

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

GESTIÓN DEL AGUA NO CONTABILIZADA EN EMPRESAS SANITARIAS: PROPUESTA DE UN MARCO PARA LA TOMA DE DECISIONES.

Maricela Solorza
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
Octubre 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título ☒ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Gestión del agua no contabilizada en empresas sanitarias: propuesta de un marco para la toma de decisiones.

Nombre del candidato(a): Maricela Andrea Solorza Albornoz

Carrera / Grado: Magíster en Gestión del Agua – Master of Water Management

Campus: Vitacura **Departamento:** Ingeniería Comercial /Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Vivian Aranda Núñez**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 26-10-2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a)

Fecha: 26-10-2026 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
MWM MASTER OF WATER MANAGEMENT

Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

GESTIÓN DEL AGUA NO CONTABILIZADA EN EMPRESAS SANITARIAS: PROPUESTA DE UN MARCO PARA LA TOMA DE DECISIONES.

Tesis de magister presentada por
Maricela Andrea Solorza Albornoz
Como requisito para optar al Grado de
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA

Director de Tesis:
Dra. Vivian Aranda Núñez
Octubre 2026

TITULO DE TESIS:
Gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias: Propuesta de un marco para la toma de decisiones.

AUTOR:
Maricela Andrea Solorza Albornoz

TRABAJO DE TESIS, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA – MASTER OF WATER MANAGEMENT de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones:

_____

_____

Dra. Vivian Aranda Núñez.
Director de Tesis

Mg. Marcelo Bravo Fortune.
Correferente Interno

Mg. José Verdugo Cerón.
Correferente Externo

Santiago, Octubre 2026

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Maricela Andrea Solorza Albornoz

Firma:



Fecha: Santiago, octubre de 2026

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta tesina fue posible gracias al apoyo del equipo académico del Magíster en Gestión del Agua de la Universidad Técnica Federico Santa María, cuya orientación metodológica y compromiso con la formación profesional son el sustento de este trabajo. A los docentes y profesionales del sector sanitario que compartieron su experiencia de terreno, enriqueciendo la perspectiva práctica del análisis. A quienes, desde distintos roles, acompañaron este proceso con paciencia y respaldo. El agua es un bien común; ojalá este trabajo contribuya, aunque sea en parte, a gestionarla mejor.

RESUMEN EJECUTIVO

El sector sanitario chileno registra un Agua No Facturada (ANF) promedio de 31,1%, con valores entre 8,4% y 43,6% entre empresas (SISS, 2025), evidenciando una importante heterogeneidad en infraestructura, disponibilidad y calidad de información, sectorización, capacidad técnica y desarrollo organizacional. Si bien la literatura especializada dispone de metodologías, indicadores y herramientas consolidadas para la gestión del Agua No Contabilizada (ANC), estas responden a distintos propósitos y requieren diferentes condiciones de aplicación, dificultando su selección y utilización progresiva en sistemas con distintos niveles de desarrollo.

El objetivo de esta investigación es proponer un marco estructurado para la gestión del ANC en empresas sanitarias, mediante la integración comparativa de metodologías y herramientas nacionales e internacionales, con el fin de orientar progresivamente la toma de decisiones según el nivel de desarrollo técnico, de información y organizacional de cada sistema.

Se realizó una revisión narrativa estructurada de literatura especializada, complementada con antecedentes regulatorios del sector sanitario chileno, documentos técnicos y conocimientos adquiridos durante el Magíster en Gestión del Agua. Las fuentes fueron analizadas según su finalidad, requerimientos de información, condiciones de aplicación, aportes y limitaciones, identificando relaciones y condiciones habilitantes entre los distintos enfoques.

Como primer resultado se propone un catálogo de métodos y herramientas para la gestión del ANC, concebido como instrumento de consulta para profesionales del sector. Como resultado integrado se desarrolla una Hoja de Ruta estructurada mediante una Espiral de Madurez de cinco niveles: Arranque, Medición, Control, Optimización e Innovación. La Espiral combina una dimensión ascendente de desarrollo de capacidades a largo plazo con un ciclo continuo de medición, análisis, priorización, intervención, evaluación y ajuste dentro de cada nivel. El avance depende de la consolidación conjunta de capacidades de información, diagnóstico de red, intervención y gestión organizacional, evitando que la incorporación tecnológica supere la capacidad efectiva de la organización para utilizarla y sostenerla.

La investigación concluye que la gestión del ANC requiere articular información confiable, conocimiento de la red, capacidad operacional y desarrollo organizacional. La principal contribución del estudio es organizar el conocimiento existente en dos instrumentos complementarios —un catálogo de consulta y una Hoja de Ruta basada en una Espiral de Madurez— que permiten orientar decisiones de manera diferenciada según las condiciones reales de cada sistema.

Palabras clave: *Agua No Contabilizada · Non-Revenue Water · balance hídrico IWA · gestión de pérdidas · calidad de datos · indicadores de desempeño · Espiral de Madurez · Hoja de Ruta empresas sanitarias Chile.*

ABSTRACT

The Chilean water utility sector reports an average Non-Revenue Water indicator of 31.1%, with values ranging from 8.4% to 43.6% among utilities (SISS, 2025), reflecting significant heterogeneity in infrastructure, availability and quality of information, sectorization, technical capacity, and organizational development. Although specialized literature provides consolidated methodologies, indicators, and tools for Non-Revenue Water (NRW) management, these approaches serve different purposes and require different application conditions, making their selection and progressive use difficult in systems with different levels of development.

The objective of this research is to propose a structured framework for NRW management in water utilities through the comparative integration of national and international methodologies and tools, in order to progressively support decision-making according to the technical, information, and organizational development level of each system.

A structured narrative review of specialized literature was conducted, complemented by regulatory background from the Chilean water sector, technical documents, and knowledge acquired during the Master's Program in Water Management. The selected sources were analyzed according to their purpose, information requirements, application conditions, contributions, and limitations, identifying relationships and enabling conditions among the different approaches.

As a first result, a comparative catalogue of methods and tools for NRW management is proposed as a consultation instrument for water-sector practitioners. As an integrated result, a Roadmap structured through a five-level Maturity Spiral—Start-up, Measurement, Control, Optimization, and Innovation—is developed. The Spiral combines an ascending dimension of long-term capability development with a continuous cycle of measurement, analysis, prioritization, intervention, evaluation, and adjustment within each level. Progress depends on the joint consolidation of information, network diagnosis, intervention, and organizational capacities, preventing technological development from exceeding the organization's effective ability to use and sustain it.

The study concludes that NRW management requires the integration of reliable information, network knowledge, operational capacity, and organizational development. Its main contribution is to organize existing knowledge into two complementary instruments—a consultation catalogue and a Roadmap based on a Maturity Spiral—that support differentiated decision-making according to the actual conditions of each system.

Keywords: *Non-Revenue Water · IWA Water Balance · water loss management · data quality · performance indicators · Maturity Spiral · Roadmap · water utilities · Chile.*

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 12
2 ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO 13
2.1 ORIGEN 13
2.2 PROPÓSITO 13
2.3 ALCANCE DEL ESTUDIO 14
3 OBJETIVOS 17
4 ESTADO DEL ARTE 19
4.1 ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE 19
4.2 SERIE DE PREGUNTAS ORIENTADORAS DEL ESTADO DEL ARTE 31
4.2.1 ¿Qué sabe actualmente la literatura sobre la gestión del ANC? 31
4.2.2 ¿Cómo ha evolucionado el tratamiento del ANC a lo largo del tiempo? 32
4.2.3 ¿Cuáles son las tendencias actuales en gestión del ANC? 34
4.2.4 ¿Qué brechas persisten en la literatura internacional? 36
4.3 SUJETO DE ESTUDIO 37
4.4 MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE 39
5 PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO 43
6 APLICACIÓN METODOLÓGICA 46
6.1 CRITERIOS DEL ANÁLISIS 46
6.2 CUANTIFICACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN 50
6.2.1 ANC% e indicadores ajustados 50
6.2.2 Balance hídrico IWA 52
6.2.3 Calidad del dato 55
6.2.4 Indicadores 65
6.3 CONOCIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN DE LA RED 76
6.3.1 Calidad de infraestructura y gestión de activos 78
6.3.2 Sectorización (DMAs y sectores de presión) 79
6.3.3 Sensorización 81
6.3.4 Catastro, GIS y modelo hidráulico 83
6.3.5 Sectorización: distritos de medición y análisis — DMA 86
6.3.6 Marco de los cuatro pilares técnicos 87
6.3.7 Gestión activa de presiones 91
6.3.8 Detección activa de fugas — DAF 96
6.4 CAPACIDAD ORGANIZACIONAL Y GESTIÓN DEL ANC 101
6.5 CONSTRUCCIÓN DEL MARCO 114
6.5.1 Ejes y dimensiones 115

6.5.2 Niveles de desarrollo 116
6.5.3 Reglas de evaluación 117
7 RESULTADOS 120
7.1 CATÁLOGO DE MÉTODOS Y HERRAMIENTAS 122
7.2 HOJA DE RUTA PARA LA GESTIÓN DEL ANC 125
7.3 EVALUACIÓN 132
7.3.1 Evaluación de capacidades 132
7.3.2 Resultados de la evaluación 138
7.3.3 De las brechas a los objetivos de gestión 139
7.3.4 Procedimiento de aplicación de la Hoja de Ruta 141
7.4 COHERENCIA, APLICABILIDAD Y LIMITACIONES 143
8 CONCLUSIONES 145
9 RECOMENDACIONES 150
10 BIBLIOGRAFÍA 153
11 WEBGRAFÍA 162
12 GLOSARIO Y ACRÓNIMOS 163
ANEXOS 168
ANEXO A. REVIEW BIBLIOGRÁFICO COMPLETO 168
ANEXO B. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLETAS 175
ANEXO C. BALANCE HÍDRICO IWA 212
ANEXO D. AUDITORÍA HÍDRICA Y CALIDAD DEL DATO 216
ANEXO E. INDICADORES DE DESEMPEÑO — TIRL, BABE, UARL e ILI 222
ANEXO F. NRWPI Y NRWPI-CL 226
ANEXO G. MICROMEDICIÓN Y CONSUMOS 231
ANEXO H. TELELECTURA 234
ANEXO I. GESTIÓN DE PRESIONES 238
ANEXO J. TÉCNICAS DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS 249
ANEXO K. PROGRAMA DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS 255
ANEXO L. GWOPA / UN-Habitat 266
ANEXO M. MATRIZ DE MADUREZ WUM 273
ANEXO N. WATER UTILITY TURNAROUND FRAMEWORK 282

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Review Bibliográfico – Lecturas Fundamentales. 20
Tabla 2: Review Bibliográfico – Lecturas Específicas. 23
Tabla 3: Review Bibliográfico – Lecturas Complementarias. 24
Tabla 4: Aportes de los módulos MWM a la gestión del ANC 25
Tabla 5: Referentes internacionales para la gestión del ANC. 26
Tabla 6: Sistematización de Palabras Claves y/o Conceptos..... 29
Tabla 7: Carta Gantt — Cronograma de actividades de la investigación 42
Tabla 8: Aportes y limitaciones de los métodos. 47
Tabla 9: Escalas, categorías y fases de los instrumentos analizados. 48
Tabla 10: Categorías de análisis y métodos asociados. 49
Tabla 11: Aplicación del balance hídrico por nivel. 54
Tabla 12: Calidad del dato: estado general 56
Tabla 13: Evaluación DVS 58
Tabla 14: Contraste bottom-up 64
Tabla 15: Aplicación del TIRL por nivel. 67
Tabla 16: Rangos orientativos del ILI. 69
Tabla 17: Aplicación de BABE, UARL e ILI por nivel. 70
Tabla 18: Aplicación del enfoque NRWPI por nivel. 72
Tabla 19: Condición habilitante: calidad de datos suficiente 74
Tabla 20: Planos y GIS por nivel 78
Tabla 21: Intervención y seguimiento de los cuatro pilares técnicos. 87
Tabla 22 Aplicación del marco de los cuatro pilares 90
Tabla 23: Reducción del caudal de fuga ante una disminución de presión. 92
Tabla 24: Aplicación de FAVAD y del exponente N1 por nivel. 93
Tabla 25: Aplicación de la gestión activa de presiones. 95
Tabla 26: Aplicación del control activo de fugas. 99
Tabla 27: Uso del WUM. 102
Tabla 28: Fases y pasos del PMPI. 103
Tabla 29: Aplicación del PMPI. 105

Tabla 30: Perspectivas del BSC. 106
Tabla 31: Aplicación del BSC por nivel. 107
Tabla 32: Aporte por nivel - GWOPA 109
Tabla 33: Aporte de los marcos de planificación. 111
Tabla 34: Aplicación de los marcos de planificación. 111
Tabla 35: Aplicación del análisis económico de pérdidas por nivel. 113
Tabla 36: Ejes y dimensiones efectivas para evaluación 116
Tabla 37: Criterios generales de progresión de los niveles de desarrollo. 117
Tabla 38: Criterios de integración de la evaluación por eje. 119
Tabla 39: Resultados del análisis comparativo. 121
Tabla 40: Documentos, guías y marcos de alcance amplio. 123
Tabla 41: Métodos y herramientas específicos. 124
Tabla 42: Perfiles de desarrollo. 130
Tabla 43: Trabajo y avance por nivel. 131
Tabla 44: Matriz de evaluación del Eje A: cuantificación, y calidad del dato. 134
Tabla 45: Matriz de evaluación del Eje B: infraestructura de medición 135
Tabla 46: Matriz de evaluación del Eje C: Control de pérdidas. 136
Tabla 47: Matriz de evaluación del Eje D: capacidad organización. 137
Tabla 48: Resultado del ejercicio hipotético de evaluación por eje. 138
Tabla 49: Semáforo de capacidades. 140
Tabla 50: Estrategias de nivelación 140
Tabla 51: Procedimiento de aplicación de la Hoja de Ruta. 142
Tabla 52: Correspondencia entre los componentes del marco. 143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo Teórico de la Investigación 41
Figura 2: Estructura del balance hídrico IWA. 53
Figura 3: Relación entre volumen acumulado y precisión 61
Figura 4: Windrose NRWPI: distribución de los 18 subindicadores 73
Figura 5: Espiral de Madurez para la gestión del ANC. 126
Figura 6: Ciclo de gestión del ANC. 127

1 INTRODUCCIÓN

El Agua No Contabilizada (ANC) corresponde al volumen de agua que ingresa a un sistema de abastecimiento y que no genera ingresos para la empresa, incluyendo consumos autorizados no facturados, pérdidas aparentes y pérdidas reales. Este fenómeno —conocido internacionalmente como *Non-Revenue Water* (NRW)— constituye uno de los desafíos persistentes de la gestión de los sistemas de agua potable. A nivel mundial, se estiman pérdidas de aproximadamente 32.000 millones de metros cúbicos anuales en sistemas de distribución urbana (Liemberger & Wyatt, 2019). En Chile, el Agua No Facturada (ANF%) alcanzó un promedio sectorial de 31,1% en 2025, con valores entre 8,4% y 43,6% entre empresas (SISS, 2025), evidenciando diferencias relevantes en el desempeño y en las condiciones desde las cuales se gestiona este problema.

La literatura especializada dispone de numerosos métodos y herramientas para cuantificar las pérdidas, evaluar la confiabilidad de los datos, diagnosticar el comportamiento de la red, orientar intervenciones y analizar capacidades organizacionales. Sin embargo, estos instrumentos fueron desarrollados con propósitos y requerimientos diferentes, por lo que su selección y articulación no siempre resultan evidentes, especialmente en sistemas con distintos niveles de información, infraestructura, conocimiento de la red y capacidad de gestión.

Esta investigación surge de la necesidad de organizar y relacionar ese conocimiento para facilitar su aplicación práctica. Para ello, aborda dos necesidades complementarias: por una parte, apoyar la identificación de métodos y herramientas frente a problemas específicos de análisis, diagnóstico, intervención o evaluación; y, por otra, orientar la identificación de brechas y el desarrollo progresivo de capacidades para sostener la gestión del ANC en el tiempo. La propuesta no pretende constituir un manual de implementación ni establecer una secuencia rígida de acciones, sino proporcionar criterios para apoyar la toma de decisiones de acuerdo con las condiciones de cada sistema.

El objetivo de esta investigación es proponer un marco estructurado para la gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias, mediante la integración comparativa de metodologías y herramientas nacionales e internacionales, con el fin de orientar progresivamente la toma de decisiones según el nivel de desarrollo técnico, de información y organizacional de cada sistema. Para responder a este propósito, el trabajo se orienta al desarrollo de dos instrumentos complementarios: un Catálogo de métodos y herramientas para apoyar necesidades específicas de gestión y una Hoja de Ruta basada en una Espiral de Madurez, destinada a orientar la evaluación de capacidades, la identificación de brechas y su desarrollo progresivo.

2 ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO

2.1 ORIGEN

El origen del estudio se basa en la experiencia práctica de la autora, desarrollada durante casi cinco años en la gestión de pérdidas de agua en empresas sanitarias. Esta experiencia ha permitido observar que, más allá de la disponibilidad de herramientas técnicas, existen brechas relevantes en la forma en que se organiza, interpreta y utiliza la información para la toma de decisiones. En particular, se ha identificado que la gestión del ANC muchas veces depende de esfuerzos individuales, iniciativas aisladas y conocimiento tácito, lo que dificulta la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo. Esta situación se traduce en falta de claridad en roles, objetivos y prioridades, generando ineficiencias operativas, desgaste en los equipos y pérdida de oportunidades de mejora.

Uno de los aspectos críticos evidenciados en la práctica corresponde a la relación entre la calidad de la información disponible y la efectividad de los procesos de análisis y toma de decisiones. La consistencia de la información, su coherencia con la realidad operativa y la forma en que esta es interpretada influyen directamente en la confiabilidad de los diagnósticos y en las decisiones que se sustentan en ellos.

Por ello, disponer de información suficientemente confiable constituye una condición habilitante para avanzar en la gestión: registros consistentes con la realidad operativa, procesos de captura adecuados y criterios compartidos de interpretación permiten utilizar con mayor fundamento las herramientas disponibles. Sin embargo, la información por sí sola no garantiza una gestión efectiva, ya que debe articularse con el conocimiento de la red, la capacidad de intervención y las condiciones organizacionales necesarias para transformar el diagnóstico en acciones sostenibles.

Adicionalmente, la heterogeneidad entre los sistemas sanitarios, en términos de infraestructura, nivel de sensorización, calidad de datos, conocimiento de la red y desarrollo organizacional, dificulta la aplicación de soluciones estándar. En este contexto, resulta poco adecuado plantear modelos rígidos de gestión, siendo necesario avanzar hacia enfoques que reconozcan estas diferencias y permitan adaptar las decisiones a la realidad de cada sistema.

2.2 PROPÓSITO

En este escenario, el propósito del presente estudio es contribuir a la mejora de la gestión del Agua No Contabilizada mediante la elaboración de un marco estructurado que permita ordenar la toma de decisiones en empresas sanitarias. Este marco busca integrar de manera coherente la operación en terreno, el análisis técnico y la gestión organizacional, reconociendo que la gestión sostenida del ANC no depende únicamente de la tecnología o la infraestructura, sino de la articulación entre información, procesos, capacidades técnicas y personas.

En este sentido, el trabajo no se limita a recopilar antecedentes, sino que se sustenta en la revisión, análisis crítico e interpretación de información existente, con el objetivo de generar una propuesta aplicable que permita transformar el conocimiento disponible en herramientas de apoyo a la gestión.

Asimismo, el estudio busca sistematizar la experiencia adquirida en la gestión del ANC, transformándola en un instrumento formal que pueda ser utilizado por distintos niveles de la organización, desde equipos operativos hasta niveles estratégicos, contribuyendo a su transferencia, replicabilidad y continuidad en el tiempo.

2.3 ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance del estudio considera el contexto regulatorio e institucional en el que se enmarca la gestión del Agua No Contabilizada en Chile, los estándares internacionales que orientan el análisis, las características de los sistemas de distribución objeto de estudio y los límites del trabajo desarrollado, los que se abordan de forma sucinta a continuación:

- **Marco regulatorio del ANC en Chile**

En Chile, la gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias se enmarca en el sistema regulatorio establecido por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), organismo fiscalizador dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOP), responsable de velar por la calidad, continuidad y eficiencia de los servicios de agua potable y saneamiento.

La SISS exige a las empresas concesionarias el reporte periódico de indicadores de eficiencia hídrica, entre los cuales las pérdidas de agua constituyen un componente relevante de la evaluación del desempeño operacional.

En este marco, la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G. (ANDESS) y la consultora Seinco Chile publicaron en 2023 el Manual Metodológico N°1 sobre Indicadores ANC, orientado a adaptar y sistematizar criterios para la evaluación del ANC en el contexto sanitario chileno. El documento incorpora el indicador ANC*, que permite distinguir determinados volúmenes asociados a usos propios y otras condiciones particulares respecto de las pérdidas gestionables por las empresas (ANDESS, 2023).

En este contexto, el presente estudio reconoce el rol del marco regulatorio como factor condicionante de las decisiones de gestión, sin que su análisis detallado forme parte del alcance de este trabajo. Las referencias regulatorias y sectoriales se utilizan principalmente como contexto para situar la propuesta en la realidad sanitaria chilena.

- **Estándares internacionales de referencia**

A nivel internacional, la International Water Association (IWA) y la American Water Works Association (AWWA) constituyen referencias metodológicas relevantes para la gestión del Agua No Contabilizada.

La IWA ha desarrollado el balance hídrico estandarizado, que permite cuantificar y clasificar los componentes asociados al agua no facturada, distinguiendo, entre otros, pérdidas reales y aparentes y proporcionando indicadores para evaluar el desempeño de los sistemas. La AWWA, por su parte, ha sistematizado el proceso de auditoría de agua y la evaluación de la confiabilidad de los antecedentes utilizados para construir dichos balances.

Estos antecedentes constituyen parte de la base metodológica utilizada en el estudio y se complementan con otros métodos, herramientas y marcos nacionales e internacionales revisados durante la investigación.

- **Sistemas de distribución de agua potable**

El presente estudio se orienta a los sistemas de distribución de agua potable operados por empresas sanitarias, considerando la diversidad de realidades existentes en cuanto a tamaño, antigüedad de infraestructura, nivel de sectorización, disponibilidad de medición, conocimiento de la red y capacidad de gestión.

Se reconoce que los sistemas presentan distintos grados de desarrollo, lo que condiciona la profundidad con que pueden utilizarse determinadas herramientas y las prioridades que pueden resultar pertinentes en cada contexto. El estudio no se circunscribe a un tipo específico de sistema ni a una empresa en particular, sino que busca generar una propuesta de carácter generalizable y adaptable a distintas condiciones operacionales.

- **Límites del estudio**

El presente estudio no considera el análisis detallado de una empresa específica ni el uso de información confidencial, sino que se sustenta en antecedentes documentales, referencias del sector y experiencia general asociada a la gestión de sistemas sanitarios.

El alcance del trabajo no contempla la implementación y validación empírica integral del marco propuesto. La investigación se concentra en su construcción conceptual y metodológica, dejando como proyección futura su aplicación, validación y ajuste en diferentes contextos operacionales. Asimismo, no se abordan en profundidad los aspectos tarifarios, regulatorios ni de evaluación de inversiones asociados a la gestión del ANC, salvo cuando resultan necesarios para contextualizar los métodos revisados.

- **Período de evaluación**

Por tratarse de una investigación de carácter documental y propositivo, el estudio no se circunscribe a un período operacional específico. Los antecedentes bibliográficos y técnicos utilizados corresponden a las fuentes consideradas durante el desarrollo de la investigación, priorizando referencias pertinentes y actualizadas en materia de gestión del Agua No Contabilizada a nivel nacional e internacional.

3 OBJETIVOS

Luego de haber ordenado las ideas, los propósitos y revisado la información relevante sobre la gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias, se presentan a continuación el objetivo general y los objetivos específicos, los que permitirán reflejar una propuesta metodológica para distintas fases o etapas de desarrollo de la investigación.

- **Objetivo General**

Proponer un marco estructurado para la gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias, mediante la integración comparativa de metodologías y herramientas nacionales e internacionales, con el fin de orientar progresivamente la toma de decisiones según el nivel de desarrollo técnico, de información y organizacional de cada sistema.

- **Objetivos Específicos**

Se han definido 16 objetivos específicos que se agrupan para las distintas fases metodológicas de la investigación.

Antecedentes Estado del Arte

1. Conocer la documentación existente sobre la gestión del Agua No Contabilizada a nivel nacional e internacional, identificando metodologías, herramientas y enfoques aplicados en distintos contextos.
2. Identificar los principales aportes obtenidos de cada uno de los catorce módulos del Magister en Gestión del Agua USM.
3. Recopilar información que permita comprender las principales problemáticas asociadas a la gestión del ANC, considerando aspectos técnicos, operativos y organizacionales.
4. Analizar experiencias relevantes en la gestión de pérdidas de agua, que permitan identificar buenas prácticas y limitaciones en su implementación.
5. Comprender cómo se relacionan distintos enfoques de gestión, análisis de datos y operación en el contexto de la gestión del ANC.

Sujeto de estudio

6. Caracterizar las principales condiciones de los sistemas de distribución de agua potable que influyen en la gestión del ANC, considerando aspectos como calidad de datos, nivel de sensorización, sectorización y coherencia entre modelo y operación.
7. Analizar la gestión organizacional del ANC en empresas sanitarias, identificando brechas en la integración entre áreas operativas, técnicas y de análisis.

Marco Teórico

8. Formular el marco teórico del estudio, integrando los antecedentes revisados y los conceptos clave asociados a la gestión del Agua No Contabilizada.

Propuestas metodológicas

9. Establecer una estructura de análisis que vincule el estado actual de los sistemas con su nivel de desarrollo en la gestión del ANC, permitiendo su clasificación en niveles.
10. Definir criterios que permitan recomendar y priorizar acciones en función del nivel de desarrollo y de las brechas identificadas en cada sistema, orientando la toma de decisiones de manera progresiva.
11. Proponer un conjunto de lineamientos técnicos y de gestión que permitan mejorar la calidad de los datos, la integración entre áreas y la eficiencia en la reducción de pérdidas.

Aplicación metodología

12. Aplicar la estructura de análisis a los métodos y herramientas revisados, evaluando su estructura, aportes, requerimientos y condiciones de aplicación, e identificando relaciones de complementariedad y criterios de progresividad para la gestión del ANC.

Resultados

13. Presentar un catálogo de métodos y herramientas para apoyar necesidades específicas de gestión y una Hoja de Ruta que permita evaluar el nivel de desarrollo, identificar brechas y orientar las prioridades de gestión y avance de cada sistema.
14. Analizar la coherencia del marco propuesto con los métodos y enfoques revisados, y discutir su aplicabilidad al contexto del sector sanitario chileno.

Conclusiones

15. Concluir sobre el valor del marco propuesto para apoyar la toma de decisiones y orientar la gestión progresiva del ANC, considerando los resultados de la revisión y la contextualización chilena.

Recomendaciones

16. Proponer recomendaciones generales para la gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias, considerando aspectos técnicos, operacionales, organizacionales e institucionales.

4 ESTADO DEL ARTE

El estado del arte tiene por propósito identificar y organizar los principales antecedentes conceptuales, metodológicos y operacionales disponibles para la gestión del Agua No Contabilizada. Para ello, se revisan fuentes científicas, técnicas, institucionales y regulatorias, complementadas con los conocimientos adquiridos durante el Magíster en Gestión del Agua. El análisis busca reconocer los principales enfoques existentes, sus ámbitos de aplicación, requerimientos, aportes y limitaciones, así como las relaciones y brechas que posteriormente serán consideradas en el desarrollo metodológico de la investigación.

4.1 ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE

La base documental de la investigación se construyó a partir de fuentes seleccionadas por su relación con la gestión del ANC y su aporte al problema de estudio. Para facilitar su sistematización, las lecturas se organizaron en tres grupos: fundamentales (Tabla 1), específicas (Tabla 2) y complementarias (Tabla 3). Las primeras reúnen los principales fundamentos metodológicos; las segundas profundizan ámbitos particulares de la gestión del ANC; y las complementarias aportan experiencias, aplicaciones y enfoques asociados. También se revisaron los aportes del programa de magíster, el escenario internacional y la sistematización de palabras y conceptos.

Tabla 1: Review Bibliográfico – Lecturas Fundamentales.

Lecturas Fundamentales		
N.º	**Cita**	**Descriptor**
1	Lambert, A., & Hirner, W. (2000). Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures. IWA.	Balance hídrico IWA — Establece una estructura y terminología común para cuantificar el agua suministrada, los consumos autorizados y las pérdidas aparentes y reales.
2	American Water Works Association. (2009). Water audits and loss control programs (Manual M36, 3.ª ed.). / American Water Works Association. (2020a). AWWA Free Water Audit Software (versión 6.0).	Auditoría y validez de datos — Orienta la elaboración y revisión del balance hídrico. El FWAS incorpora calificación de los insumos y evaluación de su validez mediante el DVS.
3	Farley, M., & Liemberger, R. (2005). Developing a non-revenue water reduction strategy: Planning and implementing the strategy. Water Science and Technology: Water Supply, 5(1), 41–50.	Planificación e implementación — Organiza las acciones de reducción del ANC según el diagnóstico, las condiciones de la red y las capacidades disponibles, incorporando seguimiento y continuidad.
4	Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water loss control (2.ª ed.). McGraw-Hill.	Control de pérdidas — Integra cuantificación, diagnóstico, pérdidas aparentes y reales, gestión de presiones, detección, reparación y evaluación económica de las intervenciones.
5	Hamilton, S., & McKenzie, R. (2014). Water management and water loss. IWA Publishing.	Gestión operacional de pérdidas — Presenta métodos y tecnologías de diagnóstico e intervención, considerando las características de la red y las condiciones de aplicación.
6	Kayaga, S., Mugabi, J., & Kingdom, W. (2013). Evaluating the institutional sustainability of an urban water utility: A conceptual framework and research directions. Utilities Policy, 27, 15–27.	WUM — Modelo de madurez organizacional con cinco dimensiones y cinco niveles de desarrollo. Permite evaluar capacidades institucionales y reconocer diferencias en su consolidación.
7	Liemberger, R., & Farley, M. (2004). Developing a non-revenue water reduction strategy, Part 1: Investigating and assessing water losses [Ponencia]. 4th IWA World Water Congress & Exhibition, Marrakech, Marruecos.	Diagnóstico e investigación — Examina la magnitud y los componentes de las pérdidas mediante el balance hídrico y la evaluación de la red, como antecedentes para formular la estrategia.
8	Konatar, M., & Schiller, T. (s. f.). NRW Change Management Index: An innovative approach for non-revenue water management. Water Online.	NRW-CMI — Relaciona el diagnóstico técnico e institucional con las actitudes, comportamientos y habilidades de los distintos niveles de la organización.
9	AbuEltayef, H., Alastal, K., & AbuAlhin, K. (2025). Nonrevenue water paradigm for planning and management by performance indicators. Water Practice & Technology, 20(7), 1639–1660.	PMPI — Modelo de planificación y gestión del ANC mediante cinco fases y diecinueve pasos. Relaciona diagnóstico, acciones, seguimiento y actualización del programa.
10	American Water Works Association. (2009). Water audits and loss control programs (Manual M36, 3.ª ed.). / Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water loss control (2.ª ed.). McGraw-Hill.	ANC% — Expresa la proporción del volumen de entrada que corresponde a agua no contabilizada. Su interpretación requiere revisar los componentes, los consumos y la calidad de los datos.
11	Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Jr., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. (2016). Performance indicators for water supply services (3.ª ed.). IWA Publishing.	Indicadores de desempeño y TIRL — Aporta definiciones y criterios para expresar e interpretar las pérdidas reales mediante indicadores normalizados, con datos y condiciones de comparación compatibles.

Lecturas Fundamentales		
N.º	**Cita**	**Descriptor**
12	Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 48(6), 227–237. / Lambert, A. O., & McKenzie, R. D. (2002). Practical experience in using the Infrastructure Leakage Index [Ponencia]. IWA Conference “Leakage Management: A Practical Approach”, Lemesos, Chipre.	UARL e ILI — Relaciona las pérdidas reales actuales con una referencia técnica ajustada a las características del sistema. Su interpretación exige comprobar los datos y la aplicabilidad del modelo.
13	May, J. (1994). Pressure dependent leakage. World Water and Environmental Engineering, octubre. / Lambert, A., Fantozzi, M., & Thornton, J. (2013). Practical approaches to modeling leakage and pressure management in distribution systems—Progress since 2005 [Ponencia]. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, Perugia, Italia.	FAVAD y relación presión–fuga — Explica la respuesta de las fugas frente a cambios de presión. El exponente utilizado debe justificarse mediante antecedentes, pruebas o análisis de sensibilidad.
14	Lambert, A. O., & Lalonde, A. (2005). Using practical predictions of economic intervention frequency to calculate short-run economic leakage level, with or without pressure management [Ponencia]. IWA Leakage 2005 International Conference, Halifax, Canadá.	ELL y frecuencia económica de intervención — Relaciona costos, valor del agua y evolución de las fugas para evaluar la conveniencia y frecuencia de las intervenciones.
15	AbuEltayef, H., AbuAlhin, K., & Alastal, K. (2025). A novel method for evaluating and establishing benchmarks for non-revenue water through performance indicators (NRWPI). Discover Water, 5, artículo 106.	NRWPI — Evalúa el desempeño mediante indicadores de los componentes del ANC y utiliza una representación Windrose para comunicar resultados y orientar prioridades de intervención.
16	Escobar Morales, J. J. (2011). Método de los caudales mínimos nocturnos: Revisión de sus bases científicas, evaluación de errores potenciales y propuestas para su mejora [Trabajo de fin de máster]. Universitat Politècnica de València.	Incertidumbre del CMN — Examina cómo la estimación del consumo nocturno legítimo y la selección de la presión representativa afectan el cálculo y la interpretación de las pérdidas.
17	Hamilton, S., & McKenzie, R. (2014). Water management and water loss. IWA Publishing.	Gestión de presiones — Orienta el diagnóstico, la selección del control y la comprobación de sus efectos sobre las fugas, las roturas y las condiciones de servicio.
18	Hamilton, S., & McKenzie, R. (2014). Water management and water loss. IWA Publishing.	Control activo de fugas — CAF — Organiza la búsqueda y localización de fugas no reportadas. La tecnología y la frecuencia se seleccionan según las condiciones y antecedentes de la red.
19	Morrison, J., Tooms, S., Lambert, A., Høgh, K., Wyeth, G., Smith, J., Sahawneh, E., & Gorzelnik, S. (2024). District metered areas: Guidance notes for DMA management (versión 2). International Water Association, Water Loss Specialist Group.	Sectorización — DMA — Orienta el diseño, la verificación y la gestión de unidades de medición y análisis, considerando sus límites, flujos, consumos y condiciones hidráulicas.

