



# REVISTA INGENIO

## Métodos de Intervención Centrales para Combatir Pérdidas Reales y Aparentes de Agua en Sistemas de Distribución

### Central Intervention Methods for Combating Real and Apparent Water Losses in Distribution Systems

Erick Jonnan Rueda Meza | Universidad Central del Ecuador - UCE, Quito - Ecuador  
Bryan David González Carrillo | Universidad Central del Ecuador - UCE, Quito - Ecuador  
Monica Susana Delgado Yáñez | Universidad Central del Ecuador - UCE, Quito - Ecuador  
Diego Fernando Paredes Méndez | Universidad Central del Ecuador - UCE, Quito - Ecuador

Recibido: 4/6/2024  
Recibido tras revisión: 23/10/2024  
Aceptado: 5/11/2024  
Publicado: 03/01/2025

#### PALABRAS CLAVE

Indicadores de desarrollo, agua potable, distribución de agua, gestión de recursos hídricos, IWA, consumo de agua.

#### KEY WORDS

Development indicators, drinking water, water distribution, water resources management, iwa, water consumption.

#### RESUMEN

Según la International Water Association (IWA) las pérdidas de agua en las redes de distribución de abastecimiento potable se traducen en problemas ambientales, daños en infraestructura y gastos económicos innecesarios. El objetivo del presente estudio es realizar una revisión bibliográfica de los métodos de intervención centrales para la reducción de pérdidas de agua en redes de distribución. Se realizó un análisis cualitativo de 250 documentos, seleccionando 22 para identificar métodos efectivos para reducir las pérdidas de agua, destacando que las pérdidas reales representan el 46% y las aparentes el 22%. También se analiza 136 casos de estudio, se observó que el control de presión es el método más eficiente para gestionar el agua no facturada, y que combinar diferentes métodos es una estrategia eficaz para reducir costos. Además, los indicadores de prevención y análisis de fugas se emplean ampliamente, con un uso del 43% en el manejo de pérdidas aparentes.

#### ABSTRACT

According to the International Water Association (IWA), water losses in drinking water distribution networks result in environmental problems, damage to infrastructure, and unnecessary economic expenses. The objective of the present study is to conduct a literature review of central intervention methods for the reduction of water losses in distribution networks. A qualitative analysis of 250 documents was carried out, selecting 22 to identify effective methods to reduce water losses, highlighting that real losses represent 46% and apparent losses 22%. Also analyzing 136 case studies, it was observed that pressure control is the most efficient method to manage non-revenue water, and that combining different methods is an effective strategy to reduce costs. In addition, leakage prevention and analysis indicators are widely used, with 43% use in the management of apparent losses.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de la industria y la gestión doméstica, existen diversos factores, como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la urbanización, que ejercen presión tanto sobre los recursos hídricos como sobre la infraestructura destinada al suministro de agua potable [1-4].

Las considerables pérdidas de agua por fugas en las redes de distribución y los volúmenes suministrados sin

facturación son factores críticos que complican la gestión y el abastecimiento eficiente [5-8].

Las redes de transmisión y distribución de agua potable experimentan pérdidas, las cuales pueden clasificarse como reales o aparentes [9]. Este problema genera varias consecuencias negativas, como la pérdida de agua potable, la reducción en la calidad del servicio, impactos ambientales y pérdidas económicas para la empresa responsable

del suministro, así como en menor escala para los usuarios [10-12].

A nivel global, la demanda de agua sigue aumentando mientras las fuentes de abastecimiento disminuyen, lo que convierte al agua en un recurso escaso. Aunque el 70% del planeta está cubierto de agua, solo el 2,5% es potable y menos del 1% está disponible para uso humano, según la ONU [5, 12]. Por esta razón, es fundamental gestionar el agua potable de manera eficiente, implementando estrategias tanto a corto como a largo plazo. El objetivo es maximizar la distribución efectiva del volumen disponible y reducir las pérdidas [5].

Con el tiempo, un sistema de agua potable puede sufrir problemas, como el desgaste de tuberías, componentes obsoletos o mal conectados y medidores defectuosos, lo que resulta en un desperdicio de agua y una gestión ineficiente del recurso [13, 14].

El agua no contabilizada se compone de pérdidas aparentes y reales [5], se puede apreciar un detalle en la tabla 1 propuesta por la IWA (International Water Association) el balance hídrico que se da en un suministro de agua entregado [15, 16].

Una fuga provoca una reducción en el rendimiento volumétrico del sistema, ya que aumenta el volumen de agua perdido y disminuye la presión en toda la red [17-19]. Esta caída en la presión y el caudal requiere un mayor consumo de energía en los sistemas de bombeo para satisfacer la demanda, lo que no solo afecta el rendimiento y el control del sistema, sino que también compromete la calidad del servicio [20].

La calidad de los materiales es un factor clave que afecta las fugas, ya que influye en la vida útil de los componentes del sistema. Un material de baja calidad requiere reparaciones más frecuentes, lo que a su vez conlleva un mayor desperdicio de agua [21].

El análisis de agua no facturada implica el cálculo del balance hídrico, donde sus componentes deben estar claramente definidos, ser reproducibles, entendibles y prácticos [9]. Existen métodos de intervención para controlar problemas en las redes de distribución de agua potable, esto con el fin de poder actuar de manera emergente para resolver los problemas presentes; los más representativos son los siguientes, en las pérdidas reales: gestión de la presión, control y detección de fugas, gestión de la infraestructura, agilidad y calidad de las reparaciones; en las pérdidas aparentes tenemos: reducción de errores de medición, mantenimiento adecuado del catastro de usuarios, implementación del sistema comercial adecuado y el combate a los fraudes y conexiones clandestinas, dichos indicadores permiten medir, cuantificar, detectar y localizar las pérdidas de agua potable en el sector hidráulico para contribuir a aumentar la disponibilidad de agua dada la escasez del recurso hídrico [22]. Las roturas además de afectar a los usuarios también afectan a las empresas suministradoras de agua debido a que los costos por reparación pueden ser muy elevados [23-25].

En el año 2003, Richard Pilcher líder del International Water Association Water Loss Task Force (WLFT) presentó estrategias, metodologías, procedimientos y técnicas para el control de pérdidas e incremento de agua disponible para generaciones venideras [13, 14, 26, 27], explicadas a continuación

**Tabla 1.**

Balance hídrico de un sistema de agua potable

<b>Volumen de entrada al sistema Qi</b>	Consumo autorizado QA	Consumo autorizado facturado QAF	Agua facturada exportada	Agua facturada
			Consumo facturado medido	
	Pérdidas de agua QP	Consumo autorizado no facturado QANF	Consumo no facturado medido	
			Consumo no facturado no medido	
	Pérdidas reales QPR	Pérdidas aparentes QPA	Consumo no autorizado	Agua no facturada
			Inexactitudes en medidores y errores de manejo de datos	
		Fugas en las tuberías de aducción y distribución		
		Fugas y reboses en tanques de almacenamiento		
		Fugas en conexiones de servicio hasta el medidor del cliente		

Nota. Adaptado de IWA (International Water Association) [16].

### 1.1. PÉRDIDAS REALES

Las pérdidas reales representan volúmenes de agua que se desperdician en un periodo determinado debido a fugas, roturas, estallidos o reboses [28, 29]. Estas pérdidas se clasifican de dos maneras: por su ubicación dentro del sistema y por su tamaño y duración [30].

Según su ubicación, las pérdidas pueden originarse en distintos puntos [31]. Las fugas en las troncales de transmisión y distribución ocurren en las tuberías, uniones y válvulas de estos sistemas, con tiempos de fuga que varían de cortos a medianos y caudales que suelen ser moderados a altos. Por otro lado, las fugas en los puntos de conexión aparecen en las acometidas que van hacia los medidores de los usuarios [2]. Estas fugas presentan caudales más bajos, pero pueden durar más tiempo. Las fugas y reboses en tanques de almacenamiento son causadas por fallos en los controles de ingreso de agua o por filtraciones en las paredes de concreto, debido a un mantenimiento deficiente.

En términos de tamaño y tiempo de fuga, las pérdidas se dividen en tres tipos principales. Las fugas visibles o reportadas son aquellas que rápidamente se hacen evidentes en la superficie debido a roturas o fallos en las uniones de las tuberías. Las fugas ocultas o no reportadas tienen un caudal mayor a 250 l/h con una presión de 50 mca, pero permanecen invisibles en la superficie debido a condiciones externas. Finalmente, las fugas de fondo son aquellas con caudales inferiores a 250 l/h y presiones por debajo de 50 mca. Por su pequeña magnitud, estas fugas suelen pasar desapercibidas y no se reparan hasta que el tramo completo es reemplazado. Estas pérdidas se deben principalmente a goteos en uniones, válvulas o accesorios no herméticos [32-34].

