vez identificados los problemas, se diseñan y planifican procedimientos, equipos y modelos de decisión para su mitigación (Ochoa & Bourguett, 2001).

Tipos de pérdidas de agua.

Perdidas físicas o reales.

Las pérdidas que generalmente se producen a lo largo del sistema de distribución se deben a defectos o al deterioro de la infraestructura, como tuberías, accesorios y al desgaste de válvulas. Estas pérdidas suelen ser indetectables, lo que dificulta su localización y corrección oportuna.

El impacto de este tipo de fugas puede representar un desperdicio significativo de agua, lo cual se traduce en un aumento de los costos operativos y una disminución en la eficiencia del servicio (Marco De la Torre Bravo, 2025).

Estas pérdidas pueden clasificarse en tres categorías:

- **Fugas en conducciones y matrices:** Constituyen la principal fuente de pérdidas físicas en los sistemas de distribución. Se producen principalmente por el agotamiento de la vida útil de la infraestructura, el uso de materiales inadecuados o defectuosos, y fallas durante la instalación.
- **Fugas por rebose en tanques de reserva:** Estas se presentan cuando los tanques registran fisuras estructurales o deficiencias en su mantenimiento, lo que permite la pérdida continua de agua por rebose o filtración.
- **Fugas en acometidas domiciliarias:** Este tipo de pérdida está asociado a las conexiones individuales de los usuarios. Representan una fuente importante de pérdida debido a su alta frecuencia, especialmente en sistemas con un gran número de usuarios. Son causadas principalmente por el uso de materiales inapropiados en las conexiones domiciliarias o por la manipulación indebida del caballete de ingreso.

Perdidas comerciales o aparentes.

Este tipo de pérdidas se asocia al volumen de agua que es distribuido, pero no facturado de manera adecuada. Esto se debe, principalmente, a problemas en la medición o en la gestión comercial del servicio.

Las principales causas incluyen:

- Medidores en mal funcionamiento.
- Manipulación de medidores.
- Lecturas erróneas.
- Conexiones ilegales o no autorizadas.

Estas pérdidas representan una falta de transparencia en la gestión del recurso hídrico y afectan directamente los ingresos operativos de la entidad prestadora del servicio.

Para reducirlas, es fundamental implementar medidores modernos con tecnologías de lectura remota, así como realizar fiscalizaciones periódicas a las conexiones domiciliarias. De esta manera, se puede mantener un monitoreo constante del sistema, disminuyendo significativamente las pérdidas aparentes (Marco De la Torre Bravo, 2025).

Las pérdidas comerciales o aparentes pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- **Usos no autorizados:** Comprenden, en su mayoría, las conexiones clandestinas o no autorizadas, así como manipulaciones del sistema de suministro que permiten el ingreso de agua al domicilio sin pasar por el medidor. Este tipo de acciones eluden la medición y facturación del consumo real.

- **Errores en la micromedición:** Estas pérdidas están asociadas al estado físico y técnico de los dispositivos de medición. La antigüedad de los medidores, su desgaste o funcionamiento deficiente disminuyen la precisión en el registro del volumen consumido, generando subregistros que afectan la facturación.
- **Errores en las lecturas de micromedición:** Se refieren a pérdidas ocasionadas por errores humanos durante la toma de lecturas mensuales. La interpretación incorrecta de las cifras, omisiones o registros inexactos comprometen la calidad y exactitud de la información utilizada para la facturación.
- **Errores en la transferencia de información para la facturación:** Estas pérdidas se producen cuando hay fallos en la transmisión de los datos recolectados por el personal de lectura hacia el sistema comercial de facturación. Pueden deberse a problemas en los dispositivos de captura de datos, errores en el sistema informático o en la sincronización de la información.

Desarrollo

Información general del sistema de agua potable.

Captación

El sistema de abastecimiento de agua cruda para la potabilización en la Planta de Tratamiento de Pilacón se encuentra ubicado en la comunidad de Paccha, a una altitud de 2,613 m.s.n.m.

Además de abastecer a la cabecera cantonal de Santa Isabel, esta captación también provee agua al centro cantonal de Cañaribamba y a otros sistemas más pequeños de comunidades cercanas.

La captación consta de una estructura sencilla conformada por un dique que, mediante rejillas, retiene materiales gruesos como piedras y desechos vegetales. Este dique permite el almacenamiento del agua, reduciendo la turbulencia del flujo y facilitando la sedimentación del material fino arrastrado por las corrientes.

El caudal de salida se dirige a un tanque receptor y es conducido a través de una tubería de 160 mm hacia un derivador de caudal, el cual distribuye el agua entre las diferentes comunidades. En esta captación se encuentra instalado un sedimentador, y posteriormente el caudal es conducido hacia la planta de tratamiento de Pilacón.



Figura 1. Captación de agua cruda Paccha.

Para los fines de esta investigación, se realizaron aforos volumétricos del sistema de captación, obteniendo el siguiente resultado promedio:

FUENTE	COORDENADAS		CAUDAL AFORADO (l/s)
	Coordenada Este	Coordenada Norte	
Paccha	683108	9645136	33.42

Tabla 3. Coordenadas de la captación de Paccha.

La conducción desde la captación se extiende a lo largo de 8 km en total, mediante una tubería de 200 mm para posteriormente reducir a 160 mm la cual desemboca en la planta de tratamiento.

La fuente de captación cuenta con autorización de la Secretaría de Agua. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional, actualmente no abastece al 100 % de la demanda.

El proyecto de captación fue construido en 1978, mientras que la planta de tratamiento se edificó en 2006. Desde entonces, no se han realizado mejoras significativas en la captación, salvo mantenimientos periódicos. En consecuencia, las estructuras existentes presentan un estado de deterioro considerable.

Planta de tratamiento



Figura 2. Planta de tratamiento de agua potable de Pilancón – EMAPASI EP.

La planta de tratamiento fue construida en 2006. El agua proveniente de la fuente de Paccha es tratada mediante un sistema convencional de cuatro fases: floculación, sedimentación, filtración y cloración.



Figura 3. Modulo floculador y sedimentador de la planta de tratamiento de tratamiento de Pilancón.

El volumen tratado es almacenado en un tanque de 300 m³ ubicado en la planta de tratamiento. Desde este tanque, el agua se distribuye a tres reservas de 200 m³ cada uno, situados en la Estación de Bomberos.

Los tanques de reserva, tanto el de 300 m³ como los tres de 200 m³, son de ferrocemento y están parcialmente enterrados. Cada uno cuenta con un sistema de drenaje en la cimentación para mayor seguridad de su cimentación. Sin embargo, presentan microfisuras, lo que requiere mantenimientos periódicos y genera pérdidas en la producción y almacenamiento de agua.

Actualmente, la planta de tratamiento está operativa, aunque presenta deficiencias que afectan su funcionamiento óptimo. Se deben corregir ciertos elementos, como compuertas y

válvulas, además de aplicar revestimientos de pintura de alta resistencia o resanar estructuras para prolongar su vida útil.

Algunas paredes y losas de la planta muestran deterioro y requieren intervención. No obstante, el problema más crítico radica en el sistema de compuertas de las diferentes unidades, ya que estas son esenciales para el mantenimiento eficiente de la planta. Un adecuado funcionamiento de las compuertas permite realizar bypass en las distintas unidades, reduciendo el tiempo de inactividad de la planta durante los mantenimientos.

En la planta se procesa un caudal de 31.75 l/s. El tratamiento químico se realiza con Policloruro de Aluminio, el cual es dosificado en la columna disipadora de energía antes de pasar por las etapas de floculación, sedimentación y filtración. Finalmente, en la fase de desinfección, se utiliza cloro gaseoso.

El volumen que procesa en la planta, se aforó volumétricamente, sin embargo, la empresa no dispone de un registro histórico de caudales medios de ingreso a la planta.

Generalidades del área de estudio

La Zona 1, denominada para este caso de estudio, zona de Los Pueres, se extiende en 310 hectáreas aproximadamente, la zona se caracteriza por ser una zona de esparcimiento residencial en su mayoría en donde alberga mayormente quintas vacacionales.

