



**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SERVICIO DE DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA EN SERVICIOS
SANITARIOS RURALES DE CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO COMERCIAL

Profesora Guía: Macarena Gatica Silva

Estudiante: Marcos Oporto Arancibia

**VALPARAÍSO
2025**

RESUMEN

Detección de Fugas en Servicios Sanitarios Rurales de Chile: Un Estudio de prefactibilidad.

Este estudio se centra en la evaluación de la prefactibilidad de implementar un sistema de detección de fugas de agua en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de Chile. Ante el creciente desafío de la escasez hídrica y la necesidad de optimizar el uso del agua, la detección temprana de fugas se presenta como una solución estratégica para reducir pérdidas, mejorar la eficiencia y garantizar la sostenibilidad de estos sistemas.

A través de una encuesta a una muestra representativa de SSR, se busca identificar las necesidades existentes, evaluar la disposición a adoptar nuevas tecnologías y determinar la viabilidad económica de este tipo de proyectos. Los resultados de esta investigación servirán como base para diseñar estrategias de intervención más precisas y efectivas, contribuyendo así a mejorar la gestión del agua en zonas rurales.

GLOSARIO

SSR = Servicio Sanitario Rural

IA = Inteligencia Artificial

APR = Agua Potable Rural

AP = Agua Potable

ANF = Agua No Facturada

IWA = International Water Association

CAF = Control Activo de Fugas

UAV= Unmanned Aerial Vehicle (Vehiculos aéreos no tripulados)

Índice de contenidos

<i>CAPÍTULO I: Introducción</i>	8
1 <i>Introducción</i>	8
2 <i>Origen y propósito del estudio</i>	9
3 <i>Objetivo general y objetivos específicos</i>	10
3.1 <i>Objetivos Generales</i>	10
3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	10
3.3 <i>Alcance del Estudio</i>	11
<i>CAPÍTULO II: Estado del arte</i>	13
4 <i>Estado del arte</i>	13
4.1 <i>Conceptos Claves</i>	13
4.1.1 <i>¿Qué es un Servicio Sanitario Rural?</i>	13
4.1.2 <i>¿Cómo nacen los programas de Aguas Potables Rurales?</i>	14
4.1.3 <i>¿Cuál es la labor de la Dirección de Obras Hidráulicas frente a los SSR?</i>	14
4.1.4 <i>Ley N° 20.998</i>	15
4.1.5 <i>¿Qué rol cumple la Superintendencia de Servicios Sanitarios respecto a los SSR?</i> .15	
4.1.6 <i>¿Cuáles son los principales problemas en los SSR?</i>	16
4.1.7 <i>¿Cómo se genera la tarifa de cobro mensual por consumo de agua en los SSR?</i>	18
4.1.8 <i>Pérdidas en redes de distribución de agua potable</i>	19
4.1.9 <i>Tendencias actuales</i>	20
4.1.10 <i>Principales instrumentos para la detección de fugas de agua</i>	21
4.1.11 <i>Desafíos y oportunidades</i>	22
4.1.12 <i>Futuras líneas de investigación</i>	23
4.1.13 <i>Herramientas para el análisis de datos</i>	23
4.2 <i>Antecedentes</i>	24
4.3 <i>Marco Teórico</i>	25
4.3.1 <i>Estudio de prefactibilidad</i>	25
4.3.2 <i>La importancia de las fugas de agua</i>	26
<i>CAPÍTULO III: Metodología</i>	30
5 <i>Metodología</i>	30
5.1 <i>Tipo de Investigación</i>	30
5.2 <i>Donde Aplicar la Investigación</i>	30

5.3	Muestra.....	30
5.4	Datos por Recopilar.....	30
5.5	Análisis de Datos.....	31
5.5.1	¿Cómo hacer el análisis de datos?.....	31
5.5.2	¿Qué hacer con los datos?.....	31
<i>CAPÍTULO IV: Desarrollo y resultados</i>		32
6	<i>Desarrollo y resultados</i>	32
6.1	Tipo de entrevista	32
6.2	Resultados de la entrevista	33
6.3	Análisis de datos obtenidos	34
6.3.1	Consideraciones para el ejercicio de costos.....	35
6.3.2	Ejercicio de costos.....	37
6.3.3	Opciones de financiamiento	38
7	<i>Conclusiones</i>	39
8	<i>Bibliografía</i>	40
9	<i>Anexos</i>	41

Índice de diagramas

Diagrama 1 Flujo en redes de distribución de agua potable.	20
---	----

Índice de gráficas

Gráfica 1 Roturas en tubería general por distintas causas.	27
Gráfica 2 Porcentaje aproximado de motivos de rotura y fugas en tuberías y acometidas.	28

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Ejercicio de costos simple en CLP (peso Chileno) para el primer año.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2 Cantidad de servicios mensuales y anuales</i>	<i>37</i>

Índice de anexos

<u>A.1 Formato de la entrevista</u>	41
<u>A.2 Resultados de la entrevista</u>	43

“A Conchita y mi familia siempre”

CAPÍTULO I: Introducción

1 Introducción

La escasez hídrica y la antigüedad de las redes de distribución de agua potable en los servicios sanitarios rurales (SSR) de las distintas regiones de Chile generan pérdidas significativas de agua por fugas, lo que impacta negativamente en la sostenibilidad del suministro y en la calidad de vida de las comunidades.

Este estudio de prefactibilidad tiene como objetivo evaluar la viabilidad de implementar un servicio de detección de fugas basado en sensores ofrecidos en el mercado a SSR de Chile. Se analizarán aspectos técnicos como los tipos de tecnologías para la detección, la capacidad de detección de diferentes tipos de fugas y la integración con los sistemas de gestión existentes. Además, se realizará una evaluación económica para determinar los costos de inversión y operación, así como los beneficios económicos asociados a la reducción de pérdidas de agua.

Finalmente, se evaluará la prefactibilidad de diseñar un servicio que permita la detección de fugas de agua en SSR, considerando aspectos como la aceptación por parte de la comunidad y la contribución a la sostenibilidad del recurso hídrico. Los resultados de este estudio permitirán determinar la factibilidad de escalar esta solución a los distintos SSR de Chile y de desarrollar un plan de implementación a largo plazo que sea sostenible y con la posibilidad de abarcar la industria y la minería.

2 Origen y propósito del estudio

En un contexto de creciente escasez hídrica y conciencia ambiental, la gestión eficiente del agua se ha vuelto una prioridad global. En Chile, especialmente en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), las fugas de agua representan una pérdida significativa de este recurso vital. Este estudio de prefactibilidad propone la implementación de un servicio innovador que, mediante el uso de tecnologías avanzadas, permita detectar y reparar de manera proactiva las fugas en los sistemas de agua potable rural, contribuyendo así a una gestión más sostenible y eficiente del recurso hídrico en estas comunidades.

El propósito principal de este estudio de prefactibilidad es evaluar la viabilidad y el potencial de un nuevo servicio de detección de fugas de agua en los SSR chilenos, con el fin de mejorar la calidad y continuidad del suministro de agua potable en estas zonas.

Para lograr este propósito, se llevará a cabo un análisis integral que abarcará:

- Investigación de mercado en el ámbito rural: Se identificará el tamaño del mercado de los SSR, se segmentarán los potenciales clientes (comités de agua potable, juntas de vecinos, etc.) y se evaluará su disposición a pagar por un servicio de este tipo. Además, se analizará la competencia existente y se identificarán las oportunidades de diferenciación.
- Análisis tecnológico adaptado a la realidad rural: Se evaluarán las diversas tecnologías disponibles para la detección de fugas en sistemas de distribución rural, considerando su precisión, costo, facilidad de implementación en zonas remotas y adaptabilidad a las condiciones específicas de los SSR. Se seleccionarán las tecnologías más prometedoras para desarrollar una solución integral y eficiente.
- Evaluación del impacto social y ambiental en zonas rurales: Se analizará cómo este servicio puede contribuir a reducir las pérdidas de agua en los SSR, mejorar la calidad del agua potable suministrada a las comunidades rurales, y minimizar los daños ambientales. Además, se identificarán los beneficios adicionales para los usuarios, como la reducción de costos de operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable

3 Objetivo general y objetivos específicos

3.1 Objetivos Generales

- **Evaluar la viabilidad técnica y económica** de implementar un servicio de detección de fugas de agua en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de Chile.

3.2 Objetivos Específicos

- **Investigación de mercado:**
 - Identificar el tamaño y las características del mercado de los SSR en Chile.
 - Segmentar a los potenciales clientes (comités de agua potable, juntas de vecinos, etc.) y evaluar su disposición a pagar por el servicio.
 - Analizar la competencia existente y las oportunidades de diferenciación.
- **Análisis tecnológico:**
 - Evaluar las diferentes tecnologías disponibles para la detección de fugas en sistemas de distribución rural.
 - Seleccionar las tecnologías más adecuadas considerando factores como precisión, costo, facilidad de implementación y adaptabilidad a las condiciones rurales.
- **Diseño de un modelo de negocio:**
 - En función de los resultados evaluar si desarrollar un modelo de negocio sostenible para la prestación del servicio en el contexto rural y definir la estructura de costos, los canales de distribución, la estrategia de precios y la propuesta de valor.
- **Evaluación del impacto:**
 - Cuantificar la reducción de pérdidas de agua que se puede lograr con la implementación del servicio.
 - Identificar los beneficios adicionales para los usuarios, como la reducción de costos operativos.
 - Analizar el impacto ambiental positivo del servicio.