Lecturas Fundamentales		
N.º	**Cita**	**Descriptor**
20	Faber, S., & Radakrishnan, M. (2019). Roadmap to non-revenue water reduction and management. IHE Delft Institute for Water Education y UN-Habitat/GWOPA.	Guía GWOPA — Organiza el respaldo directivo, el equipo, la planificación y las acciones de reducción del ANC, vinculando cambios técnicos, culturales y organizacionales.
21	Water & Sanitation for the Urban Poor. (2017). A guide to non-revenue water reduction: How to limit losses, strengthen commercial viability and improve services. WSUP.	Guía WSUP — Orienta procedimientos de diagnóstico, auditoría, medición sectorial, implementación y seguimiento, adaptados al estado de las actividades y capacidades de la empresa.
22	Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Singh, S. (2008). The manager's non-revenue water handbook: A guide to understanding water losses. Ranhill Utilities Berhad y USAID.	Manual Ranhill/USAID — Integra aspectos técnicos, comerciales, financieros y organizacionales. Su checklist de 54 preguntas permite ordenar antecedentes e identificar vacíos para el diagnóstico.
23	Soppe, G., Janson, N., & Piantini, S. (2018). Water utility turnaround framework: A guide for improving performance. World Bank.	Turnaround Framework — Relaciona el diagnóstico de capacidades con un proceso de transformación organizacional, financiera, técnica y comercial para mejorar y sostener el desempeño.
24	Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business School Press.	Cuadro de mando integral — BSC — Relaciona objetivos, indicadores, metas e iniciativas. Permite integrar el seguimiento del ANC con las prioridades y decisiones estratégicas de la organización.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Review Bibliográfico – Lecturas Específicas.

Lecturas Específicas		
N°	**Cita**	**Descriptor**
10	Faber, S., & Radakrishnan, M. (2019). Roadmap to non-revenue water reduction and management. IHE Delft Institute for Water Education y UN-Habitat/GWOPA.	**Guía GWOPA —** Orienta la preparación del programa, su organización en unidades manejables y la implementación de acciones técnicas, comerciales y organizacionales.
11	Water & Sanitation for the Urban Poor (WSUP). (2017). A Guide to Non-Revenue Water Reduction. WSUP.	Dice explícitamente que 'el enfoque puede adaptarse al estado actual de las actividades NRW de la empresa'. Respaldo directo del principio de la tesina: no pedir lo mismo a todos los sistemas.
12	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2024). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2024. SISS.	ANF nacional: 33%, estancado por más de una década. Variación entre tamaños de empresa es mínima (32–33%). Confirma la urgencia y heterogeneidad entre empresas. Contexto regulatorio chileno principal.
13	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2018). Informe Anual de Coberturas. SISS.	Datos históricos de cobertura y rendimiento del sector sanitario chileno. Referencia temporal para evaluar tendencias en ANF y establecer línea base.
14	Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries (Water Supply and Sanitation Working Note N°8). World Bank.	Análisis global del ANC en países en desarrollo. Identifica causas sistémicas más allá de las técnicas: falta de gestión, recursos, incentivos y capacidades. Marco complementario para contexto latinoamericano.
15	Asociación de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento de las Américas (ADERASA). (2007). Benchmarking de Agua Potable y Alcantarillado. ADERASA.	Sistema de benchmarking regional latinoamericano con indicadores de pérdidas. Permite comparar el desempeño de empresas sanitarias de Chile con el resto de América Latina.
16	(2022). Asociación de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS). Manual N°1: Reducción del Agua No Facturada. ANDESS.	Guía de referencia del gremio sanitario chileno. Marco operativo para empresas afiliadas. Contextualiza la situación nacional y prácticas recomendadas a nivel local.
17	(2022). Asociación de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS). Resumen Ejecutivo — Plan de Reducción de ANF. ANDESS.	Documento estratégico del sector. Incluye compromisos de reducción acordados con la SISS (meta 25% al 2030) y metas intermedias. Referencia directa para justificar la urgencia del análisis.
18	American Water Works Association. (2022). El estado del control de pérdidas de agua en las empresas de agua potable.	Presenta antecedentes sobre los desafíos y prácticas de control de pérdidas, destacando la auditoría, la eficiencia y la recuperación de ingresos.
19	American Water Works Association. (2020b). AWWA Free Water Audit Software v6.0: Interactive Data Grading (IDG) matrix.	Calificación de datos — Establece criterios para valorar los insumos de la auditoría y reconocer las debilidades que deben mejorarse.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Review Bibliográfico – Lecturas Complementarias.

Lecturas Complementarias		
N°	**Cita**	**Descriptor**
20	Soppe, G., Janson, N., & Piantini, S. (2018). Water utility turnaround framework: A guide for improving performance. World Bank.	Estudios de caso de empresas que lograron revertir altos niveles de ANC. Ejemplo de aplicación práctica del enfoque por etapas. Referencia para la sección de experiencias internacionales.
21	Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H., Adigüzel, A., Iritas, Ö., & Karaaslan, Y. (2018). Management of water losses in water supply and distribution networks in Turkey. Water Supply, 18(4). Turkish Journal of Water Science and Management.	Caso de gestión de pérdidas en redes de distribución. Incluye metodologías de detección y cuantificación. Complementa el Módulo 3 (procedimientos) con ejemplos de implementación.
22	(2023). Office of Water Services (Ofwat). Price Review PR24 — Leakage Targets. Ofwat.	Marco regulatorio del Reino Unido para metas de fugas. Referencia de cómo organismos reguladores establecen objetivos diferenciados por empresa, comparable a la situación chilena SISS.
23	(s.f.). Comisión Nacional del Agua (Conagua). Guía para Reducción de Agua No Contabilizada. Conagua.	Guía metodológica de México para reducción de ANC. Contexto latinoamericano comparable al chileno. Útil para contrastar enfoques regulatorios regionales.
24	Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. A. M., & Othman, A. (2008). The manager non-revenue water handbook: A guide for NRW reduction. Ranhill Utilities / USAID.	Programa de reducción de ANC en contexto asiático. Ejemplo de implementación por etapas en empresa con múltiples sistemas. Referencia para experiencias internacionales.
25	(s.f.). Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Inteligencia Artificial para América Latina y el Caribe — Water Sector Applications. BID.	Análisis de aplicaciones de IA en gestión de infraestructura hídrica en LAC. Respaldo para el Módulo 5 (base de datos y análisis de fallas como paso previo a IA).
26	González Delgado, F. (2017). Diseño, aplicación y evaluación de una metodología de detección activa de pérdidas en redes de agua potable [Memoria para optar al título de Ingeniero Civil]. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles.	Antecedente en la misma institución. Permite contextualizar la propuesta metodológica dentro de la tradición académica de la UTFSM y diferenciarla de trabajos previos.

Fuente: Elaboración propia

El ANEXO A reúne el listado completo de fuentes revisadas, incluyendo material del Magíster en Gestión del Agua y fuentes externas identificadas por la autora. El ANEXO B presenta las fichas bibliográficas que sistematizan los antecedentes utilizados en la investigación.

Se revisaron los aportes del Magíster en Gestión del Agua, constituido por catorce módulos, que constituyeron la base formativa de esta tesina. Cada módulo aportó conceptos, herramientas y marcos de análisis que se incorporaron, con distinto grado de relevancia, a la comprensión de la gestión del ANC y al análisis posterior

de los métodos y enfoques revisados. La Tabla 4 sistematiza estos aportes, identificando el rol de cada módulo dentro de la investigación.

Tabla 4: Aportes de los módulos MWM a la gestión del ANC

APORTES POR ASIGNATURA — 14 Módulos MWM | Magíster en Gestión del Agua — UTFSM				
N	**Módulo**	**Aporte principal al tema ANC**	**Herramientas y conceptos clave**	**Tipo de aporte**
1	MWM 100 — Gestión y Planificación de los Recursos Hídricos	Contexto estratégico: escasez hídrica, gestión de la demanda, eficiencia en redes como pilar de seguridad hídrica.	Índices de sostenibilidad (confiabilidad, resiliencia, vulnerabilidad), backcasting, indicador de estrés hídrico	Marco conceptual
2	MWM 110 — Evaluación de los Recursos	Modelos de predicción de demanda y detección de anomalías (fugas). Base cuantitativa para diagnóstico.	ARMA, ARMAX, redes neuronales FFBP, WaMDaM, toma de decisiones estructurada (SDM)	Marco metodológico
3	MWM 120 — Gestión de la Captación y Tratamientos del Agua	Enfoque basado en riesgo en la cadena de suministro. Economía circular: reducción de pérdidas como pilar.	HACCP, KPI de eficiencia, sistemas de alerta temprana (EWS), matriz satisfacción cliente	Marco de gestión
4	MWM 130 — Eficiencia Hídrica	Herramientas de mejora continua aplicadas directamente al ANC. Diagnóstico causa raíz de pérdidas.	DMAIC, Diagrama Ishikawa, Pareto, Lean (Muda), ISO 46001, Six Sigma, sectorización DMA	Metodología y herramientas
5	MWM 140 — Riesgos y Conflictos en la Gestión de los Recursos	Gestión del capital humano como factor crítico del ANC. Marco de riesgos para toma de decisiones.	PSA (Plan Seguridad del Agua), FMEA, ISO 31000, matrices de riesgo, macro/micro medición	Gestión del riesgo
6	MWM 410 — Gestión de la Depuración y Reutilización	Marco RSA para toma de decisiones integrada. Agua como activo, dualidad oferta-demanda.	RSA Framework, CHANS, AHP, LCA, coeficiente de recuperación, aguas de infiltración	Marco decisional
7	MWM 400 — Gestión de Redes	Núcleo técnico de la tesina. Balance hídrico IWA, ILI, sectorización, detección de fugas, Smart Water.	Balance IWA, ILI, DMA, telemetría, SCADA, GIS, TaKaDu, detección satelital, empresa modelo	Técnico-operativo central
8	MWM 420 — Gestión del Sistema Pluvial	Sistemas de soporte a decisión (DSS). Brecha de información en catastros sanitarios.	DSS, EPA SWMM, metodología daño evitado, gobernanza híbrida, intersectorialidad	Herramientas decisionales
9	MWM 500 — Gobernanza y Economía del Agua	Nivel económico óptimo de pérdidas. Gobernanza multinivel y cierre de brechas.	Nivel económico óptimo, GIRH, benchmarking, DEA, señales de precios, gobernanza de brechas	Gobernanza y economía
10	MWM 510 — Planificación y Dirección Estratégica	Marco estratégico de 4 niveles para toma de decisiones. Eficiencia como pilar estratégico.	Marco de cuatro niveles, cuadro de mando integral (BSC), FODA, segmentación del ANC e innovación tecnológica.	Planificación estratégica
11	MWM 520 — Finanzas y Desarrollo de Negocios	ANC como métrica financiera de eficiencia. Agua como capital natural en balance de empresa.	SASB/NCG 461, RAB, renta natural/ecológica, WACC, análisis multicriterio ESG	Finanzas y regulación

APORTES POR ASIGNATURA — 14 Módulos MWM | Magíster en Gestión del Agua — UTFSM				
1 2	MWM 530 — Sistemas de Gestión	Red inteligente: sensorización, AHP para priorización. DEA para medir eficiencia comparada.	AHP, DEA, DSS, Red Inteligente, modelos predictivos ARIMA, ciclo de vida activos	Gestión de sistemas
1 3	MWM 540 — Gestión de Clientes	Dimensión comercial del ANC. Marco de calidad de servicio con ANC como indicador.	AHP + Monte Carlo, WUSQI, FINMOD, semáforo de gestión comercial, micromedición	Gestión comercial
1 4	MWM 550 — Innovación y Gestión de Proyectos	Marco para adopción de innovaciones en sanitarias (WUAM). Regulación tarifaria y ANC.	WUAM, WACC, análisis multicriterio, Business Model Canvas, 450 años renovación redes	Innovación y regulación

Fuente: Elaboración propia

La revisión internacional permite examinar los resultados alcanzados por distintos operadores y las capacidades desarrolladas para obtenerlos y sostenerlos. La Tabla 5 reúne experiencias de desempeño avanzado, procesos de mejora desde pérdidas elevadas y prácticas de monitoreo y control. Los valores corresponden a indicadores, ámbitos y períodos diferentes; por ello, se utilizan como antecedentes para comprender las trayectorias de gestión y orientar el marco propuesto.

Tabla 5: Referentes internacionales para la gestión del ANC.

Operador y contexto	Indicador y alcance	Período y resultados	Aprendizaje para la gestión
Tokio, Japón	Fugas respecto del volumen distribuido. Corresponde al sistema de Tokio.	15,5 % en 1979 y 3,5 % en el ejercicio 2024.	Continuidad de la prevención, mejora de materiales, renovación y control operacional.
PUB, Singapur	Pérdidas de distribución, según la definición publicada por el operador.	8,2 % en 2019 y 7,1 % en 2024.	Seguimiento del desempeño mediante series documentadas y definiciones consistentes.
EPAL, Portugal	Agua no facturada global, considerando producción, transporte y distribución.	11,2 % en 2022 y 12,7 % en 2024.	Integración del monitoreo con la intervención y revisión de resultados, incluyendo períodos de aumento del indicador.
DAWACO, Vietnam	ANC del operador durante el período estudiado por el Banco Mundial.	38,6 % en 2005 y 19,3 % en 2012.	Cooperación técnica, capacitación y fortalecimiento de los sistemas de información y gestión.
CESAN, Brasil	ANC del operador durante el período estudiado por el Banco Mundial.	36,0 % en 2002 y 21,8 % en 2013.	Planificación estratégica, controles de gestión, desarrollo del personal e inversiones fundamentadas.

Fuente: Elaboración propia.

Tokio constituye un referente por la profundidad y continuidad de su proceso de reducción de fugas. Su evolución comprende el paso desde la reparación de fugas visibles hacia la búsqueda subterránea, la organización de bloques de distribución, la mejora de los registros de la red y la sustitución sistemática de tuberías. JICA documenta que, en una etapa de este proceso, más del 95 % de las fugas se encontraba en los arranques, lo que motivó intervenciones sobre sus materiales y características constructivas. La incorporación de acero inoxidable formó parte de esta respuesta. El aprendizaje consiste en identificar los componentes que concentran las fallas y actuar sobre sus causas, además de detectar y reparar las fugas existentes (JICA, 2017).

El resultado de Tokio también refleja una trayectoria prolongada de intervención. La sustitución de determinados arranques por acero inoxidable se desarrolla desde 1982 y posteriormente incorporó tuberías corrugadas de este material. Por tanto, su desempeño actual debe interpretarse considerando la acumulación de mejoras en infraestructura y operación durante varias décadas. El 3,5 % corresponde específicamente a fugas de Tokio y conserva ese alcance al compararse con otros indicadores de la Tabla 5.

Singapur aporta una referencia de seguimiento mediante indicadores publicados de manera sistemática. Su serie de pérdidas de distribución muestra una reducción entre 2019 y 2024. La interpretación requiere considerar que, desde 2019, PUB reemplazó el indicador *Unaccounted for Water* por *Distribution Losses*, cuya definición incorpora una cobertura más amplia de las fugas. Este antecedente destaca la importancia de documentar las modificaciones metodológicas: una variación entre indicadores definidos de manera diferente no permite concluir directamente que las pérdidas aumentaron o disminuyeron (PUB, 2025).

EPAL permite examinar la relación entre monitoreo y decisiones de intervención. Su sistema WONE integra zonas de monitoreo y control, registros de caudal y presión, análisis de tendencias y alertas para orientar la gestión de pérdidas. Sin embargo, su porcentaje global de agua no facturada aumentó durante el período presentado. Ambos antecedentes deben interpretarse conjuntamente: la disponibilidad de herramientas especializadas requiere acompañarse de investigación, intervención y comprobación de resultados. Para el marco propuesto, esto refuerza la necesidad de evaluar cómo se utiliza la información y qué decisiones produce, además de reconocer la infraestructura instalada (EPAL, 2025).

DAWACO y CESAN amplían la comparación hacia procesos de mejora desde pérdidas inicialmente más elevadas. El Banco Mundial relaciona sus transformaciones con el fortalecimiento de capacidades técnicas y organizacionales. En DAWACO, la cooperación técnica contribuyó a la capacitación del personal, la planificación y los sistemas de información. En CESAN, la mejora incorporó planificación estratégica, controles administrativos y comerciales, personal competente e inversiones económicamente fundamentadas. Los

resultados históricos de la Tabla 5 permiten reconocer trayectorias de avance que combinan intervenciones sobre el sistema con cambios en la forma de dirigir y sostener la gestión (Soppe et al., 2018).

La transferencia de estas experiencias requiere considerar las condiciones de cada empresa. La configuración de la red, sus materiales, las presiones, la continuidad del suministro, la disponibilidad de información y los recursos condicionan las alternativas aplicables. Una tecnología utilizada por un referente internacional debe evaluarse según el problema que permite resolver, sus requisitos, su cobertura y la capacidad de utilizar sus resultados. Asimismo, la comparación porcentual debe complementarse con antecedentes que permitan distinguir cambios de consumo, modificaciones de medición y reducciones efectivas de pérdidas.

Estos aprendizajes contribuyen a fundamentar los cuatro ejes del marco propuesto. La interpretación de los resultados requiere información confiable y criterios de cuantificación; la orientación del diagnóstico necesita conocimiento y monitoreo de la infraestructura; la reducción de pérdidas exige intervenciones verificables; y la continuidad del proceso depende de responsabilidades, competencias, coordinación y recursos. La experiencia internacional permite reconocer cómo estas capacidades se complementan y por qué su desarrollo debe evaluarse conjuntamente.

El horizonte internacional orienta así una trayectoria de mejora sostenida, cuyo avance puede organizarse mediante metas anuales y programas que continúan durante varios períodos. Para el marco propuesto, esta trayectoria comprende fortalecer el balance hídrico, dirigir la detección mediante información operacional, gestionar las presiones, comprobar los efectos de las reparaciones y utilizar los antecedentes de fallas para priorizar rehabilitación y renovación. Las metas de cada empresa deben relacionarse con su diagnóstico, las oportunidades de recuperación y la evaluación técnica y económica de las decisiones.

La sistematización de palabras clave y conceptos (Tabla 6) organiza los términos fundamentales que articulan la búsqueda bibliográfica, el marco teórico y la propuesta metodológica de esta investigación. Los términos se clasifican según su función en la construcción del estado del arte, la distribución del contenido en el documento y su aplicación en la gestión del Agua No Contabilizada.

Tabla 6: Sistematización de Palabras Claves y/o Conceptos

Palabras clave / conceptos	Autor / lectura	Ideas para la construcción	Ideas para la distribución	Ideas para la gestión
Agua No Contabilizada ANC	Lambert y Hirner (2000); AWWA (2009)	Organiza la diferencia entre volumen de entrada y consumo autorizado facturado, distinguiendo los componentes del ANC.	Definición conceptual; cuantificación en el capítulo 6; seguimiento en el capítulo 7.	Interpretar su evolución junto con sus componentes y la calidad de los datos.
Balance hídrico IWA	Lambert y Hirner (2000); AWWA (2009)	Estructura común para cuantificar consumos autorizados y pérdidas aparentes y reales.	Análisis del balance hídrico y de sus fuentes de información.	Elaborar balances con límites, períodos, fuentes y estimaciones documentados.
Infrastructure Leakage Index ILI	Lambert et al. (1999); Lambert y McKenzie (2002)	Relaciona las pérdidas reales actuales con la referencia UARL.	Apartado BABE, UARL e ILI; interpretación de indicadores.	Comparar resultados comprobando datos, condiciones de aplicación e incertidumbre.
Caudal mínimo nocturno CMN	Thornton et al. (2008); Hamilton y McKenzie (2014); Escobar Morales (2011)	Apoya el diagnóstico de pérdidas considerando consumo legítimo, almacenamiento, flujos y presión.	Contraste ascendente y análisis del comportamiento nocturno.	Detectar desviaciones y orientar investigaciones e intervenciones.
Data Validity Score DVS	AWWA (2020a, 2020b)	Sintetiza el respaldo de los datos de la auditoría mediante una puntuación interpretada en cinco niveles de validez.	Calidad del dato; condiciones de utilización de los resultados.	Identificar fuentes débiles y organizar su mejora.
Sectorización DMA	Morrison et al. (2024)	Delimita unidades de medición y diagnóstico con límites y flujos comprobados.	Análisis de la sectorización; evaluación de la infraestructura de medición y diagnóstico.	Localizar el análisis y comprobar intervenciones según la cobertura disponible.
Telelectura AMR/AMI	Luciani et al. (2018); Silva et al. (2021)	Aporta registros de consumo con una resolución temporal definida.	Integración con telelectura en el capítulo 6 y desarrollo técnico en el ANEXO H.	Contrastar suministro y consumo con cobertura, sincronización e intervalos compatibles.
Pérdidas reales	Thornton et al. (2008); Farley y Liemberger (2005)	Corresponden al agua que escapa físicamente de la infraestructura del sistema.	Cuantificación, diagnóstico e intervención sobre pérdidas reales.	Relacionar presión, detección, reparación y gestión de activos con resultados comprobables.
Pérdidas aparentes	AWWA (2009); Farley et al. (2008)	Comprenden consumos no autorizados, inexactitudes de medición y errores de manejo de datos.	Medición de consumos y revisión de registros comerciales.	Investigar causas y verificar los efectos de las medidas correctivas.
Madurez organizacional	Kayaga et al. (2013); Soppe et al. (2018)	Permite examinar el desarrollo y la consolidación de capacidades institucionales.	Análisis organizacional y construcción de la Espiral de Madurez.	Reconocer brechas y orientar el fortalecimiento de capacidades.
Gestión de presiones	Hamilton y McKenzie (2014); Lambert et al. (2013)	Relaciona el control de la presión con fugas, roturas y condiciones de servicio.	Análisis de la gestión de presiones y ANEXO I.	Seleccionar estrategias, comprobar sus efectos y ajustar la operación.

Palabras clave / conceptos	Autor / lectura	Ideas para la construcción	Ideas para la distribución	Ideas para la gestión
Contexto sectorial y regulatorio chileno	Documentos sectoriales de SISS y ANDESS citados en el informe	Sitúa las decisiones dentro de las condiciones y exigencias del sector sanitario.	Alcances, antecedentes nacionales y contextualización de la propuesta.	Identificar el ámbito y la vigencia de cada exigencia o referencia utilizada.
Benchmarking de pérdidas	Alegre et al. (2016); AWWA (2009)	Permite comparar desempeño conservando definiciones, unidades y condiciones compatibles.	Interpretación de indicadores y discusión de aplicabilidad.	Identificar oportunidades de mejora mediante comparaciones contextualizadas.
Gestión del conocimiento de red	Konatar y Schiller (s. f.); Hamilton y McKenzie (2014)	Conserva y utiliza antecedentes técnicos y experiencia operacional.	Capacidad organizacional e integración de la gestión.	Documentar decisiones, maniobras, fallas y aprendizajes.
Indicadores de desempeño KPI	Alegre et al. (2016); AWWA (2009)	Representan resultados y actividades según la pregunta de gestión.	Análisis de indicadores y seguimiento de la Hoja de Ruta.	Definir responsables, fuentes, frecuencia y uso de cada indicador.
Mejora continua	PMPI, AbuEltayef, Alastal y AbuAlhin (2025); Faber y Radakrishnan (2019)	Relaciona diagnóstico, planificación, implementación, evaluación y ajuste.	Marcos de planificación y ciclo de gestión de la Hoja de Ruta.	Revisar resultados y modificar prioridades, recursos y acciones.

Fuente: Elaboración propia

4.2 SERIE DE PREGUNTAS ORIENTADORAS DEL ESTADO DEL ARTE

La literatura sobre gestión del Agua No Contabilizada reúne métodos, indicadores y marcos desarrollados desde perspectivas técnicas, operacionales, económicas y organizacionales. Sin embargo, estos antecedentes responden a propósitos, escalas y condiciones de aplicación diferentes. Con el propósito de interpretar este conjunto de conocimientos de manera ordenada, el análisis se estructura mediante cuatro preguntas orientadoras que permiten examinar el estado actual del conocimiento, su evolución, las tendencias recientes y las principales brechas identificadas. Las respuestas constituyen la base para delimitar el problema de investigación y establecer las relaciones conceptuales que posteriormente serán consideradas en el desarrollo metodológico.

4.2.1 ¿Qué sabe actualmente la literatura sobre la gestión del ANC?

La gestión del Agua No Contabilizada cuenta con un cuerpo de conocimiento ampliamente desarrollado en materia de cuantificación, indicadores de desempeño, diagnóstico, intervención y gestión organizacional. La literatura no solo ha avanzado en la identificación y medición de las pérdidas, sino también en el reconocimiento de las condiciones que determinan la validez de los diagnósticos y la sostenibilidad de las acciones implementadas.

El punto de partida corresponde a la magnitud del problema. Liemberger y Wyatt (2019) estimaron un volumen mundial de agua no contabilizada de aproximadamente 346 millones de metros cúbicos por día, asociado a pérdidas económicas del orden de USD 39 mil millones anuales. Estas cifras evidencian que, pese al desarrollo de herramientas de gestión, el ANC continúa representando un desafío relevante para los sistemas de abastecimiento de agua.

El principal marco conceptual para su cuantificación es el Balance Hídrico Estándar IWA, presentado por Lambert y Hirner (2000). Este desagrega el volumen de entrada al sistema en consumo autorizado y pérdidas de agua, distinguiendo dentro de estas últimas las pérdidas aparentes —asociadas a errores de medición, consumos no autorizados y errores en el manejo de datos— de las pérdidas reales, correspondientes al agua que escapa físicamente de la infraestructura. Esta diferenciación resulta fundamental debido a que ambos componentes responden a causas y mecanismos de intervención diferentes.

El balance hídrico se complementa con indicadores destinados a representar y comparar el desempeño de sistemas con distintas características físicas. Entre ellos se encuentra el Infrastructure Leakage Index (ILI), que relaciona las pérdidas reales actuales con la referencia UARL y permite contextualizar el desempeño considerando variables como longitud de red, número de conexiones y presión (Lambert et al., 1999; Lambert & McKenzie, 2002). Su interpretación requiere comprobar la confiabilidad y representatividad de estos antecedentes. En el

diagnóstico mediante caudales nocturnos, Escobar Morales (2011) también examina los errores asociados con la estimación del consumo legítimo y la selección de la presión representativa.

Otro desarrollo relevante corresponde a la incorporación de la calidad de los datos como parte explícita del diagnóstico. La AWWA, mediante el Manual M36 y el Free Water Audit Software, incorpora mecanismos de evaluación de la confiabilidad de la información utilizada en la auditoría hídrica. De esta forma, la calidad de los antecedentes deja de considerarse un supuesto implícito y pasa a constituir una condición que debe ser examinada antes de interpretar los resultados de indicadores derivados del balance.

Paralelamente, la literatura ha ampliado progresivamente el análisis desde las variables estrictamente hidráulicas hacia la capacidad de la organización para implementar y sostener programas de reducción de pérdidas. Kingdom, Liemberger y Marin (2006) destacan que las dificultades para controlar el ANC no responden exclusivamente a la infraestructura disponible, sino también a factores asociados con la gestión, asignación de responsabilidades, recursos e incentivos. Esta perspectiva ha sido posteriormente desarrollada mediante instrumentos como el NRW Change Management Index, el Water Utility Maturity Model y el Water Utility Turnaround Framework, los cuales incorporan aspectos vinculados con capacidades, comportamiento organizacional, gobernanza y gestión del cambio.

Asimismo, la literatura reconoce que la reducción de pérdidas no constituye un objetivo ilimitado. El concepto de Economic Level of Leakage (ELL) introduce una dimensión económica al establecer el punto en que el costo marginal de continuar reduciendo las pérdidas se aproxima al beneficio marginal obtenido por el agua recuperada. Trabajos posteriores han profundizado esta lógica mediante el concepto de banda económica de control, orientando la gestión hacia un proceso de seguimiento continuo y no únicamente hacia la búsqueda de un valor mínimo.

En conjunto, el conocimiento disponible muestra que la gestión del ANC requiere considerar simultáneamente la cuantificación del problema, la confiabilidad de la información, las características físicas del sistema, las alternativas de intervención y las capacidades necesarias para sostener las acciones en el tiempo. Sin embargo, estos componentes han sido desarrollados mediante instrumentos con finalidades y requerimientos diferentes, aspecto que será analizado en las secciones siguientes.

4.2.2 ¿Cómo ha evolucionado el tratamiento del ANC a lo largo del tiempo?

Los métodos y marcos que conforman el corpus analítico de esta investigación no surgieron simultáneamente. Su desarrollo se extiende por varias décadas y evidencia una ampliación progresiva del campo, desde la cuantificación de las pérdidas hacia la intervención operativa, la consideración de factores organizacionales y la incorporación de herramientas de planificación y mejora

continua. A continuación, la síntesis de los períodos 1994 a 2003, 2004 a 2012, 2013 a 2019 y 2020 a 2025.

1994–2003: fundamentos para la cuantificación y comprensión de las pérdidas. Durante esta etapa se desarrollaron varios de los conceptos que posteriormente se transformarían en referencias para la gestión de pérdidas reales. Lambert (1994) introdujo el enfoque BABE (Bursts and Background Estimates), orientado a desagregar las pérdidas reales según sus componentes. Paralelamente, May (1994) desarrolló el concepto FAVAD (Fixed and Variable Área Discharges), profundizando la relación entre presión y caudal de fuga. Estos desarrollos contribuyeron posteriormente a la formulación del Balance Hídrico IWA y de indicadores como UARL e ILI, consolidando un lenguaje técnico común para cuantificar y comparar las pérdidas entre sistemas.

2004–2012: transición desde la medición hacia la intervención. Una vez consolidados los principales fundamentos de cuantificación, la literatura comenzó a concentrarse con mayor fuerza en la forma de actuar sobre las pérdidas identificadas. Los trabajos de Liemberger y Farley (2004) y Farley y Liemberger (2005) relacionaron el diagnóstico y la evaluación de las pérdidas con la planificación e implementación de estrategias de reducción. El Manual Ranhill/USAID incorporó una orientación gerencial y práctica para apoyar estos programas (Farley et al., 2008), mientras que Escobar Morales (2011) profundizó en los errores asociados al análisis del caudal mínimo nocturno y la selección de presiones representativas.

2013–2019: incorporación de la capacidad institucional y organizacional. Durante esta etapa se profundiza el reconocimiento de que la disponibilidad de herramientas técnicas no garantiza por sí sola la sostenibilidad de los resultados. El modelo WUM de Kayaga et al. (2013) incorpora el análisis de capacidades organizacionales mediante diferentes dimensiones de madurez. La Guía GWOPA organiza la preparación e implementación del programa de reducción del ANC (Faber & Radakrishnan, 2019), mientras que la Guía WSUP (2017) enfatiza su adaptación a las condiciones existentes de cada empresa. El Turnaround Framework amplía esta perspectiva mediante un enfoque de transformación organizacional que combina elementos de gestión, desempeño y gobernanza (Soppe et al., 2018).

2020–2025: integración de desempeño, planificación y mejora continua. Los desarrollos recientes profundizan la relación entre información, desempeño y gestión. El Free Water Audit Software v6.0 fortalece la evaluación de la validez de los datos utilizados en la auditoría hídrica (AWWA, 2020a, 2020b). El PMPI estructura la planificación y gestión mediante indicadores (AbuEltayef, Alastal, & AbuAlhin, 2025), mientras que el NRWPI organiza la evaluación del desempeño de los componentes del ANC (AbuEltayef, AbuAlhin, & Alastal, 2025). Estos aportes

pueden complementarse con el enfoque del NRW-CMI, que relaciona aspectos técnicos e institucionales de la gestión del cambio (Konatar & Schiller, s. f.).

Esta evolución no debe interpretarse como una secuencia rígida en la que un enfoque reemplaza al anterior. Los métodos desarrollados en distintas etapas continúan coexistiendo y cumpliendo funciones complementarias. La trayectoria observada muestra, más bien, una ampliación progresiva de la gestión del ANC: desde la pregunta inicial sobre cuánto se pierde, hacia cómo intervenir, cómo sostener la mejora y cómo utilizar información e indicadores para orientar decisiones de manera continua.

La evolución revisada permite observar además que el conocimiento se ha especializado en distintas dimensiones. Algunos instrumentos profundizan la cuantificación, otros el diagnóstico operativo, otros la gestión organizacional y otros la planificación del desempeño. Esta especialización constituye una fortaleza del conocimiento acumulado, pero también genera la necesidad de analizar posteriormente las relaciones y condiciones de complementariedad entre los diferentes enfoques.

4.2.3 ¿Cuáles son las tendencias actuales en gestión del ANC?

El análisis de las publicaciones y marcos más recientes permite identificar tendencias que reflejan una evolución desde programas de reducción basados principalmente en acciones correctivas hacia modelos de gestión continua, apoyados en información, capacidades organizacionales y procesos sistemáticos de evaluación.

Una primera tendencia corresponde al tránsito desde una gestión predominantemente reactiva hacia enfoques activos y continuos. La detección y reparación de fugas continúa siendo una actividad central, pero se incorpora dentro de procesos que incluyen diagnóstico, planificación, ejecución, seguimiento y ajuste. El PMPI desarrollado por AbuEltayef et al. (2025), por ejemplo, estructura la gestión mediante fases sucesivas que se retroalimentan, reforzando la idea de que el ANC debe administrarse como un proceso permanente y no únicamente mediante proyectos puntuales de reducción.

Una segunda tendencia corresponde a la creciente integración entre el diagnóstico técnico y las capacidades organizacionales. Marcos como el NRW-CMI, el Water Utility Maturity Model y el Turnaround Framework incorporan variables asociadas con personas, comportamiento, liderazgo, organización y gobernanza junto con elementos técnicos u operacionales. Esta evolución refleja el reconocimiento de que la sostenibilidad de las mejoras depende tanto de las herramientas empleadas como de la capacidad de la organización para utilizarlas y mantenerlas.

Una tercera tendencia es el reconocimiento de que la aplicabilidad de los instrumentos depende de las condiciones existentes en cada sistema. WSUP (2017)

distingue entre actividades que pueden desarrollarse con capacidades básicas y otras que requieren mayores niveles de información, infraestructura o especialización. De manera complementaria, AWWA incorpora la evaluación de la calidad de los datos como condición para interpretar adecuadamente una auditoría hídrica. Estos antecedentes muestran una creciente preocupación por evitar la aplicación uniforme de herramientas en contextos que presentan capacidades diferentes.

Una cuarta tendencia corresponde a la incorporación progresiva de tecnologías digitales para apoyar el monitoreo, diagnóstico y toma de decisiones. Herramientas de telemetría, sistemas SCADA, modelación hidráulica, analítica avanzada y plataformas de integración de información amplían la capacidad de observar el funcionamiento de las redes. Sin embargo, su utilidad depende de la calidad de los datos, la definición de procesos y la capacidad técnica de la organización, por lo que la incorporación tecnológica se presenta crecientemente como un elemento habilitador dentro de una gestión más amplia y no como una solución independiente.

Finalmente, se observa una tendencia hacia el uso de conjuntos de indicadores que permitan interpretar el desempeño desde diferentes perspectivas. El porcentaje de ANC o ANF continúa siendo ampliamente utilizado por su simplicidad, pero la literatura incorpora indicadores normalizados por conexiones, longitud de red, presión, desempeño técnico y condiciones económicas. Paralelamente, enfoques como el NRWPI exploran combinaciones de indicadores orientadas a mejorar la comparación entre sistemas.