Es importante señalar que las pérdidas reales no se pueden eliminar completamente de los sistemas de abastecimiento [35].

Estrategias de control para reducir las pérdidas reales de los sistemas de distribución de agua urbana [2, 36] se observan en la figura 1, estas deben estar en balance para disminuir las pérdidas.

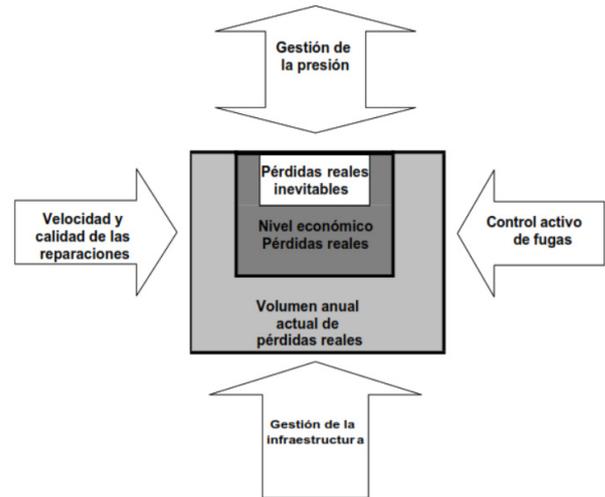
Las estrategias mostradas son de aplicación global y representan las denominadas “buenas prácticas”, en relación con la disminución de pérdidas de agua en las redes de distribución. Como primer paso para reducir las pérdidas de agua en las redes de distribución es necesario dividir la red en distritos hidrométricos reales, los cuales son áreas que permiten un manejo más rápido y fácil de todo el sistema en estudio [38].

### 1.2. GESTIÓN DE PRESIÓN

Se define como gestión de presión el manejo de presiones del sistema a niveles óptimos de servicio a la vez que se asegura un suministro eficiente y suficiente para usos normales [39].

**Figura 1.**

Metodología de reducción de pérdidas reales.



Nota. Adaptado de M. Farley, “Leakage management and control” [37].

La gestión de presión es fundamental como estrategia de reducción de fugas, según Charalambous [40], existe una relación física entre el caudal de fuga y la presión; por lo tanto, la frecuencia de roturas o estallidos también se encuentra en función de la presión [41-43]. Se dice que entre mayor es la presión, mayor serán las fugas por lo cual se debe asumir inicialmente una relación lineal entre cada una (la proporción de disminución de las fugas será igual a la proporción de disminución de la presión). Conforme se realicen los ajustes se obtendrá el porcentaje real de disminución [43, 44].

Cuando se reduce la presión, se debe asegurar que el punto crítico de la red tenga la presión mínima de suministro [45]. Generalmente las presiones de suministro de la red en horas de menor consumo son mayores a las presiones máximas permitidas, por lo cual se tiene un rango de aplicación de la regulación de la presión [46], es más práctico controlar la presión en las tuberías de distribución que realizar reparaciones de fugas (por costos y tiempos principalmente) [34].

### Control activo de fugas

El control activo de fugas implica la acción sistemática de identificación y cuantificación de las pérdidas por fugas existentes, en el sentido de localizar aquellas no visibles, a través de los métodos acústicos, y en ciertos casos basándose en la información proveniente de la monitorización continua de los flujos y presiones de los distritos hidrométricos reales. Este método, al contrario del control pasivo que espera a la fuga en hacerse visible, resulta en menor volumen perdido [30, 47, 48].

El control activo de fugas es importante para una gestión rentable y eficiente de las fugas, entre más rápido una empresa pueda analizar los datos de caudal de los distritos, más rápido podrá localizar las fugas. Por lo cual desde la fase de concepción es importante que las redes de distribución tengan en cuenta el mantenimiento, sectorización y recopilación de datos [40].

Otro indicador que se incluye dentro del control activo de fugas es el índice de caudal nocturno el cual se obtiene dividiendo el caudal mínimo nocturno y la demanda promedio diaria [49-51]. Este índice está vinculado a la zona en estudio y varía con el tiempo, indicando la posible existencia de problemas de fugas en el área. Cuando el índice de caudal nocturno se acerca a 1.0, la probabilidad de que haya fugas en la zona se incrementa [9].

### Gestión de la infraestructura

La gestión de todos los elementos de la red implica realizar un mantenimiento regular para asegurar un servicio óptimo y garantizar que los componentes se reemplacen puntualmente al final de su vida útil [52, 53]. Estas prácticas permiten gestionar las fugas de manera económica y sostenible a largo plazo. Comprender las pérdidas reales implica establecer medidas que van desde la reparación y sustitución hasta la rehabilitación o simples inspecciones, lo que facilita establecer prioridades y tomar decisiones adecuadas.

Los puntos críticos de este sistema incluyen la gestión eficaz de los sistemas de información, la recolección de datos y su conversión en información útil para la planificación, así como la evaluación del rendimiento actual de los activos.

### Rapidez y calidad de las reparaciones

Tiene como objetivo garantizar las reparaciones de forma oportuna y duradera [54]. El tiempo que se deja una fuga afecta directamente al volumen de pérdidas reales, mientras que la calidad de las reparaciones influye principalmente en la continuidad. Por lo cual la empresa prestadora de los servicios debe tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- Disponibilidad de equipos y materiales
- Procedimientos eficaces desde la alerta inicial hasta la reparación integral
- Financiamiento
- Normas adecuadas de materiales y mano de obra
- Conexiones a la red (acometidas) de alta calidad

En resumen, el efecto combinado de los métodos de intervención descritos ayuda a las empresas de suministro de agua a reducir y mantener las pérdidas reales de agua en relación con un balance económico.

## 1.2. PÉRDIDAS APARENTES

Las pérdidas no aparentes se refieren a las pérdidas ocasionadas por factores no físicos. Estas comprenden el agua entregada exitosamente al destino (usuario o cliente) pero que no se mide o registra con exactitud, causando un error en el valor del consumo de cada cliente. Las pérdidas de agua aparentes pueden generar grandes costos significativos de pérdidas para la empresa de suministro de agua especialmente, en las redes de distribución sin medidores y con muchas conexiones ilegales [39].

### Razones de las pérdidas aparentes

Las pérdidas aparentes se deben a varias causas principales. Una de las más comunes es la inexactitud de los medidores de agua [55]. Esto ocurre cuando un pequeño porcentaje del agua no se mide correctamente debido a errores de calibración o al desgaste natural de los equipos [56]. Los problemas se deben a factores como el uso de medidores de baja calidad, el sobredimensionamiento, la falta de calibración y el deterioro por el uso continuo [56, 57]. El rendimiento de un medidor depende tanto de factores internos, como la tecnología de medición y la calidad de fabricación, como de factores externos, tales como la calidad del agua, los sólidos en suspensión y la presión de la red [58].

Otra causa significativa es el manejo incorrecto de los datos, que a menudo proviene de errores cometidos por el personal encargado de leer los medidores [19]. Estos errores pueden surgir de la pérdida o alteración de los datos durante el proceso de registro o facturación. Además, el consumo no medido, como el utilizado en actividades públicas (limpieza de plazas, riego de parques, etc.), puede ser subestimado o sobreestimado, afectando directamente las cifras de producción de agua potable [59].

El consumo no autorizado es otra fuente importante de pérdidas aparentes. Este tipo de pérdida incluye fraudes o conexiones ilegales, como el vandalismo o la manipulación de medidores por parte de los usuarios. También abarca el uso no autorizado de agua a través de hidrantes callejeros u otras prácticas corruptas para acceder al suministro de agua [60-62].

En conjunto, estos factores contribuyen a una gestión ineficiente del agua potable y subrayan la importancia de mejorar tanto la precisión de los equipos de medición como la integridad de los procesos de recolección y manejo de datos. La prevención del consumo no autorizado también es crítica para reducir estas pérdidas y garantizar un uso más eficiente del recurso hídrico.

Estas prácticas ilegales pueden causar pérdidas económicas para las empresas de agua, así como afectar la calidad y cantidad del suministro para los usuarios legales [25].

## 2. MÉTODO

Se siguió la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar la transparencia y rigor en la búsqueda y selección de la literatura relevante. La búsqueda se realizó en tres bases de datos académicas: SciELO, Water Utility Journal y Scholar Google, los términos de búsqueda combinaron palabras clave relacionadas con los indicadores de desempeño propuestos por la IWA, incluyendo “pérdidas de agua”, “indicadores de desempeño”, “gestión del agua”, “WLTF” y “eficiencia del agua”. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios relevantes, estos son artículos publicados en revistas científicas revisadas por pares, tesis o pares, idioma inglés o español, textos que tengan un enfoque en los indicadores de desempeño propuestos por IWA WLTF y propongan algún análisis de métodos de intervención para reducir las pérdidas de agua reales y aparentes (ver Figura 2).