3.3 Alcance del Estudio

El presente estudio se centrará en la evaluación de la viabilidad y potencial de implementar un servicio de detección de fugas de agua en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de Chile. El alcance del estudio se delimitará de la siguiente manera:

1. Alcance Geográfico:

- El estudio se centrará exclusivamente en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de Chile
- Se considerarán las diferentes zonas rurales del país que cuenten con sistemas de agua potable administrados por comités o juntas de agua

2. Alcance Técnico:

- Análisis de tecnologías de detección de fugas aplicables específicamente a sistemas rurales
- Evaluación de soluciones tecnológicas que sean:
 - Adaptables a infraestructura rural existente
 - Viables en zonas remotas
 - Económicamente accesibles para SSR
- No incluirá la implementación física de las soluciones, solo su evaluación y en base a los resultados el diseño

3. Alcance de Mercado:

- Análisis centrado en los siguientes actores:
 - Comités de agua potable rural
 - Juntas de vecinos
 - Cooperativas de agua
 - Otros organismos administradores de SSR
- Estudio de la demanda potencial y disposición a pagar
- Análisis de competidores directos e indirectos en el sector rural

4. Alcance Económico:

- Análisis de costos y precios
- Evaluación de viabilidad financiera
- Factibilidad de desarrollo del modelo de negocio en base a los resultados
- No incluirá la implementación real del servicio

5. Alcance Temporal:

- En función del análisis de los datos se evaluará la factibilidad del diseño de un modelo de negocio
- El análisis se basará en datos actuales del mercado y tendencias del sector

1. Alcance del Impacto:

- Evaluación de beneficios sociales y ambientales:
 - Reducción de pérdidas de agua
 - Mejora en la calidad del servicio
 - Impacto ambiental positivo
- Análisis de beneficios económicos para los SSR
- No incluirá la medición real de impactos, solo estimaciones basadas en datos disponibles

2. Limitaciones del Alcance:

- No incluirá la implementación física del servicio
- No contemplará la certificación de tecnologías
- No abarcará sistemas sanitarios urbanos
- No incluirá el desarrollo de nuevas tecnologías, solo la evaluación de las existentes
- No considerará la capacitación del personal para la implementación

CAPÍTULO II: Estado del arte

4 Estado del arte

4.1 Conceptos Claves

4.1.1 ¿Qué es un Servicio Sanitario Rural?

En Chile, un Servicio Sanitario Rural (SSR) es una entidad encargada de prestar los servicios de producción y distribución de agua potable, así como la recolección y disposición de aguas servidas en las zonas rurales del país. Estos servicios son fundamentales para garantizar el acceso al agua potable y el saneamiento básico en comunidades alejadas de los centros urbanos.

La provisión de agua potable en zonas rurales de Chile ha sido una preocupación del Estado desde hace décadas. Sin embargo, fue con la **Ley N° 20.998, que regula los Servicios Sanitarios Rurales**, promulgada en el año 2020, que se estableció un marco legal específico para estos servicios.

A junio de 2023, Chile¹ tiene 2.270 SSR inscritas, de las cuales 205 y 222 corresponden respectivamente a las regiones V y VI de Chile según la información más actualizada de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

Anteriormente, estos servicios eran conocidos como Agua Potable Rural (APR). El cambio de denominación a Servicio Sanitario Rural refleja una ampliación de los servicios ofrecidos, ya que no solo se limita a la provisión de agua potable, sino que también abarca la gestión de aguas servidas.

Principales características de un Servicio Sanitario Rural:

Gestión comunitaria: En general, los SSR son gestionados por comités o cooperativas de usuarios, lo que promueve la participación ciudadana y la autogestión.

Financiamiento: Los SSR pueden recibir financiamiento estatal, a través de fondos concursables, así como aportes de los usuarios.

Fiscalización: La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) es el organismo encargado de fiscalizar el cumplimiento de la normativa y de otorgar las licencias sanitarias.

Servicios: Además de la producción y distribución de agua potable, los SSR pueden prestar servicios complementarios, como la construcción y mantención de sistemas de riego y la gestión de residuos sólidos.

¹ Catastro de SSR https://doh.mop.gob.cl/SSR/docs/Catastro2020_BD_SSR_OFICIAL_2023_06.xls

4.1.2 ¿Cómo nacen los programas de Aguas Potables Rurales?

Los programas de Agua Potable Rural (APR) en Chile tienen sus inicios en el año **1964**. Fue en ese año que se adoptó el **Plan Básico de Saneamiento Rural**, marcando el comienzo de una iniciativa a nivel nacional para llevar el acceso al agua potable a las comunidades rurales. Este plan surgió como respuesta a la necesidad de mejorar las condiciones de vida de la población rural y se basó en compromisos internacionales como la Resolución de la XII Asamblea Mundial de la Salud, que estableció como prioridad el abastecimiento público de agua.

4.1.3 ¿Cuál es la labor de la Dirección de Obras Hidráulicas frente a los SSR?

La **Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)** juega un rol fundamental en la gestión y supervisión de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) en Chile. Su labor se centra en garantizar que estos servicios cumplan con los estándares de calidad y seguridad establecidos, y en promover el acceso equitativo al agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales.

Principales funciones de la DOH respecto a los SSR:

- **Normativa y regulación:** La DOH es el organismo encargado de establecer las normas técnicas y sanitarias que deben cumplir los SSR. Estas normas regulan aspectos como la calidad del agua, la construcción de las obras, la operación y mantención de los sistemas, entre otros.
- **Fiscalización:** Realiza inspecciones periódicas a los SSR para verificar el cumplimiento de la normativa vigente. En caso de detectar incumplimientos, la DOH puede aplicar sanciones y exigir medidas correctivas.
- **Otorgamiento de licencias sanitarias:** Emite las licencias sanitarias que habilitan a los SSR para operar y prestar servicios a la comunidad.
- **Financiamiento:** A través de diversos programas y fondos concursables, la DOH proporciona financiamiento para la construcción, ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en las zonas rurales.
- **Asesoría técnica:** Ofrece asistencia técnica a los comités de agua potable y a las comunidades rurales en la gestión de sus servicios, incluyendo capacitación en temas como operación y mantención de sistemas, gestión financiera y participación ciudadana.
- **Promoción de la gestión comunitaria:** Fomenta la participación activa de las comunidades en la gestión de sus servicios de agua potable, a través de la formación de comités de agua potable y la transferencia de conocimientos.

- **Articulación con otros actores:** Colabora con otras instituciones del Estado, como los gobiernos regionales y municipales, para coordinar acciones en materia de saneamiento rural.

4.1.4 Ley N° 20.998

La Ley 20.998, promulgada en 2016 y publicada en 2017, regula los servicios sanitarios rurales en Chile:

- Establece un marco jurídico para la prestación de servicios de agua potable y saneamiento en zonas rurales
- Reconoce el acceso a estos servicios como un derecho esencial
- Define los servicios sanitarios rurales como primarios o secundarios
- Establece que los servicios sanitarios rurales pueden ser operados por comités, cooperativas o personas naturales o jurídicas autorizadas por el Ministerio de Obras Públicas
- Crea la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales (SSR) para asesorar la administración y operación de los servicios sanitarios rurales
- Crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para fiscalizar y fijar tarifas

Entre los aspectos relevantes de la ley se encuentran:

- Las tarifas deben cubrir al menos los costos de operación
- Los administradores deben mantener un fondo de reserva
- Es obligatorio presentar y mantener actualizado un plan de inversiones
- Los dirigentes de comités y cooperativas pueden ser censurados por transgredir sus deberes legales o los derechos de los miembros
- Los operadores de servicios sanitarios rurales deben presentar informes trimestrales y anuales

4.1.5 ¿Qué rol cumple la Superintendencia de Servicios Sanitarios respecto a los SSR?

La **Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)** desempeña un rol crucial en la regulación y fiscalización de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) en Chile. Su misión principal es garantizar que estos servicios cumplan con los estándares de calidad y seguridad

establecidos, así como velar por el correcto funcionamiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en las zonas rurales.

Principales funciones de la SISS respecto a los SSR:

- **Fiscalización:** La SISS es responsable de fiscalizar el cumplimiento de la normativa vigente por parte de los SSR. Realiza inspecciones periódicas a las instalaciones, verifica la calidad del agua y evalúa la eficiencia de los sistemas.
- **Regulación tarifaria:** Establece los rangos tarifarios máximos que pueden cobrar los SSR por sus servicios, asegurando que sean justos y razonables.
- **Atención de reclamos:** Recibe y resuelve los reclamos de los usuarios de los SSR, relacionados con la calidad del servicio, cobros indebidos, interrupciones del suministro, entre otros.
- **Promoción de la calidad:** Impulsa la mejora continua de la calidad de los servicios prestados por los SSR, mediante la difusión de buenas prácticas y la capacitación de los operadores.
- **Coordinación con otras instituciones:** Colabora con otras instituciones del Estado, como la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), para coordinar acciones en materia de saneamiento rural.

4.1.6 ¿Cuáles son los principales problemas en los SSR?