Una tendencia adicional, más reciente, corresponde a la incorporación de las pérdidas de agua en marcos estandarizados de contabilidad hídrica. Vardon et al. (2025) proponen el uso del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica del Agua (SEEA) como plataforma para registrar flujos, distribución sectorial y pérdidas de manera comparable entre sistemas, vinculando estos datos con el indicador 6.4.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) sobre eficiencia del uso del agua. Este enfoque extiende la evaluación del ANC más allá del criterio técnico hacia una lógica de gobernanza y rendición de cuentas, donde los registros de pérdidas alimentan directamente las decisiones tarifarias y de inversión de capital (Vardon et al., 2025).

En conjunto, estas tendencias muestran que la gestión contemporánea del ANC se orienta hacia procesos más integrados, continuos y sensibles a las condiciones de cada organización. El desafío ya no consiste únicamente en disponer de herramientas técnicas, sino en determinar cuáles resultan pertinentes, qué información requieren y cómo pueden complementarse dentro de un proceso de gestión.

4.2.4 ¿Qué brechas persisten en la literatura internacional?

La revisión realizada evidencia que existe una amplia disponibilidad de metodologías y herramientas para cuantificar, diagnosticar y controlar el ANC. Sin embargo, su existencia no implica necesariamente que puedan aplicarse de manera directa o equivalente en todos los sistemas. Las diferencias entre los marcos revisados permiten identificar una serie de brechas relevantes para esta investigación.

La primera brecha corresponde a la fragmentación entre las dimensiones técnicas y organizacionales. Los métodos orientados al balance hídrico, los indicadores y el diagnóstico de pérdidas profundizan principalmente la cuantificación y el desempeño técnico, mientras que los modelos de madurez y transformación organizacional se concentran en capacidades, gobernanza, comportamiento y gestión institucional. Algunos marcos incorporan elementos de ambas perspectivas, pero no todos presentan el mismo grado de integración entre ellas.

La segunda brecha corresponde a las diferentes condiciones de aplicación requeridas por las herramientas disponibles. Algunos instrumentos pueden utilizarse a partir de antecedentes relativamente básicos de producción y facturación, mientras otros requieren información confiable de presión, sectorización, registros de red, medición continua, auditorías de medidores o capacidades organizacionales consolidadas. Estas diferencias dificultan trasladar directamente una metodología entre sistemas que presentan niveles distintos de información, infraestructura y capacidad de análisis.

La tercera brecha se relaciona con la ausencia de una secuencia común para articular instrumentos desarrollados con finalidades diferentes. La literatura dispone de herramientas para cuantificar pérdidas, evaluar la confiabilidad de la información, analizar el desempeño, diagnosticar fugas, gestionar presiones, evaluar económicamente intervenciones y fortalecer capacidades institucionales. Sin embargo, estas funciones se encuentran distribuidas entre distintos marcos y documentos. En consecuencia, la selección de qué instrumento utilizar y en qué momento depende en gran medida del conocimiento y experiencia de quienes conducen el proceso de gestión.

La cuarta brecha corresponde a la adaptabilidad de los métodos a diferentes contextos. Los marcos revisados fueron desarrollados en realidades regulatorias, institucionales, económicas y operacionales diversas. En consecuencia, sus condiciones de aplicación no siempre son directamente transferibles. Factores como disponibilidad de datos, nivel de sectorización, continuidad del servicio, presión, capacidades institucionales y características regulatorias pueden modificar la pertinencia de una determinada herramienta.

En América Latina esta situación adquiere especial relevancia debido a la heterogeneidad existente entre empresas y sistemas. Mientras algunas

organizaciones disponen de infraestructura de medición, sectorización y herramientas avanzadas de análisis, otras deben gestionar las pérdidas a partir de información parcial o con menor grado de confiabilidad. Esta diversidad limita la utilización de enfoques únicos y obliga a considerar las condiciones de partida antes de seleccionar herramientas o definir prioridades.

El contexto chileno reproduce parte de esta heterogeneidad. Los antecedentes sectoriales muestran diferencias importantes en el desempeño de las empresas y en las capacidades disponibles para gestionar el ANC. La evolución reciente del ANF y el desarrollo de iniciativas orientadas a mejorar su medición y reducción refuerzan la necesidad de contar con criterios que permitan interpretar de manera conjunta los métodos disponibles dentro de las condiciones propias del sector.

En síntesis, la principal brecha identificada no corresponde a una falta de metodologías para gestionar el ANC, sino a la dificultad para relacionar herramientas con propósitos, requerimientos y condiciones de aplicación diferentes. El conocimiento existente permite responder con profundidad preguntas específicas sobre cuantificación, diagnóstico, intervención o capacidad organizacional; sin embargo, su articulación para orientar decisiones en sistemas con condiciones heterogéneas continúa dependiendo en gran medida de la interpretación del profesional responsable.

Esta brecha constituye el punto de partida para el desarrollo metodológico de la investigación, cuyo propósito será analizar comparativamente los métodos y herramientas identificados, reconocer sus relaciones y determinar de qué manera pueden contribuir conjuntamente a una gestión progresiva del ANC.

4.3 SUJETO DE ESTUDIO

El sujeto de estudio de esta investigación corresponde a la gestión del Agua No Contabilizada en sistemas de distribución de agua potable operados por empresas sanitarias, con especial atención al proceso de toma de decisiones asociado a su cuantificación, diagnóstico, intervención y seguimiento.

El análisis se orienta a comprender cómo las condiciones técnicas, de información y organizacionales influyen en la selección y aplicación de distintos métodos y herramientas para la gestión del ANC.

Los sistemas de distribución de agua potable presentan diferencias significativas en la disponibilidad y calidad de información, infraestructura de medición, nivel de sectorización, conocimiento operacional de la red y capacidades organizacionales. Estas diferencias condicionan tanto la confiabilidad del diagnóstico como la pertinencia de las herramientas que pueden utilizarse en cada contexto.

Por esta razón, la investigación no presupone un estado homogéneo de desarrollo entre empresas ni entre sistemas pertenecientes a una misma organización. La

heterogeneidad constituye una característica relevante del sujeto de estudio y debe ser considerada al analizar la aplicabilidad de los métodos revisados.

El contexto sanitario chileno se utiliza como referencia para situar el problema de investigación y examinar la aplicabilidad de los antecedentes internacionales revisados. En 2025, el Agua No Facturada (ANF) alcanzó un promedio sectorial de 31,1% (SISS, 2025), luego de mantenerse durante más de una década en valores cercanos al 33–35%. A este escenario se suman compromisos sectoriales de reducción que plantean alcanzar un ANF promedio nacional de 25% al año 2030, reforzando la necesidad de avanzar hacia una gestión más estructurada y sostenida de las pérdidas.

La comparación con sistemas internacionales permite dimensionar la brecha del caso chileno. La OCDE (2017), al analizar las pérdidas de agua en las principales áreas urbanas del país, reportó que Valparaíso registraba una tasa del 42,9% en 2012, Santiago un 29,5% y Concepción un 34,4%. Estas cifras superan ampliamente valores de referencia de sistemas comparables: París registraba un 7,7%, Milán un 9,6% y Hong Kong un 18,0% en el mismo período. El mismo informe sitúa el nivel económico óptimo de pérdidas en redes urbanas entre el 10% y el 20%, umbral en que el costo marginal de continuar reduciendo fugas iguala el beneficio marginal del agua recuperada. En ese contexto, el sistema sanitario chileno opera, en promedio, al doble del nivel que los criterios económicos internacionales consideran eficiente (OECD, 2017).

La persistencia de estas brechas no responde únicamente a limitaciones técnicas o de infraestructura. Madrid-Aris (2000) analiza los determinantes económicos de las decisiones de inversión en redes sanitarias bajo esquemas de regulación por precio tope. El análisis señala que una empresa regulada reducirá pérdidas físicas solo hasta el punto en que el beneficio marginal de recuperar el agua supere el costo marginal de la reparación. En el caso histórico de EMOS en Santiago, ampliar la capacidad de la planta potabilizadora resultó económicamente más eficiente que rehabilitar los tramos deteriorados de la red, lo que mantuvo las pérdidas en niveles elevados desde la perspectiva de la empresa, aun cuando la reducción habría sido socialmente conveniente. Este análisis revela que los marcos regulatorios vigentes pueden generar incentivos que desalinean la decisión óptima para la empresa de la decisión óptima para la sociedad, constituyendo una barrera estructural para la reducción del ANC que los instrumentos técnicos revisados no abordan directamente (Madrid-Aris, 2000).

Sin embargo, el valor promedio sectorial oculta diferencias importantes entre empresas y sistemas. Estas diferencias se manifiestan tanto en el desempeño del ANF como en las condiciones de infraestructura, disponibilidad y calidad de información, nivel de medición y sectorización, conocimiento operacional de la red y capacidades de gestión. En consecuencia, las herramientas desarrolladas en

otros contextos no necesariamente pueden aplicarse con la misma profundidad o secuencia en todos los sistemas.

El estudio no se circunscribe a una empresa o holding específico, sino al proceso de gestión del ANC en sistemas sanitarios con diferentes condiciones técnicas, de información y organizacionales. El contexto chileno se utiliza, por tanto, como referencia para examinar la pertinencia de los métodos revisados y la necesidad de orientar su aplicación de acuerdo con las condiciones reales de cada sistema.

4.4 MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE

La comprensión de esta investigación requiere integrar un conjunto de conceptos que permiten interpretar la gestión del Agua No Contabilizada desde perspectivas complementarias. Estos conceptos abarcan la cuantificación de las pérdidas, la confiabilidad de la información, el desempeño técnico, las condiciones económicas de intervención y las capacidades requeridas para sostener la gestión. A continuación, la descripción de los conceptos de interés.

- **ANC / ANF / NRW:**

El Agua No Contabilizada (ANC) constituye el concepto central de esta investigación y se relaciona con el volumen de agua que ingresa al sistema, pero no se traduce completamente en volumen facturado. En la literatura internacional se utiliza ampliamente el término *Non-Revenue Water* (NRW), estructurado mediante el Balance Hídrico de la IWA. En Chile, el desempeño sectorial se expresa principalmente mediante el indicador de Agua No Facturada (ANF), reportado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Las diferencias conceptuales y de cálculo entre estos términos deben considerarse al comparar antecedentes nacionales e internacionales.

- **Balance Hídrico IWA:**

Corresponde al marco de referencia utilizado para organizar los distintos componentes del agua que ingresa a un sistema de abastecimiento. Distingue entre consumo autorizado —facturado y no facturado— y pérdidas de agua —aparentes y reales—, permitiendo establecer una estructura común para cuantificar e interpretar los componentes asociados al ANC (Lambert & Hirner, 2000).

- **Pérdidas reales y pérdidas aparentes:**

Las pérdidas reales o físicas corresponden al agua que se pierde desde la infraestructura mediante fugas en tuberías, conexiones, accesorios o estanques. Las pérdidas aparentes corresponden principalmente a errores de medición, consumos no autorizados y errores asociados al manejo de información. Esta diferenciación es relevante porque ambos componentes responden a causas y mecanismos de intervención distintos.

- **UARL e ILI:**

  Las *Unavoidable Annual Real Losses* (UARL) representan una estimación de las pérdidas reales inevitables asociadas a las características físicas y operacionales de un sistema. El *Infrastructure Leakage Index* (ILI) relaciona las pérdidas reales actuales con dicho valor de referencia, permitiendo interpretar el desempeño técnico considerando variables como longitud de red, número de conexiones y presión de operación (Thornton et al., 2008). Su utilización requiere considerar la representatividad y confiabilidad de los datos empleados.

- **ELL y criterio económico de intervención:**

  El *Economic Level of Leakage* (ELL) incorpora la dimensión económica a la gestión de las pérdidas reales, relacionando el costo marginal de continuar reduciendo fugas con el beneficio asociado al agua recuperada. Este enfoque permite reconocer que la reducción de pérdidas no constituye un objetivo ilimitado y que las decisiones de intervención deben considerar tanto criterios técnicos como económicos.

- **Madurez y capacidad de gestión:**

  Distintos marcos revisados utilizan conceptos de madurez, capacidad organizacional o desarrollo institucional para representar las condiciones que posee una empresa sanitaria para gestionar procesos de mejora. Instrumentos como el NRW-CMI, el Water Utility Maturity Model y otros enfoques analizados consideran aspectos asociados con capacidades técnicas, organización, comportamiento, liderazgo y gestión del cambio. Estos antecedentes permiten reconocer que la efectividad de las herramientas técnicas depende también de las capacidades disponibles para implementarlas, utilizarlas y sostenerlas.

En conjunto, estos conceptos permiten interpretar la gestión del ANC como un problema que no depende exclusivamente de la magnitud de las pérdidas. La confiabilidad de la información condiciona la calidad del diagnóstico; las características de la red determinan la pertinencia de determinados indicadores e intervenciones; los criterios económicos contribuyen a establecer hasta dónde resulta razonable actuar; y las capacidades organizacionales influyen en la implementación y sostenibilidad de las acciones. Estas relaciones constituyen la base conceptual utilizada posteriormente para analizar comparativamente los métodos y herramientas seleccionados.

Los antecedentes revisados, la caracterización del sujeto de estudio y los objetivos de investigación se integran en el modelo teórico presentado en la Figura 1. Este modelo representa la relación entre la base conceptual del estudio y el posterior desarrollo metodológico, mostrando cómo el conocimiento disponible y las características del problema orientan la aplicación de la metodología, la generación de resultados y la elaboración de conclusiones y recomendaciones.

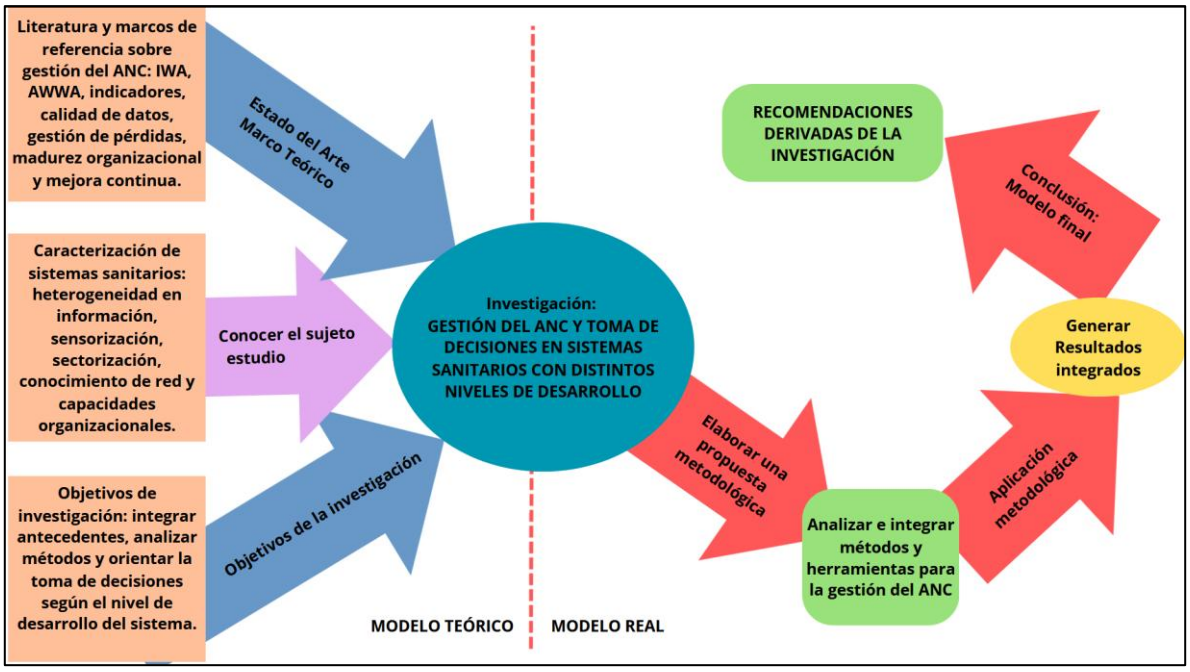


Figura 1: Modelo Teórico de la Investigación

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7 presenta la planificación de las etapas de la investigación, desde la revisión de antecedentes hasta la integración de resultados, conclusiones y recomendaciones, relacionando las actividades previstas con los objetivos específicos

En conjunto, los antecedentes revisados, la caracterización del sujeto de estudio y el marco teórico permiten delimitar las principales condiciones que intervienen en la gestión del ANC y las brechas asociadas a la aplicación de los métodos existentes. Sobre esta base, el capítulo siguiente desarrolla la propuesta metodológica utilizada para analizar comparativamente estos métodos y herramientas y establecer la ruta de trabajo de la investigación.

Tabla 7: Carta Gantt — Cronograma de actividades de la investigación

FASE	ACTIVIDAD	dic'25	ene'26	feb'26	mar'26	abr'26	may'26	jun'26	jul'26
Fase 1 Levantamiento y Estado del Arte	1. Fichas bibliográficas: 20 externas + 20 magister	■	■						
	2. Review Bibliográfico y tabla Palabras Clave	■	■						
	3. Búsqueda activa: experiencias internacionales y marcos de madurez	■	■	■					
Fase 2 Marco Teórico y Sujeto de Estudio	4. Secciones 4.1-4.3: Estado del arte y marco teórico ANC				■				
	5. Figura 1: Modelo Teórico de la Investigación (Sección 4.4)				■				
	6. Sección 4.5: Caracterización del sujeto de estudio				■				
Fase 3 Propuesta Metodológica	7. Secciones 5.1-5.2: Dimensiones y escala de evaluación (Etapas 1-4)				■	■			
	8. Sección 5.3: Criterios de priorización por nivel				■	■			
	9. Secciones 5.4-5.5: Lineamientos técnicos y organizacionales por etapa				■	■			
	10. Carta Gantt y Propuesta Metodológica completa (Sección 5)				■	■			
Fase 4 Aplicación Metodológica	11. Sección 6: Aplicación del modelo -					■			
	12. Evaluación del modelo: empresa, zona, localidad, sistema					■	■		
Fase 5 Resultados y Conclusiones	13. Sección 7: Resultados — sistematizar y evaluar factibilidad del marco					■	■		
	14. Sección 8: Conclusiones sobre efectividad del modelo propuesto					■	■		
	15. Sección 9: Recomendaciones para implementación y mejora continua					■	■		
Fase 6 Cierre Final	16. Bibliografía, Webgrafia, Glosario y Anexos completos						■		
	17. Introducción, Resumen Ejecutivo y Abstract						■	■	
	18. Revisión final con director y entrega						■	■	■

Fuente: Elaboración propia.

5 PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

La propuesta metodológica se estructuró con el propósito de establecer una relación directa entre los objetivos específicos (OE) de la investigación, las actividades desarrolladas y los resultados parciales obtenidos. Para ello, el trabajo se organizó en una secuencia que comprende el levantamiento y sistematización de antecedentes, la caracterización del sujeto de estudio, la construcción del marco teórico, el análisis comparativo de los métodos y herramientas seleccionados y, finalmente, la integración de los hallazgos en un marco para la gestión del ANC.

El enfoque adoptado es de carácter documental, comparativo y propositivo. Es documental porque se sustenta principalmente en literatura científica, manuales técnicos, documentos institucionales y antecedentes regulatorios; comparativo porque examina los distintos métodos mediante criterios comunes de análisis; y propositivo porque utiliza los resultados de dicha comparación para construir un marco de orientación aplicable a sistemas sanitarios con diferentes niveles de desarrollo.

- **Antecedentes del estado del arte (OE1 a OE5).**

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos de esta fase se realizará una revisión narrativa estructurada de literatura científica, técnica e institucional, organizada en lecturas fundamentales, específicas y complementarias. Las fuentes se sistematizarán mediante fichas bibliográficas, un Review Bibliográfico y una matriz de palabras clave y conceptos, considerando su aporte a la cuantificación, diagnóstico, intervención y gestión organizacional del ANC. Asimismo, se incorporarán los antecedentes formativos provenientes de los módulos del Magíster en Gestión del Agua. Como resultado de esta etapa se conformará la base documental y conceptual que permitirá posteriormente comparar los distintos métodos, identificar sus relaciones y reconocer las principales brechas abordadas por la investigación.

- **Sujeto de estudio (OE6 y OE7)**

Se caracterizará el sujeto de estudio a partir de antecedentes del sector sanitario chileno, documentos regulatorios y técnicos, y la experiencia profesional asociada a la gestión de sistemas de distribución. La caracterización considerará especialmente la heterogeneidad existente en calidad de información, sensorización, sectorización, conocimiento de la red y capacidades organizacionales. Esta etapa permitirá identificar condiciones que pueden limitar o habilitar la aplicación de distintos métodos de gestión del ANC.

- **Marco teórico (OE8)**

Para formular el marco teórico se integraron los conceptos, modelos y relaciones identificados durante el desarrollo del Estado del Arte, considerando especialmente la cuantificación de pérdidas, la calidad del dato, la evaluación del desempeño, el

diagnóstico e intervención de la red y la capacidad organizacional requerida para sostener la gestión del ANC.

Esta integración permitió establecer una base conceptual común para interpretar los métodos revisados no como soluciones aisladas, sino como instrumentos que responden a distintas necesidades y condiciones de aplicación. Sobre esta base se desarrolló posteriormente la estructura comparativa utilizada para construir el marco propuesto.

- **Marco metodológico para la gestión del ANC (OE9 a OE11)**

Para abordar estos objetivos se desarrollará un análisis comparativo de los métodos y herramientas seleccionados, utilizando criterios comunes que permitan identificar su propósito, los requerimientos de información y capacidades para su aplicación, los resultados que permiten obtener, sus principales limitaciones y su relación con otros instrumentos de gestión.

El análisis se orientará especialmente a determinar en qué condiciones cada método resulta pertinente y qué capacidades requiere para ser aplicado de manera confiable. A partir de esta comparación se identificarán patrones de convergencia, relaciones de complementariedad y diferencias en los requerimientos de aplicación entre los distintos enfoques.

Posteriormente, estos hallazgos se someterán a un proceso de síntesis orientado a identificar agrupaciones conceptuales, capacidades recurrentes y relaciones de progresividad en la gestión del ANC. Esta etapa permitirá construir progresivamente una estructura integrada para diferenciar estados de desarrollo, reconocer brechas y orientar prioridades de acción.

- **Aplicación metodológica (OE12)**

La aplicación metodológica consistirá en utilizar la estructura de análisis definida en la etapa anterior sobre los métodos y herramientas seleccionados. Para cada instrumento se examinará su estructura original, sus principales aportes y limitaciones, sus requerimientos y condiciones de aplicación y su relación con otros enfoques de gestión. Este análisis permitirá comparar los distintos instrumentos mediante criterios comunes, identificar relaciones de complementariedad y reconocer capacidades y criterios de progresividad que sustentarán posteriormente la construcción del marco propuesto. Su desarrollo se presentará en el Capítulo 6.

- **Resultados (OE13 y OE14)**

Los resultados parciales derivados de la aplicación metodológica se integrarán en una síntesis orientada a responder el objetivo general de la investigación. Para ello, los métodos y herramientas analizados se sistematizarán en un catálogo de consulta destinado a apoyar necesidades específicas de gestión. Paralelamente, las capacidades, condiciones recurrentes y relaciones de progresividad

identificadas durante el análisis se utilizarán para estructurar una Hoja de Ruta para la gestión del ANC.

La coherencia del marco propuesto se evaluará contrastando sus principales componentes con las funciones, capacidades y condiciones identificadas en los métodos y enfoques revisados. Su aplicabilidad se examinará considerando la heterogeneidad de los sistemas sanitarios chilenos y las distintas condiciones desde las cuales puede desarrollarse la gestión del ANC. Los productos resultantes de este proceso se presentarán en el Capítulo 7.

- **Conclusiones (OE15)**

Las conclusiones se elaborarán mediante el contraste entre los objetivos planteados, los resultados obtenidos y las brechas identificadas durante la investigación. A partir de esta relación se analizará el aporte del marco propuesto como instrumento de apoyo para la toma de decisiones y la orientación progresiva de la gestión del ANC, considerando su relación con los métodos revisados y el contexto sanitario chileno.

- **Recomendaciones (OE16)**

Las recomendaciones se formularán a partir de los resultados, conclusiones y aprendizajes derivados de la investigación. Para ello, se considerarán aspectos profesionales, de aplicación, personales y distintos ámbitos de aplicación, incorporando recomendaciones relacionadas con la gestión técnica y operacional, las capacidades organizacionales, la incorporación de tecnología y las condiciones sectoriales e institucionales que pueden influir en la gestión sostenida del ANC.

6 APLICACIÓN METODOLÓGICA

En este capítulo se aplica la metodología definida en el Capítulo 5 al análisis de los métodos, indicadores y marcos seleccionados para la gestión del Agua No Contabilizada (ANC). El propósito es examinar sus aportes, requerimientos, condiciones de aplicación y limitaciones, así como las relaciones que permiten integrarlos en un marco de orientación técnica y práctica para la toma de decisiones en empresas sanitarias.

El desarrollo comienza con la presentación de los criterios de análisis y la organización de los antecedentes revisados. A continuación, se examinan los distintos grupos de instrumentos mediante preguntas comunes, considerando las capacidades necesarias para utilizarlos y las decisiones que permiten sustentar. Finalmente, se explica cómo este análisis fundamenta la estructura de cuatro ejes y cinco niveles, las dimensiones de evaluación y las reglas de integración del marco propuesto. Los resultados de la aplicación comparativa y los productos obtenidos se presentan en el Capítulo 7.

6.1 CRITERIOS DEL ANÁLISIS

Como primera aproximación, los métodos y marcos seleccionados se comparan según su función predominante, su aporte a la gestión del ANC y sus principales limitaciones. Esta comparación permite reconocer las diferencias de propósito y alcance entre los instrumentos y establecer una base para su análisis posterior.

Para mantener una comparación común, cada instrumento se examina mediante las siguientes preguntas:

1. **¿Qué pregunta responde?** Se identifica el problema o la necesidad de gestión que permite abordar.
2. **¿Qué información necesita?** Se reconocen los datos, registros y antecedentes necesarios para su aplicación.
3. **¿En qué condiciones puede aplicarse?** Se examinan sus requisitos y las condiciones que determinan si se puede utilizar, en qué ámbito y con qué profundidad.
4. **¿Qué capacidades exige?** Se identifican los recursos técnicos, operacionales y organizacionales necesarios para ejecutar el método y utilizar sus resultados.
5. **¿Cuál es su aporte?** Se establece qué información entrega, qué decisiones puede apoyar y cómo se complementa con otros instrumentos.
6. **¿Cuáles son sus principales limitaciones?** Se reconocen las incertidumbres, restricciones y precauciones que deben acompañar la interpretación de sus resultados.

Las preguntas de análisis se complementan con preguntas dirigidas al sistema evaluado para reconocer sus condiciones y comprobar las capacidades disponibles. La Tabla 8 compara las funciones, los aportes y las limitaciones de los métodos y marcos seleccionados

Tabla 8: Aportes y limitaciones de los métodos.

Referente	Dimensión	Aporte a la gestión del ANC	Limitación
Lambert y colaboradores	Cuantificación y desempeño técnico	Balance hídrico IWA y análisis de componentes BABE; referencia de pérdidas UARL e indicadores TIRL e ILI para cuantificar e interpretar el desempeño.	Permite cuantificar y comparar, pero no define por sí solo un programa integral de intervención ni las capacidades organizacionales necesarias para sostenerlo.
Liemberger y Farley	Proceso de reducción de pérdidas	Organiza el diagnóstico y la intervención mediante cuatro pilares: gestión de presiones, control activo de fugas, reparación oportuna y de calidad, y gestión de activos.	No desarrolla una evaluación integral de las capacidades institucionales ni establece una clasificación común de madurez.
AWWA M36 y evaluación de validez de datos	Calidad de la información	Auditoría hídrica y evaluación de los insumos del balance; el DVS sintetiza la validez de los datos en cinco niveles y orienta su mejora.	Evalúa la confiabilidad de los datos de la auditoría, no la madurez general de la empresa ni todas las condiciones necesarias para aplicar otros métodos.
NRW-CMI	Capacidades técnicas e institucionales	Integra antecedentes de gestión de pérdidas con actitudes, comportamientos y habilidades en distintos niveles de la organización.	Parte del instrumento detallado de evaluación y ponderación no se encuentra disponible públicamente; su puntuación no equivale directamente a niveles de madurez.
WUM	Madurez organizacional	Evalúa capacidades institucionales mediante cinco dimensiones, veintitrés atributos y cinco niveles de desarrollo. Permite reconocer perfiles desiguales dentro de una organización.	No es específico para el ANC y requiere complementarse con métodos de cuantificación, diagnóstico hidráulico e intervención.
Turnaround Framework	Recuperación y transformación institucional	Integra diagnóstico organizacional, financiero, técnico y comercial; combina matrices de madurez con un proceso de transformación.	La gestión del ANC constituye una parte de su alcance. No sustituye los indicadores ni los procedimientos técnicos específicos de pérdidas.
Guía GWOPA	Organización del programa de reducción	Orienta la obtención de respaldo institucional, el diagnóstico, la planificación y la implementación de acciones, incluidos resultados tempranos y estrategias de mayor plazo.	No establece una clasificación integral de madurez específica para la gestión del ANC.
Guía WSUP	Adaptación de la intervención al contexto	Organiza acciones de diagnóstico, planificación, implementación y seguimiento, reconociendo distintos puntos de partida y capacidades disponibles.	No propone una escala formal de madurez ni determina por sí sola qué capacidad debe priorizarse cuando existen brechas entre ámbitos.
PMPI	Planificación, seguimiento y mejora continua	Estructura la gestión en cinco fases y diecinueve pasos, incorporando arreglos institucionales, análisis, planificación, implementación, evaluación y actualización.	Sus fases describen un proceso de gestión, no niveles de madurez. La aplicación de cada indicador depende de sus requisitos de información.
Manual Ranhill/USAID	Gestión gerencial y diagnóstico inicial	Integra aspectos técnicos, comerciales, financieros y organizacionales; aporta un checklist de cincuenta y cuatro ítems para revisar las condiciones del sistema.	Corresponde a una guía de gestión e implementación; no establece una escala de madurez ni una regla para integrar capacidades con distinto desarrollo.
Incertidumbre del CMN	Incertidumbre del diagnóstico hidráulico	Examina cómo la estimación del consumo nocturno y la selección de la presión representativa afectan el cálculo de las pérdidas.	No constituye un marco integral de gestión; sus resultados deben interpretarse según los escenarios y condiciones examinados.
Cuadro de mando integral	Integración y comunicación estratégica	Relaciona objetivos, indicadores, metas e iniciativas; permite incorporar resultados técnicos, capacidades internas, servicio y efectos económicos en el seguimiento directivo.	No sustituye el diagnóstico técnico ni determina directamente qué intervención ejecutar. La interpretación de sus indicadores depende de la calidad de sus datos.
Sectorización DMA	Infraestructura de medición y diagnóstico	Delimita unidades con flujos conocidos, permite analizar su comportamiento y facilita la focalización y evaluación de intervenciones.	Requiere diseño, instrumentación y comprobación de límites. Su alcance depende de la cobertura y calidad de los registros; facilita el CAF, pero no es una condición universal para iniciarlo.
Gestión de presiones	Control hidráulico e intervención	Permite reducir sobrepresiones y variaciones innecesarias, con efectos sobre el caudal de fuga y la frecuencia de roturas; se apoya en el análisis presión–fuga.	Requiere conocer las condiciones hidráulicas y asegurar el servicio. El beneficio depende de la presión inicial, las características de las fugas y la estrategia de control.
Telelectura AMR/AMI	Medición de consumos y apoyo al diagnóstico	Facilita la obtención de lecturas y, cuando dispone de registros con resolución suficiente, permite analizar perfiles de consumo, identificar anomalías y contrastar los consumos agregados con el suministro del sector en intervalos equivalentes.	Su utilidad depende de la cobertura, exactitud de los medidores, resolución temporal, sincronización y disponibilidad de los datos. La diferencia entre suministro y consumo registrado requiere investigación antes de atribuirse a pérdidas reales o aparentes.

Fuente: Elaboración propia.

Los referentes de la Tabla 8 cumplen funciones complementarias en la gestión del ANC. Las primeras filas sintetizan las líneas de Lambert y colaboradores, sobre cuantificación y evaluación del desempeño de las pérdidas (Lambert et al., 1999), y de Liemberger y Farley, sobre diagnóstico y estrategias de reducción (Liemberger & Farley, 2004; Farley & Liemberger, 2005). Sus aportes se desarrollan mediante los métodos, indicadores y técnicas examinados en los apartados siguientes.

La Tabla 9 compara las escalas, categorías y fases de una selección de instrumentos revisados. Algunos se presentan desagregados respecto de los referentes de la Tabla 8, por lo que se identifican mediante sus nombres específicos. Se distinguen las clasificaciones originales de las fuentes de aquellas adoptadas en esta investigación.

Tabla 9: Escalas, categorías y fases de los instrumentos analizados.

Número y tipo de estructura	Instrumentos y clasificación considerada	Cantidad de registros
Cinco niveles o fases	WUM y Turnaround Framework: cinco niveles de madurez; DVS de AWWA: cinco niveles de validez; PMPI: cinco fases de gestión. Cada estructura conserva su significado original.	4
Cuatro fases	Turnaround Framework: fases 0–3 del proceso de transformación.	1
Cuatro rangos de desempeño y una condición adicional de revisión	ILI: cuatro rangos de interpretación del desempeño; los valores inferiores a uno se examinan separadamente, considerando datos y aplicabilidad del modelo.	1
Ocho categorías de desempeño	NRWPI: categorías utilizadas para interpretar sus indicadores, desde condiciones críticas hasta ausencia de valor registrado.	1
Cinco estados de desarrollo adoptados en esta investigación	Sectorización/DMA: condiciones y capacidades organizadas mediante N1–N5 para examinar su aplicación progresiva.	1
Instrumentos no clasificados aquí mediante niveles o fases	ANC%,TIRL; Balance hídrico IWA; NRW-CMI; UARL/BABE; ELL; FAVAD; Cuatro pilares técnicos; Cuadro de mando integral; Manual Ranhill/USAID	10
Total de registros de clasificación	**Incluye las dos estructuras del Turnaround Framework.**	**18**
Total de referentes o grupos considerados	**El Turnaround Framework se contabiliza una sola vez.**	**17**

Fuente: Elaboración propia.

Los conteos de la Tabla 9 corresponden a registros de clasificación; no establecen equivalencias ni ponderaciones entre instrumentos. Las escalas describen aspectos diferentes: calidad de los datos, actividades del proceso, desempeño técnico o capacidades institucionales.

A partir de estos antecedentes se adoptaron cinco niveles (N1 a N5) para organizar la progresión de capacidades. Las estructuras semejantes encontradas en algunos

referentes aportaron un antecedente de apoyo; el contenido y la denominación de los niveles se fundamentaron en los requerimientos, relaciones y diferencias identificados mediante el análisis.

Para ordenar la revisión, los instrumentos se agrupan según cuatro funciones: cuantificación y calidad de la información; análisis del desempeño; intervención sobre las pérdidas; y capacidad organizacional. La Tabla 10 presenta las preguntas y métodos correspondientes. Estos bloques permiten comparar funciones relacionadas y reconocer sus dependencias.