Los criterios de exclusión fueron trabajos duplicados, estudios con objetivos no relacionados con las pérdidas de agua o los indicadores de desempeño, artículos en idiomas distintos al inglés o español, trabajos que no analizan métodos de intervención para la reducción de pérdidas de agua.

Se analizan indicadores, métodos de evaluación, y de prevención, así como análisis de fugas en redes de distribución, para lo cual se utiliza técnicas bibliométricas para apoyar el análisis, incluyendo Bibliometrix y herramientas de minería de texto como VOSviewer [63-65] y una bitácora de revisión para extraer y analizar información [66].

**Figura 2.**

Metodología PRISMA.



Se realizó un análisis cualitativo de los 22 documentos seleccionados (16 artículos, 3 tesis, 3 libros y 2 manuales) para identificar y extraer información relevante sobre los indicadores de desempeño y los métodos de intervención para la reducción de pérdidas de agua.

Se analizan casos de estudio presentes en artículos y tesis, identificando un total de 136 documentos que abordan indicadores de eficiencia en la reducción de pérdidas.

Este análisis proporciona criterios que permiten seleccionar el método de intervención más adecuado, basado en experiencias comprobadas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 MÉTODOS DE INTERVENCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

En la tabla 2 se puede observar los métodos más representativos encontrados en cuanto a la reducción de pérdidas en las redes de distribución de agua

#### 3.1.1 Gestión de presión

Es fundamental limitar la presión y minimizar su rango de variación para cumplir con los estándares de servicio establecidos. Una red de distribución de agua cuando opera con una presión adecuada presenta varios resultados beneficiosos como se puede observaren la Tabla 3.

La sectorización de la red de distribución suele ser un paso previo esencial antes de aplicar otras medidas de control de presión. Entre las principales soluciones se encuentran los tanques rompe-presión, bombas de velocidad variable y, principalmente, las válvulas reductoras de presión, que se colocan en puntos estratégicos definidos por los distritos hidrométricos. Una gestión eficiente de la presión no solo optimiza el funcionamiento del sistema, sino que también extiende la vida útil de sus componentes al minimizar el estrés causado por presiones elevadas.

#### 3.1.2. Control activo de fugas

El control activo de fugas es el método más tradicional e intuitivo. Requiere equipo especializado en la detección como un acústico integrado por sensores de detección de ruido, un registrador y un software de análisis. El análisis espectral del ruido ofrece resultados fiables y no requiere personal altamente cualificado. Sin embargo, presenta desventajas como el alto costo de los equipos y la dependencia de los materiales de las tuberías, que pueden afectar la precisión del análisis. Una opción más avanzada es el correlador, que utiliza dos sensores colocados a cierta distancia sobre la tubería. Cuando se detecta ruido de fuga, el correlador calcula su ubicación analizando el tiempo que tarda el sonido en llegar a ambos sensores.

#### 3.1.3. Gestión de la infraestructura

Un mantenimiento adecuado de la red de distribución y la reparación eficaz de fugas no visibles y semivisibles contribuyen a disminuir el índice de agua no contabilizada. De este modo, se asegura un suministro eficiente de agua potable a la población, manteniendo las redes en buen estado.

**Tabla 2.**

Métodos de intervención para la reducción de pérdidas de agua en redes de distribución

Método	Descripción	Observación	Bibliografía
De sectorización	La finalidad es dividir (sectorizar) la red de distribución de agua potable de manera geográfica, teniendo en cuenta la red primaria y secundaria para el control de caudales	Programas que mejor trabajan con el método: EPANET, GIS	[13, 66-69]
De volumen total	Realiza un balance hídrico y contabiliza el volumen enviado y el volumen facturado	Es conveniente realizar balance hídrico general, y realizar visualización general en GIS para definir sectores de estudio	[70-72]
Método de intervención por mantenimiento	Se revisa los costos de facturación vs. Los costos de reparación y en función de la falla se instala accesorios o se cambia materiales, haciendo una proyección para disminuir los costos de reparación. La comparación anual tiene una tendencia a la baja o a la alta	Sólo puede ser trabajado cuando hay fallas o fugas detectadas. El levantamiento del sistema total es un costo alto que no se contempla. La inspección visual es la principal manera de detectar deterioro de red o fugas de agua	[2, 73]
Gestión de presión	Asegura una presión de operación mínima durante las 24 horas del día en todos los puntos de la red.  La gestión de la presión, en el punto de interés (punto crítico PC), varía a lo largo del día en función de los periodos de alto consumo o de bajo consumo (correspondiente a las presiones altas durante la noche y bajas durante el día).	WaterCAD, resulta muy conveniente para trabajar el método de gestión de presión.  Utilizando la gestión de presión, se puede mantener la presión del punto crítico constante a la mínima requerida, evitando las fluctuaciones y fatiga de los materiales.	[67, 70, 74]
Métodos de jerarquías analíticas	Estructurar un problema multicriterio en forma visual, construyendo y comparando pares - criterios - alternativas. Se da pesos de valor a cada criterio construyendo vectores de priorización y matrices conceptuales.	Los programas más usados para trabajar el método son EPANET, GIS, WaterCAD	[4, 75-77]
Método del gradiente hidráulico	Permite el análisis hidráulico de redes de agua, determinando las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica.	Los programas más usados para trabajar el método son EPANET, GIS, WaterCAD	[2, 3, 78, 79]
Método Control activo de fugas	Refiere a la localización de roturas o fallas menores que no son evidentes ni detectadas por los prestadores de servicio, los usuarios, o los ciudadanos.  Consiste en cuatro etapas:  1. Detección de la existencia de una fuga 2. Localización de la fuga 3. Confirmación visual de la fuga 4. Reparación	La detección de fugas generalmente se realiza mediante registradores acústicos, que combinan sensores de ruido, un dispositivo de registro y software de análisis. Este equipo emite una señal acústica durante dos horas diarias; una señal con baja dispersión indica que la fuga está distante, mientras que una señal con alta dispersión señala que la fuga está más cerca.  La localización de fugas puede realizarse con varillas acústicas, compuesto por un sensor piezoeléctrico, un amplificador y auriculares inyección de gas inofensivo.	[33, 80-83].

Método	Descripción	Observación	Bibliografía
Balance hídrico nocturno		Se mide el consumo nocturno con caudalímetros y comparando los resultados con los estándares técnicos establecidos	[15, 84-86]
Gestión de infraestructura	Rehabilitación y/o renovación de las tuberías mediante un análisis multicriterio.	Estas reparaciones de fugas se dan primordialmente en: Collarines Tuberías de acometidas Llaves de corte Neplos Uniones Fugas en accesorios de unión Válvulas, entre otras.	[87-90]
Velocidad y calidad de las reparaciones	Minimiza el tiempo desde que se tiene conocimiento de la existencia de la fuga hasta su reparación completa.	Una gestión efectiva de las reparaciones de fugas implica los siguientes aspectos: 1. Comunicación fluida con los clientes. 2. Control activo de fugas no visibles, llevado a cabo por equipos bien entrenados y equipados, ya sean propios o contratados. 3. Un sistema de programación y control que facilite las tareas diarias del mantenimiento, generando hojas de ruta para los equipos y permitiendo el procesamiento eficiente de datos en el campo. 4. Un sistema de gestión y control de resultados que incluya la reducción de pérdidas reales y otros indicadores relevantes.	[1, 91-93]
Reducción de errores de medición	Mediante el uso del medidor residencial, usa parámetros metrológicos que permiten la caracterización de los distintos aspectos de funcionamiento.	Relaciona los siguientes parámetros: volumen real, caudal real, volumen medido, como la diferencia entre la lectura final y la lectura inicial del medidor. Error de medición absoluto, es la diferencia entre el volumen medido y el volumen real. Curva de error del medidor. La curva de error del medidor depende principalmente de la tecnología de medición del medidor y de la clase metrológica.	[57, 94-96]
Combate a los fraudes y conexiones clandestinas	Consiste en detectar el fraude, o robo del agua potable.	Las conexiones clandestinas se pueden clasificar de la siguiente manera: <b>Grupo 1:</b> Incluye las conexiones ilegales que ocurren de manera fortuita, donde el acceso al agua no es viable, generalmente debido a restricciones legales. <b>Grupo 2:</b> Se refiere a las reconexiones del servicio cuando este ha sido interrumpido o deshabilitado. <b>Grupo 3:</b> Comprende las modificaciones o alteraciones realizadas en los equipos de medición de agua.	[57, 97-99]

**Tabla 3.**

Beneficios obtenidos de un buen manejo de la presión

Gestión de presión: reducción de presiones promedio y máximos en exceso					
Beneficios para la conservación		Beneficios para la empresa de agua		Beneficios para el cliente	
Fugas reducidas		Frecuencia de estallidos y fugas			
Consumo reducido	Caudales reducidos de fugas y estallidos	Costos de reparación reducidos en las troncales	Renovaciones diferidas y mayor vida de activos	Costo reducido del control activo de fugas	Menos quejas de clientes
					Menos problemas en las tuberías y aparatos de los clientes

### 3.1.4. Rapidez y calidad de las reparaciones

Como resultado, se obtienen beneficios significativos que ayudan a reducir el índice de agua no contabilizada y a gestionar este recurso de manera eficiente. Entre los principales beneficios destacan la prevención del desperdicio, que permite conservar agua y generar ahorros económicos; y la mejora de la calidad del agua, ya que al evitar fugas, se minimiza el riesgo de que contaminantes ingresen al suministro, protegiendo así la salud pública.

