UNIVERSIDAD DEL AZUAY | 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 2.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título:

Magíster en Hidrosanitaria

Autores:

Cristopher Cabrera Guambaña

Carlos Zarumeño Alulima

Directora:

Ing. Verónica Chumi.

Cuenca – Ecuador

2026

DEDICATORIA 1

Dedico este trabajo de titulación a mi madre que es la persona que más admiro por su incansable lucha día a día y por ser mi ejemplo a seguir con su apoyo perseverancia y constancia me han impulsado a seguir mi carrera. A mi hermano que siempre ha estado conmigo en todos los momentos de mi vida

Cristopher Cabrera G.

DEDICATORIA 2

A mi señora madre, que ha sabido enseñarme lo dura que es la vida, acompañándome siempre con su bendición, protegiéndome y guiándome por el camino del bien. No me alcanzara la vida para agradecerle, con mucho cariño y amor, Carlos.

Carlos Zarumeño Alulima.

AGRADECIMIENTOS 1

Agradezco a todas las personas que me han motivado para seguir educándome, mis familiares, amigos, docentes, compañeros de aula y compañeros de trabajo que siempre me han dado un motivo, conocimientos y fuerzas para seguir avanzando a lo largo de mi carrera.

Cristopher Cabrera G.

AGRADECIMIENTOS 2.

Agradezco a Dios, por haberme brindado fuerza y valentía en todo momento para superar muchas adversidades y retos. Luego a mi familia por siempre haber estado pendiente, a mi papá José, que me enseño el valor del trabajo y dedicación, a mis amigos y los que me han motivado en este proceso. A todos ellos gracias de corazón.

Carlos Zarumeño Alulima.

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos vi

Índice de Tablas viii

Índice de Figuras ix

Resumen xi

Abstract xii

Introducción 1

Estado del Arte 4

Objetivos 7

- Objetivo General 7
- Objetivos Específicos 7

Revisión Literaria 8

- Agua no contabilizada 8
- Balance hídrico y auditoría del agua 8
- Clasificación de pérdidas de agua 10
- Pérdidas reales 10
- Pérdidas aparentes 11
- Importancia del control del agua no contabilizada 12

Desarrollo 13

- Información general del sistema de agua potable. 13
  - Captación 13
  - Planta de tratamiento 15

Generalidades del área de estudio 17
Recopilación y levantamiento de información. 22
Medición y registro de caudales producidos para el sistema Lacay Bajo. 22
Muestreos de errores de exactitud en la medición de medidores 24
Determinación del volumen ingresado al sistema. 26
Determinación del consumo facturado. 27
Pérdidas comerciales. 29
Pérdidas por subcontaje o submedicion. 30
Consumos no autorizados. 31
Resultados de las pérdidas comerciales 31
Pérdidas Físicas 32
Levantamiento de información de campo. 33
Pérdidas en el sistema de distribución 37
Pérdidas monitoreadas en el sistema de distribución. 37
Verificación de las pérdidas registradas. 39
Metodología de BURST and BACKGROUND ESTIMATES (BABES). 40
Fugas por acometida 42
Consumo no facturado no medido 44
BALANCE HIDRICO 45
Indicadores de gestión 47
Índice de pérdidas de agua por Usuario Facturado 48
Indicador de pérdidas comerciales. 49

Índice estructural de perdices comerciales. 50

Volumen incontrolado de fugas (VIF). 52

Índice de pérdidas de agua (ILI) 52

Conclusiones 55

Recomendaciones 57

Bibliografía 59

Bibliografía……56

Índice de Tablas

Tabla 1 *Balance de Agua IWA* 9

Tabla 2 *Coordenadas de la captación de Paccha.* 14

Tabla 3 *Valoración de consumo en categoría Domestica* 24

Tabla 4 *Volumen macro medido en la zona Lacay Bajo* 27

Tabla 5 *Volumen facturado.* 28

Tabla 6 *Longitud de tuberías en el sistema de Lacay Bajo.* 36

Tabla 7 *Volumen registrado en horario nocturno en la zona de Lacay Bajo.* 38

Tabla 8 *Coeficientes de estado de red, metodología BABE* 41

Tabla 9 *Coeficiente de condición para estado de red. (IWA 2000)* 43

Tabla 10 *Rangos de eficiencia del IPUF* 49

Índice de Figuras

Figura 1 *Captación de agua cruda Paccha.* 14

Figura 2 *Planta de tratamiento de agua potable de Pilancón – EMAPASI EP.* 15

Figura 3 *Modulo floculador y sedimentador de la planta de tratamiento de Palancón.* . 16

Figura 4 *Tanques de almacenamiento ubicados en la estación de bomberos.* 16

Figura 5 *Zona Lacay Bajo dentro del Cantón Santa Isabel.* 18

Figura 6 *Predios dentro de la zona Lacay Bajo.* 19

Figura 7 *Identificación de predios con servicio de agua potable en la zona Lacay Bajo.* 21

Figura 8 *Tanques de almacenamiento para zona baja.* 26

Figura 9 *Comparación de caudales producidos versus comercializados en la zona Lacay Bajo.* 28

Figura 10 34

Figura 11 *Roturas en tuberías.* 40

Figura 12 *Medidores con llaves de corte* 45

Figura 13 *Balance hídrico del sistema Lacay Bajo* 46

Figura 14 *Toma manual de presiones en el sistema.* 53

Cálculo de porcentaje de pérdidas y agua no contabilizada en el sistema de red de agua potable Cantón Santa Isabel, Zona 2.

Calculation of Loss Percentage and Non-Revenue Water in the Drinking Water Network System of Santa Isabel Canton, Zone 2.

Zarumeño Alulima, Carlos[1]; Cabrera Guambaña, Rene[2]; Chumi Buenaño, Veronica[3]

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

[1] agrocivilproyectos@gmail.com

[2] cabreracristopher92@gmail.com

[3] veronicachumi@gmail.com

Resumen.

El estudio analiza el agua no contabilizada (ANC) en el sistema de agua potable del sector Lacay Bajo, cantón Santa Isabel.

Se aplica un balance hídrico basado en metodología IWA para evaluar la eficiencia del sistema.

Se identifica un nivel significativo de pérdidas de agua dentro de la red de distribución.

El análisis evidencia problemas relacionados con la ineficiencia operativa del sistema.

Las principales causas corresponden a pérdidas físicas (fugas) y pérdidas aparentes.

Se determina que la gestión del sistema presenta deficiencias técnicas y comerciales. Mediante un balance hídrico, se determinó que el 39,8 % del volumen corresponden al agua no contabilizada en la zona mencionada

Finalmente, se plantean medidas de mejora para optimizar el control, reducir pérdidas y fortalecer la gestión del recurso hídrico.

Palabras claves.

Balance Hídrico, agua no contabilizada (ANC), pérdidas

Abstract

This study analyzes non-revenue water (ANC) in the drinking water system of the Lacay Bajo sector, Santa Isabel canton.

A water balance based on the IWA methodology is applied to evaluate the system's efficiency.

A significant level of water loss within the distribution network is identified.

The analysis reveals problems related to the system's operational inefficiency.

The main causes are physical losses (leaks) and apparent losses.

It is determined that the system's management has technical and commercial deficiencies. Through a water balance, it was determined that 39.8% of the volume corresponds to non-revenue water in the aforementioned area. Finally, improvement measures are proposed to optimize control, reduce losses, and strengthen water resource management.

Keywords: Water Balance, Non-Revenue Water, losses.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
GLADYS VERONICA
CHUMI BUENANO

Introducción

La gestión eficiente del agua potable constituye uno de los principales desafíos para las entidades prestadoras de servicios públicos, especialmente en contextos donde la disponibilidad del recurso es limitada y la infraestructura presenta signos de envejecimiento. En los sistemas de distribución, una parte significativa del volumen de agua producida no llega a ser registrada ni facturada, situación que compromete la sostenibilidad técnica, económica y ambiental del servicio. Este fenómeno, conocido como agua no contabilizada, se ha consolidado como un indicador fundamental para evaluar el desempeño integral de los sistemas de abastecimiento de agua potable (Farley & Trow, 2003). (Campaña, 2016)

En el contexto del cantón Santa Isabel, particularmente en el sector de Lacay Bajo, se evidencian diversas limitaciones en la gestión del sistema de agua potable, las cuales inciden directamente en su eficiencia operativa y sostenibilidad. Entre estas se identifican la presencia de infraestructura envejecida, el posible deterioro de las redes de distribución, la existencia de fugas visibles y no visibles en tuberías y acometidas domiciliarias, así como deficiencias en los sistemas de micro medición, ya sea por medidores obsoletos, sub-medición o ausencia de dispositivos de control en ciertos usuarios. A esto se suman posibles debilidades en los procesos de control operativo y comercial, tales como conexiones no autorizadas, errores en la facturación y falta de monitoreo continuo del sistema.

Adicionalmente, el estudio pretende proponer medidas técnicas y de gestión orientadas a la reducción del agua no contabilizada, tales como la sectorización de redes, el control de presiones, la detección y reparación de fugas, y el mejoramiento del sistema de micro medición y control comercial. Los resultados obtenidos permitirán contribuir a una gestión más eficiente del

recurso hídrico, optimizar la operación del sistema de abastecimiento y fortalecer la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes, en beneficio de la sostenibilidad del servicio y la calidad de vida de la población.

A nivel internacional, el control del agua no contabilizada ha adquirido relevancia debido a su estrecha relación con la eficiencia operativa, la reducción de costos de producción y la protección de las fuentes hídricas. Organismos especializados como la International Water Association han promovido el uso de metodologías estandarizadas que permiten identificar y cuantificar las pérdidas de agua, diferenciando entre aquellas asociadas a deficiencias físicas de la infraestructura y las originadas por fallas en los sistemas de medición y gestión comercial (Lambert & Hirner, 2000).

El incremento de las pérdidas de agua en redes de distribución está estrechamente vinculado a factores como la antigüedad de las tuberías, el uso de materiales inadecuados, las condiciones del terreno y la operación del sistema bajo presiones no controladas. Estas condiciones favorecen la aparición de fugas visibles y no visibles, cuyo impacto se traduce en mayores volúmenes de agua desperdiciada y en un deterioro progresivo de los activos hidráulicos. En paralelo, las deficiencias en la micromedición, la manipulación de medidores y la existencia de conexiones no autorizadas incrementan las pérdidas aparentes, afectando directamente los ingresos de las empresas operadoras (Thornton, Sturm & Kunkel, 2008).