Los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) enfrentan una serie de desafíos que obstaculizan su eficiencia y la calidad del servicio que brindan a las comunidades rurales. A continuación, se detallan algunos de los principales problemas:

Infraestructura y Mantenimiento

- **Envejecimiento de las instalaciones:** Muchas de las redes de agua y alcantarillado en zonas rurales son antiguas y requieren constantes reparaciones o reemplazos.
- **Falta de inversión:** La falta de inversión en infraestructura limita la expansión y mejora de los servicios, especialmente en áreas remotas.
- **Materiales de baja calidad:** En ocasiones, se utilizan materiales de construcción de baja calidad que acortan la vida útil de las instalaciones.
- **Dificultades geográficas:** El terreno accidentado y las condiciones climáticas adversas dificultan la construcción y el mantenimiento de las redes.

Gestión y Operación

- **Falta de personal capacitado:** La escasez de personal técnico especializado dificulta la operación y mantenimiento eficiente de los sistemas.
- **Débil gestión financiera:** Muchos SSR enfrentan problemas financieros debido a la baja capacidad de recaudación y a los altos costos operativos.
- **Falta de participación comunitaria:** La baja participación de los usuarios en la gestión de los servicios limita la sostenibilidad de los sistemas a largo plazo.

Calidad del Agua

- **Contaminación:** La contaminación por fuentes puntuales y difusas afecta la calidad del agua, poniendo en riesgo la salud de la población.
- **Inestabilidad en el suministro:** Fluctuaciones en el suministro de agua debido a factores climáticos o fallas en la infraestructura.

Normatividad y Regulación

- **Falta de claridad en la normativa:** En algunos casos, la normativa vigente no es clara o es difícil de aplicar en el contexto rural.
- **Dificultad en la fiscalización:** La amplia dispersión geográfica de los SSR dificulta la tarea de fiscalización por parte de las autoridades competentes.

Otros Problemas

- **Acceso limitado a tecnologías:** Las comunidades rurales suelen tener un acceso limitado a tecnologías modernas para la gestión del agua, como sistemas de telemetría o sensores remotos.
- **Vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos:** Los SSR son especialmente vulnerables a eventos climáticos extremos como sequías o inundaciones, que pueden afectar la disponibilidad y calidad del agua.

Consecuencias de estos problemas

Los problemas mencionados anteriormente tienen consecuencias directas en la calidad de vida de las poblaciones rurales, como:

- **Riesgos para la salud:** El consumo de agua contaminada puede provocar enfermedades gastrointestinales y otras afecciones.

- **Limitaciones en las actividades productivas:** La falta de agua de calidad y en cantidad suficiente limita las actividades agrícolas y ganaderas.
- **Desigualdad social:** Las comunidades rurales enfrentan mayores dificultades para acceder a servicios básicos de calidad en comparación con las zonas urbanas.

4.1.7 ¿Cómo se genera la tarifa de cobro mensual por consumo de agua en los SSR?

Según el manual de fiscalización de la SISS, la generación de tarifas de cobro mensual por consumo de agua en los SSR se basa en una combinación de **cargos fijos y variables**.

- **Cargos Fijos:**
 - **Cargo por conexión:** Corresponde a un valor único que se paga al momento de conectarse al servicio.
 - **Cargo por mantenimiento:** Cubre los costos asociados al mantenimiento de la infraestructura.
 - **Otros cargos fijos:** Pueden incluir cargos por administración o por servicios adicionales.
- **Cargos Variables:**
 - **Cargo por consumo de agua:** Calculado en base al volumen de agua consumido por el usuario durante un período determinado. Este cargo varía en función de la cantidad de agua utilizada.

Factores que Influyen en la Generación de Tarifas:

- **Costo de producción y distribución del agua:** Incluye costos de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- **Costo de operación y mantenimiento:** Cubre los gastos asociados a la operación de las plantas de tratamiento, la reparación de redes y la lectura de medidores.
- **Inversión requerida:** Considera los costos de inversión necesarios para mejorar y ampliar los servicios.
- **Política tarifaria:** Establecida por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), con el objetivo de garantizar la sostenibilidad financiera de los SSR y asegurar el acceso al servicio para todos los usuarios.
- **Características del servicio:** Tamaño del servicio, condiciones técnicas, geográficas y otras particularidades.

Proceso de Cálculo de la Tarifa:

1. **Determinación de los costos:** Se calculan los costos asociados a la producción, distribución, operación y mantenimiento del servicio.
2. **Fijación de las tarifas:** La SISS establece las fórmulas y los parámetros para calcular las tarifas, considerando los costos y la política tarifaria vigente.
3. **Aplicación de las tarifas:** Se aplica la fórmula tarifaria a cada usuario, considerando su consumo de agua y los cargos fijos correspondientes.

Importancia de la Fiscalización de la SISS:

La SISS es el organismo encargado de fiscalizar el cumplimiento de la normativa vigente por parte de los operadores de los SSR. La fiscalización de las tarifas garantiza que estas sean justas, transparentes y que reflejen los costos reales del servicio.

Consideraciones Adicionales:

- **Subsidios:** En algunos casos, se pueden aplicar subsidios a ciertos grupos de usuarios (por ejemplo, familias de bajos ingresos) para garantizar el acceso al servicio.
- **Ajustes tarifarios:** Las tarifas pueden ser ajustadas periódicamente para reflejar los cambios en los costos y en la demanda del servicio.
- **Transparencia:** La información sobre las tarifas y los criterios utilizados para calcularlas debe ser clara y accesible para los usuarios.

La generación de tarifas en los SSR es un proceso complejo que involucra múltiples factores y está sujeto a una regulación específica. El objetivo principal es garantizar la sostenibilidad financiera de los servicios y asegurar el acceso al agua potable para todos los usuarios.

4.1.8 Pérdidas en redes de distribución de agua potable

Las aguas no facturadas (en adelante ANF) son el volumen de agua producida pero no facturada a los usuarios finales, y se desprende a partir de las pérdidas de agua, como se ilustra en las ramificaciones del diagrama 1. Las principales pérdidas de agua se diferencian en:

- Pérdidas aparentes: Consumo no facturado medido y no medido.
- Pérdidas reales: Fugas en tuberías, conexiones y almacenamiento.

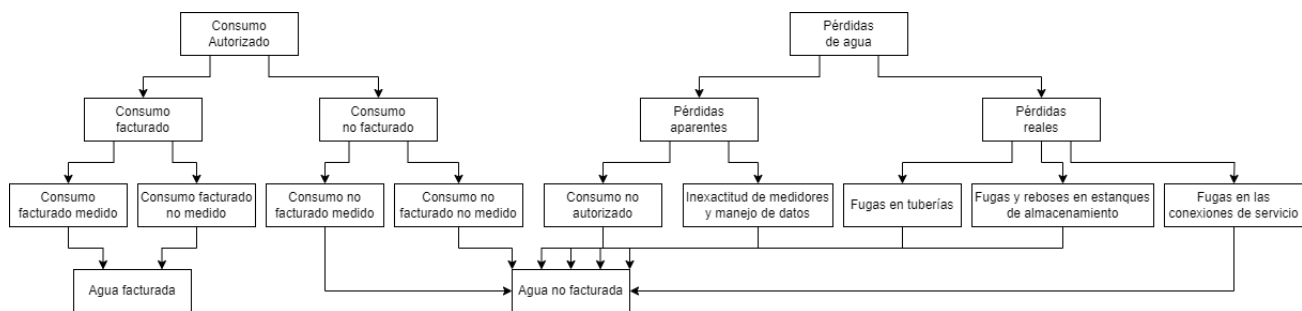


Diagrama 1 Flujo en redes de distribución de agua potable. ²

Diversos estudios señalan que las pérdidas reales, principalmente por fugas en tuberías, representan entre 70-90% de las pérdidas totales en las redes ³.

Las fugas pueden deberse a diferentes causas como orificios, grietas y fallas en las uniones.

Este análisis de la situación actual de las pérdidas en redes de distribución es importante para comprender el contexto y la necesidad de soluciones tecnológicas para la detección y reparación proactiva de fugas.

4.1.9 Tendencias actuales

- **Sensores inteligentes:** El desarrollo de sensores de bajo costo y alta precisión ha permitido la implementación de redes de sensores distribuidos a lo largo de las tuberías, facilitando la detección temprana de fugas y el monitoreo continuo del estado del sistema.
- **Inteligencia artificial:** El aprendizaje automático y el procesamiento de imágenes se utilizan para analizar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores y detectar patrones anómalos que indican la presencia de fugas.
- **Drones y vehículos aéreos no tripulados:** Los drones equipados con cámaras infrarrojas y sensores multiespectrales permiten realizar inspecciones visuales de grandes áreas en poco tiempo, identificando zonas con alta probabilidad de fugas.
- **Análisis de datos hidráulicos:** El análisis de los datos de presión y caudal en la red de distribución permite identificar desbalances hidráulicos que pueden indicar la presencia de fugas.

² González, Diseño, Aplicación y Evaluación de una metodología de detección activa de pérdidas en redes de agua potable, UTFSM, Chile, 2017

³ Lobos, Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable en una gran ciudad de Chile mediante un algoritmo de clasificación de redes neuronales, Universidad de Chile, 2022

- **Simulaciones numéricas:** La modelización numérica de los sistemas de distribución permite evaluar el impacto de las fugas en el rendimiento del sistema y optimizar las estrategias de detección y reparación.