### 3.1.5. Reducción a los errores de medición

Es fundamental identificar los medidores dañados, ya que los operarios elaboran informes mensuales que notifican al propietario sobre las fallas y la necesidad de reemplazo, el cual puede ser financiado por la empresa o adquirido por el usuario. Este registro es esencial para el proyecto, ya que los medidores defectuosos contribuyen a pérdidas comerciales de agua al subestimar el consumo real. Para calcular el volumen total de agua perdida por errores de medición, se pondera el patrón de consumo de los usuarios y se multiplica por el error global de los medidores.

### 3.1.6. Combate a los fraudes y conexiones clandestinas

El combate a los fraudes y conexiones clandestinas es una tarea importante para garantizar la transparencia y la legalidad en diferentes ámbitos, en las empresas y en la sociedad en general. Se puede considerar aspectos positivos como ahorro del recurso agua entregando el suministro a familias que en verdad lo requieran, detección de redes antes del contador y reducción de ilegalidades.

En la tabla 4, se presenta un conjunto de medidas específicas para contrarrestar el agua no facturada con sus respectivos componentes

## 3.2. INDICADORES DE MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y ANÁLISIS DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

Los indicadores más importantes encontrados en cuanto a pérdidas aparentes se pueden observar en la tabla 5

Los indicadores más importantes encontrados en cuanto a pérdidas reales se pueden observar en la tabla 6.

Para gestionar indicadores de métodos de prevención y análisis de fugas en redes de distribución, se requiere un buen control de medición y contabilización de agua, por lo que se contempla en este trabajo buenas prácticas para la gestión del parque de contadores.

Un mantenimiento adecuado del catastro de usuarios tiene impactos positivos en las empresas de agua, en cuanto a su distribución y facturación, evitando bajos niveles de recaudación, servicio deficiente y dificultad para ampliar el mercado. En la figura 3 se observa buenas prácticas para la gestión del parque de contadores.

**Figura 3.**

Buenas prácticas para la gestión del parque de contadores.



Nota: Adaptado de Ziegler, Sorg, Hübschen, Fallis, Happich, y Baader, *Guía para la reducción de las pérdidas de agua* [39].

El catastro de usuarios es crucial para optimizar el porcentaje de pérdidas, ya que facilita la correcta comercialización de los servicios de abastecimiento de agua y otros procesos relacionados entre el sistema, la empresa, el usuario y el recurso. Además, permite identificar oportunidades de expansión y desarrollar estrategias para captar nuevos usuarios. Sin un catastro actualizado, la gestión comercial, incluyendo la medición, facturación, cobranza y comercialización, se vuelve ineficiente, afectando

**Tabla 4.**

Métodos para combatir fraudes y conexiones clandestinas

Componente	Medidas para contrarrestar
Consumo autorizado no facturado	Aumentar valores por cobranza Minimizar consumo autorizado por la empresa Minimizar la cantidad de clientes no facturados
Inexactitudes en la conexión	Establecer población de medidores Probar exactitud de medidores regularmente Programar mantenimiento
Errores de lectura de medidores y transferencia de datos	Analizar registros de facturación buscando patrones de consumo inusuales Auditar muestras de cuentas sospechosas Cambiar a lectura automática de medidores
Errores de manejo de datos	Flujograma del proceso de facturación Análisis del proceso de facturación Ajustar correctamente los datos de consumo Mejorar el manejo de cuentas
Consumo no autorizado	Inspecciones en medidores que han sido manipulados Penalizar la mala utilización de hidrantes y otras formas de consumo ilegal
Fuga desde estallidos y roturas detectables	Realizar campañas para reparar acumulación de roturas de tubos reportada/visible Reducir número de estallidos y fugas implementando gestión de presión Reducir tiempo de ocurrencia de fugas introduciendo monitoreo continuo en la red y mejorando el control activo de fugas
Fuga de fondo	Implementar gestión de presión Desarrollar estrategia de rehabilitación de largo plazo

Nota. Adaptado de Ziegler, Sorg, Hübschen, Fallis, Happich y Baader, *Guía para la reducción de las pérdidas de agua* [39].

**Tabla 5.**

Indicadores de Métodos de prevención y análisis de fugas en redes de distribución para pérdidas aparentes

Indicador	Observación	Método de cálculo	Bibliografía
Máxima pérdida aparente aceptable "litros/conexión/día"	Válido para sistemas con más de 3.000 habitantes	$ILI = \frac{CARL}{UARL}$  Donde: CARL: representan las pérdidas físicas anuales reales y UARL el límite teórico inferior de pérdidas físicas	[12, 16, 33]
Estimación del Índice de Pérdidas por Infraestructura, IPI "litros/medición correcta/día"	Densidad de conexión, es preferible trabajar mediante sectorización	Ficha de recolección de datos y cálculo de densidad de red funcional	[16, 24, 100, 101]
Porcentajes de agua entregada	Diferencia entre la cantidad ingresada al sistema y el consumo autorizado	Expresado en porcentaje  $Agua\ no\ contabilizada = caudal\ distribuido - caudal\ facturado$  $Índice\ de\ agua\ no\ contabilizada = (caudal\ distribuido - caudal\ facturado) / caudal\ distribuido$	[12, 23-25]

negativamente la economía de la empresa. Esta relación cercana del catastro con todos los procesos antes mencionados puede apreciarse en la Tabla 7.

### 3.3. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS, CONSIDERANDO INDICADORES DE EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS, EN BASE A CASOS DE ESTUDIO

Se ha realizado un análisis bibliográfico de casos de estudio considerando el uso de métodos y los indicadores de eficiencia utilizados. En la tabla 8 se puede apreciar el análisis. En la figura 4 se observa la ubicación de los casos de estudio seleccionados, se puede decir que los métodos estudiados y sus indicadores de eficiencia son de uso y conocimiento general a nivel mundial, se debe señalar que la bibliografía buscada fue en español e inglés.

## 4. CONCLUSIONES

Estas medidas son cruciales para prevenir pérdidas económicas considerables y asegurar la sostenibilidad del servicio de agua potable. El análisis de los indicadores de gestión de pérdidas de agua demuestra que su aplicación es fundamental para las empresas de servicios públicos y organismos encargados de la gestión hídrica, garantizando tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad del recurso.

El monitoreo continuo y el análisis sistemático de estos indicadores aportan información clave para la toma de decisiones estratégicas. Esto permite identificar áreas de alto riesgo de pérdidas, mejorar la infraestructura y mitigar las fugas, favoreciendo la conservación del agua para futuras generaciones y reduciendo los costos operativos.

El presente estudio subraya que este tema no ha sido suficientemente explorado en América Latina. Las metodologías propuestas provienen principalmente de experiencias en Europa y Asia, lo que destaca la necesidad de realizar más investigaciones enfocadas en la realidad y las necesidades específicas de Latinoamérica.

## DISCUSIÓN

Se ha realizado una revisión bibliográfica preliminar sobre métodos de intervención clave para la reducción de pérdidas de agua en redes de distribución, cumpliendo así el objetivo del estudio. Los principales hallazgos presentan un panorama de los métodos más efectivos, sirviendo como base para estudios experimentales que permitan validar o descartar técnicas en contextos específicos.