En países en desarrollo, la problemática del agua no contabilizada adquiere una dimensión aún más compleja debido a limitaciones institucionales, financieras y tecnológicas que dificultan la implementación de programas sistemáticos de control de pérdidas. En estos contextos, los niveles elevados de agua no contabilizada suelen reflejar no solo fallas técnicas del sistema, sino

también debilidades en la planificación, el mantenimiento preventivo y la gestión comercial del servicio (Kingdom, Liemberger & Marin, 2006).

Frente a este escenario, la auditoría hídrica se posiciona como una herramienta fundamental para el diagnóstico del desempeño de los sistemas de agua potable. A través del balance hídrico, es posible desagregar el volumen total producido en sus diferentes componentes, permitiendo identificar con mayor precisión las fuentes de pérdida y priorizar intervenciones orientadas a la optimización del sistema. Este enfoque integral constituye la base para el diseño de estrategias sostenibles de reducción del agua no contabilizada, orientadas a mejorar la eficiencia operativa y garantizar la continuidad del servicio en el largo plazo (Alegre et al., 2016).

Estado del Arte

Durante las últimas décadas, el estudio del agua no contabilizada ha evolucionado desde enfoques descriptivos hacia metodologías integrales orientadas a la optimización del desempeño de los sistemas de distribución de agua potable. Inicialmente, las investigaciones se centraban en la cuantificación de pérdidas visibles asociadas a roturas y fugas manifiestas; sin embargo, el avance de la ingeniería hidráulica y de la gestión de servicios públicos ha permitido comprender que las pérdidas de agua constituyen un fenómeno multifactorial que involucra aspectos técnicos, operativos, comerciales e institucionales (Farley & Trow, 2003).

Uno de los principales aportes al desarrollo conceptual del agua no contabilizada ha sido la estandarización del balance hídrico propuesta por la International Water Association, la cual permitió unificar criterios para la clasificación de consumos autorizados, pérdidas aparentes y pérdidas reales. Este enfoque ha sido adoptado ampliamente en estudios académicos y aplicaciones prácticas, al facilitar la comparación de indicadores de desempeño entre sistemas de distinta escala y contexto geográfico (Lambert & Hirner, 2000).

Investigaciones posteriores profundizaron en el análisis de las pérdidas reales desde una perspectiva hidráulica, identificando la presión como uno de los factores determinantes en la frecuencia y magnitud de las fugas. Diversos autores demostraron que la operación de redes bajo presiones elevadas incrementa significativamente las pérdidas físicas y acelera el deterioro de las tuberías, lo que ha impulsado el desarrollo de estrategias de gestión de presión como herramienta fundamental para la reducción del agua no contabilizada (Thornton, Sturm & Kunkel, 2008).

En paralelo, el estudio de las pérdidas aparentes cobró relevancia a partir del reconocimiento de su impacto directo en los ingresos de las empresas prestadoras. Investigaciones

enfocadas en la micro medición evidenciaron que errores de medición, manipulación de medidores y conexiones ilegales pueden representar un porcentaje significativo del agua no contabilizada total, especialmente en sistemas con baja cobertura de medición o con equipos obsoletos. Estos estudios resaltan la necesidad de fortalecer los programas de calibración, reposición de medidores y control comercial como complemento a las intervenciones físicas en la red (Arregui, Cabrera & Cobacho, 2006).

En contextos de países en desarrollo, el estado del arte refleja una creciente preocupación por los altos niveles de agua no contabilizada y sus implicaciones sobre la sostenibilidad financiera y ambiental de los servicios de agua potable. Estudios promovidos por organismos multilaterales evidencian que la falta de inversión en mantenimiento, la limitada capacidad técnica y la ausencia de planificación a largo plazo constituyen barreras significativas para la implementación de programas efectivos de reducción de pérdidas (Kingdom, Liemberger & Marin, 2006).

Más recientemente, la literatura especializada ha incorporado enfoques basados en la gestión de activos y el análisis de riesgo para priorizar intervenciones en redes de distribución. Estos estudios proponen integrar información hidráulica, estructural y económica para optimizar la asignación de recursos, destacando la auditoría hídrica como punto de partida para el diseño de estrategias sostenibles de control del agua no contabilizada. Este enfoque representa una evolución del paradigma tradicional, al pasar de acciones correctivas aisladas hacia programas integrales de mejora continua del sistema (Mutikanga, Sharma & Vairavamoorthy, 2011).

En síntesis, el estado del arte evidencia que el control del agua no contabilizada ha transitado hacia un enfoque integral que combina herramientas hidráulicas, comerciales y de gestión, sustentado en metodologías estandarizadas y en el uso de indicadores de desempeño. Este

cuerpo de conocimiento constituye la base técnica para el desarrollo de estudios aplicados orientados a diagnosticar y reducir las pérdidas de agua en sistemas de distribución, adaptando las estrategias a las condiciones particulares de cada zona de estudio.

Objetivos

Objetivo General

- Determinar el porcentaje de agua no contabilizada (ANC) en la zona denominada Lacay Bajo, perteneciente al cantón Santa Isabel, mediante un balance hídrico que identifique las pérdidas técnicas y comerciales.

Objetivos Específicos

- Recopilar la información relevante para el caso de estudio de la EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO, MANEJO FLUVIAL Y DEPURACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS DE SANTA ISABELEMAPASI EP.
- Determinar volúmenes de consumo de la zona mediante micro medición.
- Tabular la información de volúmenes comerciales de dicha zona
- Establecer un balance hídrico de la zona.

Revisión Literaria

Agua no contabilizada

El agua no contabilizada (ANC) se define como la diferencia entre el volumen total de agua producido e introducido al sistema de distribución y el volumen que es efectivamente medido, facturado y cobrado a los usuarios finales. Este concepto constituye un indicador clave del desempeño de los sistemas de agua potable, ya que integra tanto pérdidas físicas del recurso como deficiencias asociadas a la gestión comercial y administrativa del servicio (Agua no contabilizada).

La literatura técnica coincide en que el agua no contabilizada no debe interpretarse únicamente como una pérdida de agua, sino como una manifestación de ineficiencias estructurales, operativas y de gestión. En este sentido, niveles elevados de ANC reflejan problemas en la infraestructura de distribución, deficiencias en los sistemas de medición, debilidades en los procesos de facturación y limitaciones institucionales para el control y monitoreo del sistema (Agua no contabilizada).

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el documento destaca que el control del agua no contabilizada permite optimizar el uso del recurso hídrico, reducir costos operativos y mejorar la capacidad financiera de las entidades prestadoras, constituyéndose en una alternativa prioritaria frente a la ampliación de la oferta de agua potable, especialmente en contextos con restricciones económicas y ambientales (Agua No Contabilizada)

Balance hídrico y auditoría del agua

El balance hídrico es la herramienta fundamental para la cuantificación del agua no contabilizada, ya que permite desagregar el volumen total de agua producido en sus diferentes componentes: consumos autorizados, pérdidas aparentes y pérdidas reales. El documento señala

que la elaboración del balance hídrico constituye el primer paso para la auditoría del agua, al proporcionar una visión integral del comportamiento hidráulico y comercial del sistema de distribución (agua no contabilizada)

La auditoría del agua, entendida como un proceso sistemático de recopilación, análisis y validación de información, permite identificar las principales fuentes de pérdida y establecer prioridades de intervención. Este enfoque es consistente con las metodologías promovidas por la International Water Association, que recomiendan la aplicación periódica del balance hídrico como herramienta de diagnóstico y seguimiento del desempeño del sistema (Lambert & Hirner, 2000).

La International Water Association, ha propuesto un modelo de gestión relacionado al balance hídrico, y a estandarizado un balance hídrico que se representa de la siguiente manera mediante el siguiente cuadro indicador de consumos de agua según la categoría y su distribución.

Tabla 1

Balance de Agua IWA

<table>
<tr><td rowspan="8">Volumen Introducido al Sistema m3/año</td><td rowspan="4">Consumo Autorizado m3/año</td><td rowspan="2">Consumo Autorizado Facturado m3/año</td><td>Consumos Facturado Medido</td><td rowspan="2">Agua Comercializada m3/año</td></tr>
<tr><td>Consumo Facturado No Medido</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consumo Autorizado no Facturado m3/año</td><td>Consumo Facturado Medido</td><td rowspan="6">Agua No comercializada m3/Año</td></tr>
<tr><td>Consumo No Facturado NO Medido</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Perdidas de Agua m3/año</td><td rowspan="2">Perdidas Aparentes m3/año</td><td>Consumo No Autorizado</td></tr>
<tr><td>Errores de Medición</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Perdidas Reales m3/año</td><td>Fugas en la red</td></tr>
<tr><td>Desborde de Reservorios</td></tr>
<tr><td>Fugas en Conexiones Domiciliarias</td></tr>
</table>

Nota. Adaptado del Balance de Agua IWA (IWA, 2000).

El documento enfatiza que la confiabilidad del balance hídrico depende en gran medida de la calidad de los datos disponibles, particularmente en lo relacionado con la medición de caudales producidos y consumos registrados. En sistemas con baja cobertura de micro medición o con

equipos obsoletos, las estimaciones deben realizarse con criterios técnicos que minimicen la incertidumbre de los resultados (Agua No Contabilizada)

Clasificación de pérdidas de agua

La literatura clasifica las pérdidas de agua en pérdidas reales y pérdidas aparentes, de acuerdo con su origen y naturaleza. Esta clasificación, adoptada en el documento, permite diferenciar entre las pérdidas físicas del recurso y aquellas asociadas a errores de medición, consumos no autorizados o deficiencias administrativas (Agua No Contabilizada)

La correcta identificación de los componentes de pérdida resulta fundamental para la formulación de estrategias de control, ya que las medidas técnicas, los costos de implementación y los tiempos de respuesta varían significativamente según el tipo de pérdida predominante. El documento resalta que una clasificación inadecuada puede conducir a decisiones incorrectas, como priorizar inversiones en infraestructura cuando el problema principal se encuentra en la gestión comercial, o viceversa (Agua No Contabilizada).

Pérdidas reales

Las pérdidas reales corresponden a los volúmenes de agua que se pierden físicamente del sistema de distribución a través de fugas visibles y no visibles, roturas de tuberías, fallas en válvulas, accesorios y conexiones domiciliarias. El documento identifica como principales factores asociados a este tipo de pérdidas la antigüedad de la red, el estado de conservación de las tuberías, los materiales utilizados y las condiciones hidráulicas de operación, particularmente la presión (Agua no Contabilizada).