4.1.10 Principales instrumentos para la detección de fugas de agua

La detección precisa y oportuna de fugas de agua es crucial para reducir el desperdicio de este recurso vital y minimizar los costos asociados a las reparaciones. Afortunadamente, existen diversos instrumentos y tecnologías diseñadas específicamente para esta tarea.

Métodos Tradicionales

- **Inspección visual:** Si bien es un método básico, la inspección visual sigue siendo fundamental, especialmente para detectar fugas superficiales o en lugares de fácil acceso.
- **Escucha acústica:** Utilizando dispositivos de amplificación de sonido, se pueden detectar las fugas a través del ruido que produce el agua al escapar por una fisura.
- **Medidores de flujo:** Al comparar el caudal de entrada y salida de un sistema, se pueden identificar pérdidas de agua no contabilizadas.

Métodos Tecnológicos

- **Correlación de ruido:** Esta técnica utiliza sensores acústicos para analizar las señales de ruido y determinar la ubicación precisa de una fuga.
- **Cámaras termográficas:** Detectan las fugas al identificar las zonas donde el agua fría entra en contacto con el aire más cálido, generando un cambio de temperatura que es visible en la imagen térmica.
- **Geófonos:** Captan las vibraciones producidas por el flujo de agua a través de una fuga, permitiendo localizarla con mayor precisión.
- **Trazadores químicos:** Se inyecta un colorante o un producto químico en el sistema de agua y se monitorea su movimiento para identificar el punto de fuga.
- **Sensores de humedad:** Estos sensores detectan la presencia de humedad en áreas donde no debería haber, indicando una posible fuga.
- **Drones con sensores:** Los drones equipados con cámaras térmicas o sensores multispectrales pueden inspeccionar grandes áreas de manera rápida y eficiente.

Métodos No Destructivos

- **Radiografía:** Utilizada para detectar fugas en tuberías metálicas, aunque su aplicación es limitada debido a los costos y la necesidad de acceso a la tubería.
- **Ultrasonido:** Permite detectar fugas en tuberías enterradas sin necesidad de excavar.
- **Radar de penetración en el suelo (GPR):** Crea imágenes del subsuelo, lo que permite localizar tuberías y detectar fugas.

Selección del Método Adecuado

La elección del instrumento o método más adecuado dependerá de varios factores, como:

- **Tipo de tubería:** Material, diámetro, profundidad.
- **Ubicación de la fuga:** Superficial, subterránea, dentro de una estructura.
- **Tamaño de la fuga:** Pequeñas fugas pueden ser más difíciles de detectar.
- **Condiciones ambientales:** Humedad, temperatura, interferencias.
- **Presupuesto:** Los costos de los equipos y servicios pueden variar significativamente.

4.1.11 Desafíos y oportunidades

- **Heterogeneidad de los sistemas:** La diversidad de materiales, diámetros y condiciones de operación de las tuberías dificulta la aplicación de soluciones genéricas.
- **Interferencias:** El ruido ambiental y las interferencias en las señales pueden comprometer la precisión de los sistemas de detección.
- **Costo:** La implementación de sistemas de detección de fugas a gran escala puede resultar costosa.
- **Limitaciones de la Instrumentación acústica:** La detección de fugas depende en gran medida de la acústica, lo que limita su eficacia en entornos ruidosos o con tuberías de material que amortiguan el sonido.
- **Limitaciones de la Instrumentación a gas:** Los métodos que usan gases especiales para detectar fugas pueden ser menos efectivos en espacios abiertos o con mucho viento, ya que el gas se dispersa rápidamente.

4.1.12 Futuras líneas de investigación

- **Integración de múltiples sensores:** La combinación de diferentes tipos de sensores (acústicos, térmicos, eléctricos) puede mejorar la precisión y la fiabilidad de los sistemas de detección.
- **Desarrollo de algoritmos de aprendizaje profundo:** El uso de algoritmos de aprendizaje profundo permitirá analizar datos más complejos y extraer patrones más sutiles.
- **Optimización de las redes de sensores:** La optimización de la ubicación y configuración de los sensores permitirá reducir los costos y mejorar la cobertura.
- **Desarrollo de plataformas de gestión de datos:** La creación de plataformas integradas para la gestión de datos de detección de fugas facilitará el análisis y la visualización de la información.

4.1.13 Herramientas para el análisis de datos

Para llevar a cabo el **análisis de datos una herramienta básica es Excel el cual es un programa de Microsoft** que permite crear, editar y analizar hojas de cálculo. Es una herramienta que se utiliza para organizar datos, hacer cálculos y crear gráficos.

Excel se compone de una hoja de cálculo con filas y columnas, donde cada intersección es una celda. En las celdas se pueden introducir números, letras y gráficos.

Algunas de las funciones de Excel son:

- Realizar cálculos matemáticos
- Crear tablas
- Generar gráficos estadísticos
- Vincular información a otros archivos
- Elaborar calendarios y cronogramas
- Diseñar facturas
- Generar reportes contables

Excel se utiliza en muchas áreas, como la contabilidad, el análisis financiero, la programación, la gestión del tiempo, la administración de tareas y la gestión de relaciones con el cliente.

4.2 Antecedentes

La detección de fugas en redes de distribución de agua potable es un desafío persistente que adquiere una especial relevancia en el contexto de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR). A diferencia de las grandes ciudades, donde las fuentes de abastecimiento suelen ser más abundantes y los sistemas de distribución más consolidados, los SSR dependen en gran medida de fuentes hídricas locales, como pozos, que son más vulnerables a la escasez y a la contaminación.

En estos sistemas, las pérdidas por fugas pueden alcanzar niveles alarmantes, llegando incluso al 40% del agua extraída. Estas pérdidas no solo representan un desperdicio de un recurso escaso, sino que también implican costos económicos significativos para las comunidades rurales, que suelen tener recursos limitados. Además, la falta de agua potable en cantidad y calidad suficientes afecta directamente la salud y el bienestar de la población, limitando sus actividades productivas y su calidad de vida.

Es importante destacar que las pérdidas de agua en los SSR no se limitan a las fugas, sino que también pueden ser causadas por robos y conexiones clandestinas. Estas prácticas ilegales agravan aún más el problema, generando inequidades en el acceso al agua y poniendo en riesgo la sostenibilidad de los sistemas de distribución.

Pioneros como P. W. Jowitt y Chengchao Xu⁴, ya habían identificado la necesidad de desarrollar herramientas para detectar fugas de manera temprana y eficiente. Sus investigaciones sentaron las bases para el desarrollo de soluciones más sofisticadas y automatizadas que se han implementado en la actualidad.

La creciente demanda de agua potable, sumada a los efectos del cambio climático, ha intensificado la necesidad de optimizar la gestión de los recursos hídricos, especialmente en zonas rurales. En este contexto, la detección y reparación oportuna de fugas se convierte en una prioridad para garantizar la sostenibilidad de los sistemas de distribución y mejorar la calidad de vida de las poblaciones rurales.

⁴ Jowitt & Xu, Predicting Pipe Failure Effects in Water Distribution Networks, Vol.119, No.1, Estados Unidos, 1993

4.3 Marco Teórico

El acceso a agua potable de calidad en zonas rurales es fundamental para garantizar la salud y el desarrollo de las comunidades. Sin embargo, las fugas en las redes de distribución representan una pérdida significativa de este recurso vital y un desafío para la sostenibilidad de los SSR. La detección temprana y eficiente de estas fugas es crucial para optimizar el uso del agua, reducir costos y mejorar la calidad del servicio. Este marco teórico se enfoca en analizar el estudio de prefactibilidad para implementar el servicio de detección de fugas de agua, junto a evidenciar la importancia de detectar a tiempo las roturas en las tuberías y los métodos junto a las tecnologías disponibles para la detección de fugas en sistemas de distribución de agua en zonas rurales, considerando los desafíos propios de estos entornos, como la dispersión geográfica y la limitada infraestructura.

El objetivo es proporcionar una base conceptual sólida para el diseño e implementación de estrategias efectivas de gestión de fugas, contribuyendo así a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los SSR.

4.3.1 Estudio de prefactibilidad

El estudio de prefactibilidad es una evaluación inicial y superficial de un proyecto o idea de negocio. Su objetivo principal es determinar si vale la pena realizar un estudio de factibilidad más profundo y detallado. En otras palabras, es una primera mirada para identificar si una propuesta tiene potencial para ser exitosa. En el contexto de un servicio de detección de fugas para SSR es fundamental llevar a cabo esta primera etapa, considerando las claras limitaciones relacionadas a los costes financieros que están dispuestos a incurrir para solicitar una detección de fugas o la adquisición de equipos, principalmente considerando que el costo de ofrecer un servicio no puede ser mayor al dolor provocado por las pérdidas de agua ocasionados por las fugas.