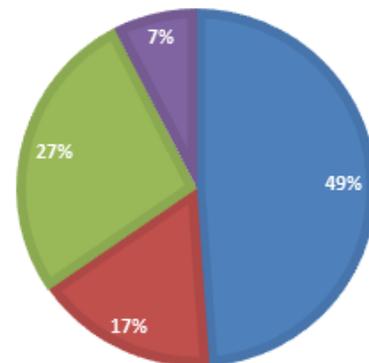
El estudio destaca el control de presión como el método más común en la gestión de fugas. Sin embargo, cada región tiene características particulares, como topografía, clima, y urbanización, entre otras, que justifican la necesidad de adaptar y evaluar soluciones específicas para maximizar su eficacia. Estos hallazgos respaldan la revisión

**Figura 4.**

Ubicación geográfica de los casos de estudio analizados.

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CASOS DE ESTUDIO ANALIZADOS

■ América Latina ■ EEUU ■ Unión Europea ■ Otras localidades



bibliográfica, que concuerda con estudios de caso existentes y valida el uso de indicadores para evaluar pérdidas aparentes y reales.

Las conclusiones subrayan la importancia de planificar el mantenimiento y monitorear cuidadosamente las redes de distribución, incluyendo sus componentes hidrosanitarios y tuberías subterráneas, cuya localización precisa es esencial para una gestión efectiva de fugas.

La revisión también destaca la dispersión de información bibliográfica y la falta de claridad en el uso de ciertos indicadores, los cuales se eligen con frecuencia en función de la disponibilidad de datos en las áreas estudiadas.

Esta revisión bibliográfica ofrece un marco inicial para entender la gestión de pérdidas de agua, proponiendo buenas prácticas y métodos de recolección de datos que van más allá de la simple gestión de medidores. Se enfatiza la necesidad de investigaciones prácticas que analicen casos específicos y verifiquen la efectividad de los indicadores en diferentes regiones.

Se recomienda que futuras investigaciones exploren más a fondo el análisis de indicadores de gestión de pérdidas de agua y cómo estos pueden ayudar a las empresas de agua a implementar estrategias preventivas y correctivas para mejorar la eficiencia del recurso. El documento destaca los beneficios de estos indicadores, como el control de presión, la detección temprana de fugas y la rehabilitación de infraestructura, sugiriendo su integración en proyectos hidráulicos para optimizar la distribución y minimizar el desperdicio de agua.

La gestión de presión se considera la intervención más eficiente, ya que no solo incrementa la eficacia del sistema, sino que también reduce el desgaste de materiales, especialmente en redes antiguas. Controlar la presión y minimizar las fluctuaciones ayuda a prevenir roturas de tuberías, contribuyendo a una distribución sostenible y a

un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. Además, estrategias para identificar fugas no visibles mediante inspecciones regulares permiten corregir problemas rápidamente, reduciendo las pérdidas de agua.

## REFERENCIAS

- [1] M. Ramos Joseph and A. J. J. I. H. y. A. León Méndez, "Gestión integral de pérdidas de agua: un caso de estudio," vol. 37, no. 3, pp. 74-88, 2016.
- [2] M. J. Barrera Chaupis, "La gestión del mantenimiento y la reducción de las fugas no visibles de la red de agua potable en el distrito de San Martín de Porres-Lima", 2020.
- [3] H. Guerra Puente, "Verificación de la reducción de pérdidas físicas en una red de distribución de agua potable mediante la simulación hidráulica de presiones en un distrito hidrométrico de la red del Área Metropolitana de Monterrey", Universidad Autónoma de Nuevo León, 2021.
- [4] W. Hope and J. Bircumshaw, "The waste of water in public supplies, and its prevention. (reprint of paper originally published in minutes of the (ice) proceedings, vol 110, part 4, session 1891-1892, pp. 260-275)", in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, 1996, vol. 115, no. 2, pp. 68-75: Thomas Telford-ICE Virtual Library.
- [5] M. C. Romero *et al.*, "La eficiencia en los sistemas de distribución: revisión sobre la gestión del agua no registrada. Coordinador", 2014.
- [6] W. B. Desalegn, "Water supply coverage and water loss in distribution systems: The case of Addis Ababa", 2005: ITC MSc thesis, Enschede, The Netherlands.
- [7] Y. Kizmaz, "Losses and leakages in drinking water distribution systems", Hasan Kalyoncu Üniversitesi, 2020.
- [8] M. A. E. Tshimbalanga, "Real water loss within water distribution networks of the Tshwane Metropolitan City in South Africa", University of Johannesburg, 2022.
- [9] E. Kong Vargas, "Eficiencia física de la red de agua potable como factor de resiliencia en fraccionamientos de la ciudad de Chihuahua", Universidad Autónoma de Chihuahua, 2022.
- [10] L. A. Gutiérrez Sánchez, "Estudio de los impactos ambientales del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Jipijapa, Manabí, Ecuador," 2011.
- [11] A. Jouravlev, *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. CEPAL, 2004.
- [12] J. L. Mendoza Mendoza, "Beneficios ambientales de la reducción de pérdidas de agua potable en la red de distribución circuito R-20 Sabandía-Arequipa 2019", 2021.
- [13] M. P. Monsalve Monrroy and J. A. Uribe Gómez, "Programa de reducción de pérdidas de agua en la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de San Gil", ed. Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [14] A. Salazar Adams and A. N. J. R. y. s. Lutz Ley, "Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México", vol. 27, no. 62, pp. 05-26, 2015.
- [15] D. Pearson, *Definiciones estándar de pérdidas de agua*. IWA Publishing, 2019.
- [16] C. Espinosa-Jiménez, M. A. Pérez-Montilla, and M. E. J. C. e. I. Medina-Padilla, "Indicadores de gestión en sistemas de abastecimiento de agua potable. Experiencia internacional y la realidad en Venezuela", vol. 40, no. 3, pp. 297-301, 2019.
- [17] E. J. Facundo Lozano and J. L. Oliva Caffo, "Control de presiones de agua potable para el mejoramiento del sistema a través de la metodología de sectorización en el distrito de Chocope", 2020.
- [18] D. J. V. González, L. G. de Marcos, and R. S. Calvo, "Diseño de maniobras de gestión de presiones en sectores de distribución de agua y análisis de su impacto", Universidad Politécnica de Madrid Madrid, Spain, 2017.
- [19] A. E. Ilaya Ayza, "Metodología para la gestión de horarios de suministro en sistemas de abastecimiento intermitente, caso de estudio: zona sur de la ciudad de Oruro (Bolivia)", 2015.
- [20] P. A. López, A. F. Vela, and P. L. J. I. d. a. Iglesias, "Análisis de seguridad en abastecimientos y su aplicación a la detección de fugas", vol. 2, no. 3, pp. 7-22, 1995.
- [21] N. V. Achache Carrillo and S. A. Gómez Monar, "Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba", Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, 2022.
- [22] S. de Servicios Sanitarios and S. Cesmec, "Control Paralelo de Agua Potable 2018-Norte. Grupos TD\_4, TD\_5 y TD\_6", 2018.
- [23] J. N. Baires Orantes, M. E. Coto Portillo, and D. L. Torres Delgado, "La agenda política salvadoreña y los compromisos adquiridos en el tratado marco de de seguridad democrática, en el combate a la corrupción y la inseguridad, periodo 2009-2013", Universidad de El Salvador, 2013.
- [24] J. A. Fernández Cotera, "Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en variación de pendiente topográfica, Santa Rosa, Lima, 2021", 2021.
- [25] M. E. Franch Mañas, "Las conexiones irregulares en asentamientos informales en España en el contexto de la pobreza energética severa", 2022.
- [26] M. M. Mahdavi, K. Hosseini, K. Behzadian, A. Ardehsir, and F. Jalilsani, "Leakage control in water distribution networks by using optimal pressure management: A case study", in *Water Distribution Systems Analysis 2010*, 2010, pp. 1110-1123.
- [27] J. R. Stokes, A. Horvath, R. J. E. Sturm, and technology, "Water loss control using pressure management: Life-cycle energy and air emission effects", vol. 47, no. 19, pp. 10771-10780, 2013.
- [28] S. R. Santisteban Meza and H. Zuñiga Choquehuanca, "Las pérdidas operativas y comerciales del servicio de