Tabla 10: Categorías de análisis y métodos asociados.

Categoría de análisis	**Pregunta que responde**	**Métodos y marcos incluidos**
1. Balance hídrico y calidad de la información	¿Cuánto ANC tiene el sistema, cómo se distribuye y con qué confianza se conoce ese resultado?	Balance hídrico IWA; auditoría hídrica y evaluación de validez de datos AWWA/FWAS; e indicadores ANC%; TIRL; BABE, UARL e ILI y NRWPI
2. Infraestructura de medición y diagnóstico de red	¿Qué se conoce de la red, cómo está instrumentada y con qué confianza puede diagnosticarse su comportamiento?	Gestión de activos e infraestructura; planos, GIS y modelo hidráulico; sectorización y DMA; sensorización e instrumentación; auditoría de macromedidores y micromedidores.
3. Marcos de intervención operativa	¿Cómo se seleccionan, ejecutan y verifican las acciones para reducir las pérdidas?	Cuatro pilares técnicos; gestión de presiones; control activo de fugas; sectorización/DMA; Guía GWOPA; Guía WSUP.
4. Capacidad organizacional y gestión del proceso	¿Qué capacidades institucionales permiten implementar, coordinar y sostener la gestión del ANC?	NRW-CMI; WUM; Turnaround Framework; PMPI; cuadro de mando integral; Manual Ranhill/USAID.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 10 permite reconocer las relaciones que deben resolverse al integrar los instrumentos. La interpretación del desempeño depende de la confiabilidad de los datos; el diagnóstico requiere conocimiento de la infraestructura y de su funcionamiento; y las intervenciones necesitan información, competencias, coordinación y recursos para ejecutarse y comprobar sus resultados.

Estas relaciones también delimitan la aplicación de los métodos. Algunos pueden utilizarse en distintos niveles con diferente profundidad; otros requieren antecedentes que deben desarrollarse previamente. El análisis debe identificar tanto las posibilidades de uso como las condiciones que impiden obtener resultados válidos.

6.2 CUANTIFICACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

El Eje A es el eje habilitante de todos los demás. Su función es establecer con qué confiabilidad se conocen los volúmenes que componen el balance hídrico, y orientar las acciones de mejora hacia los puntos donde esa confiabilidad es más débil. La lógica del eje parte del balance hídrico IWA como método principal (enfoque top-down), luego evalúa la calidad de los dos datos de entrada que más impactan el resultado, y finalmente introduce el análisis de abajo hacia arriba como método de contraste. Esta progresión permite que la empresa avance desde un balance estimado hasta un diagnóstico verificado por múltiples fuentes.

6.2.1 ANC% e indicadores ajustados

El porcentaje de Agua No Contabilizada expresa qué proporción del volumen de entrada no corresponde a consumo autorizado facturado:

$$\boldsymbol{ANC\%} = \frac{(\boldsymbol{VES} - \boldsymbol{Vfact})}{\boldsymbol{VES}} \times \mathbf{100}$$

Su cálculo requiere un VES mayor que cero y volúmenes correspondientes a la misma frontera y período. Las estimaciones y ajustes utilizados deben quedar identificados. Considerando que el volumen de ANC en metros cúbicos es $\boldsymbol{VES} - \boldsymbol{Vfact}$, con ambos indicadores en la misma unidad. Indicador que se calcula anualizado, es decir volumen de entrada al sistema de un año y el volumen facturado de un año.

El resultado agrupa tres componentes del balance IWA: consumo no facturado (CANF), pérdidas aparentes y pérdidas reales. Un valor de 30 % significa que por cada 100 m³ que entran al sistema, 30 m³ no generan ingreso; no dice cuántos son fugas, cuántos son errores de medición y cuántos son usos autorizados sin cobro.

Los indicadores ajustados modifican el denominador, el numerador o ambos para un propósito específico: excluir ciertos usos, normalizar por conexión o por kilómetro de red, o aislar un componente del balance. Comparten la lógica del ANC% básico, pero requieren una definición explícita y estable entre períodos para que los resultados sean comparables.

ANC* en el contexto regulatorio chileno

La SISS y ANDESS adoptaron en 2025 el indicador ANC* (Agua No Contabilizada Ajustada), que excluye del ANC los consumos operacionales propios del sistema y los consumos irregulares no facturables, aislando las pérdidas técnicamente gestionables:

ANC* = ANC − consumo operacional propio − consumo irregular no facturable

Esta distinción es relevante para el diagnóstico porque permite separar lo que la empresa puede reducir (pérdidas gestionables) de lo que responde a condiciones

estructurales del territorio o del marco normativo. Al aplicar los métodos internacionales revisados en este estudio, el ANC% estándar es el punto de partida; el ANC* es la lectura regulatoria que permite contextualizar el resultado en el sector sanitario chileno (ANDESS, 2023; SISS, 2025).

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Qué proporción del volumen de entrada no se factura y cómo evoluciona?
- **¿Qué información necesita?** VES y consumo autorizado facturado del mismo ámbito y período. Para ANC*: además consumo operacional propio y consumo de campamentos, con sus reglas documentadas.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Solo requiere que ambos volúmenes estén disponibles o estimados con respaldo documentado. La interpretación mejora con la calidad del dato, pero el cálculo siempre es posible.
- **¿Qué capacidades exige?** Compatibilizar períodos y fronteras de los registros operacionales (producción) y comerciales (facturación). Identificar y documentar estimaciones, ajustes y valores atípicos en cualquiera de los dos volúmenes.
- **¿Cuál es su aporte?** Establece la magnitud del problema y permite seguimiento periódico sin infraestructura adicional. Es el único indicador que puede calcularse desde el inicio y que entrega una visión del conjunto antes de desagregar por componente.
- **¿Cuáles son sus limitaciones?** No identifica causas: un mismo 30 % puede responder a fugas masivas, fraude no detectado, errores de macromedidor o combinación de los tres. No normaliza por presión, infraestructura ni tiempo presurizado, por lo que no es directamente comparable entre sistemas distintos ni entre períodos con distinto régimen operacional.

Preguntas clave al sistema

- ¿Suministro y facturación representan el mismo período y frontera?
- ¿Se revisan simultáneamente el porcentaje y el volumen de ANC?
- ¿Se conoce cuánto del resultado corresponde a consumo autorizado no facturado, pérdidas aparentes y reales?
- ¿Se distinguen cambios de consumo, ajustes de datos y reducciones verificadas?
- ¿Los indicadores ajustados (incluido ANC*) mantienen una definición estable entre períodos?

Este es el indicador inicial, por lo que se considera como base. Se analiza la calidad de los datos involucrados en la sección posterior de calidad de dato y la progresión entre niveles depende del nivel de desglose de sus componentes que se desarrollan en Balance hídrico e indicadores.

6.2.2 Balance hídrico IWA

El Balance Hídrico IWA es el marco de cuantificación estándar del ANC. Desarrollado por la International Water Association (Lambert et al., 2000), estructura el volumen total que ingresa al sistema de distribución en tres grandes bloques: consumo autorizado facturado, consumo autorizado no facturado, y pérdidas (reales y aparentes). La diferencia entre lo que entra y lo que se contabiliza como consumo autorizado es el Agua No Contabilizada. El método sigue un enfoque top-down: parte del total medido en el ingreso al sistema y descuenta hacia abajo los volúmenes que se conocen, hasta que el residuo revela el ANC y sus componentes.

La fortaleza del balance es que puede construirse con los datos disponibles en cualquier etapa de madurez. En niveles iniciales opera con estimaciones y datos de escritorio, entregando un resultado orientativo con incertidumbre no cuantificada. A medida que mejoran los datos de entrada, el mismo marco produce resultados cada vez más precisos sin necesidad de cambiar la metodología. Esto lo convierte en el instrumento central del ciclo de gestión del ANC: se construye, se mejoran sus inputs y se vuelve a construir con mayor confiabilidad.

Los dos datos de entrada que más impactan el resultado son el Volumen de Entrada al Sistema (VES) y el Volumen Contabilizado y Facturado. Un error en cualquiera de ellos se traslada directamente al ANC calculado. Por esta razón, el siguiente apartado analiza en detalle la calidad de cada uno de estos inputs.

La Figura 2 presenta su estructura y el ANEXO C desarrolla las fórmulas, alternativas de estimación.



Figura 2: Estructura del balance hídrico IWA.

Fuente: SEINCO Chile (2023, p. 11).

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Cuánto ANC tiene el sistema, cómo se distribuye entre sus componentes y qué parte del resultado depende de estimaciones?
- **¿Qué información necesita?** Volumen de entrada, consumo autorizado facturado, CANF y estimación de pérdidas aparentes. También requiere identificar las transferencias y variaciones de almacenamiento correspondientes al ámbito analizado.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Puede iniciarse con información incompleta cuando se definen la frontera, el período y los supuestos. La profundidad de su interpretación depende de la confiabilidad de sus componentes.
- **¿Qué capacidades exige?** Organización de registros, compatibilización de períodos y unidades, conocimiento del funcionamiento del sistema y capacidad de cálculo. Puede utilizarse FWAS u otra herramienta que conserve la estructura del balance.
- **¿Cuál es su aporte?** Establece una base común de cuantificación, identifica brechas de información y sustenta indicadores y objetivos por componente.

- **¿Cuáles son sus limitaciones?** No localiza por sí solo las pérdidas ni distingue automáticamente los errores de información de las variaciones reales del sistema.

Preguntas clave al sistema

- ¿La frontera, el período y las unidades del balance están definidos?
- ¿Cada componente tiene una fuente y un procedimiento de obtención identificables?
- ¿Se distinguen CANF, pérdidas aparentes y pérdidas reales?
- ¿Las estimaciones están documentadas y se revisan cuando aparece mejor información?
- ¿Los períodos de suministro y consumo son comparables?
- ¿Las variaciones del balance generan investigaciones y acciones de seguimiento?

La Tabla 11 relaciona las condiciones observables con la utilización del balance. La progresión distingue la construcción de una línea base, la trazabilidad de sus componentes, la regularidad de los cierres, la conciliación de diferencias y la identificación anticipada de desviaciones.

Tabla 11: Aplicación del balance hídrico por nivel.

Nivel	Condición observable de la empresa o sistema	Aplicación, prioridad y seguimiento
N1	Se dispone de producción y facturación globales, pero existen diferencias de período, fuentes sin comprobar o componentes del ANC que no se distinguen.	Reconstruir una primera línea base. Identificar frontera, fuentes y estimaciones pendientes. Registrar ANC en m³ y %, señalando los componentes sin respaldo suficiente.
N2	Existe un balance con estructura IWA. Cada dato identifica período, unidad, fuente y procedimiento. Los CANF y las pérdidas aparentes tienen primeras estimaciones documentadas; las pérdidas reales se obtienen por diferencia.	Compatibilizar registros y mejorar los componentes de mayor impacto. Seguir el volumen de entrada medido respecto del total identificado, la facturación estimada y los ajustes incorporados al balance.
N3	El balance se elabora conforme a un calendario de cierre, con responsables y procedimientos. Se conservan versiones y ajustes; las variaciones de sus componentes generan investigaciones y acciones registradas.	Comparar cierres equivalentes y verificar sus explicaciones. Seguir CANF, pérdidas aparentes y reales por período, cumplimiento de cierres y resolución de diferencias.
N4	El cierre incorpora incertidumbre y conciliaciones entre etapas o unidades comparables. Se cuantifica qué diferencias corresponden a ajustes de datos, usos identificados o pérdidas confirmadas. Esa información se utiliza para comparar mejoras de medición e intervenciones.	Priorizar según el efecto esperado sobre el diagnóstico y las pérdidas. Comparar resultados previstos y observados, distinguiendo el volumen explicado del volumen físicamente reducido.
N5	Los registros operacionales y comerciales alimentan el balance y permiten advertir desviaciones antes del cierre. Las alertas se investigan y sus explicaciones se comprueban posteriormente con datos consolidados.	Anticipar cambios y actualizar decisiones. Seguir alertas confirmadas, tiempos de investigación y corrección, diferencias pendientes y efecto comprobado de las respuestas.

Fuente: Elaboración propia.

La progresión conserva la revisión de fuentes y la investigación de diferencias en todos los niveles. Su desarrollo permite explicar mejor el resultado y utilizarlo en decisiones, manteniendo la distinción entre corregir información y reducir físicamente las pérdidas. El ANEXO C desarrolla los componentes del balance hídrico, sus procedimientos de cuantificación y un ejemplo completo.

6.2.3 Calidad del dato

El balance hídrico IWA puede construirse con cualquier nivel de datos, pero su resultado solo es tan confiable como los datos que lo alimentan. La calidad del dato es el concepto que describe esa confiabilidad: no si el número es preciso, sino que tan bien respaldado esta y en que fuentes se puede confiar para tomar decisiones. Mejorar la calidad del dato no es un fin en sí mismo: es la condición para que los indicadores sean interpretables y para que las intervenciones se prioricen correctamente.

Los tres componentes del balance que concentran la mayor incertidumbre son el Volumen de Entrada al Sistema (VES), el Volumen Contabilizado y Facturado, y la validación cruzada con el enfoque bottom-up. Cada uno puede introducir error en sentidos distintos: el VES sobreestimado infla el ANC; el facturado subestimado hace lo mismo; y la ausencia de contraste bottom-up deja sin verificar ambos. Se analizan cada una de estas dimensiones en detalle.

Herramienta disponible: el **Free Water Audit Software (FWAS v6) de la AWWA** incluye el Data Validity Score (DVS), una autoevaluación estructurada de 19 componentes que asigna una puntuación al balance y clasifica el resultado en 5 Tiers (I a V). Su uso es recomendable como punto de partida para identificar sistemáticamente donde están las brechas. Existe una versión adaptada al español con los acrónimos del balance IWA en castellano. El detalle del DVS y sus Tiers se desarrolla en el ANEXO D.

Preguntas clave al sistema:

- ¿Se ha hecho un diagnóstico formal de la calidad de cada dato del balance?
- ¿Se sabe en cuales componentes del balance hay mayor incertidumbre?
- ¿Se usa alguna herramienta estructurada (FWAS u otra) para evaluar la calidad del dato periódicamente?
- ¿Los responsables de cada dato conocen que nivel de respaldo documental se requiere?

La Tabla 12 describe la progresión esperada en la calidad del dato: desde la ausencia de procedimientos formales hasta la evaluación sistemática y trazable que habilita comparaciones confiables.

Tabla 12: Calidad del dato: estado general

Nivel de madurez	Evaluación de la empresa (condición actual)	Aplicabilidad / Relevancia (aporte en este nivel)
N1: Arranque	Datos principalmente estimados o de escritorio. Sin calibraciones documentadas. Sin auditoría del parque de medidores. Sin evaluación formal de la calidad del dato.	Crítica. Identificar cuáles son los 3 datos con mayor incertidumbre es el primer paso. No se necesita herramienta sofisticada: basta con saber que se mide, que se estima y por qué.
N2: Medición	Datos principales medidos con instrumentación básica. Primera documentación de supuestos. Brechas identificadas informalmente. Se conoce la antigüedad del parque de medidores.	ALTA. Documentar cada dato del balance con su fuente y nivel de confianza. Primera aplicación del FWAS o equivalente para ordenar las brechas por impacto.
N3: Control	Balance con fuentes verificadas y documentación de calibraciones. DVS Tier III alcanzado: ILI calculable con validez provisional. Auditoría periódica de los componentes críticos.	ALTA. La calidad del dato habilita el uso riguroso de los indicadores del Eje B. El ciclo de mejora de datos se gestiona de forma sistemática.
N4: Optimización	DVS Tier IV. Límites de confianza del 95% documentados. Procesos de verificación integrados a los sistemas de información.	MEDIA. La calidad del dato es un proceso gestionado. El foco es mantener y auditar, no recuperar brechas.
N5: Innovación	DVS Tier V. Validación externa periódica. Calidad del dato automatizada e integrada al SCADA.	BAJA. Auditoría externa de calidad del dato. Proceso automático y autoverificado.

Fuente: Elaboración propia.

El Free Water Audit Software —FWAS— de AWWA permite construir la auditoría y evaluar sus insumos mediante la matriz Interactive Data Grading. La aplicación comprende identificar cada dato, revisar los criterios correspondientes, respaldar las respuestas y registrar las debilidades que limitan su calificación. El software obtiene el Data Validity Score —DVS— y su clasificación entre Tier I y Tier V (AWWA, 2020a, 2020b).

El DVS caracteriza el respaldo de los datos de la auditoría. Un resultado de 80 puntos, por ejemplo, no significa que el balance tenga una exactitud del 80 %. Tampoco determina el nivel de madurez del sistema.

La mejora debe concentrarse en las debilidades que pueden modificar el diagnóstico o la decisión. Una contrastación de suministro, un ensayo representativo de micromedidores o una revisión de registros comerciales deben documentarse e incorporarse a una nueva evaluación. El ANEXO D presenta los criterios y rangos de validez.

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Con qué respaldo se conocen los componentes del balance y cuáles son los datos que más limitan su interpretación?
- **¿Qué información necesita?** Fuentes, procedimientos, antecedentes de medición y verificación, registros de vacíos, correcciones y estimaciones.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Desde el levantamiento inicial de información. La cuantificación de incertidumbre requiere antecedentes adicionales sobre mediciones, estimaciones y posibles errores.
- **¿Qué capacidades exige?** Revisión documental y técnica, participación de los responsables de cada dato y capacidad para registrar y corregir debilidades.
- **¿Cuál es su aporte?** Permite priorizar mejoras y ajustar la profundidad de las decisiones a la confiabilidad de sus antecedentes.
- **¿Cuáles son sus limitaciones?** La autoevaluación puede sobreestimar condiciones si no se respalda con evidencia. Una calificación tampoco elimina los errores ni valida automáticamente todos los análisis derivados.

La Tabla 13 reúne las condiciones de respaldo de los datos del balance hídrico consideradas en el Data Validity Score (DVS), expresado en una escala de 0 a 100 puntos y cinco categorías de validez (Tiers), y permite identificar brechas en la medición del suministro, los consumos y la estimación de componentes. Elaborada a partir de AWWA (2016) y FWAS v6.0, incorpora el Tier III (DVS ≥51) como referencia propuesta para el nivel 3, cuya utilización debe complementarse con la comprobación de los requisitos específicos para estimar CARL e interpretar ILI y NRWPI. Esta correspondencia no constituye una equivalencia directa entre escalas: el DVS evalúa el respaldo de los datos de la auditoría, mientras que el nivel de madurez comprende las capacidades técnicas y organizacionales del sistema.

Tabla 13: Evaluación DVS

Nivel (DVS / Tier)	Caracterización	VES (macromedición)	CAF (micromedición)	CANF y PA	Consecuencia para KPIs
N1 Tier I (0–25)	Auditoría rudimentaria. Datos estimados; incertidumbre muy alta.	Estimación horas de bombeo. Error >±15%.	Cuota fija o estimación. <50% con medidor activo.	CANF % arbitrario. PA por defecto literatura (1,25% VES).	ILI, CARL, NRWPI no interpretables.
N2 Tier II (26–50)	Auditoría básica. Cobertura parcial; revisiones esporádicas.	Instrumento existente; calibración esporádica. Error ±5–10%.	Parque medido parcialmente; lecturas estimadas frecuentes.	CANF con primeros registros. PA estimación básica.	Indicadores orientativos; no comparables entre sistemas.
N3 ★ Tier III (51–70)	CONDICIÓN HABILITANTE para gestión profesional del ANC.	Calibración 1–2 años; error ±3–5%. 75–95% fuentes.	Ensayos metrológicos por grupo de consumo.	CANF con metodología ingenieril. PA con estudio por estrato.	ILI, CARL y NRWPI válidos. Metas y comparación SISS/ANDESS posibles.
N4 Tier IV (71–85)	Alta calidad. Macromedición y micromedición consolidadas.	100% fuentes con SCADA/telemetría. Calibración anual. <10% fuera ±3%.	AMR/AMI. Conciliación GIS-ERP. Renovación planificada.	CANF 100% medido. PA: auditorías aleatorias + cruces BD.	Incertidumbre cuantificada. ELL calculable. Benchmarking válido.
N5 Tier V (86–100)	Clase mundial. Cobertura total calibrada; auditoría externa.	Calibración semestral; tercero independiente (AWWA M36).	Parque <5 años; pruebas continuas laboratorio acreditado.	Detección automatizada irregularidades. Modelo hidráulico calibrado.	Reporte regulatorio SISS máxima confiabilidad. Alertas predictivas.

Fuente: Elaboración propia.

- **Volumen de Entrada al Sistema: política de medición y auditoría de macromedidores**

El Volumen de Entrada al Sistema (VES) es el denominador del balance hídrico: cualquier error en su medición se traslada directamente al ANC calculado, sobreestimándolo o subestimándolo sin que el balance mismo lo advierta. Por eso la calidad de este dato es la primera prioridad. Su análisis cubre dos aspectos complementarios: dónde y cómo se mide (política de medición y frontera del sistema), y con que precisión se mide (auditoría y calibración de macromedidores).

La política de medición debe definir explícitamente la frontera del sistema: el punto a partir del cual el agua se considera dentro del balance de distribución. En la práctica chilena es frecuente encontrar dos situaciones que introducen error: (i) el volumen de producción se estima a partir de horas de bombeo de pozos o plantas

de tratamiento, sin macromedidor de caudal instalado o verificado; (ii) cuando existe macromedidor, puede estar ubicado antes del estanque de regulación, registrando volumen producido en lugar de volumen distribuido. Ambas situaciones requieren análisis adicional antes de usar el dato en el balance.

Cuando se mide en la fuente (pozo o planta), llegar al VES real requiere controlar una cadena de variables: (i) la curva de la bomba, que es de diseño y se degrada con el tiempo por desgaste del equipo y variación de la carga dinámica; (ii) la variación de nivel del estanque entre mediciones, que debe sumarse o restarse para reconciliar producción con volumen distribuido; (iii) las pérdidas de transmisión entre la fuente y el estanque, que son pérdidas reales pero no son pérdidas de la red de distribución; y (iv) el agua utilizada en los procesos de la planta (retrolavados, purgas, agua de proceso), que no ingresa al sistema de distribución. Por esta razón se recomienda calcular por separado un indicador de pérdidas de producción y uno de pérdidas de distribución: permite identificar en que etapa se concentran las pérdidas y evita que problemas de producción aparezcan como problemas de la red.

Si el punto de medición está en el ingreso al estanque de regulación, los reboses deben ser monitoreados y medidos de forma independiente. Un rebose no registrado aparece en el balance como perdida de distribución cuando en realidad es una perdida operacional del estanque. En sistemas chilenos con alta variabilidad de demanda o estanques sobredimensionados, los reboses no cuantificados son una fuente frecuente de ANC inflado. Adicionalmente, deben identificarse todos los puntos de entrada al sistema: interconexiones de emergencia, pozos secundarios o agua comprada a terceros que operen sin medición son fuentes de incertidumbre adicional que el balance no puede detectar.

Como recomendación, en la situación en que la producción se estima mediante pozos y sea necesario implementar la medición por etapas, puede priorizarse la instalación de medidores en las salidas de los estanques de distribución. Además del volumen distribuido, estos puntos permiten disponer de caudal instantáneo para examinar comportamiento nocturno y reconocer variaciones compatibles con roturas o eventos de red.

La medición de entrada debe mantenerse en el plan, porque permite comprender la producción, las conducciones y el almacenamiento. La priorización de salidas responde a una restricción de recursos y al valor adicional de la información para iniciar la gestión.

La auditoría de macromedidores verifica la precisión del equipo que registra el VES. El AWWA M36 establece dos tipos de verificación periódica: pruebas de precisión de caudal in situ, que verifican el elemento primario contra un volumen de referencia independiente, y calibración electrónica, que comprueba los dispositivos secundarios y terciarios. La frecuencia recomendada es semestral o anual, con tolerancia de error no mayor al 3% promedio ponderado por volumen.

La verificación de macromedidores debe revisar no solo la calibración sino las condiciones que la hacen posible: instalación correcta según tipo de instrumento, dimensionamiento adecuado al caudal real, orientación recomendada por el fabricante, distanciamientos mínimos aguas arriba y aguas abajo, y espacio físico suficiente para instalar un medidor patrón de referencia. Sin estas condiciones, una calibración puede dar resultados no representativos del error en operación normal.

La revisión incluye también el recorrido del dato: unidades, factores de conversión, integración del caudal, transmisión, almacenamiento y posibles pérdidas de información entre el instrumento y el sistema de gestión. La periodicidad y los criterios de aceptación deben documentarse según el tipo de instrumento, su criticidad y las condiciones de servicio.

- **Volumen contabilizado y facturado: consumos autorizados no facturados y auditoría de micromedidores**

El segundo dato crítico del balance es el volumen contabilizado y facturado. Su precisión determina cuanto del ANC calculado corresponde a pérdidas reales y cuanto al consumo autorizado que simplemente no se cobró o no se midió correctamente. El análisis de este componente tiene dos partes: los consumos autorizados no facturados, que son volúmenes legítimos no cobrados que deben estimarse para no aparecer como pérdidas; y la auditoría del parque de micromedidores, que cuantifica el subregistro que genera pérdidas aparentes.

Los consumos autorizados no facturados (CANF) corresponden a usos autorizados que no generan facturación, como determinados usos de grifos, lavados y purgas de redes o consumos propios incluidos en la frontera del balance. Su cuantificación permite distinguirlos de las pérdidas aparentes y reales, aunque continúan formando parte del ANC. Para los consumos autorizados no medidos y no facturados, el FWAS v6.0 contempla una referencia inicial de 0,25 % del consumo autorizado facturado, que debe sustituirse por una estimación propia cuando existan antecedentes suficientes. Los consumos medidos no facturados se obtienen de sus registros. Los usos del proceso productivo se incorporan únicamente al balance cuya frontera los comprende (AWWA, 2020c).

La auditoría del parque de micromedidores permite estimar la inexactitud que contribuye a las pérdidas aparentes y orientar las decisiones de mantenimiento o reemplazo. El comportamiento metrológico debe examinarse según la tecnología, el volumen acumulado, las condiciones de servicio y los caudales de consumo, evitando atribuir un error uniforme únicamente a la antigüedad. Las empresas pueden aprovechar los ensayos y antecedentes del autocontrol de micromedición para este análisis, comprobando la representatividad de las muestras y su relación con el volumen registrado por cada grupo del parque.

La asimetría del autocontrol SISS genera un sesgo sistemático hacia el subregistro en el parque de medidores. Una empresa con buen cumplimiento regulatorio puede

tener simultáneamente un alto porcentaje de medidores que sub-registran sin que eso constituya un incumplimiento. Cuantificar este efecto mediante muestreo estadístico del parque es una de las acciones de mayor impacto sobre el ANC aparente sin intervenir la red.

La auditoría de micromedidores busca estimar el error del parque considerando tecnología, antigüedad, volumen acumulado, perfil de caudales y condiciones de operación. La antigüedad por sí sola no determina el error: un medidor nuevo en condiciones de sobredimensionamiento puede subregistrar más que uno antiguo bien dimensionado para su perfil de consumo. El muestreo debe ser representativo de los grupos relevantes del parque, ponderando los resultados por el volumen que cada grupo representa en el total facturado.

La estimación del subregistro requiere relacionar los ensayos con el volumen consumido. Para cada grupo, la relación efectiva de registro se obtiene ensayando muestras a distintos caudales y ponderando por la distribución real de consumo. El volumen por inexactitud del grupo es: ***Volumen (m³) = volumen registrado del grupo × [(1 / relación efectiva de registro) − 1].*** Un resultado positivo representa subregistro neto; uno negativo, sobrerregistro. Los volúmenes calculados para los distintos grupos se suman para obtener la estimación del parque; no se ponderan nuevamente por su participación en el volumen total, porque cada cálculo ya incorpora el volumen registrado del grupo. La Figura 3 ilustra la relación entre el volumen acumulado registrado

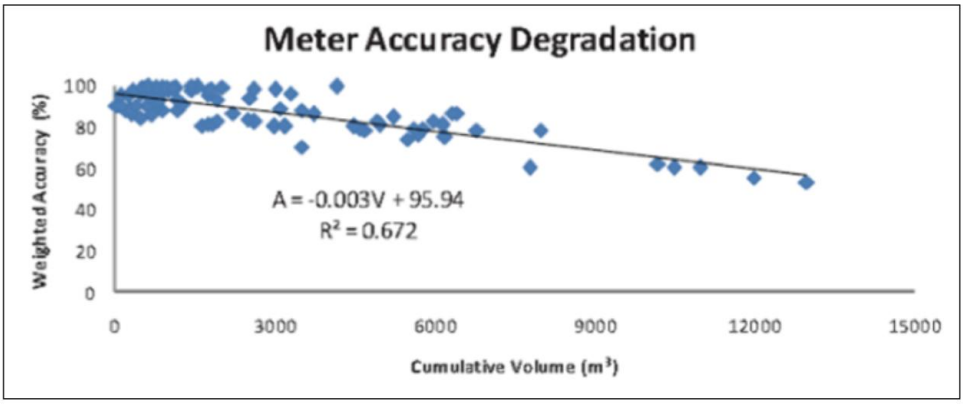


Figura 3: Relación entre volumen acumulado y precisión

Fuente: IHE Delft.

La lectura remota (AMR/AMI) puede mejorar la resolución y la oportunidad de los datos de consumo, pero su utilización exige verificar condiciones específicas: asociación correcta entre cada cliente y su sector hidráulico, sincronización de los intervalos de lectura con los períodos del balance, resolución temporal compatible con el análisis nocturno, y tratamiento explícito de los datos faltantes o atípicos.

Transmitir una lectura con mayor frecuencia no corrige el error metrológico del medidor: un instrumento que subregistra sistemáticamente seguirá haciéndolo, aunque reporte cada hora. La telelectura es un habilitador del diagnóstico, no un sustituto de la auditoría metrológica.

- **Contraste bottom-up: sectorización, Caudal Mínimo Nocturno y validación convergente**

El enfoque descendente, o *top-down*, construye el balance mediante los antecedentes globales de suministro, consumos y pérdidas. El enfoque ascendente, o *bottom-up*, aporta verificaciones mediante mediciones e investigaciones específicas, como análisis de sectores, inspecciones de medidores y revisión de procesos comerciales (AWWA, 2009).

El contraste requiere utilizar límites físicos, períodos y condiciones operacionales compatibles. En sectores medidos, el análisis del caudal mínimo nocturno puede aportar antecedentes sobre pérdidas reales, una vez considerados los consumos legítimos y las condiciones de operación. Su conversión a un volumen representativo de otros períodos requiere justificar los supuestos utilizados.

Cuando se comparan resultados sectoriales con el balance global, también debe identificarse qué parte del sistema está cubierta y qué volúmenes permanecen estimados. Las investigaciones sobre una muestra aportan información sobre su ámbito y deben justificar cualquier extrapolación al conjunto.

Las discrepancias pueden relacionarse con errores de medición, desfases temporales, transferencias no registradas, estimaciones de consumos o pérdidas y diferencias en la delimitación del sistema. Su investigación permite revisar los antecedentes y mejorar el diagnóstico. La concordancia entre resultados refuerza su coherencia, aunque debe evaluarse considerando las limitaciones compartidas por las fuentes.

La auditoría debe conservar los datos originales, las evidencias de calificación, los ajustes realizados y sus fundamentos. Este registro permite explicar las variaciones entre períodos y distinguir cambios del sistema de aquellos producidos por mejoras en la información.

En los sectores habilitados, el análisis del caudal mínimo nocturno (CMN o MNF) permite estimar pérdidas reales y contrastarlas con las obtenidas del balance para el mismo ámbito y período. Se considera como referencia la ventana de 02:00 a 04:00 h indicada en este análisis, cuya representatividad debe comprobarse según los patrones de consumo y operación del sector. Para interpretar el caudal registrado deben descontarse los consumos nocturnos legítimos —como hospitales, industrias o riego— y considerarse los intercambios, las variaciones de almacenamiento y las inexactitudes de medición. La conversión del caudal residual al volumen del período de comparación requiere considerar la variación de presión

y las horas efectivas de presurización. Finalmente, deben identificarse la cobertura evaluada y las mediciones compartidas con el balance global para interpretar la concordancia o las discrepancias entre ambos resultados.

Condición de aplicabilidad: el análisis bottom-up requiere sectorización de la red con DMAs operativos y registros de caudal nocturno por sector. En N1 generalmente no es aplicable porque no existe infraestructura de sectorización. En N2 puede aplicarse en sectores piloto si existen DMAs básicos. La cobertura total del sistema es característica de N3 en adelante.

La validación del diagnóstico se refuerza con una tercera fuente: los indicadores que las empresas reportan mensualmente a la SISS mediante el protocolo PR013001 (Indicadores de Calidad de Servicio), que incluye tasa de roturas de tuberías y frecuencia de cortes no programados. Estos indicadores son independientes del balance hídrico y del CMN, pero apuntan al mismo fenómeno físico. Cuando cuatro fuentes apuntan en la misma dirección — alto ANC% en el balance, alto CMN en los DMAs, alta tasa de roturas y alta frecuencia de cortes no programados — el diagnóstico es inequívoco: existe un problema físico real en la red, probablemente asociado a presiones excesivas o infraestructura deteriorada. Esta convergencia de fuentes independientes elimina la ambigüedad y fortalece el argumento técnico para priorizar la intervención.

los datos de roturas y cortes no programados que las empresas reportan a la SISS ya están disponibles en sus sistemas internos. El problema no es falta de datos: es que normalmente se gestionan en áreas separadas (operaciones vs. pérdidas) y no se cruzan sistemáticamente para el diagnóstico del ANC. Integrar esta lectura cruzada no requiere esfuerzo adicional de medición, solo de análisis.

Análisis del método:

¿Qué pregunta responde? ¿Confirma el análisis bottom-up el nivel de pérdidas que muestra el balance top-down? ¿En que sectores se concentran las mayores pérdidas?

¿Qué información necesita? DMAs operativos con registros de caudal nocturno por sector. Datos de tasa de roturas y cortes no programados del reporte SISS PR013001.

¿Bajo que condiciones aplica? Bottom-up desde N2 en sectores piloto; cobertura total desde N3. La convergencia con indicadores SISS aplica desde N1 si se tiene acceso al historial de roturas y cortes.

¿Qué capacidades exige? Sectorización de red con DMAs instrumentados. Registro de caudal nocturno. Capacidad de análisis para cruzar datos de distintas fuentes.

¿Cuál es su aporte? Valida o cuestiona el balance top-down desde una perspectiva independiente. La convergencia de múltiples fuentes transforma un número en un diagnóstico verificado.

¿Limitaciones? El CMN puede incluir consumo nocturno legítimo (hospitales, industria) que infla la estimación de fugas. Requiere infraestructura de sectorización que no siempre existe en niveles iniciales.

La Tabla 14 muestra cuándo el contraste entre el balance top-down y el bottom-up es posible, y en qué condiciones los resultados convergen hasta ser comparables con los reportes regulatorios de la SISS.