Diversos estudios coinciden en que la presión de operación es uno de los factores más influyentes en la magnitud de las pérdidas reales, ya que presiones elevadas incrementan el caudal

de las fugas existentes y aceleran el deterioro de la infraestructura. En este contexto, la gestión de presión mediante válvulas reguladoras y la sectorización hidráulica se reconocen como herramientas clave para la reducción sostenible de las pérdidas reales (Thornton, Sturm & Kunkel, 2008).

El documento también resalta la importancia de complementar la gestión de presión con programas de detección activa de fugas, mantenimiento preventivo y renovación progresiva de redes, como parte de una estrategia integral de control de pérdidas físicas (Agua No Contabilizada).

Pérdidas aparentes

Las pérdidas aparentes están asociadas a volúmenes de agua consumidos que no son registrados ni facturados adecuadamente, debido a errores de medición, deterioro o manipulación de medidores, conexiones clandestinas y deficiencias en los procesos de lectura y facturación. Aunque este tipo de pérdidas no implica un desperdicio físico del recurso, su impacto económico es significativo, ya que reduce directamente los ingresos de las entidades prestadoras (Agua no Contabilizada).

El documento destaca que la micro medición constituye un elemento central en el control de las pérdidas aparentes, señalando que la falta de mantenimiento y renovación de medidores incrementa los niveles de subregistro, especialmente en rangos de bajo consumo. En este sentido, se recomienda la implementación de programas sistemáticos de gestión de medidores que incluyan criterios técnicos para su selección, instalación y reposición periódica (Agua no Contabilizada).

Asimismo, se resalta la necesidad de fortalecer los sistemas comerciales y de fiscalización, con el fin de reducir las conexiones irregulares y mejorar la confiabilidad de los volúmenes

facturados, en concordancia con las buenas prácticas internacionales (Arregui, Cabrera & Cobacho, 2006).

Importancia del control del agua no contabilizada

El documento concluye que el control del agua no contabilizada constituye una estrategia fundamental para mejorar la eficiencia técnica, económica y ambiental de los sistemas de agua potable. La reducción del ANC permite optimizar el uso de las fuentes hídricas, disminuir los costos asociados a la producción y distribución de agua, y mejorar la calidad y continuidad del servicio brindado a la población (Agua no Contabilizada).

En el contexto de los prestadores de servicios de agua potable, especialmente a nivel municipal, el control del agua no contabilizada se presenta como una alternativa viable y prioritaria frente a la ampliación de la infraestructura de producción, al requerir menores inversiones y generar beneficios sostenibles en el corto y mediano plazo (Kingdom, Liemberger & Marin, 2006).

Desarrollo

Información general del sistema de agua potable.

El sistema de agua potable de la zona de Lacay Bajo forma parte del sistema administrado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Isabel (EMAPASI EP) y presenta características típicas de sistemas rurales–periurbanos que han experimentado un crecimiento progresivo sin una planificación integral a largo plazo.

El sistema ha sido desarrollado de manera progresiva, incorporando nuevas conexiones domiciliarias a lo largo del tiempo, lo que ha generado una infraestructura irregular en términos de materiales, antigüedad y condiciones operativas. Esta situación incide directamente en la eficiencia hidráulica y en los niveles de agua no contabilizada identificados en el estudio.

Captación

De acuerdo con las inspecciones realizadas, el abastecimiento de agua cruda para el sistema de Lacay Bajo se realiza a partir de una fuente superficial que alimenta el sistema de potabilización en el sector denominado Pilancón. La captación constituye la primera etapa del sistema y define el caudal disponible para satisfacer la demanda de la población atendida, conforme a los registros proporcionados por le empresa, la captación suministra un caudal aforado de 33 L/s aproximados.

En el análisis desarrollado para este caso de estudio se evidencia que, si bien la fuente es capaz de suministrar el caudal requerido para la población existente en todo el sistema, el elevado porcentaje de agua no contabilizada genera un déficit muy amplio, perjudicando el correcto abastecimiento del recurso. Esta condición incrementa los costos operativos del sistema y reduce la sostenibilidad del servicio.

Figura 1
Captación de agua cruda Paccha.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 2
Coordenadas de la captación de Paccha.

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

Nota. Elaboración propia.

La conducción desde la captación hasta la planta de tratamiento tiene una longitud aproximada de 8 km, conformada inicialmente por una tubería de 200 mm de diámetro, la cual posteriormente se reduce a 160 mm antes de su ingreso a la planta de tratamiento.

La fuente de captación cuenta con la autorización correspondiente otorgada por la Secretaría del Agua; sin embargo, debido al crecimiento poblacional registrado en los últimos años, actualmente no logra abastecer el 100 % de la demanda del sistema.

La planta de tratamiento se edificó en 2006 la cual ya está próxima a cumplir su vida útil.

Planta de tratamiento.

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



Nota. Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, la planta de tratamiento fue construida en el año 2006 y utiliza como fuente de abastecimiento el agua proveniente de Paccha. Este recurso hídrico es sometido a un proceso convencional de potabilización, conformado por las etapas de floculación, sedimentación, filtración y cloración, las cuales permiten la remoción de sólidos suspendidos, turbidez y microorganismos patógenos. Este tipo de tratamiento es ampliamente utilizado en sistemas de abastecimiento de agua potable debido a su eficiencia operativa, confiabilidad y capacidad para garantizar la calidad sanitaria del agua distribuida a la población.

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



Nota. Elaboración propia.

El agua tratada es almacenada inicialmente en un tanque con capacidad de 300 m³, ubicado dentro de la planta de tratamiento. Posteriormente, el volumen almacenado es conducido hacia tres tanques de reserva con capacidad de 200 m³ cada uno, localizados en la Estación de Bomberos, los cuales cumplen funciones de regulación hidráulica del sistema y almacenamiento de respaldo para garantizar la continuidad del servicio.

Figura 4
Tanques de almacenamiento ubicados en la estación de bomberos.



Nota. Elaboración propia.

Tanto el tanque de 300 m³ como los tres tanques de 200 m³ se encuentran construidos en ferrocemento y están parcialmente enterrados. Estas estructuras disponen de un sistema de drenaje en la cimentación, diseñado para controlar la presencia de agua en el subsuelo y contribuir a la seguridad estructural y estabilidad de la infraestructura.

Actualmente, la planta de tratamiento se encuentra operativa; sin embargo, presenta diversas deficiencias que limitan su funcionamiento óptimo. Entre ellas se identifican problemas en el estado de las compuertas entre los módulos de potabilización, lo cual dificulta la correcta regulación hidráulica y operación del sistema. Asimismo, se ha evidenciado falta de mantenimiento en el área de floculación, cuyos muros no cuentan con revestimiento epóxico, condición que dificulta las labores de limpieza y favorece la adherencia de sedimentos en las paredes, afectando la eficiencia del proceso de floculación.

La planta de tratamiento procesa un caudal promedio de 30 L/s, conforme a lo indicado por la operadora de la planta. El tratamiento químico se realiza mediante la dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC), aplicado en la columna disipadora de energía, previo a las etapas de floculación, sedimentación y filtración. Finalmente, el proceso de desinfección se lleva a cabo mediante la aplicación de cloro gas, con el fin de garantizar la calidad sanitaria del agua distribuida a la población.

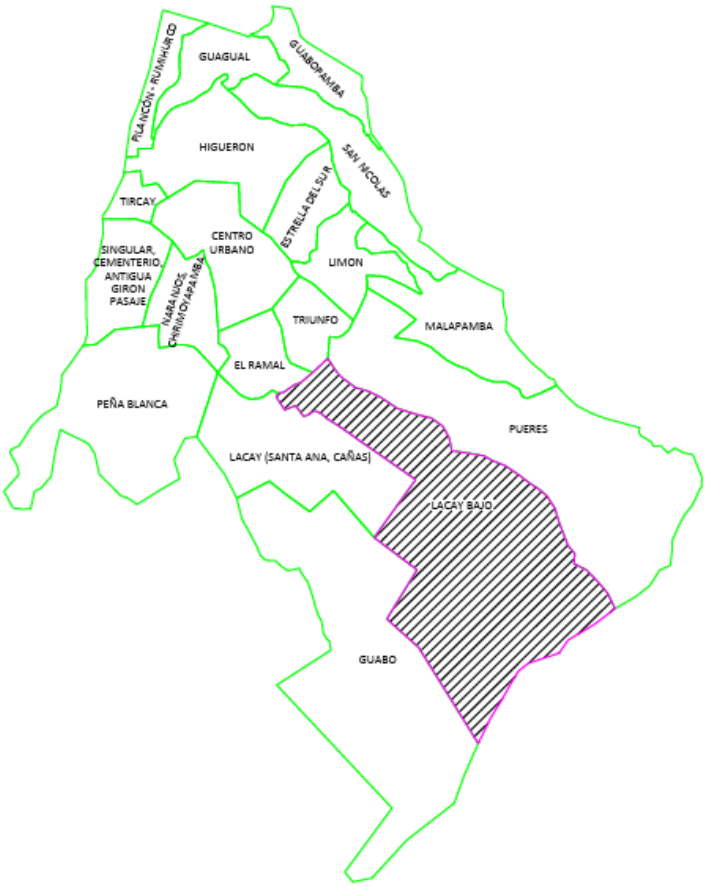
Generalidades del área de estudio

Para el presente caso de estudio, la Zona 2 corresponde al sector de Lacay Bajo, el cual forma parte de una de las 18 zonas del cantón Santa Isabel en las que la Empresa Pública Municipal

de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Isabel (EMAPASI EP) presta el servicio de abastecimiento de agua potable.

El sector de Lacay Bajo cuenta con 1011 predios registrados, distribuidos en una superficie aproximada de 368,77 hectáreas.

Figura 5
Zona Lacay Bajo dentro del Cantón Santa Isabel.

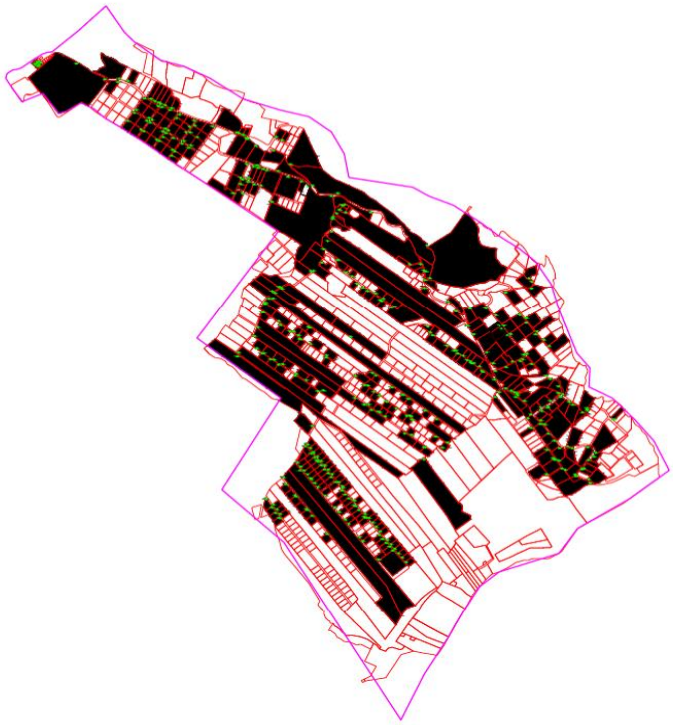


Nota. Elaboración propia.