- agua potable y su incidencia en los resultados económicos de la EPS Sedacusco sa periodo 2013-2017”, 2018.
- [29] A. V. Tirado Díaz, “Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar la distribución de agua potable en el distrito de Celendín 2021”, 2021.
- [30] A. Vela, F. Martínez, J. García-Serra, and R. J. I. d. a. Pérez, “Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento”, vol. 1, no. 1, pp. 35-54, 1994.
- [31] M. Herrera, A. Karatzoglou, S. Canu, J. Izquierdo, and R. J. P. d. I. S. I. d. A. d. A. Pérez-García, SEREA, “Clusters de abastecimiento de agua basados en aprendizaje semi-supervisado”, vol. 9, 2009.
- [32] P. de la UNAM, “Facultad de Ingeniería,” Universidad Nacional Autónoma de México.
- [33] U. Montes Yaroniza, “Determinación de los diámetros óptimos de tuberías con el fin de uniformizar el estado de presiones. Zona de Miraflores-ciudad de Ayacucho”, 2019.
- [34] O. H. Porras Gómez, “Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar distribución de agua potable-Sector San Carlos-La Merced”, 2014.
- [35] I. W. Association, *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: método pormenorizado de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo*. Organización Mundial de la Salud, 2009.
- [36] R. A. Coello Montoya, “Análisis energético y estrategias de optimización para el sistema de abastecimiento de agua potable de los sectores Virgen del cisne y 25 de Julio de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)”, 2022.
- [37] M. Farley, S. Water, W. Supply, S. C. Council, and W. H. Organization, “Leakage management and control: a best practice training manual”, World Health Organization 2001.
- [38] F. Salguero, R. Cobacho, and M. Pardo, “Sectorización de redes de distribución de agua según criterios de eficiencia energética”, ed: Universidad Politécnica de Valencia. España, 2017.
- [39] D. Ziegler *et al.*, “Guía para la reducción de las pérdidas de agua: Un enfoque en la gestión de la presión”, vol. 1, 2011.
- [40] B. Charalambous, D. Foufeas, and N. J. W. U. J. Petroulias, “Leak detection and water loss management”, vol. 8, no. 3, pp. 25-30, 2014.
- [41] A. D. de Santi, T. B. Cetrulo, and T. F. J. W. S. Malheiros, “Water loss control practices in developing countries: a case study of a Brazilian region”, vol. 21, no. 2, pp. 848-858, 2021.
- [42] F. González-Gómez, M. A. García-Rubio, and J. J. W. R. D. Guardiola, “Why is non-revenue water so high in so many cities?”, vol. 27, no. 02, pp. 345-360, 2011.
- [43] J. R. Stokes, A. Horvath, and R. Sturm, “Supporting Information for Water Loss Control Using Pressure Management: Life-cycle Energy and Air Emission Effects”.
- [44] C. León Celi, “Optimización del reparto de caudales de suministro de redes malladas de distribución de agua por bombeo con varias fuentes de abastecimiento”, 2016.
- [45] G. R. J. R. R. t. d. m. a. Arzuaga, “Gestión dinámica de la presión en la red de abastecimiento. Presente y futuro”, vol. 33, no. 220, pp. 98-103, 2020.
- [46] P. Garzón Contreras and J. J. I. s. y. a. Thornton, “Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución”, pp. 33-37, 2006.
- [47] A. J. B. V. e. S. d. D.-O. Lavell, “Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición”, vol. 4, pp. 1-22, 2001.
- [48] S. X. Molina Arce, “Metodología para reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de aa. pp. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil”, 2009.
- [49] J. A. Huamán Garcia, “Propuesta de control de distribución para mejorar el abastecimiento de agua potable en la localidad de Paita”, 2019.
- [50] R. D. Huancahuari Arimana, “Análisis de fugas en redes secundarias para mejorar la red de distribución de agua potable, San Martín de Porres, 2018”, 2018.
- [51] Y. Villagómez Velázquez and E. J. R. y. s. Gómez Martínez, “Los recursos hídricos en las regiones indígenas de México”, vol. 32, 2020.
- [52] Y. A. Loaiza Bedoya and A. L. Osorio Montoya, “Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca río la Vieja departamentos de Quindío y Risaralda”, 2009.
- [53] J. D. Oliva España, “Diseño de sistema de riego por goteo automatizado utilizando una placa programable Raspberry PI Pico y módulo ESP8266, en la finca Moralfa, departamento de Quetzaltenango, municipio de Coatepeque”, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.
- [54] R. J. W. Pilcher, “Leak detection practices and techniques: a practical approach”, pp. 44-45, 2003.
- [55] S. P. de Agua Potable, “Maestría en Administración de Empresas de Base Tecnológica”.
- [56] L. F. Jiménez Ormeño, “Factores que influyen en la calidad de precisión en la medida de energía en contadores electromecánicos”, 2014.
- [57] C. Jaramillo Martínez, M. E. Pacheco Valencia, and R. D. Velasco Morales, “Plan para la reducción del Índice de Agua No Contabilizada-IANC-apoyado en un modelo de gobierno de Ti (tecnologías de la información) para la empresa Aguas de Barrancabermeja SAESP”, Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible Virtual, 2021.
- [58] A. C. Solé, *Instrumentos industriales: Su ajuste y calibración*. Marcombo, 2009.
- [59] L. A. Jiménez Rodríguez, “Metrología industrial, sistemas de medición y aseguramiento metrológico: conceptos fundamentales”, 2007.
- [60] L. A. Diaz Manrique, “Agua no facturada y la gestión comercial en Sedachimbote SA, Áncash, 2022”, 2022.
- [61] D. A. Martínez Blandón, “Las conexiones ilegales del sistema de acueducto y sus efectos sobre las laderas de los sectores del Aguacate y Barrio Andes de la Ciudad de Manizales”, 2017.

- [62] J. S. Mendivelso Alarcón and L. C. Corredor Herrera, "Apoyo técnico en el programa IANC (índice de agua no contabilizada), en el municipio de La Mesa Cundinamarca", 2021.
- [63] H. Arruda, E. R. Silva, M. Lessa, D. Proença Jr, and R. J. J. o. t. M. L. A. J. Bartholo, "VOSviewer and bibliometrix", vol. 110, no. 3, p. 392, 2022.
- [64] M. Furness, R. Bello-Mendoza, J. Dassonville, and R. J. J. o. C. P. Chamy-Maggi, "Building the 'bio-factory': A bibliometric analysis of circular economies and life cycle sustainability assessment in wastewater treatment", vol. 323, p. 129127, 2021.
- [65] I. J. E. Passas, "Bibliometric analysis: the main steps", vol. 4, no. 2, 2024.
- [66] H. J. R. C. d. O. y. G. Gaitán, "Bitácora", vol. 55, no. 1, pp. 7-8, 2004.
- [67] M. A. Guarnizo Paz and A. T. Sánchez Ponce, "Reducción de pérdidas de agua potable mediante el método de sectorización en el distrito de Salaverry, departamento la libertad", 2019.
- [68] M. G. Cabrera Puga, "Análisis a largo plazo del nivel económico de pérdidas reales y aparentes en redes de distribución de agua. Desarrollo de una herramienta de cálculo y ejemplo de aplicación", 2019.
- [69] M. Denardi, J. Bianchotti, V. Williner, and V. J. A. Verrochi, "Sectorización y gestión de presión en redes de agua: evaluación y comparación de estrategias para reducir fugas de fondo", no. AJEA 38, 2024.
- [70] A. M. Usnayo Catunta, "Estudio del impacto económico generado por la gestión de la presión de servicio en la red de abastecimiento de agua potable, Sector Nueva Asunción de la Ciudad de El Alto".
- [71] J. A. Chávez Sánchez, "Estimación del agua potable no facturada en el sistema de distribución de las urbanizaciones Cajamarca y Ramón Castilla, Cajamarca 2021", 2022.
- [72] J. Godinez-Benavides, "Disponibilidad del recurso hídrico en la subcuenca del río Corredores para establecer un mecanismo de control en el aprovechamiento del caudal disponible, mediante un balance hídrico superficial e integrado", 2018.
- [73] J. J. Déniz Mayor and M. C. Verona Martel, "Deconstruyendo el resultado contable convencional para diseñar un resultado contable ambiental", *Contaduría y Administración*, vol. 60, no. 3, pp. 535-555, 2015/07/01/ 2015.
- [74] D. M. Hughes, *Assessing the future: Water utility infrastructure management*. American Water Works Association, 2002.
- [75] X. V. Delgado Galván, "Aplicación del método de jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento", Universitat Politècnica de València, 2011.
- [76] Y. Dong, Y. Xu, H. Li, and M. J. E. J. o. O. R. Dai, "A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP", vol. 186, no. 1, pp. 229-242, 2008.
- [77] E. Urmeneta and J. M. J. E. d. e. a. Jiménez, "Problemas de gran tamaño en el proceso analítico jerárquico", vol. 8, pp. 25-40, 1997.
- [78] L. K. Aranea Cercado and L. E. Segovia Anchundia, "Modelización física y analítica de identificadores hidráulicos y económicos para evaluar pérdidas de agua en redes para agua potable", Guayaquil: ULVR, 2020., 2020.
- [79] A. E. Ilaya Ayza, "Propuesta para la transición de un sistema con suministro de agua intermitente a suministro continuo", Universitat Politècnica de València, 2016.
- [80] B. R. Cahuana Enriquez, "Análisis y determinación de agua no contabilizada en pérdidas operativas y comerciales, en el sistema de abastecimiento de agua potable zona III EPS Sedacusco SA", 2019.
- [81] D. V. M. R. Muñoz, "CERTIFICA", Universidad Técnica Particular de Loja, 2009.
- [82] J. N. Pérez and X. V. D. J. J. E. L. C. Galván, "Localización de fugas en redes de agua potable", vol. 4, no. 1, pp. 2869-2873, 2018.
- [83] N. R. Moreno, X. V. D. Galván, J. d. J. M. Rodríguez, and G. C. J. I. Aguilera, "Localización de fugas en redes de distribución de agua mediante optimización con Harmony Search", vol. 47, no. 4, pp. 108-114, 2022.
- [84] I. Campaña Soler, "Estudio de validación, corrección y almacenamiento de datos de los caudalímetros de la red de distribución de agua de Terrassa", Universitat Politècnica de Catalunya, 2022.
- [85] A. V. D. Christian and B. M. H. Manuel, "Titulación de Ingeniero Civil".
- [86] M. J. Mena Céspedes, "Diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia El Rosario del cantón San Pedro de Pelileo, provincia de Tungurahua", Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ..., 2016.
- [87] C. D. Alonso Guzmán, "Programación óptima de la renovación de tuberías en un sistema de abastecimiento urbano: Análisis de los factores de influencia", 2012.
- [88] M. Á. Pardo Picazo, "Influencia de los costes del Agua y la Energía en la renovación de tuberías", Universitat Politècnica de València, 2010.
- [89] O. A. Ruelas Coaguila, "Propuesta de un Plan de Gestión de Renovación de Redes de Agua Potable en el Distrito de Cerro Colorado-Arequipa", 2017.
- [90] D. A. Salazar-Molano, "Matriz multicriterio para la toma de decisiones en la instalación de tuberías generales de alcantarillado mediante los métodos sin zanja ya zanja abierta", 2022.
- [91] B. J. C. Ferrer-Jiménez and Futuro, "Mantenimiento preventivo en reductor de velocidad de grúas indias de extracción de mineral", vol. 5, no. 1, pp. 68-89, 2015.
- [92] R. R. Rivera, *Mantenimiento correctivo y reparación de redes de distribución de agua y saneamiento. ENAT0108*. IC Editorial, 2017.
- [93] P. D. Velásquez Vela, "Prototipo de un sistema de