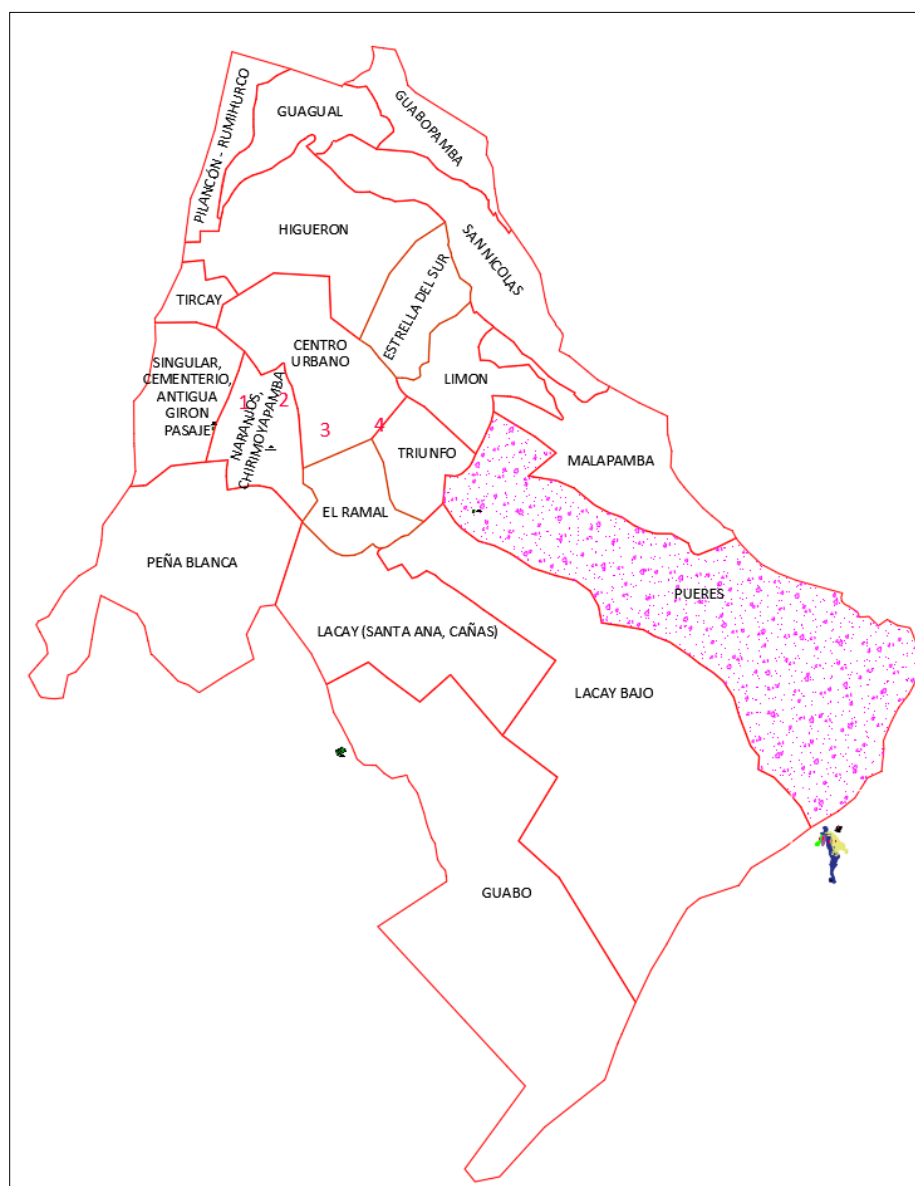


Figura 4. Identificación de la zona Los Pueres dentro de la cabecera cantonal Santa Isabel.

La zona de los Pueres, está conformada a la fecha de enero de 2025, de 719 predios categorizados como predios rurales.

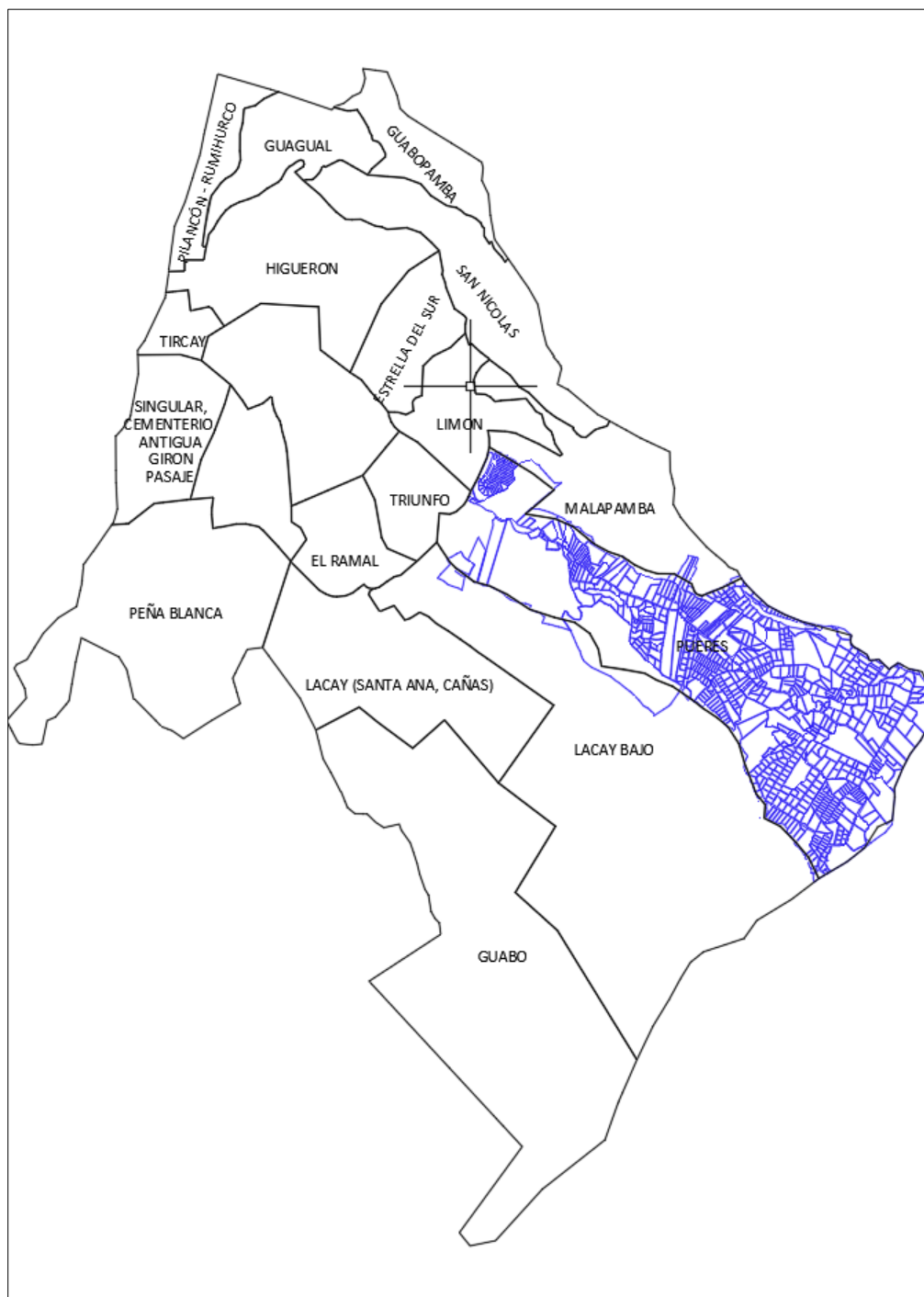


Figura 5. Predios dentro de la zona Los Pueres

De la totalidad de los predios de la zona de estudio, 408 cuentan con servicio de agua potable y solo 392 cuentan con dispositivos de medición.