Como parte del desarrollo del presente caso de estudio, se identificaron los predios ubicados dentro de la zona de estudio que se encuentran dentro del área de cobertura del servicio de agua potable prestado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Isabel (EMAPASI EP).

Cabe señalar que el sector analizado no dispone actualmente de un sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, para fines de saneamiento, los usuarios utilizan sistemas individuales de tratamiento mediante biodigestores, cuya implementación es autorizada y regulada por la empresa operadora.

Figura 6
Predios dentro de la zona Lacay Bajo.



Nota. Elaboración propia.

De los 1011 predios que conforman el sector de Lacay Bajo, únicamente 375 cuentan actualmente con servicio de agua potable, como se puede observar en la figura 6.

Cabe mencionar que, desde el año 2024, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Isabel (EMAPASI EP) suspendió la otorgación de nuevos derechos de servicio de agua potable, como medida adoptada ante el déficit hidráulico que atraviesa actualmente el sistema de abastecimiento.

En el sector de Lacay Bajo, así como en otras zonas del cantón Santa Isabel, existe una demanda potencial de usuarios que supera la capacidad actual del sistema de distribución, lo que limita la posibilidad de ampliar la cobertura del servicio. Por esta razón, y como medida paliativa, la empresa ha establecido que los derechos de conexión al servicio de agua potable se otorguen únicamente a predios que cuenten con permisos de construcción o con viviendas habitables, priorizando de esta manera el abastecimiento destinado al consumo humano y al bienestar de la población.

En consecuencia, los predios que no cuentan con planificación de construcción o que corresponden a lotes sin edificación no son considerados para la dotación del servicio, por lo que los propietarios deben recurrir a otras fuentes de abastecimiento, como las administradas por la Junta de Regantes del cantón Santa Isabel.

Esta medida no responde únicamente al crecimiento poblacional o a la demanda de nuevos usuarios, sino también a problemas asociados al uso inadecuado del agua potable, evidenciándose casos de utilización del recurso para riego de parcelas agrícolas, llenado de reservorios u otras actividades ajenas al consumo humano.

En este contexto, la EMAPASI EP busca garantizar que el servicio de agua potable sea destinado prioritariamente al consumo humano, para lo cual cuenta con una ordenanza que regula el uso del agua potable, estableciendo restricciones para actividades como el riego agrícola o el llenado de piscinas, salvo que se implementen mecanismos que permitan controlar o reducir el consumo excesivo del recurso.

Adicionalmente, en el sector se ha identificado la presencia de consumos ilegales o conexiones clandestinas, situación que se ve agravada por la ausencia de sistemas de monitoreo sectorizado y dispositivos de medición que permitan detectar estas irregularidades de manera oportuna. Esta condición incrementa la probabilidad de existencia de consumos no registrados, contribuyendo al aumento del índice de Agua No Contabilizada (ANC) dentro del sistema de distribución.

Figura 7
Identificación de predios con servicio de agua potable en la zona Lacay Bajo.



Nota. Elaboración propia.

Recopilación y levantamiento de información.

El levantamiento de información se fundamentó en la recopilación y análisis de los datos disponibles en los archivos digitales y físicos de la empresa prestadora del servicio. Asimismo, con el fin de contar con información actualizada y verificada, se realizó un levantamiento de información en campo.

Para este propósito, se efectuaron recorridos a lo largo del sistema de distribución dentro de la zona de estudio, con el objetivo de identificar la infraestructura existente. Durante estas actividades se realizaron cateos puntuales para determinar los diámetros de las tuberías que conforman la red de distribución, complementando la información disponible en los registros de la empresa. De igual manera, mediante el análisis de catastros y cartografía georreferenciada, se determinaron las distancias correspondientes a cada tramo de la red.

Por otra parte, desde la coordinación comercial de la empresa, se obtuvo la información relacionada con los registros de consumo mensual de los usuarios ubicados en la zona de estudio. Estos datos permitieron tabular y analizar los caudales de abastecimiento del sector, así como revisar la metodología utilizada para la recolección mensual de lecturas de los medidores, entre otros datos relevantes para el desarrollo del análisis hidráulico del sistema.

Medición y registro de caudales producidos para el sistema Lacay Bajo.

La empresa prestadora del servicio, en concordancia con la ordenanza que regula el cobro de consumos mensuales, vigente desde el año 2016, establece que la facturación del servicio debe realizarse en función del consumo registrado en metros cúbicos (m^3). En este proceso, los valores reportados por los medidores son redondeados a unidades enteras de metro cúbico, omitiendo las fracciones equivalentes en litros registradas por los equipos de medición.

Para la emisión de planillas, el Departamento Comercial realiza el levantamiento periódico de lecturas de cada medidor, el cual incluye un registro fotográfico como respaldo del valor observado en el dispositivo de medición, garantizando la confiabilidad de la información recopilada. Adicionalmente, cada registro es georreferenciado mediante coordenadas, almacenando datos asociados como ubicación, fecha y hora de la toma de lectura.

La toma de lecturas se inicia generalmente durante la última semana de cada mes. Posteriormente, la información recopilada es tabulada y revisada, realizándose las correcciones necesarias en caso de detectarse inconsistencias en los registros, para finalmente proceder con la emisión de las planillas de consumo y su respectivo proceso de recaudación. En este sentido, el volumen registrado durante la lectura debe corresponder con el volumen facturado a cada usuario.

Debido a las características del sector de Lacay Bajo, el área presenta un uso predominantemente recreacional, con la presencia de quintas vacacionales y un número reducido de viviendas de ocupación permanente. En consecuencia, los usuarios de este sector se encuentran clasificados dentro de la categoría residencial o doméstica, conforme al pliego tarifario establecido en la ordenanza vigente.

En la siguiente tabla 4 se presenta el pliego tarifario aplicable a la categoría doméstica, de acuerdo con lo establecido en la normativa que regula la prestación del servicio. –

Tabla 3
Valoración de consumo en categoría Domestica

Rango de consumo en m³	Tarifa base ($)	$/m³
0 – 10		0.00
11 – 20		0.25
21 – 30	**3.04**	0.50
> 30		1.00

Nota. Pliego tarifado para la categoría Domestica en el cantón Santa Isabel (Elaboración propia)

Muestreos de errores de exactitud en la medición de medidores

Los dispositivos de medición de agua potable, debido a su uso continuo y antigüedad, pueden experimentar una disminución en su capacidad de registrar con precisión los volúmenes consumidos, lo que ocasiona errores en la medición del consumo real de los usuarios. Para determinar el grado de error que puede presentar cada medidor, se realizan pruebas metrológicas en laboratorios certificados, los cuales cuentan con el equipamiento necesario para evaluar el porcentaje de error en la medición del caudal y volumen registrados por los dispositivos.

Para el presente análisis se utilizó información relevante proveniente de los estudios del Plan Maestro de Agua Potable del cantón Santa Isabel. En particular, el Capítulo 9 de dicho estudio desarrolla un análisis detallado sobre el levantamiento de información y el muestreo de medidores seleccionados para ser sometidos a pruebas metrológicas, con el objetivo de determinar el nivel de precisión y el porcentaje de error de los dispositivos de medición instalados en el sistema operado

por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Isabel (EMAPASI EP).

Como resultado de este estudio, se obtuvieron datos relevantes relacionados con el desempeño metrológico de los medidores instalados en la red de distribución, los cuales se presentan a continuación.

De los medidores sometidos a pruebas metrológicas, el 35 % cumplió satisfactoriamente con los parámetros establecidos de funcionamiento y precisión. Por otra parte, se identificó que aproximadamente el 3,2 % de los medidores se encuentran inoperables, es decir, detenidos y sin capacidad de registrar consumo, mientras que cerca de un 2 % presenta condiciones de ilegibilidad, lo que dificulta o impide la correcta lectura de los registros de consumo.

Esta información guarda relación con los datos levantados durante las inspecciones de campo, en las cuales se evidenció que varios medidores presentan deficiencias en su estado operativo, principalmente debido al deterioro ocasionado por la exposición prolongada a las condiciones ambientales, situación que en muchos casos deriva en dispositivos ilegibles o con dificultades para registrar adecuadamente el consumo.

La disponibilidad de esta información resulta fundamental dentro de estudios de esta naturaleza, ya que las deficiencias en el estado de los dispositivos de medición pueden generar errores en la toma de lecturas mensuales realizadas por los operadores, afectando la precisión de los registros de consumo y, en consecuencia, la estimación real de la demanda y de los indicadores de gestión del sistema, como el Agua No Contabilizada (ANC).

Determinación del volumen ingresado al sistema.

Desde los tanques de distribución, la conducción principal que abastece al sector de Lacay Bajo atraviesa el centro cantonal y se extiende hasta la zona de ingreso al mismo, en el sector conocido como El Ramal. A partir de este punto, el abastecimiento hacia Lacay Bajo se realiza mediante una única línea de conducción de PVC de 63 mm de diámetro.

Figura 8
Tanques de almacenamiento para zona baja.



Nota. Elaboración propia.

En esta línea se ha instalado un macromedidor analógico, con el objetivo de medir e individualizar el volumen de agua que ingresa a esta zona, permitiendo así un mejor control del abastecimiento y del consumo total del sector.

El volumen registrado por este dispositivo de medición ha sido monitoreado y tabulado por el equipo responsable de la elaboración del presente caso de estudio. Para el análisis, se inició el registro sistemático de consumos a partir del mes de mayo de 2025, cuyos valores se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4
Volumen macro medido en la zona Lacay Bajo

Volumen ingresado al sistema Lacay Bajo (m3)											
Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Dic**
x	x	x	x	4480	4560	4410	4476	4370	4410	4225	4370

Nota. Elaboración Propia

Como resultado de estos registros, se tiene que el valor promedio mensual de ingreso al sistema de Lacay Bajo para el año 2025 es de:

Volumen macro medido 4412 m3/mes.