Tabla 14: Contraste bottom-up

Nivel de madurez	Evaluación de la empresa (condición actual)	Aplicabilidad / Relevancia (aporte en este nivel)
N1: Arranque	Sin DMAs: análisis bottom-up no aplicable. Indicadores SISS de roturas y cortes no programados disponibles pero no cruzados con el ANC.	BAJA para bottom-up (no aplica sin infraestructura). MEDIA para convergencia SISS: cruzar el ANC% con la tasa de roturas y los cortes no programados es posible desde N1 y fortalece el diagnóstico sin costo adicional.
N2: Medición	Primeros DMAs piloto permiten bottom-up parcial en sectores instrumentados. Primera comparación TD vs BU en sectores operativos.	ALTA. La divergencia entre TD y BU en un sector es el primer diagnóstico de calidad del dato o de fuga no contabilizada. Cruzar con roturas del mismo sector refuerza el hallazgo.
N3: Control	Bottom-up operativo con cobertura significativa. Conciliación TD/BU regular. Cruce sistemático con indicadores SISS. Diferencias < 5% entre enfoques como referencia.	ALTA. La conciliación TD/BU es el cierre del ciclo de validación del Eje A. La convergencia de cuatro fuentes permite pasar del número al diagnóstico verificado.
N4: Optimización	Conciliación semiautomatizada. Alertas SCADA por desviación del CMN esperado por sector. Modelos hidráulicos usan el balance como input de validación.	MEDIA. Refinamiento continúo. Integración con modelo hidráulico para planificación de inversiones basada en evidencia.
N5: Innovación	Balance hidráulico automatizado integrado al gemelo digital. CMN en tiempo real por DMA. Conciliación continúa TD/BU.	BAJA. Función consolidada. El gemelo digital mantiene la conciliación como proceso automático.

Fuente: Elaboración propia.

La cobertura debe expresarse mediante un denominador adecuado al ámbito, como conexiones de distribución o longitud de conducciones, manteniendo separados los indicadores que representan infraestructuras diferentes. El seguimiento distingue volumen explicado mediante ajustes de información y volumen físicamente reducido después de intervenir.

Las capacidades examinadas permiten evaluar la construcción del balance, la confiabilidad de sus fuentes, la desagregación del ANC, la utilización de indicadores y la comprobación del diagnóstico.

6.2.4 Indicadores

Los instrumentos de este bloque permiten responder preguntas complementarias. El ANC% representa la magnitud global; el TIRL expresa pérdidas reales respecto de la infraestructura; BABE examina sus componentes; UARL e ILI aportan una referencia técnica; FAVAD analiza la respuesta a la presión; el ELL incorpora criterios económicos; y el NRWPI organiza el diagnóstico por componentes.

Su selección comienza por la pregunta de gestión y la disponibilidad de antecedentes. Un cálculo requiere datos compatibles y una interpretación acorde con su confiabilidad. La incorporación de un instrumento no reemplaza automáticamente a los anteriores.

El ejemplo desarrollado en el apartado “Ejemplo completo” del ANEXO C conecta los cálculos del balance, TIRL, UARL e ILI. Esta relación permite reconocer qué información agrega cada cálculo y qué decisiones necesitan antecedentes adicionales. Las capacidades para obtener y utilizar estos resultados contribuyen a distintos ejes del marco, definidos en la sección 6.6.

- **TIRL: normalización de pérdidas reales por infraestructura**

El TIRL expresa las pérdidas reales respecto del número de conexiones o de la longitud de red durante el tiempo presurizado. Su cálculo necesita pérdidas reales diferenciadas de los CANF y de las pérdidas aparentes.

Por conexión:

$$\boldsymbol{TIRL = PR \times 1.000 / (Nc \times Dp)}$$

Con $\boldsymbol{PR}$ en m³, $\boldsymbol{Nc}$ como número de conexiones y $\boldsymbol{Dp}$ como días equivalentes presurizados, el resultado se expresa en L/conexión/día presurizado.

Por longitud:

$$\boldsymbol{TIRL = PR / (Lm \times Dp)}$$

Con $\boldsymbol{PR}$ en m³ y $\boldsymbol{Lm}$ en km, el resultado se expresa en m³/km/día presurizado.

La referencia de veinte conexiones por kilómetro orienta la elección de unidades: por debajo de esa densidad suele utilizarse la longitud; por encima, las conexiones. El tiempo presurizado debe representar el régimen de suministro. En sistemas continuos coincide con los días del período; en sistemas intermitentes requiere un tratamiento documentado de las horas efectivas.

Con los datos del ANEXO C, la densidad de conexiones es 5.000/100 = 50 conexiones/km. Se utiliza la expresión del TIRL por conexión:

$$\boldsymbol{TIRL = 200.000 \times 1.000 / (5.000 \times 365)}$$

$$\boldsymbol{TIRL = 109,6\ L/conexión/día\ presurizado}$$

El TIRL facilita el seguimiento de pérdidas reales, aunque su fórmula no normaliza la presión. Las comparaciones deben considerar sus cambios y las condiciones de operación.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? ¿Cuánto volumen de pérdidas reales se registra por conexión o kilómetro de red durante el tiempo presurizado?

¿Qué información necesita? Pérdidas reales del período, conexiones o longitud de red y duración presurizada.

¿En qué condiciones se puede aplicar? Cuando las pérdidas reales pueden estimarse separadamente y los denominadores representan el mismo ámbito.

¿Qué capacidades exige? Balance desagregado, información de infraestructura y conocimiento del régimen de suministro.

¿Cuál es su aporte? Permite seguir pérdidas reales con menor dependencia del consumo facturado y comparar ámbitos bajo condiciones contextualizadas.

¿Cuáles son sus limitaciones? Hereda la incertidumbre de las pérdidas reales y no normaliza directamente las diferencias de presión, condición o configuración de las redes.

Preguntas clave al sistema

- ¿Las pérdidas reales se distinguen de los demás componentes del ANC?
- ¿Conexiones, longitud y volumen corresponden al mismo ámbito?
- ¿La unidad elegida es adecuada a la densidad de conexiones?
- ¿Se considera el tiempo efectivamente presurizado?
- ¿Se documentan los cambios de presión al interpretar la evolución?

La Tabla 15 presenta las condiciones para utilizar el TIRL en cada nivel. Su cálculo requiere pérdidas reales diferenciadas, conexiones o longitud de red y tiempo presurizado correspondientes al mismo ámbito y período. La progresión distingue la obtención de una primera referencia, su seguimiento periódico y su utilización para comprobar intervenciones y comparar resultados considerando las condiciones de operación.

Tabla 15: Aplicación del TIRL por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1	Si únicamente se conoce el ANC total, el TIRL de pérdidas reales no puede calcularse. Corresponde identificar los datos necesarios para separar CANF y pérdidas aparentes y obtener conexiones, longitud y tiempo presurizado del ámbito.
N2	Existe una estimación documentada de pérdidas reales y se conocen los denominadores necesarios. Se selecciona la expresión por conexión o longitud según las características de la red y se calcula una primera referencia, declarando la incertidumbre y el régimen de suministro.
N3	Se calcula una serie con períodos, unidades y denominadores consistentes. Las intervenciones cuentan con una referencia anterior y una comprobación posterior; los cambios se interpretan junto con presión, suministro y modificaciones de la unidad evaluada.
N4	El TIRL permite comparar resultados de intervenciones y unidades técnicamente comparables. Las diferencias se investigan mediante sus componentes y condiciones hidráulicas, y se relacionan con costos y recuperación para ajustar prioridades.
N5	Se mantiene como indicador de verificación de pérdidas reales. Las estimaciones actualizadas se utilizan para comprobar si las respuestas anticipadas produjeron la reducción esperada y si ésta se sostuvo. Su frecuencia de actualización corresponde a la disponibilidad de estimaciones válidas de pérdidas reales.

Fuente: Elaboración propia.

- **BABE, UARL e ILI**

BABE analiza componentes de pérdidas reales; UARL establece una referencia técnica; e ILI relaciona las pérdidas reales actuales con esa referencia. Su utilización conjunta permite profundizar el diagnóstico, manteniendo los requisitos de cada instrumento (Lambert, 1994; Lambert et al., 1999; Lambert & McKenzie, 2002).

Análisis de componentes mediante BABE

BABE distingue fugas de fondo, roturas reportadas y roturas no reportadas. Su cuantificación considera caudales, frecuencia y duración de eventos, junto con las condiciones de infraestructura y presión.

Para un conjunto de eventos representados por valores medios:

Volumen del componente = número de eventos × caudal medio × duración media

El caudal y la duración deben utilizar unidades compatibles. Las fugas de fondo requieren una estimación específica; no se obtienen asignándoles automáticamente todo el volumen que permanece sin explicar.

Esta descomposición permite examinar qué medidas pueden reducir caudal o permanencia de las fugas: presión, detección, reparación y gestión de activos. Un balance anual de pérdidas reales no entrega por sí solo esa distribución.

UARL como referencia técnica

La expresión utilizada es:

$$\boldsymbol{UARL} = (\mathbf{18} \times \boldsymbol{Lm} + \mathbf{0,8} \times \boldsymbol{Nc} + \mathbf{25} \times \boldsymbol{Lp}) \times \boldsymbol{P}$$

Lm corresponde a la longitud de red principal en km; Nc, al número de conexiones; Lp, a la longitud total en km entre el límite de propiedad y los medidores; y P, a la presión media representativa en metros de columna de agua.

Con estos coeficientes, el resultado se obtiene en litros por día. Antes de utilizarlo deben comprobarse las definiciones de los parámetros, la representatividad de la presión y las condiciones de aplicación del modelo. Lp puede ser cero cuando la ubicación de los medidores justifica esa configuración.

La presión utilizada debe representar el ámbito y el período evaluados. La lectura de un punto accesible o de salida de una válvula no constituye automáticamente esa presión media.

ILI como relación de desempeño

El ILI se calcula mediante:

$$\boldsymbol{ILI = CARL / UARL}$$

CARL corresponde a las pérdidas reales actuales anuales. Numerador y denominador deben representar la misma frontera, período y unidades.

En el caso ilustrativo del ANEXO C, apartado “Ejemplo completo”, la UARL calculada es:

$$UARL = (18 \times 100 + 0{,}8 \times 5.000 + 25 \times 0) \times 40$$

$$UARL = 232.000\ L/día$$

Para el período anual del ejercicio:

$$UARL = 232.000 \times 365 / 1.000 = 84.680\ m^3/año$$

Finalmente:

$$ILI = 200.000 / 84.680 = 2{,}36$$

Los resultados responden preguntas diferentes. El 30 % representa el ANC global; los 200.000 m³ corresponden a pérdidas reales; el TIRL las relaciona con las conexiones y el tiempo presurizado; y el ILI las compara con la referencia UARL. Ninguno de estos resultados asigna por sí solo un nivel de madurez ni identifica la intervención económicamente más conveniente.

La Tabla 16 presenta rangos orientativos de interpretación. Estos no asignan niveles de madurez ni determinan por sí solos una meta económica de pérdidas.

Tabla 16: Rangos orientativos del ILI.

Rango de referencia	Lectura inicial	Comprobación y orientación
ILI < 1	Resultado que requiere una revisión particular.	Comprobar pérdidas reales, presión, infraestructura, unidades y aplicabilidad de UARL antes de interpretarlo.
1 ≤ ILI < 2	Pérdidas cercanas a la referencia utilizada.	Mantener controles y evaluar si existen mejoras pertinentes y justificadas.
2 ≤ ILI < 4	Margen de mejora respecto de la referencia.	Examinar componentes, riesgos y alternativas de intervención.
4 ≤ ILI < 8	Distancia importante respecto de la referencia.	Profundizar el diagnóstico y priorizar acciones según causas y condiciones del sistema.
ILI ≥ 8	Distancia elevada respecto de la referencia.	Revisar tanto el desempeño como la calidad de los datos y estructurar las intervenciones necesarias.

Fuente: Elaboración propia.

Un ILI inferior a uno requiere revisar datos, conversiones y aplicabilidad del modelo. La UARL constituye una referencia técnica y no un límite físico universal.

Durante una intervención de presiones deben seguirse también el volumen perdido, el TIRL y las condiciones de servicio: al cambiar la presión se modifica el denominador UARL.

Cuando se consoliden sistemas aplicables y comparables:

$$\boldsymbol{ILI\ consolidado\ =\ suma\ de\ CARL\ /\ suma\ de\ UARL}$$

Esta relación conserva el peso de sus referencias y debe acompañarse de la revisión de los resultados individuales.

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** BABE examina cómo se distribuyen las pérdidas reales; UARL aporta una referencia técnica; el ILI relaciona las pérdidas actuales con esa referencia.
- **¿Qué información necesita?** Pérdidas reales, infraestructura, conexiones, Lp y presión; para BABE se agregan antecedentes de caudal, frecuencia y duración de eventos.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Cuando cada cálculo dispone de sus insumos y se verifica la pertinencia del modelo. No depende exclusivamente del nivel global de la empresa.
- **¿Qué capacidades exige?** Desagregación del balance, conocimiento físico e hidráulico y revisión de registros de fallas e intervenciones.
- **¿Cuál es su aporte?** Permite contextualizar pérdidas e investigar qué componentes y acciones merecen atención.
- **¿Cuáles son sus limitaciones?** Acumula incertidumbres y puede generar conclusiones engañosas si se utilizan supuestos no representativos o unidades incompatibles.

Preguntas clave al sistema

- ¿Las pérdidas reales se encuentran suficientemente fundamentadas?
- ¿La presión utilizada representa el ámbito analizado?
- ¿Lm, Nc y Lp corresponden a las definiciones del modelo?
- ¿Se comprobaron unidades, período y condiciones de aplicación?
- ¿La descomposición BABE utiliza antecedentes propios o supuestos declarados?
- ¿Se diferencia la interpretación del ILI de la medición del efecto de una intervención?

La Tabla 17 distingue las condiciones de aplicación de BABE, UARL e ILI según las capacidades disponibles. Cada instrumento conserva sus propios requisitos: disponer de antecedentes para calcular uno no garantiza que puedan aplicarse los restantes. La progresión considera la trazabilidad de los insumos, la comprobación de los resultados y su utilización para evaluar intervenciones.

Tabla 17: Aplicación de BABE, UARL e ILI por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1	La UARL sólo puede estimarse si existen antecedentes suficientes de Lm, Nc, Lp y presión y se revisa la aplicabilidad del modelo. Sin pérdidas reales diferenciadas no puede calcularse el ILI. Sin antecedentes de caudal, frecuencia y duración de eventos no puede cuantificarse una descomposición BABE.
N2	Se calculan UARL e ILI cuando están disponibles sus insumos, identificando cuáles son medidos y cuáles estimados. BABE puede utilizarse de manera exploratoria con registros de eventos y supuestos explícitos. Los resultados orientan qué información debe comprobarse antes de fundamentar decisiones más exigentes.
N3	Los cálculos tienen fuentes trazables, presión representativa y unidades y períodos compatibles. Se revisan sus variaciones y los resultados que requieren comprobación. BABE se aplica donde existen registros suficientes para distinguir fugas de fondo, roturas reportadas y no reportadas; el análisis sectorial se limita a unidades habilitadas.
N4	La composición de las pérdidas y los tiempos de permanencia permiten comparar presión, detección, reparación y renovación. Se comprueba qué componente respondió a cada intervención y se revisan los supuestos del modelo. El volumen recuperado se evalúa junto con los cambios de presión y del denominador UARL.
N5	Los métodos aplicables se utilizan para comprobar estimaciones anticipadas de pérdidas y resultados de las respuestas. Los registros posteriores permiten revisar caudales, frecuencias y duraciones supuestos y actualizar los modelos. El ILI conserva un período y unas unidades compatibles con sus insumos.

Fuente: Elaboración propia.

- **NRWPI: indicadores por componentes para diagnóstico**

El NRWPI organiza indicadores asociados a los componentes del ANC para identificar contribuciones y orientar acciones (AbuEltayef, AbuAlhin, & Alastal, 2025). Su aplicación requiere definir cada indicador, cuantificarlo y mantener identificadas sus fuentes y reglas de cálculo.

El procedimiento comprende seleccionar componentes pertinentes, obtener volúmenes para un período común, construir el perfil y vincular las prioridades con acciones y seguimiento. El ANEXO C desarrolla la cuantificación de los componentes del balance y el ANEXO E amplía la estimación del subregistro y de los consumos autorizados no facturado con sus indicadores.

La representación Windrose facilita comunicar el perfil cuando sus ejes y escalas están definidos. Los umbrales del caso publicado no se adoptan como clasificación universal de los sistemas chilenos. Expresar resultados en m^3/año tampoco elimina por sí solo las diferencias de tamaño.

El NRWPI se distingue del PMPI: el primero organiza el diagnóstico mediante indicadores; el segundo estructura el proceso de planificación y gestión. Se desarrolla el análisis y propuesta de calibración en ANEXO F.

La Tabla 18 relaciona la aplicación del NRWPI con la disponibilidad y confiabilidad de los componentes del balance. Distingue la identificación inicial de información, la construcción de un perfil respaldado y su utilización para priorizar intervenciones y comprobar resultados.

Tabla 18: Aplicación del enfoque NRWPI por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1	Se identifican los componentes y los datos requeridos. Cuando el balance no permite cuantificarlos, el enfoque se utiliza para organizar el levantamiento de información; no corresponde presentar una evaluación completa ni asignar valor cero a los componentes desconocidos.
N2	Se cuantifican los componentes respaldados por registros o estimaciones documentadas. Se distingue la parte evaluada de la pendiente, sin atribuir al sistema completo la distribución observada en un subconjunto. Se comprueban definiciones, unidades y reglas de cálculo.
N3	Se calcula el conjunto de indicadores que cumplen sus requisitos y se representa su perfil con escalas y categorías explícitas. La comparación entre períodos conserva definiciones y revisa cambios de cobertura o calidad. Los componentes prioritarios se vinculan con acciones y responsables.
N4	Se comparan períodos o unidades después de comprobar su pertinencia técnica y contextual. El perfil permite priorizar intervenciones por componente y revisar qué acciones explican los cambios observados. Se examina si las categorías utilizadas distinguen adecuadamente las condiciones del sistema.
N5	El perfil se actualiza con nueva información válida y se utiliza para comprobar si las respuestas anticipadas modificaron los componentes previstos. Las reglas de clasificación y comparación se revisan mediante resultados, conservando versiones que permitan distinguir cambios del desempeño de cambios del propio procedimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Índice de Desempeño del ANC (NRWPI) y proceso de gestión asociado (PMPI)

El indicador ANC expresado como porcentaje del volumen producido tiene una limitación fundamental: oculta la composición interna del problema. Un sistema con un 30% de ANC puede tener ese resultado por fugas masivas en la red, por un catastro comercial desactualizado, por submedición del parque de medidores, o por una combinación de los tres. Sin esta distinción, cualquier plan de acción es, en el mejor de los casos, una apuesta.

Para resolver esta limitación, AbuEltayef, Alastal y AbuAlhin (2025a) desarrollaron el Índice de Desempeño del Agua No Contabilizada (NRWPI), una herramienta de benchmarking cuantitativo que desagrega el ANC en 19 subindicadores expresados en m³/año, agrupados en tres componentes del balance hídrico IWA: Consumo Autorizado No Facturado (AC1–AC7), Pérdidas Aparentes (AL1–AL6) y Pérdidas Reales (RL1–RL6). El resultado se representa en un diagrama polar tipo Windrose, donde cada pétalo corresponde a un subindicador y su longitud es proporcional al volumen involucrado.

La lectura del diagrama es inmediata: los pétalos más largos señalan las áreas de mayor pérdida y, por lo tanto, las que deben priorizarse en la estrategia de intervención. Si dominan los pétalos del sector AL (pérdidas aparentes), la estrategia debe orientarse al área comercial — auditoría de catastro, revisión de medidores, detección de conexiones ilegales. Si dominan los pétalos del sector RL (pérdidas reales), la estrategia debe ser técnica — campaña de detección activa de fugas, renovación de tuberías prioritarias, gestión activa de presión.

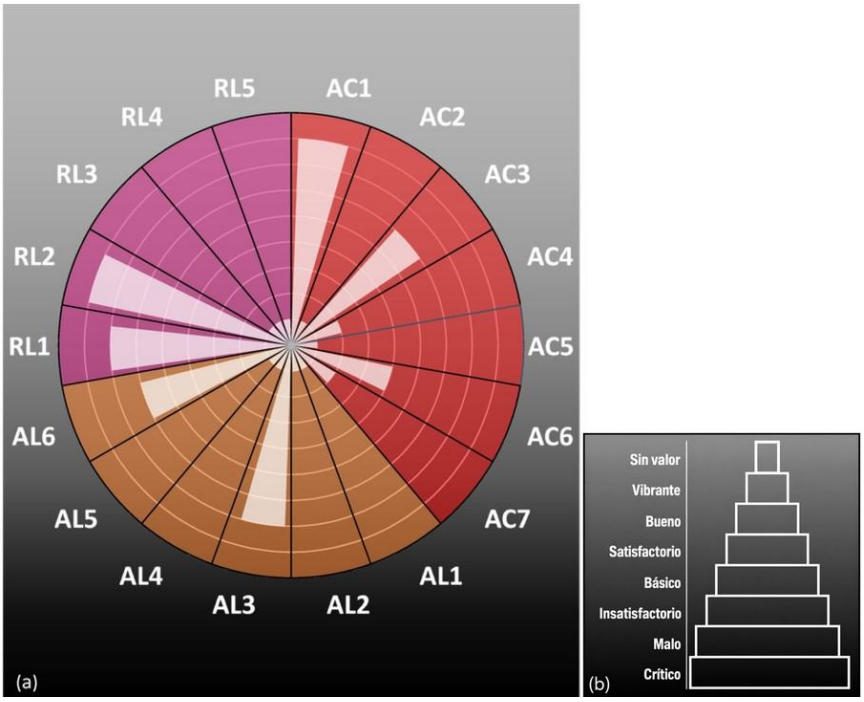


Figura 4: Windrose NRWPI: distribución de los 18 subindicadores
Fuente: AbuEltayef et al. (2025a).

El mismo equipo publicó en paralelo el PMPI (Non-Revenue Water Paradigm for Planning and Management by Performance Indicators, AbuEltayef et al., 2025b), proceso de cinco fases y 19 pasos que articula cómo actuar sobre el diagnóstico cuantitativo: desde los arreglos institucionales iniciales hasta la retroalimentación y mejora continua. Ambas herramientas son complementarias: el NRWPI provee el diagnóstico desagregado; el PMPI, el marco de gestión para abordarlo. Su desarrollo completo —incluyendo los 19 pasos del proceso y su representación pentagonal— se presenta en el Eje D.

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Qué componentes requieren atención y cómo evoluciona su perfil?
- **¿Qué información necesita?** Componentes cuantificados, definiciones, períodos, reglas de cálculo y antecedentes de calidad.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Cuando los componentes necesarios pueden obtenerse con respaldo suficiente para el propósito del análisis.

- **¿Qué capacidades exige?** Organización y desagregación del balance, interpretación contextual y seguimiento de acciones.
- **¿Cuál es su aporte?** Facilita una lectura por componentes y apoya la comunicación y priorización.
- **¿Cuáles son sus limitaciones?** No evalúa por sí solo la madurez ni garantiza comparabilidad entre sistemas; las categorías y datos requieren revisión.

Preguntas clave al sistema

- ¿Cada indicador conserva la definición y regla de cálculo utilizadas?
- ¿Se conocen las fuentes y la incertidumbre de los componentes?
- ¿La clasificación es pertinente al sistema evaluado?
- ¿Las comparaciones consideran tamaño y condiciones de operación?
- ¿Los resultados se vinculan con acciones y comprobaciones posteriores?

La Tabla 19 lista las condiciones mínimas que deben cumplirse para que el NRWPI produzca resultados interpretables, indicando qué ocurre si alguna de ellas no está disponible.

Tabla 19: Condición habilitante: calidad de datos suficiente

Condición	Descripción	Consecuencia si no se cumple
DVS ≥ Tier III (≥51 puntos)	El balance hídrico IWA debe superar el umbral de calidad AWWA/FWAS. Requiere macromedición completa y datos de al menos 12 meses continuos.	El Windrose refleja incertidumbre de datos, no la realidad del sistema. Riesgo de priorizar la estrategia incorrecta.
Balance hídrico IWA consolidado	Los 19 subindicadores se calculan sobre el balance IWA en m³/año. Sin este balance, el NRWPI no puede calcularse.	El NRWPI es inaplicable en forma directa.
Mínimo 2 períodos de datos	El Windrose "antes y después" muestra el avance real del programa. Con un solo período se obtiene diagnóstico inicial pero no evaluación de progreso.	Uso limitado solo a diagnóstico inicial, sin evaluación de tendencia.
Capacidad técnica N3 o superior	El equipo debe poder recopilar, validar y cargar los datos de los 19 subindicadores con roles formalizados.	En niveles N1–N2, la empresa raramente dispone de los datos desagregados que el NRWPI exige.

Fuente: Elaboración propia.

Importante para Chile: los umbrales de clasificación del NRWPI fueron calibrados para el sistema de Khan Younis, Gaza (suministro intermitente). Para sistemas chilenos con suministro continúo, los umbrales de severidad deben recalibrarse localmente antes de usar los rangos Critical/Bad/Unsatisfactory como referencia. El ILI sigue siendo el indicador internacional de referencia para pérdidas reales; el NRWPI es complementario, no sustituto. Ver Anexo F para el desarrollo metodológico completo, los 19 subindicadores detallados y el caso de estudio de Khan Younis.

Síntesis del Eje A

El Eje A establece la base de datos sin la cual ningún otro indicador resulta interpretable. Su función no es producir un único número sino documentar con qué confianza se conoce el balance del sistema: cuánta agua entra, cuánta se registra como consumo, cuánta se pierde y con qué respaldo se sostienen esas cifras.

Las cinco dimensiones del eje describen una trayectoria coherente. El punto de entrada es la construcción del balance hídrico IWA en su forma top-down: aunque puede elaborarse desde N1 con estimaciones, su utilidad aumenta progresivamente conforme mejora la calidad del dato. La calidad del dato, evaluada mediante el Data Validity Score (DVS), no es un trámite sino el indicador de madurez del propio proceso de medición: un sistema con DVS Tier I puede conocer su ANC en porcentaje, pero no puede compararlo con otros ni calcular indicadores de infraestructura con confianza suficiente.

El avance hacia N3 y N4 exige resolver las dos fuentes de incertidumbre más relevantes del balance: la medición del Volumen de Entrada al Sistema mediante macromedidor calibrado con ajuste VOSEA, y la cuantificación del consumo autorizado no facturado y del subregistro del parque de micromedidores mediante auditoría metrológica. Sin esas dos piezas, el balance top-down refleja diferencias entre errores de medición, no pérdidas reales de agua.

El contraste con el análisis bottom-up desde los Distritos de Medición Hídrica (DMA) cierra el ciclo de validación: cuando ambos enfoques convergen, la confianza en el diagnóstico es alta; cuando divergen de forma significativa, existe una fuente de error no resuelta o una fuga oculta que requiere investigación específica. El NRWPI extiende este análisis hacia el diagnóstico multidimensional: desagrega el ANC en 18 subindicadores que permiten priorizar por componente en lugar de actuar sobre el porcentaje global.

Juntas, las cinco dimensiones del Eje A responden a una sola pregunta: ¿cuánto sabe realmente la empresa sobre su propia agua?

6.3 CONOCIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN DE LA RED

El conocimiento operacional de la red permite relacionar las mediciones y los eventos de terreno con la infraestructura que los origina. Para ello se necesitan planos y registros consultables que identifiquen trazados, materiales, diámetros, válvulas, arranques e interconexiones. Su utilidad depende de la correspondencia con el sistema físico y de su disponibilidad para quienes planifican y ejecutan las intervenciones (Hamilton y McKenzie, 2014).

Del conocimiento individual al registro institucional

El conocimiento de los equipos de operación permite reconocer trazados, conexiones y maniobras que pueden no estar documentados. Su incorporación al catastro requiere registrar estos antecedentes y comprobarlos en terreno, distinguiendo la información verificada de las estimaciones o referencias pendientes de confirmación.

La digitalización facilita la consulta, pero debe acompañarse de identificación de activos, responsables de actualización y control de versiones. Los equipos necesitan acceder a la información vigente durante la planificación y ejecución de los trabajos, mediante herramientas compatibles con sus condiciones de terreno.

GIS y análisis espacial

El Sistema de Información Geográfica (GIS) permite vincular la ubicación de los activos con sus características, intervenciones e historial de fallas. El análisis por tramos, materiales o zonas ayuda a reconocer recurrencias y orientar inspecciones y programas de renovación (Hamilton y McKenzie, 2014).

La guía *District Metered Areas: Guidance Notes for DMA Management* señala que el GIS también permite revisar la conectividad y apoyar el diseño de sectores. Un cruce gráfico entre tuberías no demuestra que exista una conexión hidráulica; la representación debe contrastarse con antecedentes y comprobaciones de terreno (IWA WLSG, 2024).

La vinculación con la base comercial permite revisar la correspondencia entre cliente, medidor, arranque y sector de abastecimiento. Las diferencias identificadas orientan verificaciones comerciales y de terreno: una conexión sin correspondencia puede deberse a errores de ubicación, identificación o registro, y requiere investigación antes de clasificarla como consumo no autorizado.

Actualización desde terreno

Cada reparación, modificación o hallazgo debe generar un registro asociado al activo y su ubicación, con fecha, descripción y evidencia disponible. Una persona responsable debe validar la información, incorporarla al catastro y comunicar la

actualización a las áreas que la utilizan. Las discrepancias pendientes deben permanecer identificadas hasta su resolución.

En las válvulas resulta necesario distinguir la posición normal de operación de las maniobras temporales, registrando apertura, cierre y restitución. Una transferencia no documentada puede modificar el ámbito abastecido y alterar la interpretación del caudal mínimo nocturno y del balance sectorial (IWA WLSG, 2024).

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? Permite determinar si la empresa conoce la configuración de su red y si los equipos disponen de información utilizable y coherente con el terreno.

¿Qué información necesita? Planos, trazados, características e identificadores de activos, conexiones hidráulicas, estado de válvulas, puntos de medición, ubicación de clientes e historial de intervenciones.

¿En qué condiciones se puede aplicar? Puede iniciarse con planos y registros básicos, identificando sus vacíos e incertidumbres. La incorporación de información al GIS requiere comprobar ubicación, atributos y conectividad según el uso previsto.

¿Qué capacidades exige? Interpretar planos, levantar antecedentes en terreno, identificar activos y mantener un procedimiento de validación, actualización y comunicación de cambios.

¿Cuál es su aporte? Permite localizar eventos, planificar trabajos, revisar límites de sectores y relacionar fallas y mediciones con la infraestructura correspondiente.

¿Cuáles son sus limitaciones? Una representación digital puede conservar errores del catastro original. El GIS no comprueba por sí solo la conectividad hidráulica, el cierre efectivo de válvulas ni la existencia de una conexión irregular.

La Tabla 20 presenta los criterios propuestos por esta tesina para evaluar la disponibilidad, actualización y utilización de planos y GIS. La progresión considera el acceso efectivo de los equipos, la comprobación de los registros y el cierre de las discrepancias detectadas.

Tabla 20: Planos y GIS por nivel

Nivel	Condición de uso	Evidencia observable
N1	Información fragmentada y dependiente de consultas personales. No se identifica con claridad qué planos están vigentes.	Planos dispersos, vacíos de información y hallazgos sin incorporar.
N2	Planos digitalizados o catastro básico consultable. Se reconocen antecedentes faltantes, pero las actualizaciones dependen de solicitudes individuales.	Archivos identificados y registros de correcciones pendientes.
N3	Catastro georreferenciado con identificadores de activos y un procedimiento de actualización desde terreno. Los equipos acceden a la versión vigente.	Registros de hallazgos, responsables de validación e historial de modificaciones.
N4	Infraestructura, clientes e intervenciones vinculados mediante identificadores consistentes. La información se utiliza para revisar sectores y priorizar actuaciones.	Mapas de diagnóstico, consultas entre bases y decisiones sustentadas en registros comprobados.
N5	Se comprueban periódicamente la cobertura, coherencia y actualización del catastro. Las discrepancias y dificultades de acceso generan mejoras verificables del proceso.	Controles de calidad, seguimiento de correcciones y comprobación de su incorporación en los sistemas utilizados.

6.3.1 Calidad de infraestructura y gestión de activos

La condición de la infraestructura de distribución es uno de los determinantes estructurales del ANC. Las perdidas reales se dividen en fugas en uniones y juntas, fugas de fondo en tuberías y averías detectadas o no detectadas (Lambert, 2009). La magnitud de cada componente depende del estado físico de las tuberías, su material, antigüedad y nivel de deterioro.

Liemberger y Farley (2004) sistematizaron el control de perdidas reales en cuatro pilares interdependientes. El Pilar 4, Gestión y rehabilitación de activos (Asset Management and Rehabilitation), reconoce que sin un programa estructurado de renovación y seguimiento del estado de la red, los avances obtenidos mediante los otros tres pilares son de efecto transitorio. Thornton, Sturm y Kunkel (2008) introdujeron el ICF (Infrastructure Condition Factor) como herramienta de diagnóstico del estado relativo de la red.

- **Factor de Condición de Infraestructura (ICF)**

El ICF escala entre 1,0 (infraestructura excelente) y 4,0 (muy deteriorada). Opera como multiplicador de las perdidas inevitables de fondo (UBL) calculadas con la fórmula IWA estándar. Se calcula por DMA, una vez reparadas todas las fugas detectables, lo que implica que su determinación requiere sectorización (B3 mayor o igual a N2) con macromedición en cada sector.

Thornton et al. (2008) advierten que el ICF no sustituye a un catastro de condición física. Una DMA con ICF elevado requiere investigación de campo para determinar si el deterioro es generalizado o concentrado en tramos específicos.

- **Relación con el modelo BABE y el CARL**

En el modelo BABE (Background and Burst Estimates), el CARL se descompone en: (i) perdidas de fondo inevitables (BL), determinadas por el ICF; (ii) perdidas por averías no reportadas (RURL), función de la tasa rNRB y el tiempo medio de detección; y (iii) perdidas por averías reportadas (BURL), función de la velocidad de reparaciones. Redes deterioradas presentan mayores BL (vía ICF elevado), mayor frecuencia de averías (mayor rNRB) y mayor tiempo de reparación.

- **Materialidad de la red y exponente N1 (teoría FAVAD)**

La teoría FAVAD (May, 1994) establece que la sensibilidad de las fugas a la presión varía según el material: tuberías rígidas (fierro fundido, acero) tienen N1 aprox. 0,5 (orificio fijo); tuberías plásticas (PVC, PEAD/HDPE) tienen N1 entre 1,5 y 2,5 porque las grietas se deforman con la presión. En redes plásticas, una reducción del 20% de la presión produce una disminución del caudal de fuga de entre 28% y 50% (Lambert et al., 2005). Este vínculo conecta B1 (materialidad) con la gestión de presiones (N4 en adelante).