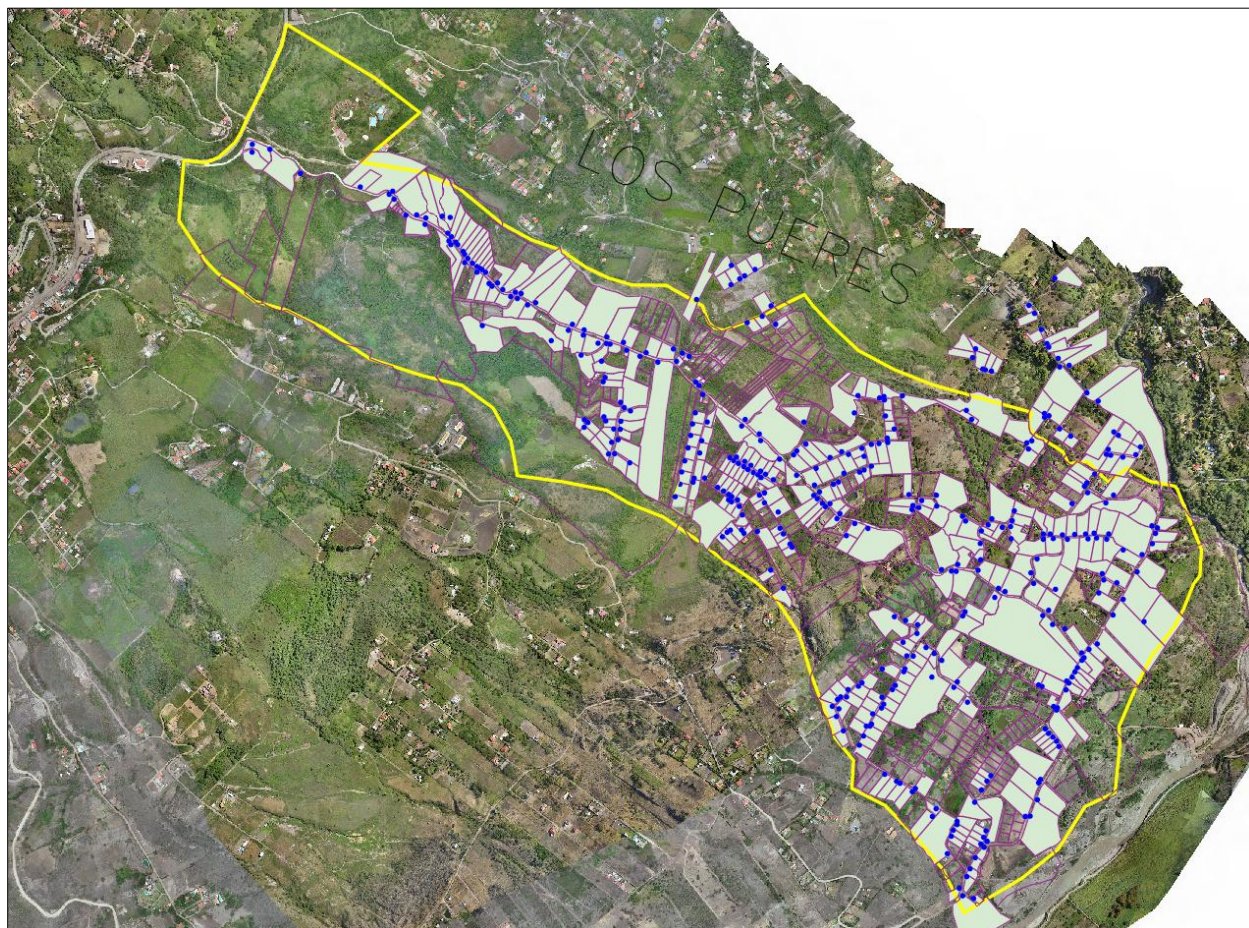


Figura 6. Identificación de predios con servicio de agua potable en la zona de los Pueres.

Recopilación y levantamiento de información.

Se realizó un levantamiento de información en base a los datos proporcionados por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Isabel (EMAPASI EP). Paralelamente, se recopiló toda la información de campo correspondiente a la zona de Los Pueres y se actualizó el catastro de usuarios.

Además, se verificó el caudal que abastece al sistema de Los Pueres y se analizaron los valores facturados y medidos. Se llevaron a cabo inspecciones a lo largo de las redes de

distribución para evaluar el estado de cada ramal y subramal del sistema, actualizando el catastro de las redes de agua potable. También se verificó el estado de las conexiones domiciliarias y los accesorios de la red. Finalmente, se sintetizó toda la información recopilada para determinar los volúmenes de agua potable contabilizada y no contabilizada.

Medición y registro de caudales producidos para el sistema Los Pueres.

El caudal destinado a la red de Los Pueres fue monitoreado durante seis meses con el objetivo de determinar el volumen distribuido mensualmente en esa zona. Dado que EMAPASI EP no cuenta con un sistema de macromedición, se instaló un macromedidor al inicio de la red de distribución para registrar el consumo mensual.

El Departamento de Coordinación Comercial emite las facturas correspondientes al servicio de agua potable con base en la micro medición realizada. Para este análisis, se utilizó el volumen consumido en metros cúbicos (m^3), el cual debe coincidir con el volumen facturado.

La ordenanza vigente fue publicada el 16 de febrero de 2016 en el Registro Oficial y, hasta la fecha, no ha sido modificada. Esta normativa establece cuatro categorías de usuarios: doméstico, comercial, industrial y oficial. Para la presente investigación, se tomó en cuenta únicamente la categoría doméstica, dado que en la zona de estudio no existen usuarios registrados en las otras clasificaciones.

La siguiente tabla se muestra el pliego tarifario vigente en el cantón Santa Isabel para la categoría doméstica.

Tabla de valoración de consumo en categoría Doméstica		
Rango de consumo en m3	Tarifa base (\$)	\$/m3
0-10	3.04	0.00
11-20		0.25
21-30		0.50
>30		1.00

Tabla 4. Pliego tarifario para la categoría Domestica en el cantón Santa Isabel (Elaboración propia).

El pliego tarifario define una base de cobro según rangos de consumo medidos en metros cúbicos (m³), sin considerar subunidades como los litros. En consecuencia, la tarifa se aplica exclusivamente sobre el número entero de metros cúbicos consumidos.

A continuación, se muestra un ejemplo de una factura emitida por EMAPASI EP correspondiente al consumo de agua potable.

Firefox https://santaisabel.saga.ec/softlider/santaisabel/ventas/cobros/pdf/c

COPIA



EMAPASI
 EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANTA ISABEL
 ** AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO **

TITULO DE CREDITO: AG-672547
 Cédula/RUC: 0101605566
 Cliente: PAUCAR CRIOLLO JOSE MIGUEL
 Fecha Emitido: SANTA ISABEL, 2025-04-04
 Tarifa: GENERAL
 Dirección Medidor: LACAY BAJO /

Cuenta: 1002283
 Medidor: 021664
 Fecha Cobro: 2025-07-24
 Categoría: 1-DOMESTICO

Descripción.	L.Act	L.Ant	Consumo	Agua	Alcant	R.Basura	Ex.3raEdad	Interes	ServAdm	Total
Cta#1002283, ConsumoAgua Jun-2025	2517	2490	27(m3)	9.04	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	9.04
Cta#1002283, ConsumoAgua Mar-2025	2485	2191	294(m3)	274.54	0.00	0.00	-0.00	7.60	0.00	282.14
Cta#1002283, ConsumoAgua Abr-2025	2485	2485	0(m3)	3.04	0.00	0.00	-0.00	0.06	0.00	3.10
Cta#1002283, ConsumoAgua May-2025	2490	2485	5(m3)	3.04	0.00	0.00	-0.00	0.03	0.00	3.07
TOTAL FACTURA				289.66	0.00	0.00	-0.00	7.69	0.00	**297.35

Fecha de Vencimiento: 2025-05-04

F. Mena Juan Carlos
 Recaudador(a)

TESORERO(A)
 Ing. Juan Carlos Mena

GERENTE EMAPASI
 Ing. Carlos Ochoa V.

Figura 7. Planilla de consumos de agua potable.

Muestreo de errores de exactitud en la medición de medidores

Existen diversas metodologías para determinar el error en la medición de un micromedidor de agua potable. Para esta investigación, se conservó la información de las pruebas realizadas en el cantón Santa Isabel en 2021 por el equipo consultor encargado de la elaboración del Plan Maestro.

Dicho estudio incluyó pruebas en una muestra del 6% de la población, lo que equivale a 250 medidores de un total de 4,035 dispositivos en funcionamiento en aquel entonces. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Medidores de El Cebollar, perteneciente a ETAPA EP en la ciudad de Cuenca (APSI, 2021).

Resultados del estudio (Plan Maestro).

- El 35% de los medidores cumplieron con los parámetros establecidos en las pruebas.
- El 3.2% de los medidores estaban detenidos, lo que representa aproximadamente 300 medidores inoperantes.
- El 1.6% de los medidores eran ilegibles, proporcionando datos erróneos en la tabulación de información para la emisión mensual de facturas.

Estos resultados evidencian que EMAPASI EP no está recaudando la totalidad del agua producida en planta, ya que el 65% de los micromedidores ensayados no cumplen con las pruebas de funcionamiento normal.

Determinación del volumen ingresado al sistema.

Como se indicó en capítulos anteriores, para la verificación del caudal suministrado en la red destinada a la zona de estudio (Los Pueres), se ha incorporado un macro medidor a la salida del tanque de distribución del sistema, el cual mantiene una capacidad de 10.000 litros



Figura 8. Tanque de distribución de la zona Los Pueres.