Un estudio de prefactibilidad típicamente abarca los siguientes aspectos:

- **Mercado:**
 - Tamaño del mercado
 - Tendencias del mercado
 - Competidores
 - Clientes potenciales

- **Producto o servicio:**
 - Descripción detallada del producto o servicio
 - Ventajas competitivas
 - Necesidades que satisface

- **Tecnologías:**
 - Requerimientos tecnológicos
 - Disponibilidad de tecnología
 - Costos asociados

- **Aspectos legales:**
 - Regulación del sector
 - Permisos requeridos
 - Propiedad intelectual

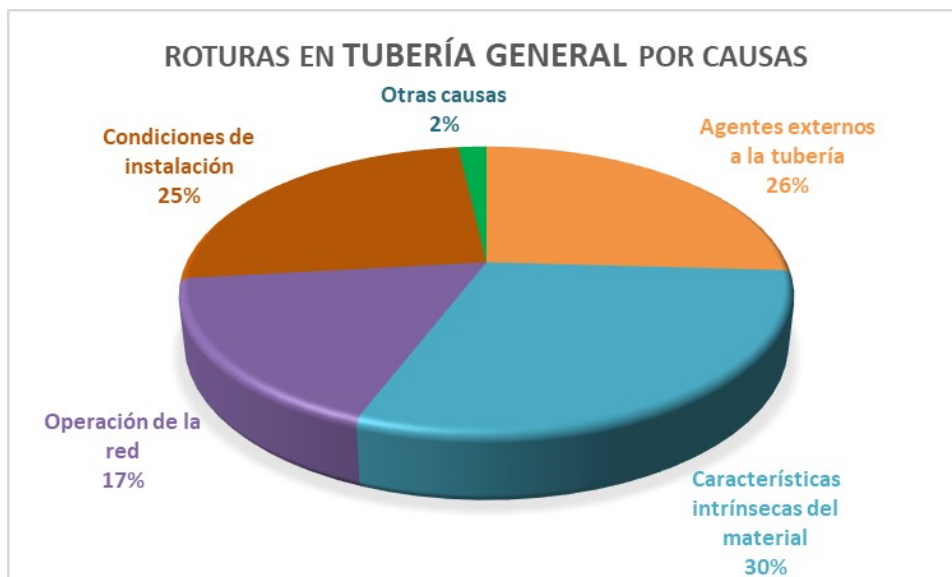
- **Financieros:**
 - Inversiones iniciales
 - Costos operativos
 - Ingresos proyectados
 - Punto de equilibrio

4.3.2 La importancia de las fugas de agua

Investigadores como el Doctor Ingeniero del agua Arturo Albaladejo Ruiz⁵, indica que las fugas de agua en las redes se producen en las uniones y en las roturas de las tuberías generales y acometidas que pueden ser circunferenciales, poros, longitudinales y en casos más graves reventones.

Estas fugas en tuberías y acometidas pueden producirse por agentes externos a la tubería, por características intrínsecas del material, por operación de la red, por condiciones de la instalación y por otras causas.

⁵ Arturo Albaladejo Ruiz, ¿Por qué se producen las fugas de agua?, <https://www.iagua.es/blogs/arturo-albaladejo-ruiz/que-se-producen-fugas-agua-tuberias>, España, 2019



Gráfica 1 Roturas en tubería general por distintas causas. ⁶

Las fugas en tuberías pueden tener diversas causas, que se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Causas externas:**
 - **Naturales:** raíces de árboles, cambios climáticos extremos, terremotos.
 - **Humanas:** obras de construcción, tráfico pesado, roedores.
 - **Otras:** corrientes eléctricas, incendios.

- **Causas internas:**
 - **Material:** corrosión, defectos de fabricación, envejecimiento, inadecuación del material al tipo de agua o suelo.
 - **Instalación:** falta de espesor, unión incorrecta.

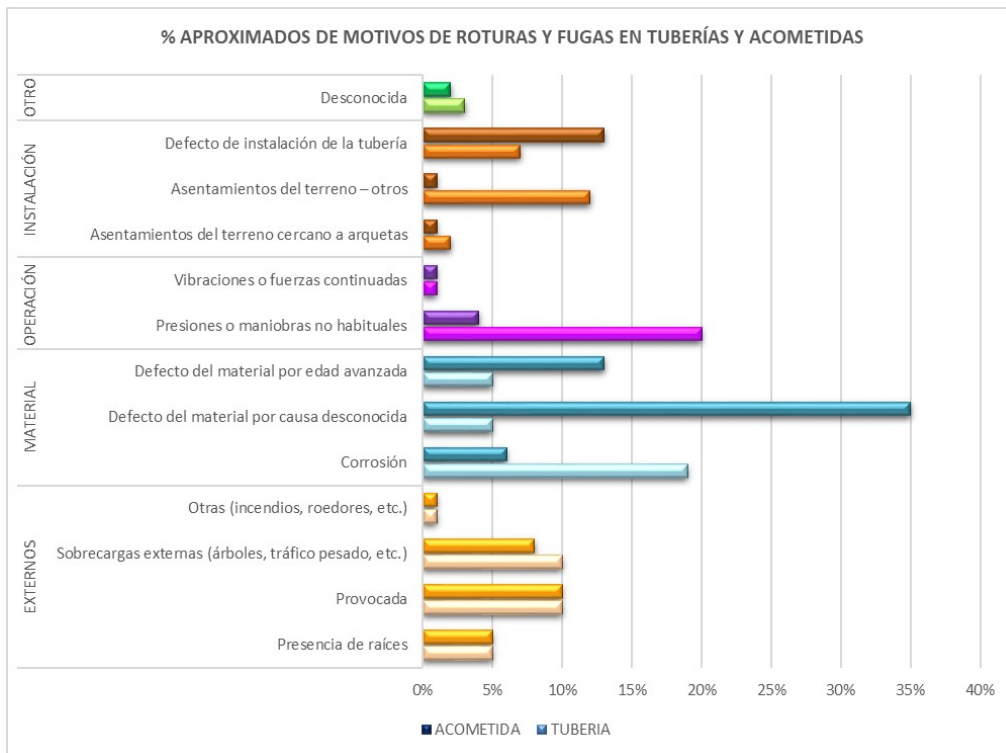
Además de las causas externas e internas mencionadas anteriormente, las fugas en tuberías también pueden ser provocadas por factores relacionados con la operación de la red y las condiciones de instalación:

- **Operación de la red:**
 - **Presiones:** Presiones elevadas o cambios bruscos de presión pueden causar roturas.
 - **Golpes de ariete:** Cierres rápidos de válvulas generan ondas de presión que pueden dañar las tuberías.

⁶ Albaladejo, Diseño, ¿Por qué se producen las fugas de agua? ?, <https://www.iagua.es/blogs/arturo-albaladejo-ruiz/que-se-producen-fugas-agua-tuberias>, España, 2019

- **Aire:** La presencia de aire en la tubería puede generar cavidades que debilitan la estructura.
 - **Vibraciones:** Las vibraciones continuas pueden causar fatiga en el material y provocar roturas.
- **Condiciones de instalación:**
 - **Asentamientos del terreno:** Movimientos del suelo pueden dañar las uniones y causar fugas.
 - **Corrosión:** La falta de protección contra la corrosión interna y externa puede debilitar las tuberías.
 - **Mala ejecución:** Errores en la instalación, como uniones defectuosas o falta de consideración de los cambios térmicos, pueden provocar fugas.

Las fugas en tuberías son un problema multifactorial que puede estar causado por una combinación de factores internos, externos, relacionados con la operación de la red y las condiciones de instalación.



Gráfica 2 Porcentaje aproximado de motivos de rotura y fugas en tuberías y acometidas.⁷

⁷ Albaladejo, Diseño, ¿Por qué se producen las fugas de agua? ?, <https://www.iagua.es/blogs/arturo-albaladejo-ruiz/que-se-producen-fugas-agua-tuberias>, España, 2019

Dentro de las tecnologías disponibles para la detección de fugas de agua se destacan principalmente, en este ámbito:

- **Acústica:** Se utilizan dispositivos para escuchar el sonido del agua escapando. Útiles en sistemas subterráneos.
- **Infrarroja:** Cámaras especiales detectan cambios de temperatura en la superficie, indicando posibles fugas.
- **Video y robótica:** Cámaras dentro de robots inspeccionan visualmente las tuberías para encontrar daños.
- **Medición y análisis:** Se monitorea el consumo de agua para identificar patrones inusuales que sugieren fugas.

Las señales físicas para la detección de fugas suelen presentarse cómo:

- **Acústica:** Se utilizan dispositivos para escuchar el sonido del agua escapando.
- **Termografía:** Cámaras especiales detectan cambios de temperatura en la superficie, indicando posibles fugas.
- **Inspección visual:** Cámaras en robots exploran el interior de las tuberías para detectar daños.
- **Análisis de consumo:** Se monitorea el consumo de agua para identificar patrones inusuales que sugieran fugas.

CAPÍTULO III: Metodología

5 Metodología

5.1 Tipo de Investigación

Dado el objetivo de evaluar la factibilidad de implementar un servicio de detección de fugas en servicios sanitarios rurales, se considera una investigación mixta. Esto implica combinar métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una visión más completa del problema y sus posibles soluciones.

- **Cuantitativo:** Para medir variables como el porcentaje de pérdidas de agua, los costos asociados a las fugas y la eficiencia de las diferentes tecnologías.
- **Cualitativo:** Para comprender las percepciones de los actores involucrados (comunidades, técnicos, autoridades), las barreras y facilitadores para la implementación del servicio, y las necesidades específicas de cada comunidad.