6.3.2 Sectorización (DMAs y sectores de presión)

El Área de Medición Distrital (DMA) es una zona de la red hidraulicamente aislada, cuya alimentación ingresa a través de uno o pocos puntos equipados con macromedidores permanentes (Thornton et al., 2008; IWA DMA Guidance Notes, 2024). La sectorización es la condición operacional básica para convertir el diagnóstico anual de perdidas (top-down) en un seguimiento continuo y territorializado (bottom-up), habilitando el Control Activo de Fugas y la Gestión Activa de Presiones (Hamilton & McKenzie, 2014).

Para ser operativo, un DMA exige hermeticidad absoluta: todas las válvulas de frontera deben permanecer cerradas continuamente. Esto se valida mediante la Prueba de Presión Cero (se cierra el ingreso al sector de noche y se verifica que la presión interna cae a cero). Si no cae, hay cruces no cerrados que deben identificarse y corregirse antes de operar el DMA (IWA DMA Guidance Notes, 2024).

- **Dimensionamiento óptimo**

La IWA y AWWA recomiendan 500 a 3.000 conexiones por sector. Sectores menores de 500 conexiones se justifican en zonas de alta frecuencia de roturas. Superar 5.000 conexiones impide discriminar fugas menores en acometidas del consumo legítimo, reduciendo la utilidad del MNF como indicador de alerta (IWA DMA Guidance Notes, 2024; Hamilton & McKenzie, 2014).

- **Beneficios para el control de perdidas**

a) Caudal Mínimo Nocturno (MNF): Registrado en la franja 02:00-04:00 AM, un aumento anómalo y sostenido en la línea base del MNF es la alerta temprana inequívoca de una nueva fuga oculta no declarada. La telemetría permite detectarla en horas en lugar de meses.

b) Reducción del tiempo de permanencia de fugas: El DMA reduce drasticamente el tiempo de conocimiento (awareness time) de fugas subterraneas no visibles. Thornton et al. (2008) documentan reducciones del 30-50% en el volumen de fugas no reportadas al pasar de barridos periódicos a monitoreo continúo con DMA.

c) Habilitador de CAF y GAP: El DMA define el sector donde buscar (para CAF) y la zona donde instalar o regular la VRP (para GAP). Sin DMA no es posible aplicar GAP de manera controlada ni cuantificar su efectividad.

- **Etapas de implementación**

1. Diseño y catastro: planos GIS verificados, delimitación de sectores 500-3.000 conexiones con un único punto de alimentación.
2. Aislamiento e inspección de hermeticidad: válvulas de límite, cierre de fronteras, Prueba de Presión Cero.
3. Instrumentación y telemetría: macromedidor electromagnético o ultrasónico calibrado, sensor de presión AZP, transmisión SCADA.
4. Línea base y control nocturno: registro MNF, descuento Consumo Nocturno Legítimo (CNL), cálculo Fuga Física Nocturna (FFN).

- **Error AZP y el problema del ILI < 1,0**

El punto AZP (Average Zone Pressure) debe instalarse en el centroide hidráulico del sector, NO en la entrada ni en un nodo de presión extrema. Escobar Morales (2011, UPV) demostró que un AZP mal ubicado genera errores de 15% a 40% en el UARL y el ILI, porque la fórmula UARL = (18*Lm + 0.8*Nc + 25*Lp)*P es directamente proporcional a la presión media P.

Cuando el ILI calculado resulta inferior a 1,0 (por debajo del mínimo técnico teórico), la causa más común no es un desempeño excepcional sino un error en los datos: presión media subestimada (AZP mal ubicado), longitud de red sobreestimada, o CARL negativo por errores de macromedición. Un ILI < 1,0 debe siempre considerarse un indicador de error en los datos y no de excelencia operacional (IWA WLSG, 2022; Escobar Morales, 2011).

- **Movimientos operacionales y traspasos**

Los traspasos entre sectores y maniobras operacionales temporales alteran los límites del DMA y anulan el balance nocturno de los sectores afectados si no existe registro documentado y notificación al SCADA. Los traspasos no registrados son una causa frecuente de anomalías en el MNF que se confunden con nuevas fugas (Hamilton & McKenzie, 2014).

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? Permite determinar qué unidades de la red cuentan con condiciones hidráulicas y mediciones suficientes para interpretar su comportamiento.

¿Qué información necesita? Límites, longitud de red, conexiones, entradas y salidas, válvulas, almacenamientos, consumos, caudales, presiones y antecedentes de comprobación.

¿En qué condiciones se puede aplicar? La caracterización puede comenzar con información parcial. La cuantificación exige comprobar los límites, los intercambios y las condiciones correspondientes al período analizado.

¿Qué capacidades exige? Interpretación hidráulica, comprobaciones de terreno y coordinación entre operación, catastro, medición y gestión comercial.

¿Cuál es su aporte? Permite localizar el análisis, reconocer desviaciones y establecer el ámbito donde pueden comprobarse los resultados de una intervención.

¿Cuáles son sus limitaciones? Intercambios desconocidos, medición insuficiente, consumos mal caracterizados o cambios de configuración pueden confundirse con pérdidas internas.

6.3.3 Sensorización

Instrumentación, calidad del dato y telemetría

El nivel de instrumentación de la red determina la calidad de los datos que alimentan la auditoría hídrica y, con ello, la precisión del ILI y la efectividad del control de perdidas. Una auditoría con datos de baja calidad produce estimaciones con errores sistemáticos que pueden llevar a conclusiones erróneas sobre la magnitud y ubicación de las perdidas (AWWA, 2009; Hamilton & McKenzie, 2014).

- **Tres niveles de instrumentación**

Nivel básico: manómetros en Puntos de Control de Presión (PCP) para verificar presión mínima y máxima según NCh 409 (práctica estándar SISS). Permite cumplimiento regulatorio, pero no caracteriza la distribución espacial de presiones ni habilita el cálculo del AZP representativo.

Nivel intermedio: sensores de presión en línea con registro continúo en sectores mecanizados (con VRP o estaciones de bombeo), más macromedidores de caudal en cada punto de entrada a sectores de presión. Este nivel habilita el monitoreo del MNF y la detección temprana de desviaciones que indican fugas nuevas.

Nivel avanzado: SCADA con telemetría en tiempo real, integración de sensores de presión y caudal con transmisión automática a un centro de control, con umbrales de alerta configurables. Posibilita control remoto de VRPs desde el nodo crítico,

garantizando la reducción de presión nocturna sin vulnerar el servicio en horas de máxima demanda.

- **Sistema DVS Tiers de AWWA: la calidad del dato en la auditoría hídrica**

El Manual M36 y el Free Water Audit Software (FWAS) evalúan la confiabilidad mediante el Data Validity Score (DVS), de 0 a 100, clasificado en cinco bandas:

Tier I (0-25) y Tier II (26-50): alta incertidumbre, basados en estimaciones gruesas. La AWWA establece que con DVS Tier I-II no es válido realizar benchmarking externo ni fundamentar metas de inversión. Error en ILI: mayor al +/-30%.

Tier III (51-70): umbral mínimo para que el ILI y los modelos BABE adquieran validez diagnostica comparativa. Permite posicionamiento relativo en un marco de madurez, pero no es apto para compromisos regulatorios de alto nivel. Error en ILI: +/-15 a 20%.

Tier IV (71-85) y Tier V (86-100): datos medidos, calibrados semestralmente y validados. Aptos para metas de reducción ANC ante reguladores e inversiones de gran escala. Error en ILI: inferior al 10%.

- **SCADA y telemetría: habilitadores, no soluciones autónomas**

El SCADA integra registros continuos y permite la detección temprana de anomalías mediante análisis del MNF. Sin embargo, su valor operativo depende de la calidad del dato de origen (DVS), la hermeticidad real de los DMAs (B3) y la capacidad organizacional para transformar la alerta en una reparación efectiva en terreno. En redes plásticas, el control avanzado de presión vía SCADA aprovecha FAVAD: una reducción del 20% de presión reduce el caudal de fuga en 28-50% (N1 = 1,5-2,5) y la frecuencia de nuevas roturas en más del 50% (Lambert et al., 2005; Lambert & Fantozzi, 2010).

- **Contexto Chile**

La normativa SISS exige manómetros en PCPs: esto equivale a Tier II del DVS. La instalación de sensores en línea y macromedidores por sector (Tier III-IV) no está universalmente implementada en operadores menores, lo que limita el diagnóstico sectorial y el cálculo confiable del ILI (BLASS, 2023).

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? Permite determinar qué variables se conocen, con qué resolución y confiabilidad, y si permiten observar el comportamiento de la red.

¿Qué información necesita? Inventario de instrumentos, ubicación, rangos, unidades, configuraciones, frecuencias, registros y antecedentes de verificación.

¿En qué condiciones se puede aplicar? Puede iniciarse con campañas y lecturas puntuales. Cada análisis requiere comprobar que la cobertura y resolución disponibles representan el fenómeno evaluado.

¿Qué capacidades exige? Seleccionar e instalar equipos, verificar señales, administrar registros e investigar anomalías de medición y comunicación.

¿Cuál es su aporte? Permite caracterizar condiciones hidráulicas, reconocer desviaciones y comprobar cambios posteriores a una intervención.

¿Cuáles son sus limitaciones? Una ubicación inadecuada, errores de configuración o registros incompletos pueden producir interpretaciones equivocadas. La transmisión frecuente no corrige el error del instrumento.

6.3.4 Catastro, GIS y modelo hidráulico

El catastro, el GIS y el modelo hidráulico forman la arquitectura de información que habilita el paso desde una gestión reactiva hacia un control estratégico avanzado del ANC. En el marco propuesto, B5 es la dimensión de mayor madurez del Eje B: representa la integración plena entre terreno, catastro/GIS, modelación hidráulica y diagnóstico operacional, y presupone la existencia de B1 a B4.

- **Catastro: la precondición técnica**

El catastro georreferenciado (diámetros, materiales, longitudes, válvulas, piezas especiales, conexiones) es la base para: (1) calcular la UARL, que requiere longitud de red principal (Lm) y número de conexiones activas (Nc) con precisión; (2) diseñar DMAs sin cruces no identificados; y (3) calcular los indicadores de densidad de averías (Op31/32). La brecha catastro-terreno es el obstáculo más frecuente: discrepancias entre planos y realidad hidráulica invalidan los balances sectoriales y complican las decisiones de inversión.

- **GIS como plataforma institucional**

El GIS trasciende el rol de mapa digital para convertirse en la plataforma de integración corporativa entre infraestructura, gestión comercial y operación. En etapas iniciales, el GIS funciona aislado, administrado por un área sin acceso desde terreno. En B5 pleno, se logra la integración fluida terreno-catastro/GIS-modelación-diagnóstico, donde los hallazgos de campo actualizan continuamente el GIS y retroalimentan el modelo hidráulico.

- **Modelo hidráulico: importancia, detalle y calibración**

Los modelos hidráulicos permiten simular el comportamiento dinámico de caudales y presiones, evaluar el impacto de cerrar válvulas para conformar DMAs y proyectar el beneficio de instalar VRPs antes de ejecutar inversiones en terreno (Thornton et al., 2008).

Para decisiones operacionales avanzadas se requiere un modelo detallado a escala de sector, con cotas topograficas de cada nodo, rugosidad de materiales y perfiles de consumo horario. La calibración exige verificar el modelo contra mediciones continúas en el nodo AZP. Un modelo no calibrado o con AZP incorrecto genera errores de 15% a 40% en la estimación del volumen de fugas y en el ILI (Escobar Morales, 2011).

- **Decisiones avanzadas habilitadas**

a) Modulación avanzada de VRP: el modelo permite disenar y simular cuatro modos de operación (salida fija, horaria/bicontextual, por caudal, por control remoto en nodo crítico vía SCADA), garantizando presión nocturna reducida (15-20 m.c.a.) sin vulnerar el servicio en horas punta (Hamilton & McKenzie, 2014).
b) Detección de fugas ocultas: comparando el MNF medido contra la línea base teórica BABE se detecta automáticamente la aparición de fugas ocultas antes de que afloren a la superficie.
c) Nivel Económico de Perdidas (ELL): el modelo cruza el volumen recuperable con el costo marginal del agua e inspecciones, definiendo hasta que punto es rentable intensificar el CAF (Lambert & Lalonde, 2005).
d) Doble efecto de la GAP: el modelo demuestra tanto la reducción inmediata del caudal de fuga (FAVAD) como la reducción de la frecuencia de roturas a largo plazo, convirtiendo la GAP en argumento financiero además de técnico (Lambert & Fantozzi, 2010).

Aplicaciones para la gestión del ANC

Un modelo comprobado permite comparar configuraciones de abastecimiento, cierres de conexiones, consignas de VRP y secuencias de bombeo, examinando sus efectos sobre caudales, presiones y almacenamiento. Estas simulaciones apoyan el diseño de las intervenciones desarrolladas en la sección 6.4 y requieren comprobación posterior en terreno (Thornton et al., 2008).

Para estimar variaciones de fugas debe incorporarse una representación de su respuesta a la presión, con parámetros y supuestos documentados. Las discrepancias entre simulación y medición orientan investigaciones, pero no identifican automáticamente una fuga ni su ubicación.

El análisis económico requiere agregar costos, valor del agua y alternativas de actuación. El modelo aporta antecedentes hidráulicos para esa evaluación.

Actualización e integración operacional

Las modificaciones que alteran conectividad, diámetros, demandas o condiciones de operación deben incorporarse al modelo y quedar asociadas a una versión. Los

resultados de terreno permiten revisar tanto sus parámetros como los antecedentes del catastro.

El SCADA puede suministrar caudales, niveles y estados de equipos para representar condiciones observadas. La actualización de estas variables debe acompañarse de controles sobre la vigencia de la configuración física y de nuevas comprobaciones cuando cambian las condiciones utilizadas en la calibración.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? Permite examinar cómo funciona hidráulicamente la red y qué efectos podrían producir determinadas configuraciones o intervenciones.

¿Qué información necesita? Conectividad, geometría, cotas, demandas, rugosidades, equipos, almacenamiento, reglas de operación y mediciones para contraste.

¿En qué condiciones se puede aplicar? Puede construirse una representación preliminar con supuestos explícitos. Su utilización para decisiones exige comprobar el desempeño para la aplicación prevista.

¿Qué capacidades exige? Modelación hidráulica, revisión de datos, campañas de medición, interpretación de discrepancias y administración de versiones.

¿Cuál es su aporte? Permite investigar el comportamiento del sistema y comparar alternativas antes de ejecutarlas.

¿Cuáles son sus limitaciones? Los resultados dependen de datos, simplificaciones y condiciones representadas. Un ajuste numérico puede ocultar errores físicos y perder validez cuando cambia la operación.

INTERVENCIÓN Y CONTROL DE PÉRDIDAS

Este bloque examina cómo transformar el diagnóstico en intervenciones y comprobar sus resultados. Comprende la sectorización como soporte del análisis localizado, los cuatro pilares técnicos de control de pérdidas reales y los marcos de planificación que organizan su ejecución. Las capacidades identificadas contribuyen a los ejes de infraestructura, intervención y organización del marco propuesto.

La detección de fugas y la renovación de redes suelen constituir las primeras respuestas frente al ANC. Sin embargo, su selección e intensidad deben relacionarse con las causas identificadas, las condiciones hidráulicas, la calidad de la información y los recursos disponibles. Una disminución del ANC puede responder a recuperación de agua, corrección de errores de medición, regularización comercial o variaciones del consumo; por ello, la evaluación debe establecer qué componente fue intervenido y qué resultado puede atribuirse a la acción.

Las intervenciones pueden comenzar con capacidades limitadas. La búsqueda de fugas visibles, la mejora de reparaciones y la revisión de inconsistencias comerciales no requieren una sectorización completa. En cambio, la cuantificación sectorial de pérdidas, el análisis de caudales mínimos nocturnos y determinadas formas de control automatizado necesitan condiciones específicas de delimitación, medición y seguimiento.

6.3.5 Sectorización: distritos de medición y análisis — DMA

La sectorización mediante distritos de medición y análisis, o DMA, permite dividir la red en unidades cuyo comportamiento puede observarse y analizarse con mayor resolución. Para realizar un balance sectorial deben conocerse sus límites, medirse los flujos relevantes de entrada y salida e identificarse los almacenamientos y consumos incluidos.

Un DMA no queda validado únicamente por instalar un caudalímetro. También deben verificarse las conexiones entre sectores, el estado de las válvulas frontera, las configuraciones operacionales y la correspondencia entre los usuarios y la unidad hidráulica. Los cambios posteriores en la red deben incorporarse a sus registros.

El tamaño debe responder al objetivo de gestión, la topología, las presiones, la densidad de conexiones, las posibilidades de aislamiento y los costos de instrumentación. La Guía GWOPA presenta, para seleccionar pilotos, una referencia de 500 a 3.000 conexiones; este intervalo orienta esa selección y no constituye un límite universal de tamaño ni un criterio de madurez (Faber & Radakrishnan, 2019).

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿En qué unidades de la red se concentran las desviaciones y cómo cambia su comportamiento después de intervenir?
- **¿Qué información necesita?** Catastro, límites y conexiones hidráulicas, caudales de entrada y salida, configuración operacional, almacenamiento, usuarios y registros de presión.
- **¿En qué condiciones aplica?** El diseño puede iniciarse con antecedentes parciales. La cuantificación exige verificar los límites y los flujos correspondientes a la unidad analizada.
- **¿Qué capacidades exige?** Trabajo coordinado entre operación, catastro, medición y análisis, además de procedimientos para registrar maniobras y mantener la configuración conocida.
- **¿Cuál es su aporte?** Permite localizar el diagnóstico, orientar campañas, observar cambios de caudal y verificar intervenciones dentro de una cobertura definida.
- **¿Cuáles son sus principales limitaciones?** Cruces desconocidos, medición inadecuada, variaciones de almacenamiento, cambios de configuración o

consumos mal caracterizados pueden interpretarse erróneamente como pérdidas.

6.3.6 Marco de los cuatro pilares técnicos

La reducción de pérdidas reales se organiza mediante cuatro pilares complementarios: gestión de presiones, control activo de fugas, velocidad y calidad de las reparaciones, y gestión de infraestructura y activos. Estos pilares se articulan con el proceso de diagnóstico, planificación e implementación desarrollado en los trabajos de Liemberger y Farley (2004) y Farley y Liemberger (2005).

El diagnóstico permite reconocer la magnitud, ubicación y causas de las pérdidas, mientras que la planificación organiza las intervenciones y su implementación. Durante la ejecución se profundiza el conocimiento del sistema; por tanto, comenzar con información limitada exige explicitar los supuestos y mejorar progresivamente la evidencia disponible.

La Tabla 21 relaciona cada pilar técnico con su mecanismo de intervención y los antecedentes necesarios para su seguimiento. Esta correspondencia permite seleccionar y combinar medidas según las causas identificadas y los resultados que se busca comprobar.

Tabla 21: Intervención y seguimiento de los cuatro pilares técnicos.

Pilar	Mecanismo de intervención	Información y seguimiento necesarios
Gestión de presiones	Adecuar las presiones a las necesidades del servicio, reduciendo sobrepresiones y su efecto sobre el caudal de fuga y el comportamiento de las roturas.	Presiones representativas y en puntos críticos, demanda, configuración operacional, caudales y antecedentes de fallas.
Control activo de fugas	Buscar fugas que todavía no han sido comunicadas o localizadas, reduciendo su tiempo de permanencia mediante detección y localización.	Criterios de búsqueda, cobertura inspeccionada, alertas investigadas, fugas confirmadas, condiciones de detección y resultados posteriores.
Velocidad y calidad de las reparaciones	Reducir la permanencia de las fugas conocidas y evitar que una reparación deficiente origine nuevas fallas o intervenciones repetidas.	Fechas de conocimiento, localización e intervención; características de la falla; materiales; ejecución; comprobación y recurrencias.
Gestión de infraestructura y activos	Intervenir los activos según su condición, desempeño y riesgo, mediante mantenimiento, rehabilitación o renovación.	Historial de fallas, condición, material, entorno, criticidad, consecuencias, costos y desempeño después de intervenir.

Fuente: Elaboración propia.

La interpretación del caudal mínimo nocturno (CMN) por sector presupone que los limites hidráulicos estén correctamente establecidos. Una válvula limite defectuosa introduce un error sistemático que afecta simultáneamente a dos sectores adyacentes: el sector donante registra un CMN elevado que sugiere fugas internas, mientras que el sector receptor exhibe un incremento de caudal nocturno sin que la búsqueda activa logre identificar roturas. Las guías de la IWA para gestión de DMAs identifican este mecanismo de doble invisibilidad como una de las principales causas de diagnósticos erróneos en redes sectorizadas (IWA, 2024). Escobar Morales (2011) estimo que la falta de aislamiento efectivo entre sectores puede introducir un error de entre 15 y 40% en la estimación de perdidas reales por unidad de análisis. Lambert (2003) señaló que valores de ILI inferiores a 1,0 - matemáticamente imposibles bajo condiciones de balance validas- deben interpretarse como indicador de perdida de hermeticidad sectorial antes de concluir que los datos son incorrectos.

Para controlar este riesgo, Thornton et al. (2008) propusieron la prueba de caudal nocturno cero (Zero Pressure Test) como verificación de hermeticidad sectorial: si al cerrar todos los ingresos al sector el caudal no cae a cero, existe al menos una conexión no controlada. Esta verificación debe ejecutarse al crear una nueva DMA y repetirse periódicamente, en especial ante aumentos inexplicados del CMN. La gestión de válvulas limite exige, además, registro de cada operación, dado que una válvula parcialmente abierta introduce un error permanente que persiste de forma invisible hasta ser detectado. La cantidad de sectores disponibles no determina, por si sola, la calidad del diagnóstico que estos sectores permiten producir: el factor crítico es la verificación activa y periódica de su hermeticidad.

Los pilares actúan sobre aspectos relacionados del problema. Una fuga localizada necesita reparación para eliminarse; una reducción de presión modifica su caudal, pero no sustituye su reparación; y la renovación debe justificarse mediante antecedentes del activo y de las alternativas disponibles.

La intensidad de intervención se determina con el diagnóstico y la evaluación técnica y económica. El ILI y el ELL pueden complementar esa decisión cuando sus datos y condiciones de aplicación son suficientes, sin constituir requisitos universales para comenzar a actuar.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? ¿Qué combinación de acciones permite intervenir las causas de las pérdidas reales?
¿Qué información necesita? Magnitud y distribución de pérdidas, condiciones hidráulicas, antecedentes de fugas y reparaciones, condición de los activos, costos y recursos disponibles.

¿En qué condiciones aplica? Puede orientar acciones desde etapas iniciales; cada intervención conserva sus requisitos particulares.

¿Qué capacidades exige? Diagnóstico, programación de trabajos, ejecución, registro y coordinación para verificar los resultados.

¿Cuál es su aporte? Relaciona detección, presión, reparación y activos dentro de una estrategia común.

¿Cuáles son sus principales limitaciones? No establece por sí solo la intensidad óptima, los plazos de reparación ni la conveniencia económica de cada alternativa.

Preguntas clave al sistema

- ¿La intervención responde a una causa identificada o solamente a la disponibilidad de una herramienta?
- ¿Las fugas detectadas se incorporan a una programación de reparación y seguimiento?
- ¿Se comprueba la calidad de las reparaciones y se investigan las recurrencias?
- ¿La renovación considera alternativas operacionales y consecuencias de falla?
- ¿Los resultados se utilizan para ajustar la combinación de pilares?

La duración de una fuga debe diferenciar el tiempo transcurrido hasta que la empresa toma conocimiento, el utilizado para localizarla y el requerido para repararla. En fugas no visibles, el momento de inicio puede ser desconocido; en ese caso, debe registrarse esa limitación.

Como referencia de la experiencia operativa considerada en esta propuesta, para fugas no visibles ya localizadas se utiliza una expectativa ideal de reparación inferior a dos días. Su pertinencia depende del riesgo, la afectación del servicio, los recursos, los permisos y las condiciones de intervención. Esta referencia no constituye una exigencia normativa ni un umbral de clasificación del nivel.

El seguimiento debe incluir resultados de reparación y recurrencias. Los indicadores de pérdidas expresados por longitud de red o por arranque pueden complementar el diagnóstico, pero no representan tiempos de respuesta o reparación.

La Tabla 22 distingue cómo se organizan los cuatro pilares según las capacidades disponibles. La progresión comprende registrar las actuaciones, establecer un programa de intervención y ajustar la combinación de medidas mediante sus costos, condiciones de ejecución y resultados comprobados.

Tabla 22 Aplicación del marco de los cuatro pilares

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 — Arranque	Se atienden fugas conocidas y pueden realizarse recorridos de búsqueda con los medios disponibles. Se identifican deficiencias de reparación, presión y activos, aunque la programación y la comprobación de resultados sean limitadas.
N2 — Medición	Se registran fugas e intervenciones, se establecen criterios iniciales de prioridad y se ejecutan acciones delimitadas de búsqueda, presión o revisión de activos. Se documentan los antecedentes utilizados y los resultados que pueden comprobarse.
N3 — Control	Las acciones pertinentes de los cuatro pilares forman parte de un programa regular. Las fugas detectadas se vinculan con su reparación y verificación; las intervenciones de presión y activos tienen seguimiento. Se investigan incumplimientos y recurrencias.
N4 — Optimización	Se comparan combinaciones de intervención mediante recuperación esperada y observada, costos, riesgo y efecto sobre el servicio. Los resultados modifican la frecuencia de búsqueda, las estrategias de presión y las prioridades de mantenimiento o renovación.
N5 — Innovación	El programa utiliza información actualizada para anticipar cambios de pérdidas o deterioro y ajustar las intervenciones. Las predicciones, alertas o decisiones automatizadas se contrastan con resultados efectivos y sus desviaciones generan ajustes.

Fuente: Elaboración propia.

6.3.7 Gestión activa de presiones

La gestión activa de presiones consiste en adecuar la presión de la red a las necesidades del servicio y controlar sobrepresiones y variaciones que favorecen las pérdidas o afectan los activos. Puede utilizar válvulas reductoras de presión, ajustes de bombeo, configuraciones de abastecimiento y otras alternativas compatibles con las características del sistema.

Su evaluación requiere distinguir la presión representativa utilizada para analizar fugas de la presión necesaria en los puntos críticos de servicio. Un ajuste adecuado debe considerar ambas, junto con demanda, cotas, configuración y condiciones operacionales.

Las mediciones durante el período de caudal mínimo permiten contrastar las presiones observadas con las esperadas para la alimentación del sector. En un abastecimiento por gravedad, sin bombeo ni regulación intermedia, la presión depende del desnivel entre la lámina de agua del estanque y el punto observado, descontando las pérdidas de carga. Al disminuir el caudal, estas pérdidas se reducen y la presión puede aproximarse a la estática. Una presión superior a la referencia calculada exige investigar otras alimentaciones, cambios de bombeo o regulación, transitorios y errores de medición. La comprobación debe relacionar presiones simultáneas, niveles de estanques, caudales y configuración operacional. El procedimiento de revisión se desarrolla en el ANEXO I.

- **FAVAD y exponente N1**

FAVAD —*Fixed and Variable Area Discharges*— explica que el área de algunos caminos de fuga puede variar con la presión. La relación potencial permite representar su sensibilidad dentro del intervalo analizado:

$$\frac{\boldsymbol{L_1}}{\boldsymbol{L_0}} = \left(\frac{\boldsymbol{P_1}}{\boldsymbol{P_0}}\right)^{\boldsymbol{N1}}$$

L representa el caudal de fuga; P, la presión representativa; y N1, el exponente de sensibilidad. En esta expresión, N1 es un parámetro hidráulico y no el nivel N1 — Arranque del marco.

Por ejemplo, si el caudal de fuga inicial es 10 m³/h, la presión representativa disminuye de 40 a 32 m.c.a. y se adopta un exponente ilustrativo de 1,5:

$$\boldsymbol{Caudal\ posterior\ =\ 10\ \times\ (32\ /\ 40)\text{^}1,5\ =\ 7,16\ m^3/h}$$

La reducción calculada es 2,84 m³/h, equivalente al 28,4 %. El exponente representa un supuesto de sensibilidad que debe comprobarse para el ámbito estudiado. El ANEXO I desarrolla sus condiciones de utilización.

El exponente depende de la geometría de la fuga, las propiedades y restricciones de la tubería y las condiciones de operación. El material aporta antecedentes, pero no permite asignar automáticamente un valor a toda una red.

La Tabla 23 muestra el efecto de una reducción de 20% de presión bajo distintos exponentes.

Tabla 23: Reducción del caudal de fuga ante una disminución de presión.

Exponente utilizado	Reducción calculada del caudal de fuga	Interpretación
N1 = 0,5	10,6%	Escenario próximo al comportamiento de una abertura de área fija.
N1 = 1,0	20,0%	Escenario de sensibilidad intermedia.
N1 = 1,5	28,4%	Escenario con mayor sensibilidad del caudal a la presión.
N1 = 2,5	42,8%	Escenario de sensibilidad elevada que requiere una justificación específica.

Fuente: Elaboración propia.

Su aplicación requiere presiones representativas, configuración hidráulica conocida y condiciones de servicio comprobadas. Para estimar el exponente mediante un ensayo también se necesitan registros de caudal que permitan distinguir fugas, consumo y efectos operacionales.

No es indispensable disponer de UARL o ILI para estudiar la relación presión–fuga. Tampoco se requiere necesariamente un DMA permanente si el ámbito del ensayo y sus flujos pueden caracterizarse adecuadamente.

Debe distinguirse entre la presión media utilizada para representar las fugas y la presión del punto crítico que condiciona el servicio. Un único sensor no representa automáticamente ambas funciones.

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Cómo podría variar el caudal de fuga ante un cambio de presión?
- **¿Qué información necesita?** Presiones, configuración, condiciones de servicio y un exponente justificado o estimado; para el ensayo, caudal y comportamiento del consumo.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Cuando los cambios hidráulicos pueden interpretarse y se comprueba su compatibilidad con el servicio.
- **¿Qué capacidades exige?** Planificación de pruebas, instrumentación adecuada y análisis de registros.
- **¿Cuál es su aporte?** Permite evaluar escenarios y comprobar resultados de gestión de presiones.

- **¿Cuáles son sus limitaciones?** La predicción depende del exponente y del intervalo de operación; no representa por sí sola todos los efectos sobre fallas, transitorios o vida útil.

Preguntas clave al sistema

- ¿Se conoce la presión representativa y el punto crítico de servicio?
- ¿El exponente proviene de un ensayo, una referencia o un supuesto?
- ¿Se examina la sensibilidad de la estimación?
- ¿Los registros permiten separar consumo, fuga y maniobras?
- ¿El resultado se verifica después de intervenir?

La Tabla 24 presenta las condiciones para aplicar FAVAD y utilizar el exponente de sensibilidad a la presión. La progresión comprende reunir antecedentes hidráulicos, evaluar escenarios, comprobar las reducciones previstas mediante registros anteriores y posteriores a la intervención y estimar la sensibilidad propia del ámbito. Estos resultados permiten ajustar la regulación, manteniendo las condiciones de servicio en los puntos críticos.

Tabla 24: Aplicación de FAVAD y del exponente N1 por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1	Sin presiones representativas y una configuración hidráulica suficientemente conocida no puede sostenerse una estimación cuantitativa del efecto sobre las fugas. Corresponde identificar puntos de medición, condiciones de servicio y maniobras que afectan al ámbito.
N2	Se conocen presiones y condiciones básicas de operación. Se calculan escenarios con exponentes justificados, mostrando cómo cambia la reducción esperada según el supuesto utilizado. El resultado permite evaluar una intervención inicial y definir qué debe medirse para comprobarla.
N3	Las intervenciones cuentan con registros de presión y caudal antes y después. Se revisan consumo, almacenamiento y maniobras para interpretar el cambio observado. Se compara la reducción prevista con la obtenida y se comprueba el servicio en los puntos críticos.
N4	Se realizan ensayos para estimar la sensibilidad propia del ámbito, con registros suficientes para interpretar la relación presión–fuga. El resultado permite comparar consignas y modos de regulación, evaluar beneficios y ajustar la estrategia mediante comprobaciones posteriores.
N5	Cuando se utiliza control adaptativo, la sensibilidad comprobada se incorpora al ajuste de consignas según demanda y condiciones de servicio. Se registran presión, caudal, cambios de control y respuesta del sistema; las diferencias entre comportamiento esperado y observado generan revisión del modelo o de la operación.

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de ensayo y su relación con los modos de regulación se desarrollarán en el ANEXO I, sobre gestión de presiones.

La relación presión–fuga se analiza mediante FAVAD y desarrollado en el ANEXO I. El exponente hidráulico (N_1) debe utilizarse con respaldo y sensibilidad explícitos. El material aporta antecedentes, pero no determina por sí solo un valor único aplicable a toda la red.

Los modos de operación mediante válvulas reductoras incluyen:

1. **Salida fija:** mantiene una consigna de presión a la salida de la válvula.
2. **Modulación temporal:** utiliza consignas definidas para períodos determinados.
3. **Modulación por caudal:** modifica la consigna según el caudal observado.
4. **Control mediante un punto remoto:** utiliza la presión de un punto seleccionado de la red para ajustar la operación.

La elección depende del comportamiento de la demanda, la topografía, las restricciones del servicio y la capacidad de operación y mantenimiento. Una modalidad más compleja debe demostrar una utilidad adicional para el sistema.

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Dónde y cómo puede modificarse la presión para reducir pérdidas y mejorar la operación conservando las condiciones de servicio?
- **¿Qué información necesita?** Registros de presión y caudal, puntos críticos, demanda, cotas, configuración, equipos de control y antecedentes de fallas.
- **¿Bajo qué condiciones aplica?** Cuando existe capacidad de actuación sobre una zona y puede comprobarse su efecto sobre el servicio. La cuantificación del ahorro necesita información adicional para separar fugas, consumo y otros cambios.
- **¿Qué capacidades exige?** Diagnóstico hidráulico, selección y mantenimiento de equipos, definición de consignas y seguimiento de resultados.
- **¿Cuál es su aporte?** Permite actuar sobre el caudal de fuga y evaluar mejoras en la estabilidad operacional y el comportamiento de los activos.
- **¿Cuáles son sus principales limitaciones?** Una variación del caudal de entrada no puede atribuirse íntegramente a fugas sin revisar consumo, almacenamiento, maniobras y condiciones de abastecimiento.

Preguntas clave al sistema

- ¿Se conocen las presiones en condiciones representativas de demanda?
- ¿Se han identificado los puntos críticos de servicio?
- ¿La zona admite una intervención de presión y se conocen sus interacciones hidráulicas?
- ¿La consigna se fundamenta en mediciones y necesidades del servicio?
- ¿Se verifica el comportamiento posterior y se registran ajustes o desviaciones?

La gestión de presiones puede iniciarse en una zona identificable sin disponer de una red completa de DMA. La extensión y confiabilidad de la medición determinan qué efecto puede comprobarse: observar una reducción de presión es distinto de cuantificar una reducción de pérdidas reales.

La comprobación antes y después debe considerar condiciones comparables o explicar sus diferencias. Cuando se utilizan caudales nocturnos, deben cumplirse los requisitos descritos previamente. El ILI puede complementar el seguimiento si resulta calculable, considerando que la modificación de presión también cambia la UARL.