Con estos valores, se puede proyectar el consumo anual para el sistema de Lacay Bajo, resultando un valor de:

Volumen macro medido: **52949 m3/año.**

Determinación del consumo facturado.

Como se mencionó anteriormente, a partir de la información disponible en los archivos comerciales de la empresa prestadora del servicio, se procedió a recopilar y tabular los datos correspondientes al volumen de agua facturado durante el año 2025 en el sector de Lacay Bajo.

Como resultado de este proceso de análisis de la información comercial, se obtuvo el registro consolidado del volumen facturado para los usuarios de esta zona, el cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5

Volumen facturado.

Volumen facturado al sistema Lacay Bajo (m3)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2382	2385	2559	1931	1823	2691	2714	2973	3882	3115	2894	2529

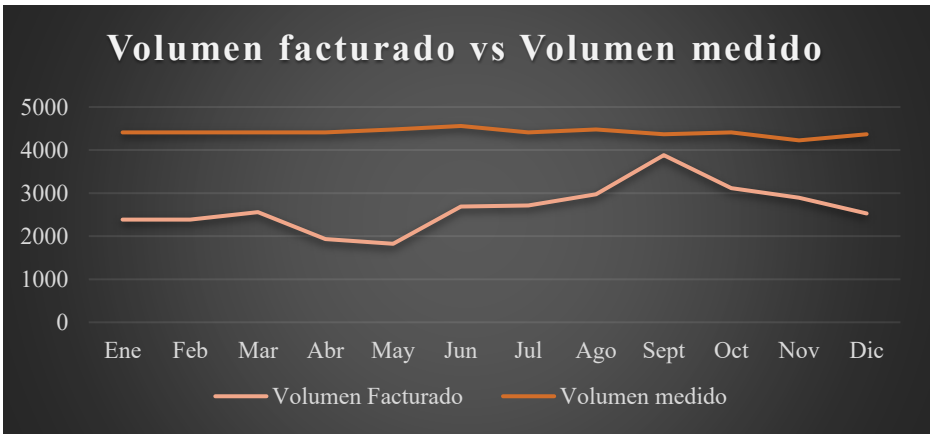
Nota. Elaboración Propia

En promedio, el volumen de agua facturado en el sector de Lacay Bajo corresponde a 2656 m^3/mes, mientras que el volumen total facturado durante el año 2025 asciende a **31 878 m^3**.

Estos valores, representados mediante una gráfica comparativa, permiten visualizar de manera clara la variación mensual del volumen comercializado, así como la relación existente entre el promedio mensual y el volumen total anual registrado para la zona.

Figura 9

Comparación de caudales producidos versus comercializados en la zona Lacay Bajo.



Nota. Elaboración Propia

Se evidencia una diferencia significativa entre el volumen de agua medido mediante macromedición y el volumen facturado a los usuarios. Esta diferencia permite realizar una

estimación preliminar del volumen de Agua No Contabilizada (ANC) en el sistema de abastecimiento del sector de Lacay Bajo.

Considerando que el volumen total medido durante el año 2025 corresponde a 52 949 m³, y que el volumen total facturado es de 31 878 m³, se obtiene el siguiente cálculo:

$$ANC = 52\,949 - 31\,878 = 21\,071\ m^3/año$$

Por lo tanto, el porcentaje de Agua No Contabilizada se determina de la siguiente manera:

$$\%ANC = (21\,071 / 52\,949) \times 100$$

$$\%ANC = 39{,}80\ \%$$

No obstante, este valor representa únicamente una estimación global del ANC. Para comprender con mayor precisión el origen de estas pérdidas, es necesario identificar y cuantificar los diferentes componentes que conforman el balance hídrico del sistema, conforme a la metodología propuesta por la International Water Association.

Este enfoque permite diferenciar entre pérdidas reales o físicas (fugas en tuberías, conexiones y reservorios) y pérdidas aparentes (errores de medición, consumos no autorizados y errores administrativos), con el objetivo de determinar en qué componentes del sistema se concentra la mayor proporción de pérdidas.

Pérdidas comerciales.

Pérdidas por subcontaje o submedicion.

Este valor corresponde a la pérdida de exactitud en el registro de caudales por parte de los medidores domiciliarios, lo cual puede deberse tanto a defectos de fabricación como al deterioro progresivo de los dispositivos debido a su antigüedad y uso continuo, factores que ocasionan una disminución en la precisión de la medición del volumen consumido.

Para determinar el porcentaje de error en la medición, los medidores son enviados a bancos de prueba especializados, donde se realizan ensayos metrológicos que permiten evaluar la exactitud del registro de caudal y volumen bajo condiciones controladas.

Para el presente capítulo se utilizó información obtenida del Plan Maestro de Agua Potable, documento que reposa en los archivos de la Ilustre Municipalidad del Cantón Santa Isabel, el cual contiene análisis técnicos relevantes sobre el desempeño de los dispositivos de medición instalados en el sistema operado por la empresa prestadora del servicio.

Dentro de este estudio se identificó que los medidores sometidos a pruebas corresponden a medidores de clase B, los cuales, según los resultados obtenidos en los ensayos metrológicos, presentan desviaciones en la medición del consumo, registrando un margen de error aproximado del 5 %. Este valor se adopta como referencia para el presente caso de estudio (Arregui y Cobacho, 2006).

En consecuencia, las pérdidas aparentes asociadas al subcontaje o submedición se estiman aplicando dicho porcentaje al volumen total facturado, obteniéndose:

$$\textit{Pérdidas por subcontaje o submedición} = 5\ \%\ \textit{del volumen facturado}$$

$$\textit{Pérdidas por subcontaje} = \boldsymbol{1\ 539{,}9\ m^3/año}$$

Consumos no autorizados.

El documento *Agua No Contabilizada* del Banco de Desarrollo del Ecuador establece que los consumos de agua no autorizados forman parte de las pérdidas aparentes dentro del cálculo del Agua No Contabilizada (ANC), conforme al balance hídrico propuesto por la International Water Association; los define como volúmenes efectivamente consumidos pero no registrados ni facturados como conexiones clandestinas, manipulaciones de medidores o derivaciones ilegales y señala que, al no poder medirse directamente, deben estimarse mediante un análisis técnico estadístico.

De acuerdo con la American Water Works Association (AWWA, 2016), los consumos no autorizados suelen estimarse entre el 0,25 % y el 1,25 % del volumen autorizado.

Para este caso de estudio, se toma como referencia un punto medio entre este rango.

Consumos no autorizados = 0.75% Volumen facturado.

Consumos no autorizados = ***239 m3.***

Resultados de las pérdidas comerciales

En consecuencia, de los resultados y análisis previamente descritos, se estima que las pérdidas comerciales ascienden a un volumen aproximado de 1 778,9 m³/año, lo que equivale a 5,75 % del volumen facturado en la zona de estudio.

Por otra parte, el volumen de agua no facturada puede determinarse a partir de la diferencia entre el volumen total ingresado al sistema y el volumen efectivamente facturado a los usuarios. En este sentido, se tiene:

Volumen ingresado – Volumen facturado

52 949 m³ – 31 878 m³

Volumen no facturado = ***21 071 m³/año***

Este valor representa el volumen total de agua que ingresa al sistema de distribución pero que no es recuperado mediante la facturación, constituyendo un componente fundamental dentro del análisis del Agua No Contabilizada (ANC) según el balance hídrico propuesto por la International Water Association.

Pérdidas Físicas

Según el documento *Agua No Contabilizada* del Banco de Desarrollo del Ecuador, las pérdidas físicas corresponden al volumen de agua que se pierde del sistema de distribución antes de llegar al usuario, debido principalmente a fugas o escapes en la infraestructura del sistema de agua potable, tales como tuberías de conducción y distribución, tanques de almacenamiento, conexiones domiciliarias y accesorios hidráulicos**.**

Estas pérdidas forman parte del Agua No Contabilizada (ANC) dentro del balance hídrico propuesto por la International Water Association, y representan agua producida que no llega a ser utilizada por los usuarios finales. En este sentido, la reducción de las pérdidas físicas requiere la implementación de estrategias operativas orientadas a la detección y reparación de fugas, control de presiones y mantenimiento preventivo de la red de distribución, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema de abastecimiento.

Levantamiento de información de campo.

Como se mencionó en párrafos anteriores, el sector de Lacay Bajo cuenta con 375 predios con derechos adquiridos del servicio de agua potable, de un total de 1011 predios existentes en la zona.

El abastecimiento del sector se realiza mediante una conducción principal de PVC de 63 mm de diámetro, desde la cual se distribuye el suministro hacia redes secundarias de menor diámetro, que varían progresivamente hasta alcanzar tuberías de 32 mm, encargadas de abastecer a los distintos usuarios dentro del área de cobertura.

Con el propósito de cuantificar la longitud y características de la red de distribución, se realizaron recorridos de campo para identificar el trazado de las líneas de distribución, registrando los diámetros de las tuberías y las longitudes correspondientes de cada tramo.

En el siguiente mapa se presenta la disposición de las redes de distribución que brindan cobertura del servicio de agua potable en el sector de Lacay Bajo.

Figura 10

Catastro de redes de distribución en la zona los Lacay Bajo.



Nota. Elaboración Propia

Las redes de distribución instaladas en la zona de estudio presentan diversas dificultades que afectan el correcto abastecimiento del servicio, lo cual se atribuye, en gran medida, a la limitada tecnificación del sistema de distribución. Si bien las tuberías instaladas son de PVC con características normadas y diámetros adecuados para las condiciones del sector, su disposición se encuentra en superficies de baja calidad estructural, lo que incrementa el riesgo de deformación o aplastamiento debido al tránsito frecuente de vehículos pesados en la zona (APSI, 2021).

Adicionalmente, la Ilustre Municipalidad del Cantón Santa Isabel realiza mantenimientos periódicos en la calzada, lo que implica intervenciones con equipo caminero pesado. Estas actividades han provocado que, con el paso del tiempo, la profundidad de enterramiento de las tuberías disminuya progresivamente, ocasionando que en algunos tramos las conducciones queden a escasa profundidad o incluso expuestas, aumentando significativamente el riesgo de daños en la infraestructura de distribución.

Por otra parte, se consultó a la empresa prestadora del servicio acerca de las medidas adoptadas para mitigar estas problemáticas. No obstante, se evidenció que las acciones implementadas se limitan principalmente a mantenimientos correctivos, debido a restricciones presupuestarias que impiden la ejecución de intervenciones de mayor alcance, por lo que las labores se reducen a reparaciones puntuales cuando se presentan roturas o fallas en la red.