El tanque, ubicado en el centro cantonal, abastece a la zona mediante tubería de 63 mm, y está ubicado a una cota de 1670 m.s.n.m.

EL caudal registrado desde el mes de Julio de 2024 hasta diciembre de 2024 se indica en la siguiente tabla.

Volumen mensual registrado en la zona los Pueres.												
Volumen registrado m3/mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
	x	x	x	x	x	x	7900	8050	8150	8300	8450	8452

Tabla 5. Volumen mensual de ingreso para la zona de Los Pueres.

En promedio, el volumen mensual ingresado al sistema, es de:

Volumen ingresado 8.217 m3/mes.

Debido a que el primer semestre no se cuenta con registros de volumen ingresado, se ha estimado mediante el promedio del segundo semestre, por lo que se tiene:

Volumen mensual registrado en la zona Los Pueres en el año 2024												
Volumen registrado m3/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dici
	8217	8217	8217	8217	8217	8217	7900	8050	8150	8300	8450	8452

Tabla 6. Volumen mensual de ingreso para la zona de Los Pueres año 2024.

Por lo que, el volumen anual ingresado al sistema es de:

Volumen anual ingresado al sistema: **98.604 m3/año**

Determinación de consumos autorizados

Se ha tabulado la información comercial proporcionada por la EMAPASI EP, referente a las emisiones realizadas en el año 2024, y se tiene los siguientes volúmenes de agua facturada para el sector de Los Pueres.

Volumen comercializado en la zona de Los Pueres en el año 2024												
Volumen facturado m3/mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
	3790	3083	4056	4171	3164	3088	3501	4678	4523	3155	3748	2008

Tabla 7. Volumen mensual comercializado en la zona de Los Pueres año 2024.

En promedio, el volumen comercializado es de 3.580 m3 por mes, mientras que el volumen total comercializado para el año 2024, asciende a **42.695 m3**.

En el siguiente gráfico, se presenta una comparativa de los volúmenes producidos y facturados mensuales durante el año 2024.

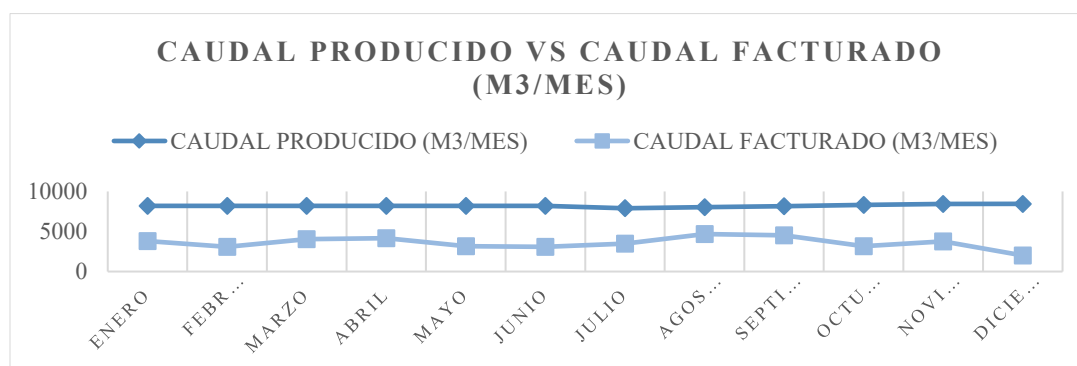


Figura 9 Comparación de caudales producidos vs comercializados en la zona Los Pueres.

Perdidas comerciales.

Perdidas de subcontaje o submedicion.

De acuerdo al análisis realizado en los estudios del plan maestros presentados en el año 2021, en el capítulo 9 denominado MICROMEDICION (APSI, 2021), se han realizado ensayos en los laboratorios del banco de pruebas de ETAPA, en donde se han analizado 250 medidores extraídos de diferentes zonas del sistema en el cantón.



Figura 10. Grupo de medidores probados en el bando de pruebas (APSI, 2021).

En las pruebas realizadas, se detalla que los medidores son de tipo B, los cuales arrancan la medición desde los 30 lt/h, y mediante las pruebas realizadas, se determinó un margen de error del 5%.

Por lo que se estima que:

$$\text{Perdidas por subcontaje o submedicion (5\% facturado)} = 2346.25 \text{ m}^3.$$

Consumos no autorizados.

Según la estimación del American Water Works Association, en el Manual M36 Water Audits and Loss Control Programs (AWWA, 2016), aborda el tema de los consumos no autorizados y estima un rango de entre 0.25 % a 1.25% del consumo autorizado. (AWWA Manual M36).

Por experiencia en campo, en virtud del alto índice que conexiones clandestinas existente en la zona, y la falta de tecnológica en la empresa para desarrollar programas que permitan realizar monitoreos constantes, para este caso de estudio se asignara el umbral superior de la recomendación con un valor del 1.25% del volumen autorizados.

Por lo que:

$$\text{Consumos no autorizados} = 1.25 \% \text{ Volumen facturado}$$

$$\text{Consumos no autorizados y perdidas comerciales} = \mathbf{586.56 \text{ m}^3}$$

Estimación de perdidas comerciales.

Bajo los antecedentes antes descritos, el total de consumos no facturados asciende a **2946.25 m³/año**, lo que equivale a un 6.25% de perdidas comerciales sobre volumen facturado.

El agua no facturada se puede estimar entre la diferencia del volumen facturado y el volumen ingresado, dando como resultado **51.679 m³/año**.

Perdidas físicas.

Las pérdidas físicas se han denominado como aquellas que se producen en la infraestructura de un sistema de distribución, como tuberías rotas o accesorios en mal estado, válvulas deterioradas u otro tipo de fugas producto de un sistema con exceso de presión (Marco De la Torre Bravo, 2025).

Estas pérdidas generalmente son consideradas invisibles, dificultando su localización y así lograr tomar acciones inmediatas (Lambert, 2002).

Levantamiento de información

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, para la zona de estudio se realizó un levantamiento de información comercial y catastral de datos, en donde se identificó a 408 usuarios con servicio de agua potable.

Para la determinación de la longitud de las redes, de la misma manera, se realizó un levantamiento de información respecto al catastro de redes.

La distribución para el sector de Los Pueres se realiza a través de una tubería de PVC de 63 mm de diámetro. El tanque de reserva, con una capacidad de 10 m³, está ubicado en la estación de Bomberos a una altitud de 1,670 m.s.n.m.

Mediante el siguiente esquema de distribución se representa las redes en la zona de estudio:



Figura 11. Catastro de redes de distribución en la zona de Los Pueres.

Las redes existentes, aun siendo de PVC, presentan desperfectos debido a las múltiples roturas en varios sectores. Cuando se producen roturas, las reparaciones suelen realizarse de manera artesanal, sin el uso de accesorios adecuados como uniones de reparación u otros accesorios. En su lugar, es común que los trabajadores calienten la tubería con llama directa, alterando su sección para realizar empates improvisados. Este tipo de reparación deja brechas sin garantías de calidad ni durabilidad



Figura 12. Mala práctica en la reparación de tuberías.

A la falta de un modelamiento adecuado que permita optimizar el uso y ubicación de accesorios como válvulas de aire o válvulas reguladoras de presión para mejorar el sistema de presiones, los operadores, utilizan ventosas artesanales, quienes perforan las tuberías en distintos sectores para purgar el aire, lo que genera soluciones temporales al problema de acumulación de aire en el sistema.



Figura 13. Perforaciones en las tuberías de distribución.

La falta de recursos económicos de la empresa prestadora del servicio impide la reparación integral de los tramos de tubería afectados y la integración de accesorios de calidad que permitan una mejora continua del sistema, limitándose a reparaciones puntuales que generan ninguna garantía ni sostenibilidad.

Otro problema recurrente es la profundidad insuficiente a la que se instalan las tuberías domiciliarias. En muchos casos, no superan los 30 cm de profundidad, lo que las deja expuestas a daños por aplastamiento, ya sea por el tránsito vehicular o peatonal. Esta falta de protección también aumenta la incidencia de manipulaciones, incrementando el riesgo de fugas y fallos en el sistema.



Figura 14. Malas conexiones domiciliarias.

Con la información obtenida del catastro realizado, se tiene el siguiente detalle de las tuberías utilizadas para la distribución del servicio y sus longitudes.