La coordinación con la detección de fugas debe considerar que la presión influye en las señales acústicas. La secuencia de trabajos se define según las condiciones locales y la técnica utilizada, sin establecer un orden obligatorio entre ambas intervenciones.

Los criterios de diagnóstico, selección de estrategias y verificación de resultados se desarrollan en el ANEXO I, dedicado a la gestión de presiones.

La Tabla 25 relaciona la gestión de presiones con las capacidades necesarias para diagnosticar, seleccionar estrategias y verificar sus efectos. La progresión distingue las mediciones y los pilotos iniciales del control regular y del ajuste de la regulación mediante resultados, manteniendo las condiciones de servicio.

Tabla 25: Aplicación de la gestión activa de presiones.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 Arranque	La presión se atiende principalmente frente a problemas de servicio o antecedentes puntuales. Se identifican zonas con posibles sobrepresiones o variaciones relevantes. Sin mediciones suficientes, no se cuantifica una reducción esperada de pérdidas.
N2 Medición	Se realizan campañas en puntos representativos y críticos. Se evalúa una intervención delimitada y, cuando corresponde, se implementa un piloto. Se registran consignas, presiones y condiciones de servicio antes y después; el ahorro se declara como estimado cuando no puede aislarse.
N3 Control	Las zonas intervenidas tienen criterios de operación, responsables y seguimiento. Se comprueba el cumplimiento del servicio y se investigan desviaciones. Donde existen datos suficientes, se contrasta el efecto sobre las pérdidas utilizando condiciones hidráulicas y temporales compatibles.
N4 Optimización	Se comparan consignas y modalidades de operación mediante demanda, pérdidas, energía, riesgo y costos. Se utilizan ensayos y modelación contrastada cuando aportan al diagnóstico. Las diferencias entre beneficios esperados y observados modifican la estrategia.
N5 Innovación	La organización anticipa necesidades de presión mediante información actualizada y escenarios comprobados. El control adaptativo o automatizado se incorpora cuando aporta beneficios verificables; se registran sus decisiones, resultados y ajustes frente a desviaciones.

Fuente: Elaboración propia.

6.3.8 Detección activa de fugas — DAF

El control activo de fugas comprende las acciones de búsqueda que la empresa realiza para identificar fugas sin depender exclusivamente de su comunicación por usuarios o terceros. Incluye recorridos de inspección, campañas con equipos y sistemas de vigilancia que permiten orientar la localización y gestionar la reparación.

Puede aplicarse desde niveles iniciales. Su efectividad depende de las características de la red, la información disponible, la técnica empleada y la proporción de fugas que todavía pueden reconocerse mediante inspección directa.

En sistemas con seguimiento limitado puede existir una acumulación de fugas visibles no reportadas o pendientes de atención. Un recorrido puede identificar parte de ellas con recursos acotados. A medida que estas fugas se resuelven, pueden adquirir mayor importancia las pérdidas sin afloramiento o de localización compleja. Por ello, una disminución del número de hallazgos no demuestra, por sí sola, una reducción de la efectividad de las campañas.

El proceso comprende:

1. **Detección o identificación de una sospecha.** Puede originarse en recorridos, variaciones de caudal, señales acústicas u otros antecedentes.
2. **Delimitación y localización.** Se reduce el área de búsqueda y se confirma un punto de intervención mediante técnicas compatibles con la red.
3. **Gestión de reparación y comprobación.** El hallazgo se vincula con una orden de trabajo y se verifica el resultado después de intervenir.

La detección y la localización deben diferenciarse. Una alerta puede señalar una zona o un comportamiento compatible con fuga, sin identificar todavía el punto de excavación.

Las familias de técnicas consideradas incluyen:

- **Inspección y escucha en terreno:** recorridos, escucha en elementos accesibles y geofonía.
- **Registro y correlación acústica:** equipos móviles o permanentes que apoyan la identificación y localización.
- **Técnicas complementarias o especializadas:** hidrófonos, gas trazador y equipos de inspección interna, sujetos a condiciones de acceso y aplicación.
- **Técnicas indirectas de reconocimiento:** herramientas que identifican señales o condiciones compatibles con fugas y requieren confirmación posterior.

La selección debe considerar material, diámetro, presión, profundidad, distancias de acceso, ruido y características de la fuga. En tuberías plásticas, la atenuación y propagación de la señal pueden dificultar determinadas aplicaciones acústicas; esto exige seleccionar equipos y procedimientos adecuados, sin concluir que la detección acústica sea siempre inviable.

La analítica y la inteligencia artificial pueden apoyar la clasificación de señales y la priorización de alertas. Su desempeño debe comprobarse en las condiciones de la red donde se utilizarán, pues la transferencia entre materiales y diámetros plantea limitaciones documentadas (Wang et al., 2025).

Cuando una herramienta entregue una estimación de magnitud de fuga, debe identificarse si corresponde a una categoría relativa o a un caudal estimado, junto con su procedimiento de validación. Esa estimación no se incorpora automáticamente como volumen recuperado en el balance.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? ¿Dónde existen fugas que requieren confirmación e intervención y cómo puede reducirse el tiempo que permanecen sin resolver?

¿Qué información necesita? Antecedentes de red, cobertura de búsqueda, criterios de prioridad, condiciones de detección, hallazgos y registros de confirmación y reparación. El monitoreo hidráulico mejora la focalización donde está disponible.

¿En qué condiciones aplica? Puede comenzar con búsqueda manual. Cada técnica conserva requisitos propios de acceso, operación, material y calidad de señal.

¿Qué capacidades exige? Personal competente, selección de técnicas, registro de resultados y coordinación con reparación y verificación.

¿Cuál es su aporte? Permite encontrar fugas antes de depender de su reporte y orientar los recursos de localización.

¿Cuáles son sus principales limitaciones? La ausencia de hallazgos no demuestra ausencia de fugas; una alerta no equivale a confirmación y la cantidad detectada no representa directamente el volumen recuperado.

Preguntas clave al sistema

- ¿La empresa busca fugas de manera propia o depende principalmente de reportes?
- ¿Qué antecedentes orientan la elección de zonas y técnicas?
- ¿Se registra la red efectivamente inspeccionada y las condiciones de búsqueda?
- ¿Las alertas se confirman, descartan o mantienen pendientes con respaldo?
- ¿Las fugas localizadas se vinculan con su reparación y comprobación?
- ¿Los resultados modifican la siguiente campaña o la configuración del monitoreo?

El seguimiento debe distinguir cobertura inspeccionada, hallazgos, fugas confirmadas, trabajos pendientes y resultados posteriores. La productividad puede analizarse por longitud inspeccionada o esfuerzo utilizado, considerando que las

condiciones de búsqueda y el conjunto de fugas disponibles cambian entre campañas.

También deben registrarse los tiempos de investigación, localización y reparación que efectivamente puedan conocerse. La antigüedad total de una fuga no visible no debe asignarse sin respaldo. Para herramientas de alerta, los casos pendientes deben mantenerse diferenciados de las falsas alarmas.

La variación posterior de caudal debe analizarse junto con presión, consumo, almacenamiento y maniobras. Cuando no existe una medición suficiente, el beneficio puede presentarse como estimación documentada, conservando su incertidumbre.

El intervalo económico de búsqueda puede evaluarse mediante los conceptos desarrollados en la sección 6.3.5 cuando exista información de evolución de pérdidas, costos y recuperación. Una frecuencia fija de campañas no representa, por sí sola, mayor madurez.

El ANEXO J desarrolla las técnicas, condiciones de aplicación y criterios para evaluar tecnologías de detección activa de fugas.

La Tabla 26 diferencia el desarrollo del control activo de fugas según los criterios de búsqueda, la cobertura documentada y la vinculación entre detección, confirmación, reparación y verificación. La progresión se reconoce en la utilización de antecedentes y resultados para orientar el trabajo, considerando las condiciones y limitaciones de las técnicas disponibles.

Tabla 26: Aplicación del control activo de fugas.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 — Arranque	Predomina la atención de fugas reportadas, aunque pueden existir recorridos propios y búsquedas ocasionales. Los hallazgos dependen principalmente de observación y experiencia; la cobertura, los criterios de búsqueda y la comprobación posterior no se registran de forma consistente.
N2 — Medición	Se realizan búsquedas documentadas en zonas elegidas con los antecedentes disponibles. Se registra recorrido, técnica, condiciones, hallazgos y derivación a reparación. Pueden utilizarse campañas de medición para orientar el trabajo, sin exigir monitoreo permanente.
N3 — Control	Existe un programa regular que vincula diagnóstico, búsqueda, confirmación, reparación y verificación. Se mantiene la cobertura inspeccionada y el estado de los hallazgos. Los aumentos de caudal o alertas disponibles orientan las campañas y se comprueba su resultado dentro del ámbito medido.
N4 — Optimización	Se ajustan zonas, técnicas y frecuencia según riesgo, comportamiento hidráulico, material, resultados anteriores, costos y recuperación comprobable. Se compara el desempeño de las alternativas y se investigan campañas o alertas de baja efectividad. El intervalo económico se estima cuando existen datos suficientes.
N5 — Innovación	En las zonas prioritarias existe vigilancia continua o capacidad comprobada de detección temprana basada en información integrada. Las alertas orientan la confirmación en terreno y se vinculan con reparación y verificación. Se evalúan cobertura, oportunidad, confirmaciones y desviaciones para ajustar reglas o modelos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Síntesis de la intervención y el control de pérdidas**

La sectorización y el monitoreo mejoran la focalización y la comprobación de intervenciones, pero no constituyen condiciones universales para comenzar a buscar fugas, mejorar reparaciones o controlar inconsistencias comerciales. La progresión se reconoce en el uso efectivo de las capacidades y en la calidad de la evidencia que respalda sus resultados.

La gestión de pérdidas aparentes, analizada en la sección 6.2.3, se incorpora a este eje desde su ejecución: verificación y reemplazo de medidores, corrección de registros, revisión de procesos de lectura y facturación, y control de consumos no autorizados. Debe distinguirse la recuperación comercial de una reducción física de pérdidas. Los consumos autorizados no facturados conservan su categoría dentro del balance.

La renovación de infraestructura se integra con el diagnóstico de fallas, condición y criticidad de los activos. La antigüedad puede orientar una revisión, pero la prioridad

debe considerar también material, historial, entorno, consecuencias, costos y alternativas de intervención. El resultado de la renovación debe comprobarse con indicadores compatibles con su objetivo.

El análisis identifica cinco capacidades de intervención: detección activa de fugas; gestión de presiones; reparación y control de recurrencias; gestión de pérdidas aparentes; y priorización y evaluación de intervenciones sobre los activos. Su integración en el Eje C se desarrolla en la sección 6.6 y sus descriptores se presentan en la sección 7.3.

6.4 CAPACIDAD ORGANIZACIONAL Y GESTIÓN DEL ANC

Este bloque examina las condiciones organizacionales necesarias para mantener la gestión del ANC: responsabilidades, competencias, coordinación, planificación, recursos y aprendizaje. Su evaluación considera cómo estas condiciones permiten utilizar la información y ejecutar decisiones.

Los referentes cumplen funciones diferentes. El NRW-CMI ayuda a investigar obstáculos técnicos e institucionales; el WUM aporta una lectura de capacidades; el PMPI organiza el proceso de gestión; el Turnaround Framework aborda necesidades de transformación; y el cuadro de mando integral vincula objetivos, indicadores, iniciativas y recursos.

Por ejemplo, si existen mediciones y alertas que permanecen sin investigar, la necesidad puede ser definir responsabilidades, plazos de revisión y coordinación con terreno. El diagnóstico organizacional permite reconocer la causa; la planificación convierte esa brecha en acciones; y el seguimiento comprueba si las alertas comenzaron a resolverse. La selección del referente depende de esa necesidad, sin exigir que la empresa aplique todos los instrumentos.

- **Water Utility Maturity Model**

El WUM de Kayaga, Mugabi y Kingdom (2013) propone evaluar la capacidad institucional mediante cinco dimensiones: comportamiento, estructura y procesos, capacidades, herramientas organizacionales e influencia. Comprende 23 atributos y cinco niveles acumulativos: inicial, básico, proactivo, flexible y progresivo. El artículo presenta una matriz agregada y señala que los descriptores completos de sus 115 celdas no se incluyen en la publicación.

Para esta investigación, su aporte es examinar perfiles de desarrollo desigual y la consolidación de prácticas organizacionales. Sus categorías se utilizan como referente conceptual, sin establecer equivalencias automáticas con N1–N5.

El documento *Utility of the Future 4.0*, publicado por el Banco Mundial en 2024 y revisado como antecedente complementario, corresponde a una metodología diferente. Ambos referentes deben identificarse por separado; las dimensiones y categorías atribuidas al WUM corresponden al modelo de 2013.

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Qué capacidades están consolidadas y cuáles requieren fortalecimiento para sostener la gestión?
- **¿Qué información necesita?** Evidencia sobre prácticas, procesos, responsabilidades, herramientas y relaciones institucionales.
- **¿Bajo qué condiciones aplica?** Cuando puede realizarse una evaluación respaldada en antecedentes y participación de quienes ejecutan la gestión.
- **¿Qué capacidades exige?** Revisión documental, contraste de perspectivas y registro de la justificación del diagnóstico.

- **¿Cuál es su aporte?** Ayuda a reconocer brechas que pueden permanecer ocultas en un resultado agregado.
- **¿Cuáles son sus principales limitaciones?** Su alcance es organizacional; debe complementarse con el diagnóstico técnico del ANC.

Preguntas clave al sistema

- ¿Los procedimientos se utilizan o solamente se encuentran escritos?
- ¿La evaluación incorpora a quienes ejecutan las tareas?
- ¿Las diferencias de criterio entre participantes se contrastan con antecedentes?
- ¿Se conservan evidencias para comprobar cambios en la siguiente evaluación?

En la adaptación al ANC, cada brecha debe vincularse con una capacidad concreta: mantener el balance, operar la medición, interpretar información, ejecutar intervenciones o sostener la coordinación. La ausencia de evidencia exige completar la evaluación antes de concluir que una capacidad está presente o ausente.

El ANEXO M reúne los antecedentes del WUM y sintetiza la relación de sus dimensiones con el marco propuesto para la gestión del ANC

La Tabla 27 relaciona el uso del WUM con la evaluación de capacidades organizacionales necesarias para gestionar el ANC. La progresión comprende identificar prácticas y brechas, comprobar su aplicación regular y evaluar la adaptación y continuidad de la gestión frente a cambios de personas, tecnologías o condiciones operacionales.

Tabla 27: Uso del WUM.

Nivel ANC	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 Arranque	Se identifican prácticas existentes, dependencia de conocimientos individuales y brechas para iniciar la gestión. El diagnóstico distingue los aspectos observados de aquellos pendientes de verificación.
N2 Medición	Se revisa si funciones, procedimientos y registros básicos se utilizan en las primeras actividades. Se documentan las condiciones que dificultan sostener esas rutinas.
N3 Control	Se comprueba que las capacidades necesarias para el programa se encuentran asignadas y se ejercen regularmente. La evaluación incorpora evidencias de ejecución, coordinación y seguimiento.
N4 Optimización	Las brechas organizacionales se relacionan con resultados del programa y decisiones de mejora. Se comprueba si los cambios de procesos, competencias y coordinación mejoran su ejecución.
N5 Innovación	Se revisa la capacidad de adaptación y continuidad frente a cambios de personas, tecnologías o condiciones operacionales. La incorporación de nuevas prácticas incluye transferencia de conocimiento y comprobación de su utilidad.

Fuente: Elaboración propia.

- **Planning and Management by Performance Indicators**

El PMPI, publicado por AbuEltayef, Alastal y AbuAlhin (2025) en *Water Practice & Technology*, organiza la planificación y gestión del ANC mediante cinco fases y diecinueve pasos. Su propuesta relaciona arreglos institucionales, diagnóstico mediante indicadores, acciones, evaluación y actualización del programa.

Los diecinueve pasos corresponden a actividades del proceso de gestión. Su cantidad no equivale a un conjunto obligatorio de diecinueve subindicadores del balance hídrico.

La Tabla 28 sintetiza las fases y actividades del PMPI y los productos que aportan al programa de ANC. Esta relación permite reconocer cómo se conectan las condiciones institucionales, el diagnóstico, la implementación, la evaluación y la actualización del programa.

Tabla 28: Fases y pasos del PMPI.

Fase	Pasos comprendidos	Producto de gestión
I. Arreglos institucionales y objetivos del programa	Conformar el equipo; fortalecer sus capacidades; establecer arreglos institucionales; habilitar las condiciones de trabajo.	Equipo, funciones y condiciones para ejecutar el programa.
II. Diseño y análisis del modelo	Seleccionar indicadores y criterios; diseñar el modelo conceptual; recopilar datos; evaluar y analizar indicadores.	Diagnóstico y línea base con información y alcance identificados.
III. Plan de acción e implementación	Establecer referencias y metas; preparar el plan de acción; implementarlo; elaborar planes de seguimiento.	Intervenciones vinculadas con objetivos, recursos y seguimiento.
IV. Monitoreo y evaluación	Recopilar datos; establecer el marco de seguimiento y evaluación; evaluar; asegurar la calidad.	Evidencia para revisar avances, resultados y confiabilidad del análisis.
V. Mejoras y actualizaciones	Retroalimentar; actualizar planes; difundir información.	Programa ajustado mediante resultados y aprendizajes.

Fuente: Elaboración propia.

Las actividades institucionales pueden comenzar con información limitada. La evaluación cuantitativa requiere indicadores calculables, límites y períodos compatibles y antecedentes de calidad suficientes para la decisión prevista. La aplicación se delimita cuando estas condiciones solo se cumplen en un piloto o componente.

En este marco no se adopta un puntaje DVS como requisito universal del PMPI. La calidad del dato se evalúa sobre los indicadores seleccionados y sus usos. Cuando una mejora de medición modifica la línea base, debe registrarse para diferenciarla de una reducción efectiva de pérdidas.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? ¿Cómo relacionar diagnóstico, metas, acciones y resultados dentro de un proceso de gestión?

¿Qué información necesita? Indicadores seleccionados, fuentes, línea base, responsables, intervenciones, costos y antecedentes de seguimiento.

¿En qué condiciones aplica? La organización del proceso puede iniciarse tempranamente. La evaluación de resultados se desarrolla donde existen datos adecuados.

¿Qué capacidades exige? Definir indicadores y metas, asignar recursos, ejecutar acciones y revisar resultados con trazabilidad.

¿Cuál es su aporte? Vincula las intervenciones con su seguimiento y actualización.

¿Cuáles son sus principales limitaciones? Un indicador mal definido o poco confiable puede conducir a evaluar cambios de datos como cambios de desempeño.

Preguntas clave al sistema

- ¿Cada indicador tiene definición, fuente, responsable y período?
- ¿Las metas consideran la línea base y su confiabilidad?
- ¿Las acciones se vinculan con el componente del ANC que buscan modificar?
- ¿La revisión distingue cumplimiento de actividades y resultados obtenidos?
- ¿Las desviaciones generan cambios documentados en el programa?

La evaluación del PMPI presentada por sus autores se basa en revisión y consulta a expertos. Su utilización como antecedente metodológico se distingue de una validación de resultados operacionales del marco desarrollado en esta investigación.

La Tabla 29 distingue la aplicación del PMPI según la información y las capacidades disponibles. La progresión comprende habilitar responsabilidades y antecedentes, ejecutar un ciclo con seguimiento y utilizar sus resultados para ajustar metas, recursos e intervenciones.

Tabla 29: Aplicación del PMPI.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 Arranque	Se utilizan sus actividades institucionales para identificar equipo, funciones y datos necesarios. Sin una línea base suficiente, los compromisos se concentran en habilitar capacidades y no en atribuir reducciones cuantificadas de pérdidas.
N2 Medición	Se definen indicadores, fuentes y una primera línea base para el ámbito elegible. Los pilotos tienen acciones, recursos y resultados esperados. Los componentes todavía no cuantificables permanecen identificados como brechas.
N3 Control	Se ejecuta un ciclo de diagnóstico, metas, intervención y revisión con datos trazables. Se mantienen registros de resultados, cambios metodológicos y acciones correctivas, diferenciando el avance de actividades del efecto sobre las pérdidas.
N4 Optimización	El ciclo compara resultados esperados y observados, costos y restricciones. La evaluación modifica prioridades, metas y recursos y permite investigar qué intervenciones generan mejores resultados en condiciones comparables.
N5 Innovación	El programa incorpora información anticipativa y actualizaciones oportunas donde los datos lo permiten. Las proyecciones se contrastan con resultados consolidados y sus desviaciones retroalimentan indicadores, supuestos y acciones.

Fuente: Elaboración propia.

- **Cuadro de mando integral BSC**

El cuadro de mando integral (Balanced Scorecard, BSC), desarrollado por Kaplan y Norton (1996), permite relacionar objetivos, indicadores, metas e iniciativas dentro de una estrategia. En la gestión del ANC puede conectar los resultados técnicos con competencias, procesos, servicio y sostenibilidad financiera.

La adaptación debe distinguir los indicadores de actividades de los indicadores de resultados. Capacitar personal, inspeccionar red o instalar medidores son acciones cuyo cumplimiento debe relacionarse con su utilización y efecto posterior.

La Tabla 30 vincula las perspectivas del BSC con preguntas y ejemplos de seguimiento aplicables al ANC. Esta adaptación permite relacionar competencias, procesos, condiciones de servicio y resultados financieros, diferenciando la ejecución de actividades de sus efectos comprobados.

Tabla 30: Perspectivas del BSC.

Perspectiva	Pregunta de gestión	Ejemplos de seguimiento
Aprendizaje y crecimiento	¿Existen competencias y condiciones para ejecutar la estrategia?	Competencias verificadas, aplicación de procedimientos, transferencia de conocimiento y continuidad de funciones críticas.
Procesos internos	¿Los procesos permiten diagnosticar, i ntervenir y comprobar resultados?	Calidad de cierres, funcionamiento de la medición, gestión de alertas, reparación, recurrencias y resultados de intervenciones.
Clientes y servicio	¿La gestión del ANC contribuye a las condiciones del servicio?	Continuidad, presión, afectación por fallas, reclamos y resultados de medidas correctivas.
Financiera	¿Qué recursos utiliza el programa y qué beneficios genera?	Costos de intervención, costos evitados, recuperación comercial y comparación entre beneficios esperados y observados.

Fuente: Elaboración propia.

La dimensión ambiental se incorpora transversalmente mediante uso del recurso, energía y efectos de las intervenciones. Esta incorporación corresponde a la adaptación del instrumento y no a una quinta perspectiva universal del BSC.

La interpretación financiera debe diferenciar los componentes del ANC. Reducir una fuga puede evitar producción o liberar capacidad; corregir subregistro puede aumentar el volumen contabilizado y facturado. Los beneficios se valoran según su mecanismo y las condiciones efectivas de la empresa.

El diseño del cuadro de mando puede iniciarse con pocos indicadores, siempre que sus definiciones y limitaciones sean claras. Los indicadores hidráulicos avanzados se incorporan cuando resultan calculables. No se establece un umbral DVS universal para organizar objetivos, responsabilidades y seguimiento.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? ¿Cómo vincular la gestión del ANC con los objetivos y decisiones de la organización?

¿Qué información necesita? Objetivos, indicadores definidos, responsables, metas, iniciativas, recursos y resultados.

¿Bajo qué condiciones aplica? Cuando la organización puede establecer objetivos y revisar su cumplimiento. El alcance cuantitativo depende de los datos disponibles.

¿Qué capacidades exige? Priorización, asignación de responsabilidades y revisión conjunta de resultados.

¿Cuál es su aporte? Conecta el programa técnico con decisiones de recursos, servicio y desarrollo organizacional.

¿Cuáles son sus principales limitaciones? Un tablero extenso o actualizado no demuestra integración estratégica si sus resultados no modifican decisiones.

Preguntas clave al sistema

- ¿Los objetivos del ANC se relacionan con prioridades de la organización?
- ¿Cada indicador tiene un responsable y una decisión asociada?
- ¿Se revisan conjuntamente actividades, resultados, costos y servicio?
- ¿Las desviaciones generan acciones y asignación de recursos?
- ¿Se comprueba el resultado de las decisiones adoptadas?

Las relaciones entre perspectivas deben plantearse como hipótesis de gestión que requieren comprobación. Por ejemplo, una capacitación puede mejorar un proceso, pero su realización no demuestra automáticamente una reducción de pérdidas.

La Tabla 31 presenta la progresión del BSC desde la identificación de objetivos y responsabilidades hasta su utilización para revisar resultados y adaptar decisiones. El desarrollo se demuestra mediante la relación entre indicadores, acciones y asignación de recursos, considerando la calidad de la información disponible.

Tabla 31: Aplicación del BSC por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 Arranque	Se identifican objetivos y responsabilidades básicas. El seguimiento puede concentrarse en habilitar información y procesos; los indicadores sin datos suficientes no se presentan como resultados verificados.
N2 Medición	Se establece un cuadro básico con definición de indicadores, fuentes, responsables y acciones. Se relacionan las primeras inversiones y actividades con resultados esperados y brechas conocidas.
N3 Control	Los objetivos, indicadores, recursos e iniciativas se revisan regularmente. Las desviaciones generan acciones con responsable y seguimiento, utilizando indicadores compatibles con las capacidades del sistema.
N4 Optimización	El cuadro de mando participa en decisiones de operación, mantenimiento e inversión. Se comparan costos, beneficios y efectos sobre el servicio, y los resultados modifican prioridades y recursos.
N5 Innovación	El seguimiento incorpora escenarios y señales anticipativas comprobadas. Los objetivos e iniciativas se adaptan a cambios de demanda, recurso, riesgo o condición de activos, manteniendo trazabilidad de las decisiones y de sus resultados.

Fuente: Elaboración propia.

- **Guía WSUP**

La guía WSUP (2017) presenta procedimientos para evaluar el desempeño, realizar auditorías de terreno y comerciales, establecer DMA y sus líneas base, y revisar resultados. Su enfoque permite adaptar el programa al estado de las actividades de

ANC de la empresa y avanzar mediante pilotos y mejoras sucesivas. Esta organización por procedimientos constituye la referencia utilizada en este análisis.

- **Guía GWOPA**

La Guía GWOPA, titulada Roadmap to Non-Revenue Water Reduction and Management, organiza su propuesta en tres componentes: preparar el plan de reducción y gestión; dividir el problema en unidades manejables; y desarrollar acciones sobre pérdidas físicas y comerciales. Incluye apoyo directivo, equipo de trabajo, caso de negocio, pilotos y herramientas prácticas de implementación (Faber & Radakrishnan, 2019).

El Roadmap vincula diagnóstico, organización y ejecución. La cuantificación de componentes y la evaluación de intervenciones requieren complementarlo con balance hídrico, análisis nocturno, BABE, UARL/ILI, FAVAD y evaluación económica, según sus insumos y condiciones de aplicación.

La aplicación de la hoja de ruta debe basarse en las condiciones verificadas de cada operador: continuidad y presión del suministro, conocimiento de la red, calidad de la medición, registros comerciales, recursos y coordinación entre áreas. Estas condiciones determinan la selección de pilotos, la secuencia de acciones y la escala del programa, tanto en concesionarias urbanas como en operadores de servicios sanitarios rurales.

Las bandas internacionales requieren comprobar su pertinencia al sistema y la confiabilidad de los datos. Sus categorías no constituyen metas regulatorias chilenas ni niveles de madurez de esta tesina.

Análisis del método

¿Qué pregunta responde? Permite definir cómo organizar y sostener un programa de reducción y gestión del ANC, vinculando diagnóstico, recursos, responsabilidades y seguimiento.

¿Qué información necesita? Necesita antecedentes del balance y su confiabilidad, infraestructura, clientes, presión, continuidad, costos, personal y procedimientos existentes.

¿En qué condiciones se puede aplicar? Puede orientar el programa desde su inicio, siempre que se identifiquen las brechas de información y que cada cálculo o intervención se limite a los ámbitos técnicamente habilitados.

¿Qué capacidades exige? Exige coordinación técnica, comercial y financiera, capacidad de ejecutar tareas en terreno y trazabilidad de las decisiones y de los resultados.

¿Cuál es su aporte? Ordena las actuaciones y permite pasar de intervenciones aisladas a un programa que comprueba resultados y ajusta sus prioridades.

¿Cuáles son sus limitaciones? Es una guía de organización y actuación; no determina por sí sola el volumen recuperable, la rentabilidad, los parámetros locales de intervención ni el nivel de madurez.

La Tabla 32 presenta la vinculación propuesta por la autora entre los aportes de la hoja de ruta y los niveles de la Escalera de Madurez ANC. Estos niveles pertenecen a la tesina: la guía de GWOPA no establece una escala N1–N5 ni una equivalencia con las bandas A1–D.

Tabla 32: Aporte por nivel - GWOPA

Nivel	Aporte al programa	Evidencia de utilización
N1 Arranque	Reconocer el problema, las brechas de información y los responsables iniciales.	Ámbito identificado, antecedentes disponibles y faltantes, y responsabilidades iniciales reconocidas.
N2 Medición	Establecer una línea base, recursos, metas y acciones delimitadas.	Fuentes y estimaciones documentadas, responsables, recursos y plazos comprobables.
N3 Control	Coordinar un programa regular y seguir las acciones habilitadas.	Procedimientos en uso y registros periódicos que comprueben actuaciones y resultados.
N4 Optimización	Comparar alternativas con resultados verificados, costos y riesgos para ajustar el programa.	Priorización, metas y recursos revisados según los efectos observados y las condiciones de servicio.
N5 Innovación	Anticipar escenarios, comprobar las respuestas previstas e incorporar lo aprendido.	Predicciones contrastadas con resultados posteriores y procedimientos actualizados para nuevas decisiones.

Fuente: Elaboración propia.

Los niveles se asignan según el uso comprobable de los procedimientos y sus resultados; la cantidad de DMAs, un equipo o la participación en una WOP no determinan automáticamente la madurez.

- **Manual Ranhill/USAID**

El Manual Ranhill/USAID aborda el ANC desde una perspectiva gerencial que relaciona operación, medición, gestión comercial, finanzas y desarrollo de capacidades. Su checklist de auditoría reúne 54 preguntas en cuatro ámbitos: área de servicio, medición, nivel de servicio y operaciones, y parámetros financieros. En esta investigación se utiliza para organizar antecedentes e identificar vacíos que deben resolverse antes de profundizar determinados análisis (Farley et al., 2008).

Análisis del método

¿Qué pregunta responden? ¿Cómo organizar un programa ejecutable de reducción y gestión del ANC?

¿Qué información necesitan? Situación inicial, causas conocidas, brechas, responsables, recursos y restricciones de ejecución.

¿En qué condiciones aplican? Pueden orientar la planificación desde etapas iniciales; las acciones seleccionadas requieren comprobar sus condiciones particulares.

¿Qué capacidades exigen? Participación de las áreas involucradas, respaldo de quienes asignan recursos y seguimiento de compromisos.

¿Cuál es su aporte? Transforman el diagnóstico en una secuencia de acciones y responsabilidades.

¿Cuáles son sus principales limitaciones? Su utilización no sustituye los cálculos, verificaciones hidráulicas o evaluaciones económicas necesarios para cada intervención.

Preguntas clave al sistema

- ¿Existe un programa que relacione las brechas con acciones concretas?
- ¿Cada acción tiene responsable, recursos y un resultado esperado verificable?
- ¿Los pilotos incorporan criterios para decidir su continuidad o ampliación?
- ¿Se revisan los resultados y se modifica el programa cuando sus supuestos no se cumplen?

La Tabla 33 compara los aportes de WSUP, UN-Habitat/GWOPA y Ranhill/USAID a la organización del programa de ANC. Para cada referente se identifica su aplicación y su límite de interpretación, conservando la diferencia entre organizar actividades y demostrar capacidades de gestión.

Tabla 33: Aporte de los marcos de planificación.

Marco	Aporte principal	Aplicación	Límite de interpretación
Guía WSUP	Procedimientos prácticos de evaluación, auditoría, medición sectorial y seguimiento.	Organizar actividades y pilotos ajustados a los antecedentes y recursos disponibles.	Completar procedimientos no demuestra, por sí solo, un nivel de madurez.
Guía GWOPA	Articulación de respaldo gerencial, organización, pilotos e intervenciones.	Relacionar el caso de negocio con la ejecución y continuidad del programa.	Sus componentes de implementación no equivalen directamente a los cinco niveles del marco.
Manual Ranhill/USAID	Revisión gerencial de antecedentes técnicos, comerciales y financieros.	Detectar vacíos y ordenar el levantamiento de información mediante cuatro ámbitos de auditoría.	La cantidad de respuestas disponibles no sustituye la evaluación de su confiabilidad ni la comprobación de capacidades.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 34 relaciona el uso de los marcos de planificación con las capacidades disponibles. La progresión comprende organizar acciones iniciales y pilotos, mantener un programa con seguimiento y modificar prioridades, recursos y estrategias a partir de los resultados.

Tabla 34: Aplicación de los marcos de planificación.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1 Arranque	Se utilizan para identificar información, responsables y acciones iniciales. El producto es un diagnóstico de brechas y una programación delimitada, diferenciando lo ejecutable de las acciones que necesitan medición o capacidades adicionales.
N2 Medición	El programa incorpora levantamientos, verificaciones y pilotos con presupuesto, responsables y resultados esperados. Se documentan los requisitos para ampliar cada intervención y los antecedentes que todavía faltan.
N3 Control	La planificación se ejecuta y revisa regularmente. Las actividades se relacionan con resultados observados y se registran atrasos, restricciones y medidas correctivas. La ampliación de pilotos se respalda en sus resultados.
N4 Optimización	Se revisa la combinación de acciones mediante costos, recuperación, riesgo y capacidad de ejecución. La comparación entre resultados esperados y obtenidos modifica prioridades y recursos. Las guías continúan como soporte de proceso cuando resultan útiles.
N5 Innovación	El programa incorpora escenarios y señales anticipativas para ajustar su ejecución. Las innovaciones se prueban con criterios de aceptación y sus resultados determinan continuidad, modificación o ampliación.

Fuente: Elaboración propia.

- **ELL: nivel económico de fugas e intensidad de intervención**

El nivel económico de fugas —ELL— permite examinar hasta dónde conviene intensificar el control de pérdidas reales considerando costos, recuperación y valor

del agua. Su determinación requiere comparar alternativas; una intervención individual económicamente favorable no demuestra por sí sola que se haya alcanzado el ELL.

Una revisión preliminar utiliza:

Beneficio anual esperado = volumen anual recuperable × valor unitario pertinente del agua

Este resultado se compara con costos anuales compatibles de inversión, operación, búsqueda, reparación y seguimiento. La valoración debe explicitar su perspectiva y considerar, cuando corresponda, costos evitados, restricciones de disponibilidad y costos de oportunidad.

La intensidad de búsqueda también puede estudiarse mediante el intervalo económico de intervención. Su estimación requiere costos y crecimiento de las fugas no reportadas; contar reparaciones no basta para obtener ese crecimiento.