Durante los recorridos de campo, también se observó la ausencia de accesorios hidráulicos fundamentales para la operación y estabilidad del sistema, tales como válvulas reguladoras de presión, válvulas de sectorización y válvulas de aire. Esta condición evidencia deficiencias en el diseño y operación del sistema de distribución, lo que contribuye a la ocurrencia recurrente de roturas en las tuberías.

Con base en la información recopilada durante el levantamiento de campo, se elaboró un registro detallado de los diámetros de las tuberías y sus respectivas longitudes, información que constituye un insumo fundamental para los cálculos hidráulicos y análisis desarrollados en los capítulos siguientes.

Tabla 6
Longitud de tuberías en el sistema de Lacay Bajo.

	Longitud de tubería por diámetros				
Tramo	**63 mm**	**50 mm**	**40 mm**	**32 mm**	**25 mm**
1	250.1	903.5	90.4	78.8	280.7
2	8.0		87.8	64.0	280.7
3			89.5	80.1	495.2
4			89.6	98.7	461.1
5			92.8	106.0	157.0
6			79.5	88.4	632.1
7			433.6	99.8	220.4
8			274.5	88.4	169.2
9				87.3	46.3
10				94.6	
11				96.9	
12				88.2	
13				111.2	
14				98.3	
15				87.8	
16				129.3	
17				102.3	
18				88.3	
19				157.2	
20				100.2	
21				226.3	
22				424.9	
23				33.8	
24				162.1	
25				79.5	
26				39.4	
27				432.4	
28				522.5	
29				691.2	
30				180.9	
31				431.3	
32				147.4	
33				48.0	
34				44.4	
35				38.9	
36				990.6	
37				739.0	
38				332.0	
39				604.3	
40				38.7	
41				260.3	
42				146.4	
43				136.6	
44				100.3	
45				224.1	
46				228.8	
47				144.9	
48				177.2	
49				330.4	
50				241.7	

Total	**258.1**	**903.5**	**1237.8**	**10144.2**	**2742.6**

Nota. Elaboración Propia

En total se ha cuantificado una longitud de **15.30 km**, los diámetros de mayor incidencia son de 32 mm y 25mm. (tabla 7)

Pérdidas en el sistema de distribución

Pérdidas monitoreadas en el sistema de distribución.

En los sistemas de distribución de agua potable, las pérdidas físicas pueden evaluarse mediante el análisis de caudal mínimo nocturno, que consiste en monitorear el caudal que circula por un sector de la red durante horas de baja demanda (generalmente entre la 1:00 y 4:00 a. m.), cuando el consumo legítimo es mínimo; para ello se sectoriza hidráulicamente el sistema cerrando válvulas y se mide el caudal que ingresa al sector, de modo que el flujo registrado representa principalmente fugas existentes en tuberías, conexiones domiciliarias, accesorios o reservorios. Este método permite estimar las pérdidas reales del sistema y priorizar acciones de detección y reparación de fugas. En concordancia con el documento *Agua No Contabilizada*, estas pérdidas corresponden al volumen de agua que se pierde físicamente del sistema antes de llegar al usuario, formando parte del Agua No Contabilizada (ANC) dentro del balance hídrico recomendado por la International Water Association, y su control implica medidas operativas como sectorización, monitoreo de caudales y programas de reducción de fugas.

Para la realización de esta medición en la zona de estudio, se sectorizó un tramo de la red de distribución cuyo diámetro se mantiene constante a lo largo de toda su trayectoria. Como se indicó previamente en la tabla correspondiente, el diámetro de mayor incidencia dentro del sistema es de 32 mm, por lo que se seleccionó un sector que presenta esta condición para efectuar el diagnóstico.

Dentro de este sector se identificaron 60 predios abastecidos por esta red, y en el punto de ingreso se instaló un macromedidor, procediendo además al cierre del sistema aguas abajo durante tres días alternados en horario nocturno entre semana. Durante este periodo se registraron los caudales circulantes entre las 01:00 y las 04:00 horas de la madrugada.

Adicionalmente, durante el periodo de medición se procedió al cierre de las válvulas domiciliarias, de manera que la red permaneciera presurizada, pero sin consumo autorizado, condición necesaria para que el caudal registrado corresponda principalmente a fugas presentes en la red de distribución.

Mediante esta operación es posible cuantificar el volumen aproximado de fugas existentes en el sector analizado y realizar la proyección correspondiente de pérdidas físicas dentro del sistema de distribución.

Los volúmenes registrados durante los intervalos de medición se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 7
Volumen registrado en horario nocturno en la zona de Lacay Bajo.

Intervalo de tiempo	**Día 1 (m^3/h)**	**Día 2 (m^3/h)**	**Día 3 (m^3/h)**
01:00 – 01:30	1.74	1.71	1.76
01:30 – 02:00	1.72	1.75	1.73
02:00 – 02:30	1.79	1.77	1.78
02:30 – 03:00	1.70	1.74	1.72
03:00 – 03:30	1.82	1.79	1.8
03:30 – 04:00	1.76	1.73	1.75
Total	1.76	1.75	1.76

Nota. Elaboración Propia

Con estos resultados, el promedio de los registros asciende a 1.75 m3/hora. (tabla 7)

Si bien el análisis estima estas pérdidas en solo un sector que representa el 28.21%, se estima que el 100% del sistema, el volumen registrado en todo el año 2025 asciende a **15.355 m3/año**.

Verificación de las pérdidas registradas.

Posterior a la toma de registros del volumen de agua perdido en el sistema durante las horas de la madrugada, al día siguiente de cada jornada de medición se realizaron recorridos de inspección en la zona de estudio, con la finalidad de identificar fugas visibles en la red de distribución y determinar las posibles causas que originan estas pérdidas.

Estas inspecciones de campo permitieron evaluar el estado operativo de la infraestructura de distribución, así como registrar y georreferenciar los puntos en los que se evidenciaron fugas físicas, tanto en tuberías, conexiones domiciliarias y accesorios de la red.

La información obtenida mediante estos recorridos constituye un insumo complementario al análisis del caudal mínimo nocturno, ya que permite corroborar la presencia de pérdidas físicas en el sistema, identificar los factores que contribuyen a su ocurrencia y cuantificar el número de puntos con fugas detectados dentro del sector analizado (Farley & Trow 2003).

Los puntos identificados con fugas físicas se presentan en la tabla siguiente, en donde se detalla su ubicación y las características observadas durante la inspección.

Figura 11
Roturas en tuberías..



Nota. Elaboración Propia

Metodología de BURST and BACKGROUND ESTIMATES (BABES).

La metodología Burst and Background Estimates (BABE) es un enfoque técnico utilizado para estimar y analizar las pérdidas físicas en sistemas de abastecimiento de agua potable, especialmente en redes de conducción y distribución. Este método propone descomponer las pérdidas reales en diferentes componentes, principalmente fugas de fondo (background leakage), que corresponden a pequeñas filtraciones continuas en tuberías, juntas y conexiones domiciliarias, y roturas o fugas mayores (bursts), que pueden ser reportadas o no reportadas dentro del sistema. Para su aplicación, la metodología utiliza coeficientes empíricos que permiten estimar el caudal de fuga en función de variables como la presión del sistema, la longitud de la red, el número de conexiones y las características de la infraestructura, lo que facilita la proyección del volumen de agua perdido y la identificación de sectores prioritarios para la gestión de fugas. Este enfoque forma parte de las herramientas recomendadas para el análisis del Agua No Contabilizada (ANC) dentro del balance hídrico propuesto por la International Water Association, permitiendo mejorar la comprensión del comportamiento de las pérdidas físicas y orientar estrategias de control y reducción de fugas en los sistemas de distribución.

Esta metodología se aplicará como medio de verificación para las pérdidas anteriormente encontradas.

La metodología BABE, usa una ecuación para determinar las pérdidas reales de una red sin necesidad de tener registros, basados en el estado de la red y el número de acometidas cita (Lambert & Hirner 2000). Durante varios años la IWA, a determinado los coeficientes para usar en esta mitología las cuales se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 8

Coeficientes de estado de red, metodología BABE

Estado de la red	F	G
Bueno	1.5	20
Regular	3	40
Malo	4.5	60

Nota. Elaboración Propia

En donde:

N= número de acometidas en el sistema
L=Longitud de la red.

Así mismo, la ecuación desarrollada por la IWA, es:

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

Por cuanto se ha mencionado, la edad de la tubería, su vejez y entro otros factores, los factores usados para la aplicación de esta ecuación, sobre los datos de la zona de Lacay Bajo, son los siguiente:

$$Q = 4 * 307 + 50 * 15.28$$

Q =2264 l/hora

$\boldsymbol{Q}$ **=19832 m3/año**

La comparación entre el caudal estimado mediante la metodología BABE (Burst and Background Estimates) y el caudal obtenido a partir del monitoreo de caudal mínimo nocturno muestra una relación consistente entre ambos resultados, lo que permite validar la estimación de las pérdidas físicas presentes en el sistema de distribución. Mientras que la metodología BABE permite estimar teóricamente el volumen de fugas considerando parámetros como la frecuencia de roturas, la presión de operación y las características de la infraestructura, el monitoreo nocturno proporciona una medición directa del caudal que permanece circulando en la red durante periodos de mínima demanda. La similitud entre ambos valores sugiere que las estimaciones realizadas reflejan de manera razonable el comportamiento real de las fugas en el sistema, fortaleciendo la confiabilidad del diagnóstico de pérdidas físicas dentro del análisis del Agua No Contabilizada (ANC) conforme a las recomendaciones de la International Water Association.

Fugas por acometida

Las fugas en acometidas domiciliarias corresponden a pérdidas de agua que se producen en el tramo de conexión entre la red de distribución principal y el medidor del usuario, generalmente desde el collarín de derivación en la tubería matriz hasta el punto de medición. Estas fugas suelen originarse por deficiencias en la instalación, deterioro de materiales, fallas en las uniones, movimientos del terreno o daños mecánicos en la tubería de servicio.

Aunque normalmente presentan caudales relativamente bajos, su detección puede ser compleja, ya que muchas veces permanecen ocultas bajo el suelo, lo que permite que continúen durante largos periodos sin ser identificadas. De acuerdo con la International Water Association, las fugas en acometidas domiciliarias forman parte de las pérdidas reales o físicas dentro del balance hídrico del Agua No Contabilizada (ANC) y, debido a la gran cantidad de conexiones

existentes en un sistema de distribución, su acumulación puede representar una proporción significativa del volumen total de agua perdido, por lo que su control requiere programas de detección de fugas, mantenimiento de conexiones y gestión adecuada de presiones en la red.