Longitud de tuberías (m) en el Sistema de Los Pueres.					
Tramos	63mm	50mm	40mm	32mm	25mm
1	1540.2	184.3	377.7	14.3	322.0
2	877.2	116.8	54.6	564.8	230.7
3	245.0	314.2	25.6	139.0	177.7
4	144.8	0.0	37.0	372.4	616.7
5	67.5	0.0	90.9	832.4	155.5
6	75.6	0.0	159.8	229.2	104.7
7	125.4	0.0	0.0	139.4	151.2
8	304.7	0.0	0.0	115.7	0.0
9	266.6	0.0	0.0	15.6	0.0

10	40.6	0.0	0.0	116.3	0.0
11	378.3	0.0	0.0	16.9	0.0
12	286.5	0.0	0.0	79.6	0.0
13	283.5	0.0	0.0	50.0	0.0
14	186.6	0.0	0.0	267.7	0.0
15	0.0	0.0	0.0	572.3	0.0
16	0.0	0.0	0.0	936.6	0.0
17	0.0	0.0	0.0	238.5	0.0
18	0.0	0.0	0.0	259.6	0.0
19	0.0	0.0	0.0	889.9	0.0
20	0.0	0.0	0.0	95.8	0.0
21	0.0	0.0	0.0	154.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	258.5	0.0
23	0.0	0.0	0.0	459.6	0.0
Total (m)	4822.5	615.3	745.4	6818.1	1758.5
Total (km)	4.82	0.62	0.75	6.82	1.76

Tabla 8. Longitud de tuberías en el sistema de Los Pueres.

Los diámetros con mayor incidencia de uso en el sistema son de 63mm y de 32mm.

La suma total de las longitudes utilizadas en el sistema asciende a **14.76 km.**

Perdidas en el sistema de distribución

Perdidas monitoreadas en el sistema de distribución

Para la estimación y proyección de las pérdidas ocurridas en el sistema de distribución, se instaló un macromedidor al inicio de la red o salida del tanque, y se sectorizo un tramo de red para evaluar su comportamiento referente a las fugas existentes.

Para esta sectorización, se estableció un tramo de 1.8 Km, en donde la conducción mantiene su sección constante, y de la cual 57 usuarios se abastecen.



Figura 15. Tramo de tubería monitoreada para el registro de consumo nocturno y ubicación de usuarios del tramo.

Al final del tramo, se ubicó una válvula de corte en la conducción principal de 63mm y se realizaron los cortes de servicio a los 57 usuarios contenidos en este tramo de distribución.



Figura 16. Corte de servicio realizado en la zona para obtención de información de consumo nocturno.

Durante las horas de menor consumo, se cerraron las llaves de paso de las acometidas para determinar el caudal correspondiente a las pérdidas técnicas reales. El valor registrado fue medido desde las 00:00 hasta las 03:00 horas, periodo en el que las llaves permanecieron cerradas.

En la siguiente tabla se indica los registros levantados en el horario de cierre.

Volumen registrado en horario nocturno		
Intervalo de hora	Volumen registrado (litros)	Volumen registrado (m3/hora)
00:00-00:30	138.3	0.28
00:30-01:00	148.3	0.30
01:00-01:30	141.6	0.28
01:30-02:00	145.0	0.29
02:00-02:30	143.0	0.29
02:30-03:00	143.0	0.29
Total		1.72

Tabla 9. Volumen registrado en horario nocturno en la zona de Los Pueres.

El volumen registrado en este intervalo de tiempo es de 1.72 m3.

Si bien el análisis de las fugas nocturnas, se realizó en un tramo que representa alrededor del 35% de la totalidad de la conducción principal, se puede estimar que estas pérdidas son proporcionales al mismo porcentaje.

Por lo tanto, se estima que el consumo medio nocturno es de **5.16 m3/hora**, lo que equivale a **45201.6 m3/año**.

Revisión de puntos de fuga.

En consecuencia, de esta información, previo a realizar la apertura de las válvulas para su normal funcionamiento, se realizó una inspección del tramo analizado para verificar las posibles causas de este evento.

En horario nocturno, al tener menor consumidores activos, la presión de las redes asciende y el mal estado de las mismas en diferentes puntos permite el colapsado de estas.

En algunos casos, los orificios realizados con la finalidad de servir como ventosas, revientan, en otros casos, las conexiones fracasan al estar compuestas de diferentes materiales, y por otra parte, estado y vida útil de la misma permite que la tubería colapse.

En las siguientes imágenes se puede observar los principales puntos de fallo de las tuberías, en el tramo analizado.



Figura 17. Colapso de tubería por el exceso de presión.



Figura 18. Fugas de agua en los puntos de implementación de accesorios artesanales.



Figura 19. Fugas de agua por el uso de materiales diferentes.



Figura 20. Humedad en la vía, producto de fugas de la red principal de agua en la zona de Los Pueres.

Aplicación de método BURST and BACKGRAUND ESTIMATES (BABE).

Otra metodología para estimar las pérdidas en la conducción, es mediante la aplicación del método BABE, es una herramienta técnica desarrollada por la IWA, y nos permite estimar el volumen total de pérdidas reales en una red sin necesidad de tener registros precisos del sistema.

Para la estimación del caudal de fugas de fondo, se establece la siguiente expresión:

$$Q = F * N + G * L$$

Los coeficientes aplicados a esta expresión, se establecen en la tabla de categorización siguiente, las cuales dependen del estado de la red:

Coeficientes de estado de red (metodología BABE)		
Estado de la red	F	G
Bueno	1.5	20
Regular	3	40
Malo	4.5	60

Tabla 10. Coeficientes de estado de red metodología BABE.

En donde:

N= número de acometidas en el sistema

L=Longitud de la red.

Debido al alto contenido de roturas y reparaciones en mal estado a lo largo de la distribución del sistema, se establece los valores de 4,5 y 60 respectivamente para F y G que son variables que dependen del estado de la red.

Por lo que se tiene:

$$Q = 4.5 * 403 + 60 * 14.76$$

$$Q = 23644.12 \text{ m}^3/\text{año}$$

Con los parámetros antes calculados, se tiene que el caudal de fugas estimado asciende a 23644 m³/año, teniendo como pérdidas técnicas totales un estimado de **48511.57 m³/año**.

Metodología IWA para el cálculo de pérdidas inevitables en el sistema de distribución

Las pérdidas técnicas inevitables se encuentran tanto en la red de distribución como en las acometidas.

Para su cálculo, se utiliza la metodología de la International Water Association (IWA, 2003), con la siguiente ecuación:

$$PTI\left(\frac{l}{dia}\right) = (18xL_{red} + 0.8xN_c + 25L_{cometidas})xP$$

En donde:

PTI: pérdidas técnicas inevitables (L/día)

N_c: Número de conexiones domiciliarias

L_{red}: Longitud de la red (km)

L_{acometidas}: Longitud de las acometidas (km)

P: Presión promedio del sistema (m.c.a)

Determinación de presiones promedio del sistema.

Con la finalidad de contar con información suficiente para determinar las pérdidas técnicas inevitables, se realizó un levantamiento de datos sobre las presiones existentes en la red de distribución.



Figura 21. Toma de presiones en el sistema Los Pueres.

Para este propósito, y con el fin de obtener un valor más representativo, se seleccionaron 15 puntos ubicados en diferentes zonas del sistema de distribución. Las mediciones se efectuaron en distintos horarios del día, con el objetivo de reflejar con mayor precisión el comportamiento actual de la red. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Presiones obtenidas en campo				
Item	Código de usuario	Hora de toma	Presion medida (bar)	Presion en m.c.a
1	1000953	08:00	5	50.99
2	1003179	08:20	1.6	16.32
3	1003133	09:10	4	40.79
4	1004580	09:35	3	305.92
5	1003109	10:10	1	10.20
6	1004851	10:25	1	10.20
7	1004036	10:30	7	71.38
8	1004978	10:40	6	61.18
9	1003834	10:55	6.4	65.26
10	1003384	11:20	5	50.99
11	1003452	15:00	4.8	48.95
12	1004004	15:20	4.2	42.83
13	1003405	19:00	4.3	43.85
14	1004934	19:40	4.3	43.85
15	1003632	20:10	4.5	45.89
Presión promedio m.c.a				42.22

Tabla 11. Muestreo de presiones en domiciliarias en la zona de Los Pueres.

Aplicación de la ecuación:

$$PTI\left(\frac{l}{dia}\right) = (18 \times 14.70 + 0.8 \times 403 + 25 \times 4) \times 42.22 / 403$$

$$PTI\left(\frac{l}{dia}\right) = 29.005$$

Por lo que, se considera que las perdidas técnicas inevitables se aproximan a 56.4 m³/día, lo que equivale a **20586 m³/año**.