- telemetría para la medición de agua potable residencial utilizando la tecnología LoRa y el protocolo LoRaWAN”, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2023.
- [94] A. S. Benítez Camacho, “Programa para la reducción de pérdidas del suministro de agua potable de la empresa de servicios públicos de Paipa SAS Red Vital ESP”, 2022.
- [95] V. Bourguett Ortiz and L. Ochoa Alejo, “Reducción integral de pérdidas de agua potable,” ed: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tecnología Hidráulica, 2001.
- [96] L. V. Parra Pérez, “Formulación de estrategias para la reducción de pérdidas comerciales de agua en los sistemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Bogotá”, 2019.
- [97] J. L. Apolo Marchán, “Proyecto de evaluación y reducción de pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua”, 2004.
- [98] D. M. Silva, *Gestión participativa en los servicios de saneamiento. la sociedad de agua potable de San Pablo Atlazalpan, Chalco y la asociación pacto ambiental en la gestión de los residuos reciclables en Diadema, Sao Paulo*. El Colegio de México, 2007.
- [99] P. J. S. W. H. P. B. Stålgren, “Corruption in the water sector: Causes, consequences and potential reform”, vol. 4, 2006.
- [100] M. M. González García, “Política pública de abastecimiento de agua potable y condiciones de infraestructura hidráulica en la década de los 90, en Naucalpan”, MM González García, 1998.
- [101] F. J. Salguero Barceló, “La sectorización basada en criterios energéticos como herramienta para la gestión hídrica de redes de distribución de agua”, Universitat Politècnica de València, 2021.
- [102] V. A. Holguin Espinoza, “Análisis del uso de la sectorización para el control de pérdidas del suministro de agua potable en el distrito de Trujillo, 2021”, 2022.
- [103] J. d. J. M. Rodríguez, C. A. C. Coranguez, J. O. Medel, X. V. D. Galván, and P. A. L. Jiménez, “Gestión de la presión para mejora de la eficiencia física en una red experimental de distribución de agua (C. Agua y ciudad, D. Estructuras hidráulicas)”.
- [104] O. A. Abril Orellana, “Sectorización óptima de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Santa Marta, Colombia utilizando los algoritmos METIS”, 2018.
- [105] E. Campbell Gonzalez, “Propuesta para una metodología de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable”, 2014.
- [106] L. E. Atoche Ganoza and V. G. Palomino Blas, “Diseño de la red de agua potable y alcantarillado de la HUP Unión del Sur, Nuevo Chimbote, Ancash-2020”, 2021.
- [107] S. M. Limachi Mozo, “Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable con modelamiento de Watercad y EPANET, Tambillo, Puno, 2021”, 2021.
- [108] P. M. Ticona Talaverano, “Diseño hidráulico del sistema sanitario para asentamientos humanos en el distrito de Comas-Lima, usando los programas WaterCAD y SewerCAD. 2020”, 2022.
- [109] L. D. Vargas Vásquez, “Diseño de redes de agua potable y alcantarillado de la comunidad campesina La Ensenada de Collanac, distrito de Pachacamac, mediante el uso de los programas Watercad y Sewercad”, 2020.
- [110] R. Cobacho, R. Ramírez, D. Torres, and P. J. I. d. a. López-Jiménez, “Implementación de un modelo de predicción de fallos orientado a la gestión y estrategias de mantenimiento en redes de distribución de agua potable”, vol. 23, no. 4, pp. 247-258, 2019.
- [111] S. Fabián and G. Sergio, “Mantenimiento de redes de servicio de agua potable y alcantarillado de Lima-Calao”, 2000.
- [112] A. E. Ilaya-Ayza, W. Sanjinés, C. Martins Alves, E. Campbell, and J. Izquierdo Sebastián, “Estrategia para el mantenimiento preventivo de redes de agua potable en países en vías de desarrollo basada en la capacidad de la red,” in *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería (CMN 2017)*. Actas, 2017, pp. 1691-1696: International Center for Numerical Methods in Engineering (CIM-NE).
- [113] K. L. Liñan Ruiz, “Análisis comparativo en la utilización de la tubería de PVC y tubería de polietileno en el mantenimiento de redes secundarias de agua potable del Asentamiento Humano Canto Chico-SJL”, 2017.
- [114] L. Frago Sandoval, J. Roberto Ruiz, Z. Flores, and A. B. J. I. h. y. a. Juárez León, “Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México”, vol. 34, no. 1, pp. 112-126, 2013.
- [115] Y. Mérida-Martínez, C. A. J. E. Becerril-Tinoco, and comunes, “Crecimiento urbano y gestión del servicio de agua potable en la localidad de Copoya, de Tuxtla Gutiérrez, México”, vol. 2, no. 19, pp. 101-118, 2024.
- [116] Á. F. Morote Seguido, “La planificación y gestión del suministro de agua potable en los municipios urbano-turísticos de Alicante”, 2015.
- [117] J. Rivera-Márquez, M. de Lourdes Hernández-Rodríguez, I. Ocampo-Fletes, A. J. A. y. T. W. María-Ramírez, and Landscape, “Factores condicionantes de la buena gestión del servicio de agua potable en doce comunidades del altiplano mexicano”, no. 9, pp. 105-116, 2017.
- [118] L. Carrión Sánchez, “Aplicación del método de las jerarquías analíticas para la toma de decisiones participativa en la gestión de fugas en redes de abastecimiento de agua”, 2014.
- [119] X. Delgado-Galván, J. Benítez, J. Izquierdo, and R. Pérez-García, “El método de jerarquías analíticas para la inclusión de externalidades en la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento”.
- [120] X. Delgado-Galván, M. Herrera, J. Izquierdo, and R. J. U. P. d. V. E. Pérez-García, “Aplicaciones de la metodología AHP para la toma de decisiones en la gestión de la red de abastecimiento”, 2011.
- [121] X. V. Delgado-Galván, J. d. J. M. Rodríguez, J. Benítez,

- R. P. García, and J. J. A. U. Izquierdo, "Toma de decisiones en el manejo de fugas en redes de agua potable", vol. 26, pp. 35-43, 2016.
- [122] B. L. A. Zeledón and H. L. C. J. R. T. Palma, "Análisis de favorabilidad hidrogeológica mediante el Proceso de Jerarquía Analítica y SIG en el Municipio de San Juan de Limay, Estelí, Nicaragua", vol. 3, no. 1, pp. 1-7, 2023.
- [123] L. H. O. Alejo, "Planeación de la reducción de fugas en redes con servicio discontinuo y bajas presiones".
- [124] V. Bourguett Ortiz and L. Ochoa Alejo, "Reducción integral de pérdidas en sistemas de distribución de agua potable", 2003.