5.2 Donde Aplicar la Investigación

La investigación se aplicará en servicios sanitarios rurales de Chile, con un enfoque en aquellas comunidades que presentan mayores desafíos en términos de gestión del agua y mayores pérdidas por fugas.

5.3 Muestra

La muestra estará compuesta por un conjunto de servicios sanitarios rurales que sean representativos de la diversidad de condiciones existentes en Chile (tamaño de la población, tipo de fuente de agua, antigüedad de las redes, etc.).

Criterios de selección:

- **Tamaño de la población:** Pequeñas, medianas y grandes comunidades.
- **Tipo de fuente de agua:** Superficial, subterránea.
- **Antigüedad de las redes:** Redes antiguas y nuevas.
- **Nivel de pérdidas de agua:** Comunidades con altos niveles de pérdidas.
- **Disponibilidad de datos:** Acceso a información sobre el consumo de agua, historial de fugas, etc.

5.4 Datos por Recopilar

- **Datos cuantitativos:**
 - Historial de fugas
 - Características de la infraestructura (materiales, diámetro de las tuberías)
 - Manual de equipamiento para la detección de fugas de agua
 - Análisis de equipos y viabilidad de adquisición

- **Datos cualitativos:**
 - Percepciones de los usuarios sobre la calidad del servicio de agua
 - Barreras y facilitadores para la implementación del servicio
 - Necesidades específicas de cada comunidad
 - Opiniones de los técnicos sobre las tecnologías disponibles

5.5 Análisis de Datos

Otros métodos:

- **Análisis estadístico:** Para analizar los datos cuantitativos y determinar relaciones entre variables
- **Análisis de contenido:** Para analizar los datos cualitativos e identificar temas recurrentes.
- **Análisis de redes:** Para visualizar las relaciones entre los diferentes actores involucrados en la gestión del agua.

5.5.1 ¿Cómo hacer el análisis de datos?

- **Software de análisis cualitativo y Herramientas de visualización:** Utilizar software como Excel para visualizar de forma simple los resultados de las entrevistas.

5.5.2 ¿Qué hacer con los datos?

Los resultados del análisis de datos servirán para:

- **Evaluar la viabilidad técnica, económica y social** de implementar un servicio de detección de fugas.
- **Identificar las tecnologías más adecuadas** para las condiciones específicas de los SSR chilenos.
- **Evaluar la factibilidad de diseñar un plan de implementación** que incluya la selección de las comunidades piloto, la capacitación del personal, la adquisición de equipos y la puesta en marcha del sistema.
- **Evaluar la factibilidad de elaborar un plan de sostenibilidad** para garantizar la operación a largo plazo del servicio.
- **Generar recomendaciones** para la mejora de la gestión del agua en los SSR.

CAPÍTULO IV: Desarrollo y resultados

6 Desarrollo y resultados

Para realizar una validación con encuesta para el proyecto de detección de fugas en Servicios Sanitarios Rurales (SSR), se desarrolla un enfoque metodológico estructurado que permita recopilar información clave.

Objetivo de la Encuesta Validar la percepción y necesidad de un servicio de detección de fugas en sistemas de agua potable rural, identificando:

1. Problemas actuales con el suministro de agua.
2. Experiencias con fugas.
3. Interés en soluciones tecnológicas.
4. Disposición a implementar nuevas tecnologías.

Dentro de las limitaciones actuales y considerando principalmente las regiones V y VI de Chile⁸, abarcando un total de 205 y 222 SSR respectivamente, del total de 2.270 SSR inscritas a junio de 2023, según la información más actualizada de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

6.1 Tipo de entrevista

Para una primera visión parcialmente global y debido a las limitaciones de tiempo, se entrevistan a 10 Servicios Sanitarios Rurales distribuidos en la V región, la VI región y la región Metropolitana, sin relación entre una y otra, donde se abordan las preguntas del Anexo A1.

La entrevista busca evidenciar las problemáticas actuales de los SSR, entendiendo si la necesidad de diseñar un servicio de detección de fugas puede generar un negocio rentable, o debido a la inversión inicial se requiere de un desarrollo mayor en la investigación del mercado para poder considerar la facilidad de subvencionar esta problemática actual, en base a las limitaciones de un negocio que esta iniciando

⁸ Catastro de SSR https://doh.mop.gob.cl/SSR/docs/Catastro2020_BD_SSR_OFICIAL_2023_06.xls

6.2 Resultados de la entrevista

¿Con qué frecuencia detecta fugas de agua en su sistema?

- El 75% de los entrevistados detecta fugas de agua mensualmente.
- El 25% de los entrevistados detecta fugas de agua raramente.

¿Cuántas fugas de agua detecta aproximadamente en un mes?

- 1-2 fugas: Punto medio = 1.5
- 3-4 fugas: Punto medio = 3.5
- 2-5 fugas: Punto medio = 3.5

Las personas encuestadas detectan alrededor de 2.5 fugas de agua por mes.

¿Cómo describe el impacto de las fugas de agua en su servicio?

- El 25% de los entrevistados describe el impacto como Muy alto
- El 50% de los entrevistados describe el impacto como Alto
- El 25% de los entrevistados describe el impacto como Moderado

¿Qué tan satisfecho está con las opciones actuales de detección de fugas en el mercado?

- El 75% de los entrevistados considera Neutral
- El 25% de los entrevistados considera Insatisfecho

¿Cuáles de las siguientes tecnologías de detección de fugas ha utilizado? (Seleccione todas las que apliquen)

- El 75% de los entrevistados considera Otros
- El 25% de los entrevistados considera Monitoreo de presión

¿Qué tecnología de detección de fugas le ha funcionado mejor?

- El 75% de los entrevistados indica “Cuando se vuelven visibles”
- El 25% de los entrevistados considera Sensores de presión

¿Con qué frecuencia realiza inspecciones para detectar fugas de agua?

- El 75% de los entrevistados considera Nunca
- El 25% de los entrevistados considera Raramente

¿Le interesaría probar un nuevo producto o servicio de detección de fugas?

- El 100% de los entrevistados considera Sí

¿Qué cantidad de agua extraída de pozos se pierde debido a fugas?

- En general rondan entre 30% y 40% respecto a lo que se extrae

¿Existe sospecha de que el problema se pueda generar por robo de agua?

- En general las respuestas arrojaron que de producirse lo podían detectar, o que los robos llegaban a ser despreciables

¿Qué otros aspectos influyen en sus decisiones de compra de servicios de detección de fugas?

- En general las respuestas arrojaron que fueran equipos de buena calidad, y que se pudiesen utilizar fácilmente

¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta en la detección de fugas?

- En general detener el proceso de distribución de agua y los tiempos de detección

Disposición a pagar por un servicio de detección de fugas de agua (Respuestas más comunes)

[Si se trata de un servicio de \$50.000 a \$250.000 dependiendo de lo que se ofrece]

[Entre \$100.000 y \$200.000 por un servicio, o la compra de equipamiento por hasta \$3.000.000]

[Si el servicio es bueno se podría considerar un pago mensual de entre \$100.000 y \$200.000]

[Preferimos comprar equipos que rondan entre \$100.000 y \$2.000.000]

6.3 Análisis de datos obtenidos

En general los resultados obtenidos arrojaron respuestas similares donde, aunque existe un interés por resolver las problemáticas se generan algunas limitantes respecto a la cantidad de fugas, los desplazamientos para poder llevar a cabo el servicio, por lo que se debe considerar un vehículo, los tipos de fugas, por lo que es necesario considerar una cantidad de instrumentos disponibles en el mercado para poder llevar a cabo las detecciones, los recursos humanos, y la infraestructura para poder almacenar los equipos, vehículo y disponer de los trabajadores.

6.3.1 Consideraciones para el ejercicio de costos

Con el objetivo de estimar los costos iniciales de un servicio de detección de fugas, se realiza un ejercicio financiero para el primer año de operación. Para este cálculo, se consideran costos fijos mensuales promedio que permitan llevar a cabo el servicio, tomando en cuenta el transporte, equipo de trabajo, instrumentación, oficina y posibles viáticos.

Para el transporte se considera un vehículo utilitario, para ejemplificar el caso se considera una Peugeot Partner⁹ al ser una opción sólida y versátil para un servicio de detección de fugas. Su combinación de espacio, funcionalidad y fiabilidad la convierten en una herramienta de trabajo eficiente y rentable tanto para el transporte como para almacenar los equipos de detección de fugas.

Al diseñar el equipo de trabajo para este proyecto, es fundamental considerar las habilidades y conocimientos específicos necesarios para llevar a cabo las diversas tareas involucradas. A continuación, se propone un equipo base de tres personas para ejemplificar el ejercicio:

1. Ingeniero/a en Recursos Hídricos o Sanitario (Ingeniero Civil)¹⁰

- **Perfil:** Profesional con conocimientos sólidos en hidráulica, hidrología, sistemas de distribución de agua y tratamiento de aguas.
- **Rol:**
 - Diseño de sistemas de monitoreo y detección de fugas.
 - Análisis de datos hidrométricos.
 - Elaboración de informes técnicos.
 - Supervisión de las actividades en terreno.
 - Interacción con entidades reguladoras.
- **Experiencia necesaria:** Experiencia en proyectos relacionados con gestión del agua, modelación hidráulica, y preferiblemente en el sector rural.