Los resultados obtenidos mediante las ecuaciones propuestas por la IWA difieren significativamente de los valores registrados en campo, debido a que dichas fórmulas utilizan coeficientes experimentales basados en condiciones estándar.

En el caso del sistema de Los Pueres, sus características particulares como la variedad en los diámetros de pequeñas dimensiones de tubería, la antigüedad de la red y las condiciones constructivas locales, se considera que estos se alejan de los parámetros de permeabilidad típicamente considerados en estos modelos.

Por lo tanto, se concluye que, para la estimación de las perdidas en las redes del sistema de distribución, se utilizará lo monitoreado en campo.

Fugas por acometida

Las fugas en acometidas domiciliarias representan una porción significativa de las pérdidas reales en los sistemas de distribución de agua potable. Según la metodología establecida por la International Water Association (IWA, 2000), estas pérdidas forman parte de las fugas estructurales del sistema y deben ser cuantificadas para mejorar la eficiencia hidráulica y operativa. Las acometidas, por su número elevado y contacto directo con los usuarios, son puntos críticos

donde las fallas, ya sean por deterioro, materiales deficientes o malas prácticas de instalación, contribuyen al volumen de agua no contabilizada.

En la zona de Los Pueres, se han realizado inspecciones con la finalidad de determinar el estado de las acometidas, en donde se ha visto una gran variedad respecto al estado de las mismas.

Sin embargo, existen acometidas que presentan instalaciones con elementos de diferente material y diámetros.



Figura 22. Inspección de acometidas domiciliarias



Figura 23. Estado de las acometidas domiciliarias.

La International Water Administration ha desarrollado fórmulas empíricas que permiten estimar las fugas en acometidas a partir del número de conexiones y su estado físico. Una de estas fórmulas pondera el aporte de fugas mediante coeficientes de condición (0.5, 1.0 y 1.5), asignados según si la acometida está en buen estado, regular o mal estado respectivamente, lo cual permite adaptar el cálculo a la realidad técnica del sistema evaluado sin necesidad de asumir un caudal base fijo.

Bajo esta guía, se obtuvieron los siguientes resultados:

Estado de la red	Coefficiente	Q L/H	Q m3/año
BUENO	0.5	201.5	1765.14
REGULAR	1	403	3530.28
MALO	1.5	604.5	5295.42

Tabla 12. Coeficiente de condición para estado de red (IWA, 2000)

Al contar con una gran variedad de acometidas, se toma por valor para el presente calculo, el promedio de los resultados obtenidos, siendo el valor asignado a esta pérdida de **3530.28 m³/año**

Consumo no facturado no medido.

El consumo no facturado no medido se define técnicamente como el volumen de agua suministrado de manera autorizada por la empresa prestadora del servicio, pero que no es registrado mediante sistemas de micromedición ni facturado al usuario, lo que representa un componente relevante dentro del balance hídrico establecido por la International Water Association (IWA, 2000), específicamente en la categoría de agua no contabilizada.

En el presente estudio realizado en el sistema de Los Pueres, con el acompañamiento del personal técnico de EMAPASI EP, se efectuó un levantamiento de información en territorio, identificando un total de 403 usuarios activos en el catastro de clientes, de los cuales 387 cuentan con micromedidores operativos, representando el 96 % del total, mientras que los 16 restantes, equivalentes al 4 %, reciben el servicio sin que exista una medición efectiva ni una facturación correspondiente por el consumo. Esta situación responde a prácticas institucionales adoptadas en administraciones pasadas, en las cuales se permitía el acceso al servicio sin exigir como requisito obligatorio la instalación de un micromedidor, lo que ha derivado en una deficiencia estructural en el control del consumo y en la equidad del sistema tarifario, ya que mientras una mayoría de usuarios paga de acuerdo con su consumo real, una minoría se beneficia del servicio sin contribuir proporcionalmente al sostenimiento del sistema.



Figura 24. Conexiones autorizadas sin micromedición

En capítulos anteriores se determinó el volumen promedio mensual comercializado de la zona de Los Pueres, por lo que se puede estimar el consumo de cada usuario.

Por lo tanto:

$$\text{Consumo promedio por usuario} = \frac{\text{Consumo promedio mensual}}{\text{Usuarios autorizados medidos}}$$

$$\text{Consumo promedio por usuario} = \frac{3580}{387}$$

$$\text{Consumo promedio por usuario} = 9,25 \text{ m}^3/\text{conexión}/\text{mes}$$

Para los 16 usuarios que no disponen de micromedición, el consumo autorizado no facturado corresponde un consumo acumulado anual de **1776 m³/año.**

Balance Hídrico

En los sistemas de abastecimiento de agua potable, el control y monitoreo del recurso constituye un elemento fundamental para garantizar la sostenibilidad operativa y financiera del servicio. En este contexto, el balance hídrico es una herramienta técnica y contable que permite cuantificar todos los volúmenes de agua que entran, se consumen, se pierden o no generan ingresos dentro de un sistema determinado, proporcionando una visión integral del comportamiento del recurso desde la producción hasta el consumidor final.

Esta metodología, estandarizada por la International Water Association (IWA) y difundida a través del manual *Performance Indicators for Water Supply Services* (IWA, 2000) y del *Manual M36* de la American Water Works Association (AWWA, 2016), distingue claramente entre el agua facturada y no facturada, así como entre pérdidas físicas y pérdidas comerciales, indicando las bases para una gestión eficiente y transparente de los servicios públicos de agua.

Uno de los indicadores derivados directamente del balance hídrico es el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), el cual representa el porcentaje del volumen total de agua producida que no es registrado como ingreso económico para la empresa prestadora del servicio. El IANC incluye tanto el agua que se pierde por fugas en las redes de distribución, como aquella que no es medida o facturada por errores administrativos, submedición, conexiones clandestinas o usos autorizados no medidos.

El balance hídrico, además de ser una herramienta de diagnóstico, permite evaluar el desempeño del sistema, priorizar inversiones, definir estrategias de sectorización, micromedición y detección de fugas, y establecer políticas tarifarias más equitativas.

Por tanto, conocer, calcular y analizar el balance hídrico y el IANC no solo es una práctica técnica recomendable, sino una necesidad estratégica para cualquier empresa operadora que aspire a mejorar su eficiencia, reducir costos operativos y garantizar un servicio sostenible y de calidad a largo plazo.