Asimismo, la International Water Association ha desarrollado relaciones empíricas para estimar el caudal de agua perdido en las acometidas domiciliarias, las cuales se basan en coeficientes que reflejan el estado operativo de estas conexiones. Estos coeficientes se asignan en función de las condiciones físicas de las acometidas, considerando factores como su antigüedad, calidad de instalación y nivel de deterioro. De acuerdo con esta metodología, los coeficientes pueden variar aproximadamente entre 0,5 para acometidas en buen estado y 1,5 para acometidas en condiciones deficientes. El caudal estimado de fuga se obtiene a partir del producto entre el número de conexiones domiciliarias existentes en el sistema y el coeficiente correspondiente, lo que permite determinar un caudal aproximado de pérdidas expresado en litros por hora (L/h) atribuible a este tipo de infraestructura dentro del sistema de distribución.

Con estos antecedentes se tiene los siguientes resultados para nuestro caso de estudio.

Tabla 9

Coeficiente de condición para estado de red. (IWA 2000)

Estado de la red	Coeficiente	Q L/H	Q m3/año
BUENO	0.5	187.5	1642.5
REGULAR	1	375	3285
MALO	1.5	562.5	4927.5

Nota. Elaboración Propia

Según estos resultados, el promedio de pérdidas por acometidas es de **3285 m3/año.**

Consumo no facturado no medido

El consumo no facturado no medido corresponde al volumen de agua que es utilizado de forma legítima dentro del sistema de abastecimiento, pero que no se registra mediante dispositivos de medición ni se incluye en los procesos de facturación. Este tipo de consumo forma parte del agua no contabilizada (ANC) dentro del balance hídrico de los sistemas de agua potable y suele asociarse a usos operativos o institucionales del servicio, tales como lavado de redes, limpieza de tanques, uso en hidrantes para control de incendios, abastecimiento para obras públicas o consumo en instalaciones municipales. Según la International Water Association, estos consumos se clasifican como consumo autorizado no facturado, ya que corresponden a usos permitidos por el operador del sistema, pero que no generan ingresos económicos. Aunque no representan pérdidas físicas del recurso, su correcta identificación y estimación dentro del balance hídrico es fundamental para evitar que estos volúmenes se confundan con fugas o consumos ilegales, permitiendo así mejorar la precisión en la determinación del Agua No Contabilizada (ANC) y en la gestión operativa del sistema.

En el sistema de Lacay Bajo se han registrado 375 usuarios con conexiones domiciliarias al sistema de agua potable. No obstante, 32 de estos usuarios no cuentan actualmente con dispositivos de medición, aunque dichas conexiones se encuentran debidamente catastradas y controladas mediante llaves de corte, lo que impide el consumo efectivo del servicio. La habilitación del suministro está condicionada a que los predios dispongan de una vivienda habitable, momento en el cual se procederá a la instalación del respectivo medidor y a la activación del servicio. Mientras tanto, los predios ubicados en esta zona cuentan con redes de agua destinadas a riego, las cuales abastecen las actividades agrícolas u ornamentales propias del sector. En consecuencia, para el caso de estudio de Lacay Bajo, se considera que no existen volúmenes

significativos asociados a consumos autorizados no facturados, ya que las conexiones sin medición permanecen reguladas y sin uso efectivo del servicio de agua potable, evitando así la generación de consumos no registrados dentro del sistema.

Figura 12
Medidores con llaves de corte



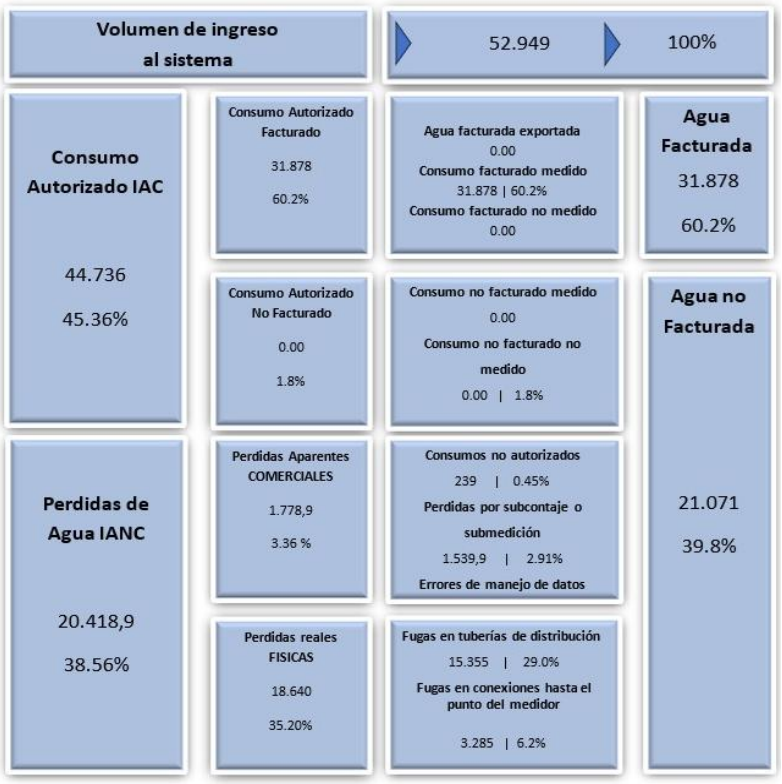
Nota. Elaboración Propia

BALANCE HIDRICO

El balance hídrico en sistemas de abastecimiento de agua potable es una herramienta fundamental para analizar el destino del agua producida dentro de una red de distribución y determinar con precisión en qué puntos del sistema se generan pérdidas o consumos no registrados. Conceptualmente, el balance hídrico consiste en comparar el volumen total de agua que ingresa al sistema con los diferentes componentes de consumo y pérdidas que se producen hasta llegar al usuario final. A partir de esta comparación es posible identificar qué proporción del agua producida es efectivamente consumida y facturada, qué parte corresponde a consumos autorizados que no generan facturación, y qué volumen se pierde dentro de la infraestructura del sistema o no se registra adecuadamente.

En la práctica, el balance hídrico permite descomponer el volumen de agua suministrado en varias categorías, entre las que se encuentran el consumo facturado medido, el consumo autorizado no facturado, las pérdidas aparentes y las pérdidas reales o físicas. Las pérdidas aparentes están relacionadas con problemas de medición, errores administrativos o consumos no autorizados, mientras que las pérdidas reales corresponden al agua que se fuga físicamente de la red a través de tuberías, acometidas, válvulas o tanques de almacenamiento. Al organizar estos componentes de manera estructurada, el balance hídrico facilita la cuantificación del Agua No Contabilizada (ANC) y permite comprender con mayor claridad cómo se distribuye el recurso dentro del sistema.

Figura 13
Balance hídrico del sistema Lacay Bajo



Nota. Elaboración Propia

Desde el punto de vista operativo, la aplicación del balance hídrico es clave para evaluar la eficiencia de los sistemas de distribución, ya que permite identificar si los mayores volúmenes de pérdida se originan por deficiencias en la infraestructura hidráulica o por problemas en la gestión comercial del servicio. Esta información resulta esencial para orientar estrategias de mejora, como programas de detección de fugas, control de presiones, renovación de tuberías, actualización de catastros de usuarios o mejora de los sistemas de medición, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico en los sistemas de abastecimiento.

Indicadores de gestión.

Los indicadores de gestión en sistemas de agua potable son herramientas técnicas que permiten evaluar el desempeño operativo, comercial y financiero de una empresa prestadora del servicio, a partir de la medición de variables clave del sistema. Estos indicadores transforman datos operativos (caudales, consumos, pérdidas, continuidad, cobertura, etc.) en parámetros cuantificables que facilitan la toma de decisiones y la mejora continua del servicio.

Estos indicadores permiten no solo diagnosticar la situación actual del sistema, sino también comparar su desempeño en el tiempo o frente a otros sistemas similares, identificando debilidades específicas, como altos niveles de pérdidas físicas, baja cobertura de medición o ineficiencias en la facturación. En particular, dentro del análisis del Agua No Contabilizada (ANC), los indicadores de gestión son fundamentales para cuantificar la magnitud del problema y orientar estrategias de reducción de pérdidas, como la sectorización, control de presiones o mejora en los sistemas de medición.

En síntesis, los indicadores de gestión constituyen una base técnica para la planificación, control y optimización de los sistemas de agua potable, permitiendo a las empresas operadoras mejorar la eficiencia, reducir pérdidas y garantizar la sostenibilidad del servicio en el tiempo.

Índice de pérdidas de agua por Usuario Facturado

El Índice de Pérdidas de Agua por Usuario Facturado (IPUF) es un indicador que permite evaluar el desempeño en el control de pérdidas asociadas principalmente a las acometidas domiciliarias. Este indicador se enfoca en analizar el comportamiento de las pérdidas en relación con los usuarios activos del sistema, sin distinguir directamente entre pérdidas técnicas o comerciales, sino considerando el efecto global de las pérdidas distribuidas por conexión.

Se calcula mediante la siguiente expresión

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

Su unidad se expresa en m3/usuarios/mes.

$$IPUF = \frac{52949 - 31878}{12 * 375}$$

$$IPUF = 4.68 \text{ m3}$$

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

Tabla 10

Rangos de eficiencia del IPUF

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

Nota. Adaptado de Performance Indicators for Water Supply Services, por International Water Association (IWA, 2000).

El valor de 4.68 m3 corresponde a un índice de **156 L/conexión/día**, indicando que el sistema presenta un nivel significativo de fugas u otras pérdidas físicas para nuestra consideración.

Indicador de pérdidas comerciales.

El Umbral Mínimo de Pérdidas Aparentes (UMPA) representa el volumen mínimo inevitable de pérdidas comerciales que pueden presentarse en un sistema de abastecimiento de agua potable, incluso bajo condiciones óptimas de operación y gestión. Estas pérdidas están asociadas a errores inherentes al sistema, tales como imprecisiones en la medición, consumos no autorizados de difícil control y omisiones involuntarias en los procesos comerciales, por lo que, desde un punto de vista técnico, no pueden ser completamente eliminadas.

Las pérdidas comerciales o aparentes se clasifican en cuatro categorías principales:

- Consumos no autorizados, como conexiones clandestinas o derivaciones ilegales.
- Errores de medición, asociados a medidores en mal estado, sobredimensionados o subdimensionados, instalaciones inadecuadas y fallas en la toma de lecturas.

- Errores en la estimación de consumos de usuarios no medidos, cuando no se dispone de micromedición directa.
- Errores en el procesamiento de datos, relacionados con la gestión comercial, facturación y registro de información.