2. Técnico en Instrumentación o Electrónica

- **Perfil:** Profesional con conocimientos en instrumentación industrial, sensores, sistemas de control y automatización.
- **Rol:**
 - Instalación y configuración de equipos de medición.
 - Mantenimiento de los equipos en terreno.
 - Desarrollo de software para el procesamiento de datos.
 - Soporte técnico a los usuarios.
- **Experiencia necesaria:** Experiencia en instalación y mantenimiento de equipos electrónicos en ambientes industriales o de campo.

⁹ Vehículo utilitario: <https://www.brunofritsch.cl/peugeot/peugeot-partner>

¹⁰ Utilizando datos de un estudio de 2023: <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2023/05/20/las-60-carreras-con-mayor-aumento-de-sueldo-en-los-primeros-5-anos-laborales-en-chile.shtml>

3. Administrador de Proyectos

- **Perfil:** Profesional con conocimientos en gestión de proyectos, planificación, organización y control.
- **Rol:**
 - Definición del alcance del proyecto.
 - Elaboración del cronograma y presupuesto.
 - Coordinación de las actividades del equipo.
 - Seguimiento y control del avance del proyecto.
 - Comunicación con los clientes y stakeholders.
- **Experiencia necesaria:** Experiencia en gestión de proyectos, preferiblemente en el sector de servicios o infraestructura.

Finalmente, la instrumentación para detección de fugas se consideran los siguientes instrumentos¹¹:

- **Correlador de ruido:** Este instrumento permite utilizar sensores acústicos para analizar las señales de ruido y determinar la ubicación precisa de una fuga.
- **Cámara termográfica:** Permite detectar las fugas al identificar las zonas donde el agua fría entra en contacto con el aire más cálido, generando un cambio de temperatura que es visible en la imagen térmica.
- **Geófono:** Instrumento que capta las vibraciones producidas por el flujo de agua a través de una fuga, permitiendo localizarla con mayor precisión, se considera un equipo básico para la detección de fugas.
- **Trazadores de fugas:** Instrumento que permite al inyecta un colorante o un producto químico en el sistema de agua, monitorear su movimiento para identificar el punto de fuga a través de las concentraciones que afloran.

¹¹ En base a cotización de equipos de fugas de agua considerando, micrófonos internos, geófono, y detector de tuberías <https://dos20.cl/detectores-de-fugas-de-agua-fast/>

6.3.2 Ejercicio de costos

Al realizar un simple ejercicio de costos considerando los principales costos del primer año, se obtienen los datos ilustrados en la figura 1 donde el costo del primer año es equivalente a \$113.060.033 de los cuales se debe generar mensualmente un promedio de \$7.385.139 para considerar los costos básicos de llevar a cabo el servicio.

	Costo Mensual	Costo Anual
Ingeniero Civil	\$ 1.200.000	\$ 14.400.000
Técnico Electrónico	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Administrador de proyectos	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Instrumentación (credito 12 cuotas)	\$ 1.666.667	\$ 20.000.000
Vehículo de transporte (credito 36 cuotas)	\$ 555.003	\$ 6.660.033
Arriendo Oficina + Estacionamiento	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Viaticos + bonos	\$ 3.000.000	\$ 36.000.000
TOTAL	\$ 9.421.669	\$ 113.060.033

Tabla 1 Ejercicio de costos simple en CLP (peso Chileno) para el primer año. ¹²

Considerando que los servicios de detección de fugas básicos en las regiones V y VI de Chile rondan entre los \$250.000 y \$300.000 de acuerdo con las cotizaciones realizadas a empresas dedicadas al rubro, se tienen los resultados ilustrados en la Tabla 2, los cuales indican que se requiere mensualmente realizar 31,4 servicios de detección para llegar a cumplir los costos básicos mensuales, si consideramos que las detecciones de fugas son variables y en algunos casos requieren de más de un día de detección, cumplir con esa cantidad de detecciones es poco probable considerando que los días hábiles mensuales suelen ser 20 y los meses promedian 30 días.

Costo Mensual	\$ 9.421.669
Valor del servicio	\$ 300.000
Cantidad de Servicios mensuales	31,4
Cantidad de Servicios anuales	376,9

Tabla 3 Cantidad de servicios mensuales y anuales

¹² Utilizando datos de un estudio de 2023: <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2023/05/20/las-60-carreras-con-mayor-aumento-de-sueldo-en-los-primeros-5-anos-laborales-en-chile.shtml>

6.3.3 Opciones de financiamiento

Es fundamental considerar un modelo de financiamiento que garantice la sostenibilidad del servicio de detección de fugas, a pesar de los costos iniciales. Si bien los costos fijos mensuales pueden ser elevados, existen diversas fuentes de financiamiento que podrían cubrirlos, como municipalidades, el Estado (a través de programas como CORFO) y organismos para obtención de tecnologías. Esta inversión se justifica ampliamente, considerando que las pérdidas de agua por fugas generan costos significativos a las comunidades rurales, que en muchos casos deben recurrir a soluciones costosas como el suministro de agua por camiones aljibe (con costos que pueden ir de los \$60.000 a llegar a superar los \$250.000 por carga completa de los estanques), mientras que un servicio de detección de fugas podría ofrecer una solución más económica y sostenible a largo plazo.

7 Conclusiones

La presente investigación se justifica por la necesidad de abordar un problema crítico en el ámbito de la gestión del agua en zonas rurales. Las fugas en las redes de distribución representan una pérdida significativa de este recurso vital y afectan la calidad de vida de las comunidades. A través de este estudio, se busca contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes para mejorar la gestión del agua en los SSR y garantizar un suministro adecuado para las futuras generaciones.

Aunque la propuesta de un servicio de detecciones de fugas de agua parece atractiva como una solución para los Servicios Sanitarios Rurales, se deben considerar las distintas limitaciones que generan iniciar un servicio de este estilo enfocado netamente en estos servicios, principalmente por que los resultados arrojan claramente una visión muy limitada en base a la oferta actual de servicios de detección de fugas. Esta investigación preliminar busca sentar las bases para el desarrollo de un servicio de detección de fugas en SSR, un problema que afecta significativamente a comunidades rurales. A través de las entrevistas realizadas, se identifican las necesidades específicas de los SSR, donde existe una clara receptividad a este tipo de servicios, pero los resultados obtenidos en esta primera etapa para poder diseñar un modelo de negocio arrojan que aunque logra resolver un dolor latente, los costos no se logran abarcar en su totalidad y la disposición a pago no permite generar un servicio que se enfoque principalmente en los servicios sanitarios rurales.

Una segunda lectura podría considerar que la investigación para realizar este tipo de servicios podría pasar en investigar el dolor que genera la detección de fugas de agua u otros procesos en ámbitos más industriales y mineros, donde también existen menos limitaciones económicas que en los Servicios Sanitarios Rurales, pero para esta investigación pierde el principal foco que es generar una solución sostenible y ambiental en las zonas rurales. Una forma de continuar este estudio de prefactibilidad al diseño de un modelo de negocio es considerando la forma de conseguir financiamiento por parte de alguna entidad estatal como la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) para obtener capital semilla que permita diseñar un modelo de negocio más rentable y revolucionario para la temprana detección de fugas de agua en los SSR.

8 Bibliografía

SSR Chile. (s. f.). <https://ssrchile.cl/base/frontend/pagina-interior.php?id=10>

Servicio sanitarios rurales. (s. f.). <https://doh.mop.gob.cl/SSR/index.html>

Sensadmin, & Sensadmin. (2024, 14 mayo). Cómo detectar y solucionar fugas de agua - Senssal Solutions. Senssal Solutions - Reduce tu consumo de agua en un 30%. <https://senssal.com/como-detectar-y-solucionar-fugas-de-agua/>

Ruiz, A. A. (2019, 12 septiembre). ¿Por qué se producen las fugas de agua en las tuberías? iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/arturo-albaladejo-ruiz/que-se-producen-fugas-agua-tuberias>

País, E., País, E., & País, E. (2024, 5 abril). Suki, la primera canina de Latinoamérica en detectar fugas de agua. El País Chile. <https://elpais.com/chile/branded/2024-04-05/suki-la-primera-canina-de-latinoamerica-en-detectar-fugas-de-agua.html#:~:text=Su%20nombre%20real%20es%20Brisa,de%20detectar%20olores%20previo%20entrenamiento.>

Barros, C. M. (2023, 20 mayo). Las 60 carreras con mayor aumento de sueldo en los primeros 5 años laborales en Chile. BioBioChile - la Red de Prensa Más Grande de Chile. <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/actualidad-economica/2023/05/20/las-60-carreras-con-mayor-aumento-de-sueldo-en-los-primeros-5-anos-laborales-en-chile.shtml>

Lobos, J. I., (2022). Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable en una gran ciudad de Chile mediante un algoritmo de clasificación de redes neuronales. repositorio.uchile.cl. <https://doi.org/10.58011/dyb0-xz69>

Oporto, M. A. (2017). PASANTÍA REALIZADA EN EMPRESA RIEGEL-DOS20. <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/9478a3e0-5612-42ad-a3fa-bfdeb14ac8f7>

González, F. A. (2017). DISEÑO, APLICACIÓN y EVALUACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE DETECCIÓN ACTIVA DE PÉRDIDAS EN REDES DE AGUA POTABLE. <https://repositorio.usm.cl/entities/tesis/5cc223c9-6193-4615-a58b-e1d47a8b66cb>

CORFO. (s. f.). <https://www.corfo.cl/sites/cpp/sobrecorfo>

Detectores de fugas de agua FAST – Dos20. (s. f.). <https://dos20.cl/detectores-de-fugas-de-agua-fast/>

9 Anexos

A.1 Formato de la entrevista

¿Con qué frecuencia detecta fugas de agua en su sistema?