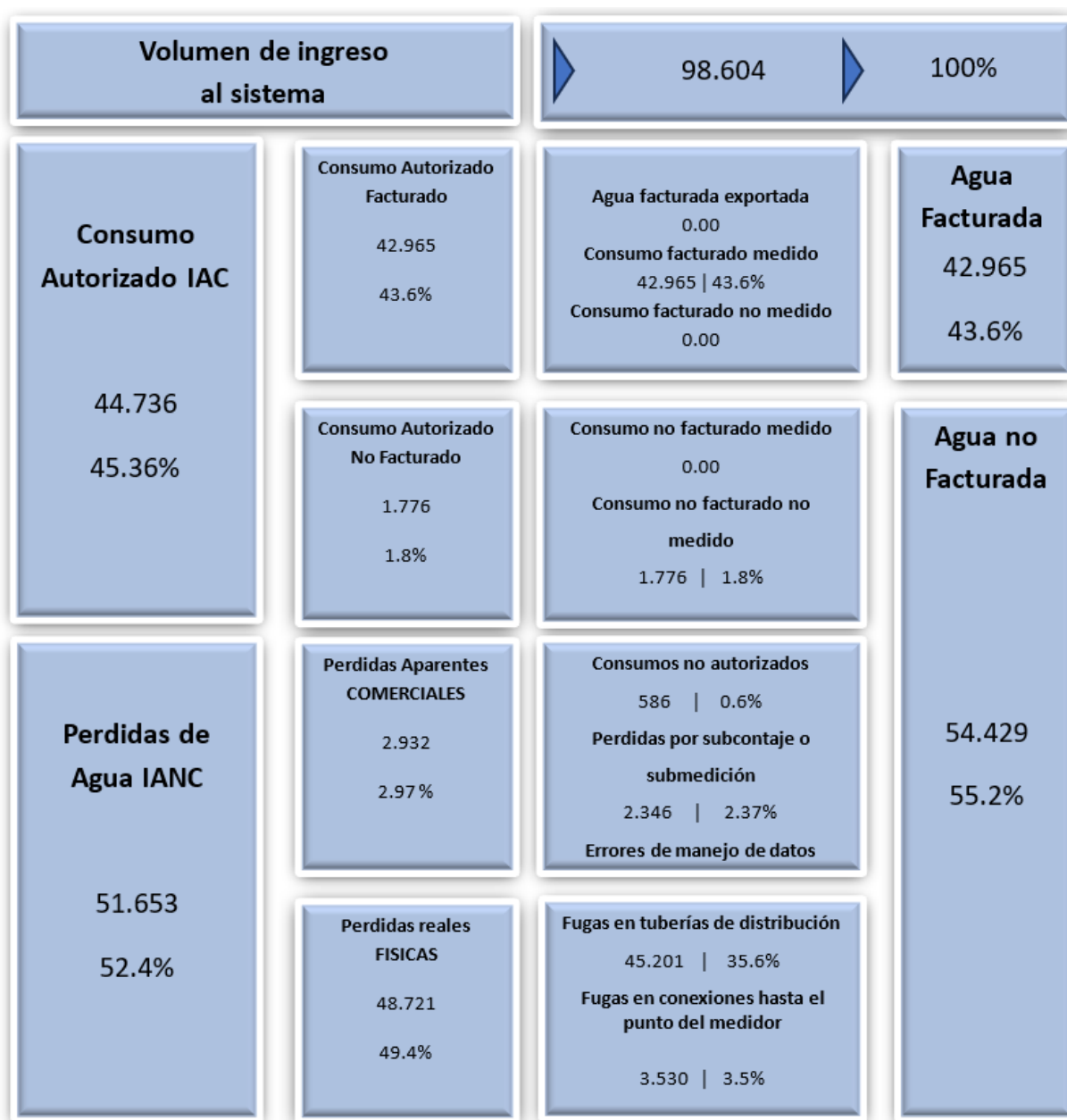


Tabla 13 Balance Hídrico para la zona de Los Pueres.

Con estos resultados, se puede identificar que el mayor porcentaje de perdidas son ocasionadas por factores físicos, en donde, se focaliza la mayor cantidad de fugas en las redes de distribución, siendo la principal causa del desperdicio de agua que no es facturado.

Por otro lado, considerando que el porcentaje menor de perdidas en el sistema también se ubica en factores físicos, se puede mejorar el índice de agua no contabilizada, realizando una campaña de renovación de medidores.

Indicadores de gestión

Los indicadores de eficiencia, son índices que nos sirven para poder comparar y entender el desempeño de un sistema de distribución de agua. Es decir, nos ayuda a identificar en que parte del sistema (técnico o comercial) se está perdiendo el agua, y de esta manera lograr tomar decisiones para reducir estas pérdidas según los indicadores.

El cálculo de estos indicadores, nos permiten:

- Medir cuanta agua se puede físicamente y cuanta se pierde comercialmente.
- Evaluar el estado de las infraestructuras
- Determinar si se requiere sectorización de redes.

Índice de pérdidas de Agua por Usuario Facturado.

Este indicador evalúa, de cierta manera, el desempeño en el control de pérdidas ubicadas en las acometidas. No interfiere con las pérdidas técnicas ni comerciales, ya que está dirigido a evaluar el desempeño en el control de las pérdidas en cada acometida domiciliaria.

Se calcula mediante la siguiente expresión

$$IPUF = \frac{\text{Agua suministrada} - \text{Agua facturada}}{12 * \text{Total abonados}}$$

Su unidad se expresa en m³/usuarios/mes.

$$IPUF = \frac{98604 - 42965}{12 * 403}$$

$$IPUF = 11.51$$

Según recomendaciones internacionales de la International Water Administration, se considera como valores referenciales los siguientes datos:

Rango IPUF (l/conexion/dia)	Indice de eficiencia
0-100	Bueno
101-250	Medio
> 250	Bajo

Tabla 14. Rangos de eficiencia IPUF (IWA, 2000)

El valor de 11.51 m³ corresponde a un índice de **384 L/conexión/mes**, indicando que el sistema presenta un nivel significativo de fugas u otras pérdidas físicas.

Indicador de pérdidas comerciales.

El Umbral Mínimo de Pérdidas Aparentes (UMPA) hace referencia al volumen mínimo inevitable de pérdidas comerciales que pueden presentarse aún en condiciones óptimas de operación. Estas pérdidas incluyen errores de medición, consumos no autorizados u omisiones involuntarias. Estas pérdidas, técnicamente nunca pueden ser totalmente eliminadas.

Las pérdidas comerciales se subdividen en cuatro categorías principales:

- Consumos no autorizados
- Errores de medición debido a medidores en mal estado, medidores mal dimensionados, instalaciones mal ejecutadas, Errores cometidos al momento del registro de consumos.
- Errores en la estimación de consumidores no medidos
- Errores en el procesamiento de los datos de medición.

Como indicador de estas pérdidas, se propone el Umbral Mínimo de Pérdidas Aparentes (UMPA), que corresponde al 5% del volumen facturado y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 UMPA &= 5\% \times \text{Volumen facturado} \\
 UMPA &= 5\% \times 42965 \\
 \mathbf{UMPA} &= \mathbf{2148.25 \text{ m}^3/\text{año.}}
 \end{aligned}$$

Índice Estructural de Pérdidas Comerciales

Es un indicador especialmente para medir la proporción de perdidas aparentes dentro de un área de control de caudales o UMPA.

Según la International Water Administration (IWA, 2000), si este indicador es menor a 5%, se logra el nivel óptimo de control comercial, sin embargo, si esta entre 5% y 10%, es aceptable mientras que, si supera el 10%, el control es ineficiente, en donde se deben implementar control de conexiones fraudulentas, cambio de medidores entre otro tipo de gestión comercial.

Adicionalmente, se calcula el Índice Estructural de Pérdidas Comerciales (**ALI**), el cual es un indicador que ayudará a comparar las perdidas aparentes actuales con el UMPA. según la siguiente fórmula:

$$ALI = \frac{PAA}{UMPA}$$

En donde:

ALI: Índice estructural de perdidas comerciales

PAA: Perdidas aparentes anuales comerciales

UMPA: Umbral mínimo de perdidas aparentes.

Este índice nos permite realizar comparaciones entre sistemas respecto al tamaño y características del sistema.

$$ALI = \frac{2932}{2148}$$

$$ALI = 1.36$$

Según la International Water Administration (IWA), si se tiene un ALI superior a 1, el volumen de pérdidas aparentes es casi igual al volumen que entra a la UMPA, por lo que se considera muy ineficiente.

Volumen incontrolado de fugas (VIF)

El Volumen Incontrolado de Fugas (VIF) es el volumen estimado de agua que se pierde por fugas en la red de distribución y que no puede ser detectado ni gestionado por el prestador del servicio debido a limitaciones en el monitoreo, tecnología o acceso a la infraestructura

Para el cálculo de este indicador se usará la siguiente expresión:

$$VIF = \frac{Vf}{N^{\circ}acometidas * dia}$$

En donde:

Qf: Caudal debido a fugas

Vf: Volumen debido a pérdidas.

$$VIF = \frac{Caudal\ minimo - Fugas\ de\ fondo - Fugas\ por\ Acometidas}{N^{\circ}\ acometidas.}$$

$$VIF = \frac{48721 - 2202.39 - 3530.28}{403.}$$

$$VIF = 106.6$$

Índice de pérdidas de agua (ILI)

El Índice de Pérdidas de Agua (ILI, por sus siglas en inglés *Infrastructure Leakage Index*) es un indicador internacionalmente aceptado que permite comparar el nivel de eficiencia en la gestión de pérdidas de agua en sistemas de distribución.

El ILI es la relación entre las pérdidas actuales de agua (expresadas como el volumen de fugas inevitables de la red) y las pérdidas técnicas mínimas que serían alcanzables bajo buenas prácticas de operación y mantenimiento.

Su expresión se establece mediante la siguiente ecuación:

$$ILI = \frac{VIF}{UMF}$$

En donde:

VIF= Volumen incontrolado de fugas

UMF= Umbral mínimo de fugas

El UMF, son las perdidas reales anuales inevitables, calculadas en función de la longitud de red, numero de conexiones y presión promedio del sistema. Su calculo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} UMF &= (18xLm + 0.8xNc + 25xLp)xP/Nc \\ UMF &= (18x14.7 + 0.8x403 + 25x1.612)x42.22/403 \\ UMF &= 65.71 \end{aligned}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} ILI &= \frac{106.6}{65.71} \\ ILI &= 1.6 \end{aligned}$$

Conclusiones

El presente estudio realizado en la zona de Los Pueres, perteneciente al cantón Santa Isabel, evidencia una situación crítica en la gestión del recurso hídrico, tanto en su componente físico como en el comercial y administrativo. Los resultados del balance hídrico y de los cálculos de pérdidas permiten concluir que la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EMAPASI EP, enfrenta serias limitaciones que afectan la eficiencia, sostenibilidad y calidad del servicio.