Como indicador de referencia para este tipo de pérdidas, se emplea el UMPA, el cual se estima comúnmente como un porcentaje del volumen facturado, adoptándose en este caso un valor del 5 %, conforme a criterios técnicos utilizados en la gestión de sistemas de agua potable.

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$UMPA = 5\% \; x \; Volumen \; facturado$$
$$UMPA = 5\% \; x \; 31878$$
$$\boldsymbol{UMPA = 1593.9 \; m3/año.}$$

Índice estructural de perdices comerciales.

El Índice Estructural de Pérdidas Comerciales (ALI) es un indicador utilizado para evaluar la proporción de pérdidas aparentes dentro de un sistema de abastecimiento, en relación con un nivel mínimo esperado definido por el Umbral Mínimo de Pérdidas Aparentes (UMPA). Este índice permite analizar el desempeño de la gestión comercial en un área de control de caudales, independientemente del tamaño o características del sistema.

De acuerdo con la International Water Association, el UMPA representa el nivel mínimo inevitable de pérdidas aparentes bajo condiciones óptimas. En este contexto, el índice ALI permite comparar las pérdidas aparentes reales con este umbral de referencia, mediante la siguiente expresión:

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

En donde:

ALI: Índice estructural de pérdidas comerciales
PAA: Pérdidas aparentes anuales comerciales
UMPA: Umbral mínimo de pérdidas aparentes.

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

$$ALI = \frac{1778.9}{1593.9}$$

$$ALI = 1.11$$

El valor obtenido indica que las pérdidas aparentes reales superan el nivel mínimo esperado, evidenciando una ineficiencia en la gestión comercial del sistema. En términos de interpretación, un valor de ALI cercano o inferior a 1 refleja un control adecuado de las pérdidas comerciales, mientras que valores superiores a 1 indican la necesidad de implementar medidas correctivas, tales como el control de conexiones fraudulentas, mejora en los procesos de micromedición, renovación de medidores y optimización de los sistemas de facturación.

Este indicador resulta especialmente útil para comparar el desempeño entre distintos sistemas o sectores, permitiendo identificar desviaciones respecto a condiciones óptimas y orientar estrategias de mejora en la gestión del Agua No Contabilizada.

Volumen incontrolado de fugas (VIF).

El Volumen Incontrolado de Fugas (VIF) representa el volumen estimado de agua que se pierde en la red de distribución y que no puede ser detectado ni gestionado directamente por el prestador del servicio, debido a limitaciones en el monitoreo, acceso a la infraestructura o disponibilidad de tecnologías de detección. Este indicador permite identificar la fracción de pérdidas físicas que permanece oculta dentro del sistema, asociada principalmente a fugas no visibles o de difícil localización.

Para su estimación, se considera el volumen total de pérdidas registrado, del cual se sustraen las pérdidas identificables, tales como las fugas de fondo y las fugas en acometidas domiciliarias, obteniendo así el volumen residual no controlado. La expresión utilizada es:

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

En donde:

Qf: Caudal debido a fugas
Vf: Volumen debido a pérdidas.

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

$$VIF = \frac{48721 - 2112 - 3530.28}{375}$$

$$VIF = 114.9$$

Índice de pérdidas de agua (ILI)

El Índice de Pérdidas de Agua (ILI, Infrastructure Leakage Index) es un indicador ampliamente utilizado a nivel internacional para evaluar la eficiencia en la gestión de pérdidas

físicas en sistemas de distribución de agua potable. Este índice permite comparar el nivel real de pérdidas con un valor de referencia que representa las pérdidas mínimas técnicamente inevitables bajo condiciones óptimas de operación y mantenimiento.

Para la obtención de la presión promedio del sistema se realizó la toma de las mismas en diferentes puntos de la red, como se observa en la figura 10 (zona alta, media y baja), de los datos recolectados se tiene un promedio de 46,31mca.

Figura 14
Toma manual de presiones en el sistema.



Nota. Elaboración Propia

El ILI se define como la relación entre las pérdidas reales existentes en el sistema y las pérdidas reales inevitables, conforme a la siguiente expresión:

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

Donde:

- ILI: Índice de pérdidas de infraestructura
- VIF: Volumen Incontrolado de Fugas
- UMF: Umbral Mínimo de Fugas (pérdidas reales inevitables)

El UMF representa el nivel mínimo de pérdidas físicas que se espera en un sistema, considerando sus características estructurales, y se calcula en función de la longitud de la red, número de conexiones y presión promedio de operación, mediante la siguiente ecuación:

$$PTI(\frac{l}{dia}) = (18xLred + 0.8xNc + 25Lcometidas)xP$$

En donde:

PTI: pérdidas técnicas inevitables (L/día)
Nc: Número de conexiones domiciliarias
Lred: Longitud de la red (km)
Lacometidas: Longitud de las acometidas (km)
P: Presión promedio del sistema (m.c.a)

Entonces:

$$UMF = (18xLm + 0.8xNc + 25xLp)xP/Nc$$

$$UMF = (18x15.3 + 0.8x375 + 25x3)x46.31/403$$

$$UMF = 74.73$$

Entonces:

$$ILI = \frac{114.9}{74.73}$$

$$ILI = 1.53.$$

Conclusiones

El análisis integral del sistema de abastecimiento de agua potable en el sector de Lacay Bajo evidencia una ineficiencia significativa en la gestión del recurso hídrico, reflejada principalmente en un nivel elevado de Agua No Contabilizada (ANC) del 39,80 %, valor que supera ampliamente los rangos recomendados para sistemas operados bajo condiciones óptimas. Esta situación se origina tanto por pérdidas físicas en la infraestructura como por deficiencias en la gestión comercial, aunque el estudio demuestra que el componente predominante corresponde a las pérdidas reales dentro de la red de distribución.

Desde el punto de vista hidráulico, la aplicación combinada del análisis de caudal mínimo nocturno y la metodología BABE permitió estimar de manera consistente el volumen de fugas, obteniéndose valores comparables que validan la confiabilidad del diagnóstico. En particular, las pérdidas físicas proyectadas alcanzan magnitudes relevantes, asociadas a factores como la antigüedad de las tuberías, condiciones inadecuadas de instalación, baja profundidad de enterramiento, ausencia de dispositivos de control hidráulico y limitada tecnificación del sistema. Asimismo, las fugas en acometidas domiciliarias representan un aporte importante dentro del total de pérdidas, evidenciando la necesidad de intervenir no solo en redes matrices, sino también en conexiones individuales.

En el ámbito comercial, si bien las pérdidas aparentes se encuentran relativamente cercanas al umbral mínimo esperado (ALI = 1,11), persisten problemas asociados a submedición, estado deficiente de los medidores y posibles consumos no autorizados, lo que incide directamente en la precisión del volumen facturado. No obstante, se destaca como aspecto positivo el control existente

sobre los consumos no facturados no medidos, lo que reduce la incertidumbre en este componente del balance hídrico.

Los indicadores de gestión calculados, como el IPUF (156 L/conexión/día) y el ILI (1,53), confirman que el sistema presenta un nivel de desempeño medio, con un margen claro de mejora, especialmente en la reducción de pérdidas físicas. Aunque el valor del ILI no refleja una condición crítica, sí evidencia que el sistema aún se encuentra por encima de las pérdidas inevitables, lo que implica la existencia de fugas técnicamente controlables.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la problemática del sistema no responde a una única causa, sino a la interacción de factores estructurales, operativos y comerciales. Por lo tanto, la mejora del sistema requiere la implementación de estrategias integrales, tales como la sectorización hidráulica, control de presiones, programas activos de detección y reparación de fugas, renovación de redes y medidores, y fortalecimiento de la gestión comercial. Estas acciones permitirán no solo reducir el ANC, sino también optimizar la eficiencia operativa y garantizar la sostenibilidad del servicio en el tiempo.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CRISTOPHER RENE CABRERA GUAMBANA

Carlos Ivan Zarumeno Alulima
Time Stamping Security Data

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a reducir el porcentaje de Agua No Contabilizada (ANC) y mejorar la eficiencia operativa del sistema de abastecimiento de agua potable de la zona Lacay Bajo:

Implementar un programa permanente de detección y reparación de fugas mediante inspecciones periódicas y monitoreo continuo de caudales, priorizando los sectores donde se identificaron mayores pérdidas físicas.

Ejecutar un plan progresivo de renovación de tuberías y acometidas domiciliarias que presenten un avanzado estado de deterioro, considerando criterios técnicos relacionados con la antigüedad, material, frecuencia de roturas y condiciones de operación de la red.

Incorporar mecanismos de control y regulación de presiones en la red de distribución, con el fin de disminuir el estrés hidráulico sobre la infraestructura y reducir la incidencia de fugas y roturas.

Fortalecer el sistema de micromedición mediante programas periódicos de verificación, calibración y reemplazo de medidores domiciliarios que hayan superado su vida útil o presenten indicios de subregistro.

Mantener actualizada la base de datos comercial y catastral de usuarios, realizando inspecciones regulares que permitan identificar conexiones clandestinas, consumos no autorizados y posibles inconsistencias en los procesos de facturación.

Implementar sectores hidrométricos o Distritos de Medición y Control (DMA), que permitan un seguimiento más preciso de los caudales distribuidos y faciliten la identificación temprana de pérdidas en zonas específicas del sistema.

Realizar estudios complementarios de modelación hidráulica que permitan evaluar el comportamiento de presiones, velocidades y demandas dentro de la red, facilitando la toma de decisiones para futuras intervenciones.

Desarrollar un programa institucional de gestión integral del Agua No Contabilizada basado en la metodología propuesta por la International Water Association (IWA), incorporando indicadores de desempeño que permitan monitorear periódicamente la evolución de las pérdidas reales y aparentes.

Actualizar periódicamente el balance hídrico del sistema utilizando información confiable de macromedición y micromedición, con el propósito de evaluar la efectividad de las acciones implementadas y establecer nuevas estrategias de mejora.

Promover procesos de capacitación técnica dirigidos al personal operativo y administrativo de la empresa prestadora del servicio, fortaleciendo las capacidades institucionales relacionadas con el control de pérdidas, gestión comercial y eficiencia hidráulica.

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.

Campaña, 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, Pichicnha, 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.

Arregui, F., Cabrera, E., & Cobacho, R. (2006). *Integrated water meter management*.

Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks*.

Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water in Developing Countries*.

Lambert, A., & Hirner, W. (2000). *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*.

Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). *Water Loss Control*.

Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). *Assessment of water loss in urban water supply systems*.