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- Raramente
- Nunca

¿Cuántas fugas de agua detecta aproximadamente en un mes?

[Cuadro de texto]

¿Cómo describe el impacto de las fugas de agua en su servicio?

- Muy alto
- Alto
- Moderado
- Bajo
- Muy bajo

¿Qué tan satisfecho está con las opciones actuales de detección de fugas en el mercado?

- Muy satisfecho
- Satisfecho
- Neutral
- Insatisfecho
- Muy insatisfecho

¿Cuáles de las siguientes tecnologías de detección de fugas ha utilizado? (Seleccione todas las que apliquen)

- Detección acústica
- Cámaras termográficas
- Sensores de humedad
- Monitoreo de presión
- Otros

¿Qué tecnología de detección de fugas le ha funcionado mejor?

[Cuadro de texto]

¿Con qué frecuencia realiza inspecciones para detectar fugas de agua?

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- Raramente
- Nunca

¿Le interesaría probar un nuevo producto o servicio de detección de fugas?

- Sí
- No
- Tal vez

¿Qué cantidad de agua extraída de pozos se pierde debido a fugas?

[Cuadro de texto]

¿Existe sospecha de que el problema se pueda generar por robo de agua?

[Cuadro de texto]

¿Qué otros aspectos influyen en sus decisiones de compra de servicios de detección de fugas?

[Cuadro de texto]

¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta en la detección de fugas?

[Cuadro de texto]

Disposición a pagar por un servicio de detección de fugas de agua

[Cuadro de texto]

(Información reservada para la publicación)

Por favor, proporcione su nombre: [Nombre] [Apellido]

Por favor, proporcione su número de teléfono: [Teléfono]

A.2 Resultados de la entrevista

SSR Juan Núñez – VI región – Actual secretaria y ex presidenta del SSR

¿Con qué frecuencia detecta fugas de agua en su sistema?

- Mensualmente

¿Cuántas fugas de agua detecta aproximadamente en un mes?

[Entre 2 y 3 fugas de agua, una vez que afloran]

¿Cómo describe el impacto de las fugas de agua en su servicio?

- Alto

¿Qué tan satisfecho está con las opciones actuales de detección de fugas en el mercado?

- Insatisfecho

¿Cuáles de las siguientes tecnologías de detección de fugas ha utilizado? (Seleccione todas las que apliquen)

- Otros

¿Qué tecnología de detección de fugas le ha funcionado mejor?

[Las fugas se suelen detectar una vez que afloran en la superficie]

¿Con qué frecuencia realiza inspecciones para detectar fugas de agua?

- Nunca

¿Le interesaría probar un nuevo producto o servicio de detección de fugas?

- Sí

¿Qué cantidad de agua extraída de pozos se pierde debido a fugas?

[Cerca del 35% del agua que se extrae de pozos y se almacena en estanques]

¿Existe sospecha de que el problema se pueda generar por robo de agua?

[No es posible que existan robos de agua, debido al control que tenemos en la distribución]

¿Qué otros aspectos influyen en sus decisiones de compra de servicios de detección de fugas?

[Seguridad, control en línea constante y la posibilidad de atacar tempranamente la pérdida de agua]

¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta en la detección de fugas?

[La necesidad de detener el suministro de agua para tener que realizar la detección y reparación]

Disposición a pagar por un servicio de detección de fugas de agua

[Si el servicio es bueno se podría considerar un pago mensual de entre \$100.000 y \$200.000]

SSR Santa Filomena – V región – Actual gerente de SSR

¿Con qué frecuencia detecta fugas de agua en su sistema?

- Mensualmente

¿Cuántas fugas de agua detecta aproximadamente en un mes?

[1 a 2 fugas mensuales]

¿Cómo describe el impacto de las fugas de agua en su servicio?

- Moderado

¿Qué tan satisfecho está con las opciones actuales de detección de fugas en el mercado?

- Neutral

¿Cuáles de las siguientes tecnologías de detección de fugas ha utilizado? (Seleccione todas las que apliquen)

- Monitoreo de presión

¿Qué tecnología de detección de fugas le ha funcionado mejor?

[Principalmente se utilizan los sensores de presión pero no contamos con tecnología para la detección de fugas de agua]

¿Con qué frecuencia realiza inspecciones para detectar fugas de agua?

- Nunca

¿Le interesaría probar un nuevo producto o servicio de detección de fugas?

- Sí

¿Qué cantidad de agua extraída de pozos se pierde debido a fugas?

[Cuando las fugas no son detectadas las pérdidas suelen ser del 40% de la extracción de pozos]

¿Existe sospecha de que el problema se pueda generar por robo de agua?

[Es muy poco probable, debido a que se realizan inspecciones constantemente]

¿Qué otros aspectos influyen en sus decisiones de compra de servicios de detección de fugas?

[Un sistema de detección rápido que permita atacar prontamente la fuga y realizar la reparación]

¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta en la detección de fugas?

[El tiempo en detectarla, lo que termina encareciendo la reparación y las pérdidas de productividad]

Disposición a pagar por un servicio de detección de fugas de agua

[Preferimos comprar equipos que rondan entre \$100.000 y \$2.000.000]

SSR Manuel Rodríguez – Región Metropolitana – Actual presidenta del SSR

¿Con qué frecuencia detecta fugas de agua en su sistema?

- Raramente

¿Cuántas fugas de agua detecta aproximadamente en un mes?

[De 1 a 2 fugas mensuales]

¿Cómo describe el impacto de las fugas de agua en su servicio?

- Alto

¿Qué tan satisfecho está con las opciones actuales de detección de fugas en el mercado?

- Neutral

¿Cuáles de las siguientes tecnologías de detección de fugas ha utilizado? (Seleccione todas las que apliquen)

- Otros

¿Qué tecnología de detección de fugas le ha funcionado mejor?

[No contamos con tecnología para detección de fugas]

¿Con qué frecuencia realiza inspecciones para detectar fugas de agua?

- Raramente

¿Le interesaría probar un nuevo producto o servicio de detección de fugas?

- Sí

¿Qué cantidad de agua extraída de pozos se pierde debido a fugas?

[Es variable pero ronda el 30% del agua que se extrae y almacena]

¿Existe sospecha de que el problema se pueda generar por robo de agua?

[Existen sospechas, pero versus la cantidad de agua perdida por fuga, estas cantidades son bastante despreciables]

¿Qué otros aspectos influyen en sus decisiones de compra de servicios de detección de fugas?

[Que sea tecnología de fácil entendimiento y poder detectar rápidamente una fuga]

¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta en la detección de fugas?

[Tener que realizar la reparación rápido para evitar pérdidas considerables]

Disposición a pagar por un servicio de detección de fugas de agua

[Entre \$100.000 y \$200.000 por un servicio, o la compra de equipamiento por hasta \$3.000.000]

SSR Choapinos – VI región– Actual presidente del SSR

¿Con qué frecuencia detecta fugas de agua en su sistema?

- Mensualmente

¿Cuántas fugas de agua detecta aproximadamente en un mes?

[De 3 a 5]

¿Cómo describe el impacto de las fugas de agua en su servicio?

- Muy alto

¿Qué tan satisfecho está con las opciones actuales de detección de fugas en el mercado?

- Neutral

¿Cuáles de las siguientes tecnologías de detección de fugas ha utilizado? (Seleccione todas las que apliquen)

- Otros

¿Qué tecnología de detección de fugas le ha funcionado mejor?

[Actualmente no contamos con tecnología para la detección, pero buscamos un sistema que se mantenga en constante monitoreo]

¿Con qué frecuencia realiza inspecciones para detectar fugas de agua?

- Nunca

¿Le interesaría probar un nuevo producto o servicio de detección de fugas?

- Sí

¿Qué cantidad de agua extraída de pozos se pierde debido a fugas?

[Cerca del 40% de la extracción de agua termina en pérdidas de agua no contabilizada]

¿Existe sospecha de que el problema se pueda generar por robo de agua?

[Las veces que hemos detectado robo de agua, hemos notado que comparado con el problema de fugas es despreciable]

¿Qué otros aspectos influyen en sus decisiones de compra de servicios de detección de fugas?

[Que sea tecnología de buena calidad, ya que hemos tenido mala experiencia con equipos chinos]

¿Cuáles son los principales problemas que enfrenta en la detección de fugas?

[El detener el suministro de agua para poder reparar las tuberías y matrices, junto al no poder detectar a tiempo las fugas]

Disposición a pagar por un servicio de detección de fugas de agua

[Si se trata de un servicio de \$50.000 a \$250.000 dependiendo de lo que se ofrece]