En primer lugar, se determinó que el volumen anual ingresado al sistema asciende a 98,604 m³/año, mientras que el volumen facturado es de apenas 42,965 m³/año. Esto implica que más de la mitad del agua producida y distribuida no genera ingresos económicos, alcanzando un Índice de Agua No Contabilizada (IANC) del 52.4% y un nivel de agua no facturada del 55.2%. Estos valores se encuentran muy por encima de los rangos de referencia internacionales, donde se recomienda que el IANC no supere el 25% en sistemas urbanos medianos y pequeños.

Al desagregar estas pérdidas, se identifica que la mayor proporción corresponde a pérdidas físicas, las cuales representan alrededor del 35.6% del total de agua producida. Estas pérdidas se originan principalmente en las redes de distribución, caracterizadas por múltiples fugas, reparaciones improvisadas y ausencia de accesorios adecuados para control de presiones y purga de aire. La sectorización realizada y el monitoreo de consumos nocturnos evidencian un volumen de 45,201.6 m³/año de fugas, que equivale prácticamente a todo el consumo autorizado facturado en la zona, lo que muestra la gravedad de la situación.

Por otro lado, las pérdidas comerciales ascienden a un 6.25% del volumen facturado, lo que equivale a 2,946 m³/año. Este valor incluye errores de submedición en micromedidores (5%

del volumen facturado, equivalente a $2,346 \text{ m}^3/\text{año}$), así como consumos no autorizados estimados en $586 \text{ m}^3/\text{año}$ (1.25% del volumen facturado). Adicionalmente, se detectó la existencia de usuarios sin micromedición, que representan el 4% del total de abonados, generando consumos autorizados no facturados equivalentes a $1,776 \text{ m}^3/\text{año}$. Estos resultados ponen en evidencia deficiencias en la gestión comercial de la empresa, las cuales afectan directamente su capacidad de recaudo y sostenibilidad financiera.

En cuanto al desempeño hidráulico, se identificó un Índice de Pérdidas de Agua por Usuario Facturado (IPUF) de $11.51 \text{ m}^3/\text{usuario}/\text{mes}$, lo que equivale a $384 \text{ L}/\text{conexión}/\text{día}$. Según los parámetros de la International Water Association, este valor clasifica al sistema dentro de un nivel bajo de eficiencia, reflejando un volumen de pérdidas muy superior al esperado. Asimismo, el Índice Estructural de Pérdidas Comerciales (ALI) calculado fue de 1.36, lo que confirma que el sistema presenta pérdidas comerciales muy por encima del umbral mínimo aceptable (UMPA), catalogándose como un control ineficiente.

Respecto al Volumen Incontrolado de Fugas (VIF), el resultado obtenido fue de $106.6 \text{ L}/\text{conexión}/\text{día}$, con un Índice de Pérdidas de Infraestructura (ILI) de 1.6, valor que confirma que las fugas superan los niveles inevitables de acuerdo con la capacidad de la red y la presión promedio (42.22 m.c.a.). En términos prácticos, esto significa que, incluso si se alcanzaran las mejores condiciones de operación, la red seguiría presentando pérdidas inevitables, pero los valores actuales muestran un exceso producto del mal estado de la infraestructura.

Otro hallazgo relevante es el mal estado de las acometidas domiciliarias, que aportan pérdidas adicionales estimadas en $3,530 \text{ m}^3/\text{año}$. La variedad de materiales, la baja profundidad de instalación y la falta de accesorios adecuados aumentan la vulnerabilidad del sistema frente a fugas

y manipulaciones. Esta situación se agrava con la práctica recurrente de realizar reparaciones improvisadas mediante empates con calor directo sobre la tubería, que comprometen la durabilidad y confiabilidad del sistema.

En resumen, las conclusiones permiten afirmar que:

- El sistema de Los Pueres presenta un IANC del 52.4%, más del doble del valor internacionalmente recomendado.
- El 55.2% del agua producida no es facturada, lo que afecta la sostenibilidad financiera de la empresa.
- Las pérdidas físicas representan el 35.6% del total, siendo la principal causa de ineficiencia, asociada a fugas en la red y acometidas.
- Las pérdidas comerciales alcanzan el 6.25%, principalmente por micromedidores defectuosos y consumos no autorizados.
- Existen 16 usuarios sin micromedición, responsables de 1,776 m³/año de consumos no facturados.
- El IPUF de 11.51 m³/usuario/mes y el ILI de 1.6 confirman un sistema altamente ineficiente en comparación con estándares internacionales.

Recomendaciones

Ante este panorama, se recomienda implementar acciones inmediatas y estratégicas:

1. Renovación gradual de la red de distribución, priorizando tramos con mayor incidencia de fugas y sustituyendo empates artesanales por accesorios certificados.
2. Sectorización hidráulica y control de presiones, mediante instalación de válvulas reguladoras y ventosas, que permitan estabilizar el sistema y detectar fugas en forma oportuna.
3. Plan masivo de renovación de micromedidores, acompañado de calibración periódica y obligatoriedad de instalación en todos los predios.
4. Fortalecimiento del control comercial y reducción de conexiones ilegales, con campañas de regularización y sanciones efectivas.
5. Diseño de un programa de mantenimiento preventivo, que sustituya las reparaciones reactivas actuales por un modelo de gestión planificada.

En conclusión, el sistema de Los Pueres presenta un nivel crítico de ineficiencia, donde más de la mitad del agua producida se pierde antes de convertirse en ingresos. Si bien la situación refleja años de deterioro estructural y administrativo, los resultados obtenidos ofrecen una base sólida para priorizar intervenciones. Con una estrategia integral que combine renovación de redes, fortalecimiento del control comercial y modernización de la medición, la empresa podría reducir de manera significativa el IANC, mejorar sus indicadores de eficiencia y garantizar un servicio de agua potable más confiable, equitativo y sostenible para la población.

Bibliografía

- APSI, C. (2021). *ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DEL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL CENTRO CANTONAL Y ÁREAS ALEDAÑAS DEL CANTÓN SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL AZUAY*. SANTA ISABEL: CONSORIO APSI.
- ARCA, A. d. (2023). *Boletín estadístico 2023: Agua potable y saneamiento*. Quito: Agencia de Regulación y Control del Agua.
- AWWA, A. W. (2016). *Manual of water supply practices M36: Water audits and loss control programs (4th ed.)*. Denver, CO: American Water Works Association.
- Campana, O. &. (2016). Evaluación de la red de distribución de agua potable para determinar pérdidas y fugas de la Urbanización La Colina del Cantón Rumiñahui. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15217/1/CD-6992.pdf>
- CEPIS. (1981). *Control de fugas en redes de distribución de agua potable*. Obtenido de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15217/1/CD-6992.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Chávez, V. (2018). *Calidad del agua y desarrollo sostenible*. Peru: Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35(2), 304–308.
- Duran, L. (2014). *Plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales de agua no contabilizada en el acueducto Metropolitano de Bucaramanga*. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.

- IWA, I. W. (2000). *Performance indicators for water supply services*. London: IWA Publishing: International Water Association.
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. Santiago de Chile. CEPAL.
- Lambert, A. O. (2002). *International report: Water losses management and techniques*. Water Science and Technology: Water Supply.
- Marco De la Torre Bravo, C. I. (2025). *AGUA NO CONTABILIZADA*. Obtenido de <https://online.fliphtml5.com/cvnok/lpvl/#p=2>
- MIDEPLAN. (1997). *Metodología de Evaluación Social de Proyectos de Agua Potable Rural*. En M. d. Chile. Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile (MIDEPLAN).
- Ochoa & Bourguett, A. L. (2001). *Reducción integral de pérdidas de agua potable (2.ª ed.)*. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ramírez, D. (2014). *Análisis de las pérdidas de agua en los. Vensim*.
- Ramos, J. (2016). *Gestión de pérdidas de agua en sistemas de distribución. Editorial Técnica del Agua*. SciELO.
- Saneamiento, S. N. (2021). *Manual de reducción de agua no contabilizada*. Peru.