## ANEXOS

**Tabla 6.**

Indicadores de métodos de prevención y análisis de fugas en redes de distribución para pérdidas reales

Indicador	Observación	Método de Cálculo	Bibliografía
Indicador operacional de rendimiento	Longitud de conexiones y cantidad de usuarios son evaluados por la densidad del servicio.	Densidad de conexiones por servicio por km.	[16, 33]
Índice lineal de pérdidas	Volumen anual perdido y la longitud de la red, expresado en m <sup>3</sup> /km/h. y calculado mediante pérdidas inevitables	$U_{ARL} = (18L_m + 0.8N_c + 25L_p)^P$ <p>Donde:  <i>U<sub>ARL</sub></i>: Pérdidas reales inevitables (l/conexión/día)  <i>L<sub>m</sub></i>: Longitud de la red principal (km)  <i>N<sub>p</sub></i>: Número de conexiones  <i>L<sub>p</sub></i>: Longitud total de tuberías privadas hasta el medidor (km)  <i>P</i>: Presión media de la red (m)</p>	[102]

**Tabla 7.**

Relación del catastro de usuarios con los procesos básicos de gestión comercial

Catastro	Medición	Facturación	Cobranza	Comercialización
Registro de usuarios	Toma de lecturas	Procesamiento de lecturas	Recaudación	Atención de solicitudes de servicios y reclamos
Inspecciones domiciliarias	Crítica de lecturas	Procesamiento de facturación	Gestión de cobranza	Atención al mercado
	Instalación y retiro de medidores	Emisión de recibos Distribución de recibos	Cortes y reaperturas Control de servicios cerrados	

Nota. Adaptado de José de Jesús Mora Rodríguez, Christian Alberto Caballero Coranguez, y Josefina Ortiz Medel1, "Gestión de la presión para mejorar la eficiencia física en una red experimental de distribución de agua" [103].

**Tabla 8.** Evaluación de los métodos considerando indicadores de eficiencia en la reducción de pérdidas, en base a casos de estudio

Método	Número de casos de estudio encontrados	Sectorización	Estudios con indicador de pérdidas aparentes	Estudios con Indicador de Pérdidas reales	Análisis	Observaciones respecto al costo detectado	Referencias
Sectorización	13	Cuenta la red primaria y secundaria para el control de caudales	6	1	Se divide (sectoriza) la red de distribución de agua potable de manera geográfica, es un método que no se usa sólo, se combina con cualquier otro.	No tiene referencias relativas al costo por sí solo.	[13, 34, 66-69, 104, 105]
Volumen total	6	Uso de los programas WaterCAD y SewerCAD EPANET	2		Contabiliza el volumen enviado y el volumen facturado con dificultad. Los valores no son reales, solo se tiene estadísticas probables. Se debe combinar con otros métodos. Sólo puede trabajar con indicadores de pérdidas aparentes.	Para asegurar reducción en pérdidas económicas se combina con el método de Reducción de errores de medición.	[70-72, 106-109]
Método de intervención por mantenimiento	23	Uso activo de GIS para control	1	12	Es un método emergente, no de planificación anual que depende de fugas detectadas.	Tiene un costo alto, y en ocasiones se levanta tubería que no requiere ser intervenida.	[2, 73, 110-113]
Gestión de presión	63	Uso de los programas WaterCAD y SewerCAD EPANET, uso de sistemas de información geográfica, y paquetes matemáticos y estadísticos	23	26	Hay dos situaciones en las que la presión puede superar los niveles recomendados. La primera es debido a condiciones topográficas: en redes urbanas con grandes desniveles entre los puntos de consumo, la presión en las zonas más bajas tiende a ser excesiva. En estos casos, es necesario instalar una válvula reductora de presión en las áreas más bajas de la red, con el fin de disipar el exceso de energía y ajustar la presión a un rango adecuado. Es el método más usado, y el que tiene más aceptación entre los autores.	Costos de reparación reducidos en las troncales y fugas.	[67, 70, 74, 114-117]

Método	Número de casos de estudio encontrados	Sectorización	Estudios con indicador de pérdidas aparentes	Estudios con Indicador de Pérdidas reales	Análisis	Observaciones respecto al costo detectado	Referencias
Métodos de jerarquías analíticas	55	Uso de programas varios, y armonización con programas económicos	13	22	Los vectores de priorización y matrices conceptuales son posibles al combinar el método con la gestión de infraestructura y el plan de mantenimiento. Se puede establecer una comparación con el Método de intervención por mantenimiento, mismo que es reparaciones emergentes para ajustar la planificación con la realidad.	Los costos se reducen al ejecutar los planes de mantenimiento producto del análisis multicriterio.	[4, 75-77, 117-122]
Método del gradiente hidráulico	8		2	2	Determinando las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica, se encuentran casos que sólo toman en cuenta las líneas de presión.	Se combina con el método de control de presiones y los beneficios económicos son los mismos.	[2, 3, 21, 78, 79, 121, 123]
Método de control activo de fugas	48	Gestión activa con varios programas y sistemas de información geográfica	16	12	La localización de fugas tiene un alcance limitado, por lo que el operador debe cooperar con precisión la ubicación de las tuberías. Depende de la relación con usuario en muchos casos y su reporte. Requiere el fortalecimiento de las relaciones.	Se reducen costos al reducir pérdidas, mejorado en la eficiencia de los servicios de distribución y reparando oportunamente el daño.	[21, 33, 80-83, 121, 123]
Balance hídrico nocturno	6	Sólo se verifica que GIS es usado para ubicar caudalímetros	3	1	La colocación de caudalímetros se complica por robos y malas lecturas.	Se reducen costos sólo en sectores donde se puede colocar el equipo.	[15, 84-86]

Método	Número de casos de estudio encontrados	Sectorización	Estudios con indicador de pérdidas aparentes	Estudios con Indicador de Pérdidas reales	Análisis	Observaciones respecto al costo detectado	Referencias
Gestión de infraestructura	44	Gestión activa con varios programas y sistemas de información geográfica	7	7	La gestión de la infraestructura se apoya en la modelización de la frecuencia de roturas, el análisis del envejecimiento de la red y la toma de decisiones sobre la sustitución o renovación de la infraestructura, lo que resulta fundamental para reducir las fugas. Incluso en sistemas de red nuevos, es importante reconocer que, con el tiempo, las infraestructuras sufrirán deterioro, lo que puede provocar pérdidas que varían en magnitud según la gestión implementada.	Los costos se reducen al establecer un programa de revisión de infraestructura que responda a la realidad de cada caso.	[87-90, 120-122]
Velocidad y calidad de las reparaciones	33	Gestión activa con varios programas y sistemas de información geográfica	12	23	Los indicadores de pérdida reales se vuelven fundamentales para medir el tiempo desde que la fuga se conoce hasta su reparación completa.	La detección y reparación temprana de fugas pueden generar ahorros significativos para las empresas de suministro de agua. Ignorar una fuga puede ocasionar daños considerables en la propiedad, y el costo de repararlos podría ser mucho mayor que el de abordar la fuga a tiempo.	[1, 91-93]
Reducción de errores de medición	21	Gestión activa con varios programas y sistemas de información geográfica	8	1	Se usa datos de los caudales de consumo típicos de cada usuario, y se controla los errores de los medidores	Los costos pueden ser elevados en la tecnología de medición del medidor y de la clase metrológica, así como el personal que debe controlar la calibración de medidores.	[57, 94-96, 124]

Método	Número de casos de estudio encontrados	Sectorización	Estudios con indicador de pérdidas aparentes	Estudios con Indicador de Pérdidas reales	Análisis	Observaciones respecto al costo detectado	Referencias
Combate a los fraudes y conexiones clandestinas	46	Gestión activa con varios programas y sistemas de información geográfica	22	3	Se reduce los fraudes en general con la ampliación de la red de agua potable hacia las comunidades más vulnerables, alejadas y marginales. Se inicia y mantiene el proceso de inspección de conexiones clandestinas, con multas severas	Costos asociados se reducen cuando se implementan tarifas sociales en las cuales se reduce el costo del agua potable para familias de bajos ingresos y la implementación de sistemas de detección acústica o satelital	[57, 97-99]