Intervalo económico de intervención

Para una política de inspección periódica, Lambert y Lalonde (2005) presentan:

$$J* \ en\, meses \ = \ raíz\, cuadrada\, de\, [0{,}789 \ \times \ CI \ / \ (CV \ \times \ RR)]$$

CI es el costo de inspeccionar el ámbito, sin reparación; CV, el costo variable del agua en moneda/m³; y RR, el crecimiento de fugas no reportadas en m³/día por año.

Con valores hipotéticos CI = 2.000.000 CLP, CV = 200 CLP/m³ y RR = 100 m³/día por año:

$$J* = \ raíz\, cuadrada\, de\, [0{,}789 \ \times \ 2.000.000 \ / \ (200 \ \times \ 100)]$$

$$J* = \ 8{,}9\, meses$$

El cálculo orienta la periodicidad bajo sus supuestos; no determina por sí solo el ELL total.

Los resultados económicos se interpretan junto con las condiciones de servicio, la incertidumbre y los efectos observados después de intervenir (AWWA, 2009; Hamilton & McKenzie, 2014).

Análisis del método

- **¿Qué pregunta responde?** ¿Con qué intensidad conviene intervenir y qué alternativas justifican los recursos requeridos?
- **¿Qué información necesita?** Costos, volumen recuperable, permanencia del beneficio, valoración del agua y comportamiento de las fugas.
- **¿En qué condiciones se puede aplicar?** Cuando existen antecedentes suficientes para construir alternativas y comparar costos y beneficios. Los escenarios preliminares no equivalen a un óptimo comprobado.

- **¿Qué capacidades exige?** Coordinación técnica y financiera, registro de costos y evaluación de resultados.
- **¿Cuál es su aporte?** Permite justificar prioridades, frecuencia de control e inversiones.
- **¿Cuáles son sus limitaciones?** Depende de supuestos inciertos y del horizonte de evaluación; no sustituye el diagnóstico ni las demás condiciones que debe cumplir una intervención.

Preguntas clave al sistema

- ¿Los costos y beneficios utilizan el mismo período y unidades?
- ¿El volumen recuperable está respaldado y se distingue del volumen total perdido?
- ¿Se consideran costos de confirmación, reparación y seguimiento?
- ¿La valoración del agua es pertinente al contexto?
- ¿Se examinan incertidumbre y escenarios?
- ¿Se compara la recuperación observada con la prevista?

La Tabla 35 distingue las condiciones para utilizar el análisis económico de pérdidas en cada nivel. La progresión comprende identificar costos y beneficios, comparar escenarios y ajustar las decisiones mediante la recuperación observada, manteniendo explícitos los supuestos y la incertidumbre.

Tabla 35: Aplicación del análisis económico de pérdidas por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1	Se identifican actividades, costos y posibles beneficios. Si se desconocen el volumen recuperable o los costos de intervención, no corresponde afirmar un ELL específico. El trabajo inicial consiste en definir qué antecedentes deben registrarse para evaluar las alternativas.
N2	Se dispone de costos estimados de búsqueda, confirmación y reparación y de un volumen recuperable fundamentado. Se comparan escenarios en una base temporal común y se presentan rangos cuando la incertidumbre impide sostener un resultado puntual.
N3	Las intervenciones tienen registros de costos y recuperación observada. Se contrasta lo presupuestado con lo ejecutado y se ajustan los parámetros. El intervalo económico de búsqueda se estima cuando existe información suficiente sobre costos y crecimiento de fugas no reportadas.
N4	Se comparan alternativas de presión, detección, reparación y renovación con horizontes y costos compatibles. La valoración del agua, los riesgos y las restricciones de servicio se incorporan explícitamente. Los resultados sustentan la asignación de recursos y se comprueban mediante el desempeño posterior.
N5	La evaluación se actualiza ante cambios relevantes de costos, disponibilidad de agua, condición de activos o comportamiento de las pérdidas. Los escenarios permiten anticipar ajustes de intensidad o de estrategia y posteriormente comprobar si las decisiones produjeron los beneficios previstos.

Fuente: Elaboración propia.

6.5 CONSTRUCCIÓN DEL MARCO

La construcción del marco integra las capacidades, condiciones de aplicación y relaciones identificadas durante el análisis de los métodos. La comparación permitió distinguir cuatro ámbitos complementarios: cuantificación y confiabilidad de la información; infraestructura y diagnóstico de red; intervención sobre las pérdidas; y capacidad organizacional para sostener la gestión.

Estos ámbitos se organizaron en cuatro ejes, cada uno compuesto por cinco dimensiones evaluables. La estructura permite reconocer diferencias de desarrollo dentro de un mismo sistema y relacionar las brechas con acciones de fortalecimiento.

La definición de cinco niveles responde a una progresión común de capacidades: reconocer y estructurar el problema, desarrollar información y medición, utilizar sistemáticamente el diagnóstico, optimizar las decisiones y anticipar cambios mediante capacidades consolidadas. Los modelos de madurez revisados aportaron referencias para examinar esta progresión, sin trasladar directamente sus puntuaciones o categorías.

Los criterios de distinta naturaleza se integraron según la capacidad que permiten demostrar. Los indicadores de desempeño, las etapas de implementación y las escalas de calidad del dato conservan sus funciones particulares; su utilización contribuye a la evaluación cuando existe evidencia de que apoyan el diagnóstico, las decisiones o la intervención.

- **Water Utility Turnaround Framework**

El *Water Utility Turnaround Framework*, desarrollado por Soppe, Janson y Piantini (2018) para el Banco Mundial, aborda la transformación de empresas que enfrentan dificultades de desempeño y sostenibilidad. Relaciona la situación de la organización con su entorno y con el espacio disponible para introducir cambios.

El marco considera cinco ámbitos: organización y estrategia, recursos humanos, gestión financiera, operaciones técnicas y operaciones comerciales. Sus matrices utilizan cinco categorías de madurez, desde elemental hasta clase mundial, que deben distinguirse de las categorías del WUM y de los niveles propuestos para la gestión del ANC.

Su proceso comprende cuatro fases:

1. **Fase 0: evaluación de la empresa y su entorno.** Establece la situación inicial y las condiciones para avanzar.
2. **Fase 1: creación de espacio para el cambio y círculos virtuosos.** Busca compromisos y acciones viables que permitan comenzar la transformación.
3. **Fase 2: planificación de acciones.** Organiza mejoras según capacidades, recursos y restricciones.

4. **Fase 3: planificación estratégica e institucionalización.** Integra los cambios dentro de una orientación sostenida de la organización.

Su aplicación es situacional. Un nivel inicial de gestión del ANC no impide utilizar el diagnóstico del marco, y una capacidad técnica avanzada no excluye dificultades financieras, comerciales o de gobernanza que justifiquen una transformación.

El Water Utility Turnaround Framework (Soppe et al., 2018) constituye un antecedente relevante para la estructura de evaluación propuesta, particularmente por su utilización de matrices de madurez, identificación de brechas y orientación de acciones según las condiciones iniciales de la organización. Sin embargo, su propósito corresponde a la transformación integral del desempeño de empresas sanitarias, mientras que el presente estudio concentra el análisis en las capacidades necesarias para gestionar el Agua No Contabilizada. La propuesta adapta esta lógica de evaluación al ámbito específico del ANC e incorpora criterios derivados del análisis de métodos de cuantificación, calidad de datos, diagnóstico hidráulico, intervención operativa y gestión organizacional. Asimismo, vincula la evaluación de capacidades con un Catálogo de métodos y herramientas y distingue entre las actividades de control que deben sostenerse continuamente y el desarrollo progresivo de nuevas capacidades. De esta forma, la contribución no reside en la creación de una nueva escala de madurez, sino en su especialización e integración metodológica para orientar decisiones de gestión del ANC en sistemas con diferentes condiciones de desarrollo.

- **NRW Change Management Index**

El NRW-CMI, desarrollado por MACS en el contexto de programas apoyados por KfW, relaciona componentes técnicos e institucionales de la gestión del ANC. El componente técnico comprende balance hídrico, metas, enfoque DMA y monitoreo; el institucional considera actitudes, comportamientos y habilidades en dirección, mandos medios y operación. La propuesta combina antecedentes operacionales con entrevistas y observación del trabajo.

La documentación describe un resultado consolidado de 0 a 100, construido mediante escalas y ponderaciones. Para esta investigación se utiliza su enfoque de diagnóstico; no se reconstruyen ponderaciones ni bandas de clasificación sin disponer del instrumento y de sus reglas de aplicación.

En la aplicación propuesta, las brechas se traducen en acciones con responsable, resultado esperado y evidencia de cierre. Las causas técnicas e institucionales pueden coexistir y deben analizarse conjuntamente.

6.5.1 Ejes y dimensiones

La Tabla 36 reúne las veinte dimensiones definidas durante la construcción de las matrices. Los cuatro ejes contienen el mismo número de dimensiones para evitar

que uno adquiera mayor peso únicamente por acumular más preguntas o herramientas.

Tabla 36: Ejes y dimensiones efectivas para evaluación

Eje	Dimensiones efectivas de evaluación
A. Cuantificación, información y calidad del dato	**A1.** Construcción y trazabilidad del balance hídrico. **A2.** Calidad y confiabilidad de la información. **A3.** Desagregación de los componentes del ANC. **A4.** Utilización e interpretación de indicadores. **A5.** Validación, contraste y actualización de la información.
B. Infraestructura de medición y diagnóstico de red	**B1.** Conocimiento físico y operacional de la red. **B2.** Macromedición y definición de límites de análisis. **B3.** Sectorización y conocimiento hidráulico. **B4.** Monitoreo de caudales y presiones. **B5.** Integración entre terreno, catastro/GIS, modelación y diagnóstico.
C. Intervención y control de pérdidas	**C1.** Detección activa de fugas. **C2.** Gestión de presiones. **C3.** Reparación, seguimiento y control de recurrencias. **C4.** Gestión de pérdidas aparentes. **C5.** Priorización de intervenciones, renovación y evaluación de resultados.
D. Capacidad organizacional e integración de la gestión	**D1.** Roles, responsabilidades y gobernanza. **D2.** Competencias, capacitación y transferencia de conocimiento. **D3.** Coordinación entre áreas. **D4.** Planificación, priorización y asignación de recursos. **D5.** Seguimiento, reportería, aprendizaje e integración.

Fuente: Elaboración propia.

Los métodos y tecnologías analizados se conservan como instrumentos para desarrollar o demostrar estas capacidades. Una misma acción puede contribuir a varias dimensiones, pero su evaluación debe distinguir el aporte específico a cada una. Por ejemplo, instalar un medidor mejora la infraestructura disponible; evaluar sus registros y utilizarlos para investigar una desviación demuestra capacidades adicionales de información y diagnóstico.

La evaluación debe delimitar previamente el sistema, localidad o unidad operacional considerada. Las capacidades corporativas se reconocen cuando su aplicación a esa unidad puede demostrarse. Asimismo, un piloto debe conservar su alcance identificado para evitar que una capacidad localizada se interprete como cobertura de todo el sistema.

6.5.2 Niveles de desarrollo

Los niveles representan estados acumulativos de desarrollo. Las capacidades previamente adquiridas permanecen activas y se utilizan con mayor profundidad, continuidad e integración.

La Tabla 37 establece la diferencia general entre los cinco niveles. Los descriptores específicos de las matrices permiten reconocer cómo se expresa esta progresión en cada dimensión.

Tabla 37: Criterios generales de progresión de los niveles de desarrollo.

Nivel	Criterio de desarrollo y evidencia característica
N1 — Arranque	Se reconoce el problema y se identifican antecedentes, responsables efectivos y brechas. La información es parcial y las decisiones dependen principalmente de situaciones evidentes o de experiencia individual.
N2 — Medición	Se generan registros, mediciones y verificaciones documentadas. Se conocen las fuentes y limitaciones del diagnóstico y se ejecutan primeras acciones o pilotos con resultados identificables.
N3 — Control	Las capacidades se utilizan regularmente para diagnosticar, intervenir y verificar. Existen procedimientos, responsables y seguimiento de desviaciones y resultados dentro de una cobertura conocida.
N4 — Optimización	Se comparan alternativas mediante información integrada, costos, beneficios y riesgo. Las diferencias entre resultados esperados y observados modifican criterios de operación, intervención y asignación de recursos.
N5 — Innovación	Se anticipan cambios mediante información actualizada y herramientas cuyo desempeño se comprueba. Las alertas, proyecciones y nuevas soluciones generan respuestas verificadas y aprendizaje incorporado a la gestión.

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de un método depende de sus requisitos particulares. La ausencia de información para calcular un indicador avanzado no impide utilizar otros instrumentos pertinentes ni determina automáticamente el nivel de toda una dimensión.

Del mismo modo, la disponibilidad de sensores, telemetría o plataformas debe relacionarse con su utilización. La evaluación considera si permiten reconocer cambios, orientar decisiones, ejecutar respuestas y comprobar sus resultados.

6.5.3 Reglas de evaluación

Cada dimensión se evalúa mediante un valor entero de 1 a 5, correspondiente a los descriptores N1–N5. Se selecciona el nivel más alto cuyas condiciones puedan demostrarse, considerando el carácter acumulativo de las capacidades.

La justificación debe identificar evidencia de la unidad y período evaluados: registros, procedimientos aplicados, verificaciones, decisiones y resultados. Cuando una dimensión cumple un nivel y presenta avances parciales hacia el siguiente, se conserva el nivel demostrado y se documentan los requisitos pendientes.

Por ejemplo, disponer de mediciones no demuestra por sí solo control regular. Para reconocer esa capacidad deben comprobarse las rutinas de revisión, la investigación de desviaciones y las respuestas correspondientes al descriptor.

Si faltan antecedentes para seleccionar un nivel, la evaluación queda pendiente hasta completar la revisión. No se reemplaza automáticamente por una puntuación

ni se excluye del denominador del índice definitivo. Las diferencias de interpretación entre participantes se resuelven contrastando sus argumentos con las evidencias disponibles.

Cada dimensión recibe un único valor entero de 1 a 5. Cuando las respuestas muestran capacidades de distintos niveles, se conserva el nivel demostrado y se registran las condiciones pendientes. Las respuestas individuales no se promedian ni se redondean para asignar esa puntuación. El IDE mantiene el promedio de las cinco dimensiones definitivas de cada eje.

Para cada eje, compuesto por cinco dimensiones, se calcula el Índice de Desarrollo del Eje (IDE), correspondiente al promedio de sus cinco evaluaciones:

IDE A = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) / 5

IDE B = (B1 + B2 + B3 + B4 + B5) / 5

IDE C = (C1 + C2 + C3 + C4 + C5) / 5

IDE D = (D1 + D2 + D3 + D4 + D5) / 5

Las expresiones A1–A5, B1–B5, C1–C5 y D1–D5 corresponden a los valores enteros asignados a las dimensiones de cada eje, según los descriptores de las matrices.

El IDE representa la posición sintética de las capacidades evaluadas. Su valor se conserva sin redondear para determinar el nivel de referencia. Así, valores de 3,20 y 3,80 corresponden a N3, aunque muestran posiciones diferentes dentro del intervalo. Ninguno se redondea para asignar N4.

Junto con el promedio se determinan el mínimo, el máximo, el rango y la desviación estándar poblacional de las cinco evaluaciones. El rango se calcula como:

$$\boldsymbol{Rangodeleje = valormáximo - valormínimo}$$

Para calcular la desviación estándar, se resta el IDE del eje al valor de cada dimensión, se eleva cada diferencia al cuadrado y se suman los cinco resultados. Finalmente, se divide esa suma por cinco y se obtiene su raíz cuadrada:

$$\boldsymbol{Desviaciónestándardeleje} = \sqrt{[(\boldsymbol{sumadelascincodiferenciasalcuadrado})/\mathbf{5}]}$$

El rango permite identificar la distancia entre las capacidades más y menos desarrolladas. La desviación estándar complementa esa lectura, sin modificar automáticamente el nivel ni incorporar un umbral adicional de clasificación.

La Tabla 38 sintetiza las reglas de puntuación, integración por eje y determinación del nivel de referencia, junto con las condiciones de consistencia y avance.

Tabla 38: Criterios de integración de la evaluación por eje.

Elemento	Criterio adoptado
Escala de evaluación	Valores enteros de 1 a 5, correspondientes a los descriptores N1–N5.
Evaluaciones por eje	Cinco dimensiones efectivas.
Índice del eje	Promedio aritmético de las cinco evaluaciones.
Asignación del nivel	Se utiliza el IDE sin redondear y el intervalo correspondiente.
Consistencia interna	Un rango igual o inferior a 1 representa un desarrollo relativamente homogéneo del eje.
Brecha interna	Un rango superior a 1 exige identificar y analizar las dimensiones rezagadas.
Desviación estándar	Medida complementaria de dispersión; no tiene un umbral universal de avance.
Relación entre ejes	Los cuatro tienen igual relevancia y se evalúan separadamente.
Nivel global de referencia	Menor nivel de referencia obtenido entre los cuatro ejes.
Consolidación del avance	Los cuatro IDE deben alcanzar el valor del nivel siguiente y cada eje debe presentar un rango igual o inferior a 1.

Fuente: Elaboración propia.

El nivel global se expresa como:

$$N_{\text{global}} = \min(N_A, N_B, N_C, N_D)$$

Esta regla mantiene la relevancia del eje de menor desarrollo, conservando el promedio como forma de integración interna de cada eje.

Por ejemplo, las evaluaciones 3, 3, 4, 3 y 4 producen un IDE de 3,40 y un rango de 1. Las evaluaciones 3, 3, 4, 2 y 4 producen un IDE de 3,20 y un rango de 2. Ambos ejes se sitúan como referencia en N3, pero el segundo presenta una dimensión rezagada que requiere tratamiento explícito.

La posición de referencia y la consolidación del avance deben distinguirse. Para declarar consolidada una transición desde N hacia N+1, deben cumplirse simultáneamente:

$$IDE_j \geq N + 1 \quad \text{y} \quad R_j \leq 1 \qquad \forall j \in \{A, B, C, D\}$$

Por tanto, alcanzar promedios compatibles con el nivel siguiente no basta para consolidar el avance si persisten diferencias internas superiores a una categoría. Las capacidades avanzadas continúan reconocidas y utilizadas mientras se desarrollan las rezagadas.

7 RESULTADOS

El análisis comparativo desarrollado en el Capítulo 6 permitió organizar los métodos, indicadores y marcos revisados según su finalidad, información requerida, condiciones de aplicación, capacidades necesarias, aportes y limitaciones. Como resultado, se identificaron relaciones de complementariedad y dependencia que orientaron la construcción del marco propuesto.

Se reconocieron dos necesidades de decisión. La primera consiste en seleccionar instrumentos frente a preguntas específicas, como cuantificar las pérdidas, evaluar la confiabilidad de los datos, investigar una desviación o elegir una intervención. La segunda consiste en evaluar las capacidades del sistema y determinar qué debe fortalecerse para mejorar progresivamente su gestión.

Estas necesidades dieron origen a dos productos complementarios: un Catálogo de métodos y herramientas para la gestión del ANC y una Hoja de Ruta basada en una Espiral de Madurez. El Catálogo permite consultar instrumentos pertinentes para una necesidad identificada; la Hoja de Ruta permite reconocer la posición actual, establecer prioridades y organizar el desarrollo de capacidades.

La Tabla 39 sintetiza los resultados del análisis que sustentan ambos productos.

Tabla 39: Resultados del análisis comparativo.

Ámbito analizado	Resultado del análisis	Incorporación al marco
Cuantificación y calidad de la información	El balance permite organizar el ANC desde etapas iniciales, pero la interpretación de sus componentes depende de las fuentes, estimaciones y verificaciones utilizadas. La calidad del dato y el desempeño de pérdidas representan aspectos distintos.	Se incorporan dimensiones específicas para construir el balance, evaluar sus fuentes, desagregar componentes y comprobar la consistencia del diagnóstico.
Medición y diagnóstico de red	La resolución del diagnóstico depende del conocimiento de la configuración, los límites hidráulicos, la medición y el seguimiento. Un resultado sectorial conserva su cobertura y no valida automáticamente el conjunto del sistema.	Se evalúan catastro, macromedición, sectorización, monitoreo e integración entre terreno, representación digital y diagnóstico.
Contraste entre métodos	Los resultados solo pueden compararse considerando límites, períodos, componentes e incertidumbre. Cuando comparten mediciones, también pueden compartir errores.	La evaluación incorpora la identificación de dependencias y la investigación de discrepancias, diferenciando contraste de consistencia y verificación independiente.
Intervención sobre las pérdidas	Las acciones pueden comenzar con capacidades limitadas. Su efectividad depende de la selección, ejecución, comprobación y ajuste posterior, además de la tecnología disponible.	La progresión distingue intervenciones iniciales, programas regulares, optimización y capacidades anticipativas comprobadas.
Capacidad organizacional	Disponer de herramientas e infraestructura requiere responsabilidades, competencias, coordinación, recursos y seguimiento para sostener su utilización.	El desarrollo organizacional se incorpora como un eje permanente y transversal.
Desarrollo progresivo	Los métodos no admiten una equivalencia directa entre sus indicadores, categorías o fases. Pueden utilizarse con distinta profundidad según las capacidades disponibles.	Se construye una escala propia de cinco niveles, cuatro ejes y veinte dimensiones, manteniendo los requisitos particulares de cada instrumento.

Fuente: Elaboración propia.

7.1 CATÁLOGO DE MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

El Catálogo reúne referencias para responder preguntas específicas de gestión. Su organización distingue documentos de alcance amplio y métodos o herramientas destinados a necesidades concretas.

Los documentos de alcance amplio permiten estructurar programas, auditorías, intervenciones o procesos de fortalecimiento organizacional. Los instrumentos específicos permiten abordar preguntas delimitadas y reconocer qué antecedentes se necesitan para responderlas.

La Tabla 40 presenta las referencias generales. La Tabla 41 organiza la consulta según preguntas de gestión y condiciones relevantes de utilización.

Tabla 40: Documentos, guías y marcos de alcance amplio.

N.º	Tipo	Documento o marco	¿Cuándo utilizarlo?	Ámbitos que comprende	Referencia
1	Manual y herramienta de auditoría	AWWA M36 y Free Water Audit Software, versión 6.0	Para estructurar una auditoría de agua, revisar sus fuentes y organizar la mejora de los datos.	Balance, evaluación de validez, indicadores y programa de control de pérdidas.	AWWA, M36 (2009); FWAS v6.0 y documentación de lanzamiento (2020).
2	Guía técnica	District Metered Areas: Guidance Notes for DMA Management	Para diseñar, verificar y gestionar unidades sectoriales de medición y análisis.	Configuración de DMA, medición, caudales nocturnos, presión, consumos y verificación de datos.	IWA Water Loss Specialist Group (2024), versión 2.
3	Manual técnico	Water Loss Control	Para profundizar en el diagnóstico y la selección de intervenciones sobre pérdidas de agua.	Balance, indicadores, análisis de componentes, presión, detección, reparación y criterios económicos.	Thornton, Sturm y Kunkel (2008).
4	Manual técnico	Water Management and Water Loss	Para revisar aplicaciones prácticas de gestión y control de pérdidas.	Medición, análisis hidráulico, caudales nocturnos, búsqueda de fugas, presión y herramientas de gestión.	Hamilton y McKenzie (2014).
5	Guía práctica	Guía WSUP — A Guide to Non-Revenue Water Reduction.	Para organizar procedimientos y pilotos según las actividades y capacidades existentes.	Evaluación, auditorías de terreno y comerciales, DMA, líneas base y seguimiento.	WSUP (2017).
6	Manual gerencial	Manual Ranhill/USAID — The Manager's Non-Revenue Water Handbook.	Para relacionar el ANC con la operación, la gestión comercial y la sostenibilidad del programa.	Balance, estrategia, auditoría, pérdidas aparentes y reales, DMA, indicadores y fortalecimiento de capacidades.	Farley et al., Ranhill/USAID (2008).
7	Hoja de ruta	Guía GWOPA — Roadmap to Non-Revenue Water Reduction and Management.	Para organizar respaldo gerencial, equipo, planificación, pilotos y acciones de reducción.	Caso de negocio, responsabilidades, unidades de análisis e intervenciones técnicas y comerciales.	Faber y Radakrishnan, GWOPA/UN-Habitat (2019).
8	Modelo de madurez	Water Utility Maturity Model — WUM	Para examinar el desarrollo institucional y reconocer capacidades desiguales dentro de la organización.	Comportamiento, estructura y procesos, capacidades, herramientas organizacionales e influencia.	Kayaga, Mugabi y Kingdom (2013).
9	Marco de transformación	Water Utility Turnaround Framework	Cuando las restricciones de desempeño requieren una transformación organizacional más amplia.	Evaluación inicial, espacio para el cambio, planificación de acciones e institucionalización.	Soppe, Janson y Piantini (2018).
10	Enfoque de diagnóstico organizacional	NRW Change Management Index — NRW-CMI	Para investigar obstáculos técnicos e institucionales que afectan la ejecución y continuidad del programa.	Procesos técnicos y condiciones de actitudes, comportamientos y habilidades en distintos niveles organizacionales.	MACS; Konatar y Schiller, documentación del NRW-CMI.
11	Referente institucional complementario	Utility of the Future 4.0	Para ampliar la consulta sobre transformación y desarrollo de empresas de agua y saneamiento.	Diagnóstico y fortalecimiento de capacidades para la transformación institucional.	Lombana Córdoba, Saltiel y Pérez Penalosa, Banco Mundial (2024).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Métodos y herramientas específicos.

N.º	Método o herramienta	Pregunta de gestión y condición relevante	Referencia principal
1	Balance hídrico IWA	¿Cuánto ANC presenta el sistema y cómo se distribuye? Requiere límites y períodos definidos, fuentes identificadas y estimaciones documentadas.	IWA; AWWA M36; Thornton et al. (2008).
2	Evaluación de calidad del dato y DVS	¿Qué fuentes limitan la confiabilidad del balance y qué debe mejorarse? La valoración de datos se interpreta separadamente del nivel de madurez.	AWWA M36 y documentación FWAS v6.0.
3	Política de macromedición	¿Los flujos relevantes se conocen con respaldo suficiente? Se revisan cobertura, instalación, acceso para contrastación, resultados y medidas correctivas.	AWWA M36; Thornton et al. (2008).
4	Auditoría de micromedición y registros de consumos autorizados no facturados	¿Qué errores de medición o registro afectan el balance? Se requieren grupos y procedimientos de revisión definidos, manteniendo diferenciadas las categorías del ANC.	AWWA M36; Farley et al. (2008).
5	ANC e indicadores normalizados de pérdidas reales, como TIRL	¿Cómo expresar la magnitud del problema e interpretar su evolución? TIRL requiere pérdidas reales y denominadores compatibles; no se calcula sustituyéndolas por ANC total.	IWA; AWWA M36; Hamilton y McKenzie (2014).
6	BABE	¿Qué componentes y duraciones explican las pérdidas reales? Requiere antecedentes suficientes para sustentar las estimaciones y diferenciar sus componentes.	Thornton et al. (2008); Hamilton y McKenzie (2014).
7	UARL e ILI	¿Cómo se relacionan las pérdidas reales con la referencia UARL? Deben comprobarse datos, unidades, período y condiciones de aplicación.	Lambert et al.; AWWA M36; Thornton et al. (2008).
8	FAVAD y relación presión–fuga	¿Qué respuesta del caudal de fuga puede esperarse ante un cambio de presión? Requiere presiones representativas y un exponente justificado o un análisis de sensibilidad.	May (1994); Thornton et al. (2008); Hamilton y McKenzie (2014).
9	Nivel económico de pérdidas — ELL	¿Qué intensidad de intervención resulta conveniente? Requiere costos y beneficios compatibles, recuperación sustentada y supuestos explícitos.	Literatura de ELL revisada en el Capítulo 6.
10	Sectorización — DMA	¿Cómo localizar el diagnóstico y comprobar intervenciones? Requiere verificar límites, flujos, configuración, almacenamiento y cobertura.	IWA Water Loss Specialist Group (2024).
11	Caudal mínimo nocturno — CMN	¿Qué información aporta el comportamiento nocturno sobre las pérdidas de una unidad? Requiere delimitarla, considerar consumos y almacenamiento y evaluar la presión y representatividad temporal.	IWA; Hamilton y McKenzie (2014).
12	Step testing y subzonificación	¿Cómo reducir el área de búsqueda mediante maniobras y cambios de caudal? Exige conocimiento de la configuración y una ejecución compatible con el servicio y la condición de la red.	Hamilton y McKenzie (2014); IWA.
13	Control activo de fugas — CAF	¿Dónde buscar y cómo confirmar fugas sin depender exclusivamente de reportes? La técnica se selecciona según red, acceso, presión, material y antecedentes disponibles.	Thornton et al. (2008); Hamilton y McKenzie (2014); ANEXO J.
14	Gestión activa de presiones — GAP	¿Dónde y cómo adecuar la presión para reducir pérdidas conservando el servicio? La intervención necesita seguimiento y una evaluación del efecto atribuible.	Thornton et al. (2008); Hamilton y McKenzie (2014); ANEXO I.
15	Proceso de dos fases y cuatro pilares técnicos	¿Cómo relacionar diagnóstico y selección de intervenciones? Organiza presión, detección, reparación y activos, manteniendo los requisitos de cada acción.	Liemberger y Farley (2004).

N.º	Método o herramienta	Pregunta de gestión y condición relevante	Referencia principal
16	PMPI	¿Cómo relacionar equipo, indicadores, metas, acciones, evaluación y actualización? Comprende cinco fases y diecinueve pasos de gestión.	AbuEltayef, Alastal y AbuAlhin (2025).
17	NRWPI — Non-Revenue Water Performance Indicators	¿Qué componentes requieren atención y cómo construir un perfil de desempeño? Deben conservarse definiciones, cobertura, datos y condiciones de comparación.	AbuEltayef, AbuAlhin y Alastal (2025).
18	Cuadro de mando integral — BSC	¿Cómo vincular el ANC con objetivos, recursos, procesos y resultados de la organización? Sus indicadores deben tener responsables y una utilización verificable.	Kaplan y Norton; Hamilton y McKenzie (2014).
19	Antecedentes sectoriales, regulatorios y de benchmarking	¿Qué exigencias y referencias contextualizan la decisión? Deben identificarse ámbito, período, definiciones y comparabilidad de las fuentes.	Documentos nacionales y regionales revisados en los capítulos 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia.

La integración comparativa permitió organizar las capacidades identificadas en cuatro ejes y veinte dimensiones. Las matrices resultantes muestran que la progresión comprende cambios complementarios: en el Eje A, aumenta el respaldo de la información y la capacidad para explicar los componentes del balance; en el Eje B, se profundiza el conocimiento físico e hidráulico del sistema y su utilización en el diagnóstico; en el Eje C, las intervenciones incorporan planificación, comprobación de resultados y ajuste de prioridades; y en el Eje D, se fortalecen las responsabilidades, la coordinación, la asignación de recursos y el aprendizaje organizacional.

La lectura conjunta muestra que las capacidades iniciales permanecen presentes en los niveles superiores, donde se utilizan con mayor continuidad, profundidad e integración. También permite distinguir capacidades cuyo desarrollo puede ser diferente dentro de un mismo sistema. Este resultado fundamenta la evaluación mediante cuatro índices por eje y el análisis de las diferencias entre dimensiones, evitando que un promedio general oculte brechas relevantes.

La consulta debe comenzar por la pregunta de gestión. Posteriormente se comprueba si los datos y capacidades disponibles permiten aplicar el instrumento con el alcance requerido. Cuando existen brechas, el Catálogo permite reconocer qué levantamientos, verificaciones o capacidades deben desarrollarse previamente.

7.2 HOJA DE RUTA PARA LA GESTIÓN DEL ANC

La Hoja de Ruta integra los resultados del análisis en un proceso de evaluación, priorización y seguimiento. Su punto de partida es la condición del sistema: qué capacidades utiliza, qué resultados puede comprobar y qué brechas limitan sus decisiones.

Se estructura mediante cinco niveles —Arranque, Medición, Control, Optimización e Innovación— y cuatro ejes permanentes:

- **A:** cuantificación, información y calidad del dato.

- **B:** infraestructura de medición y diagnóstico de red.
- **C:** intervención y control de pérdidas.
- **D:** capacidad organizacional e integración de la gestión.

La evaluación produce un perfil por eje y una posición global. A partir de ese diagnóstico se establecen objetivos, se seleccionan acciones y se comprueba posteriormente el desarrollo alcanzado.

- **Lógica de la Espiral**

La Espiral representa dos procesos relacionados. El movimiento cíclico corresponde a la gestión que se ejecuta dentro de cada nivel. El movimiento ascendente corresponde al desarrollo de capacidades que permite consolidar el paso hacia niveles superiores.



Figura 5: Espiral de Madurez para la gestión del ANC.

Fuente: Elaboración propia.

Cada vuelta representa un ciclo de gestión. Un sistema puede desarrollar varios ciclos dentro de un mismo nivel mientras mantiene sus capacidades y fortalece las brechas pendientes. El transcurso del tiempo o la ejecución de una vuelta no producen automáticamente un ascenso.

La representación tridimensional permite diferenciar ambos movimientos: el plano horizontal contiene el ciclo de gestión y el eje vertical representa el desarrollo progresivo. La distancia vertical es conceptual y no expresa una duración fija de transición.

El recuadro de la Figura 5 sintetiza las funciones de diagnóstico, priorización, asignación de recursos, ejecución, evaluación y ajuste. La Figura 6 desarrolla esas funciones en siete etapas, distinguiendo la evaluación inicial del análisis de brechas e incorporando la asignación de recursos dentro de la planificación.

La progresión es acumulativa. En los niveles superiores continúan el balance, las verificaciones de datos, la búsqueda de fugas, la reparación y el control comercial. El desarrollo se expresa en la confiabilidad, integración y utilización de esas capacidades.

El Eje D facilita la continuidad de los procesos mediante responsabilidades, competencias, coordinación y recursos. Su función habilitante acompaña los requisitos técnicos de los demás ejes. La integración debe extenderse progresivamente hacia operación, mantenimiento, comercial, planificación, proyectos y decisiones de inversión.

- **Ciclo de gestión**

La Hoja de Ruta incorpora un ciclo periódico inspirado en la lógica de planificación, implementación, seguimiento y retroalimentación del PMPI. Las siete etapas corresponden a la adaptación desarrollada para el marco propuesto.



Figura 6: Ciclo de gestión del ANC.

Fuente: Elaboración propia.

Evaluar la situación actual. Se actualizan los indicadores disponibles y las evidencias de las veinte dimensiones. La evaluación identifica su alcance y permite comparar la condición con períodos anteriores.

Analizar las brechas. Se revisan los IDE, rangos y dimensiones para reconocer capacidades desarrolladas, aspectos por fortalecer y rezagos. Las diferencias se investigan antes de seleccionar soluciones.

Priorizar. Se eligen las brechas que requieren atención considerando riesgo, magnitud, dependencias, efecto esperado y capacidad de ejecución. Se identifica qué puede abordarse de inmediato y qué necesita acciones previas.

Planificar. Las prioridades se convierten en objetivos con responsables, recursos, plazos e indicadores o evidencias de logro. Se diferencian trabajo continuo y trabajo de avance y se seleccionan instrumentos mediante el Catálogo cuando corresponda.

Intervenir. Se ejecutan las acciones previstas, que pueden abordar información, medición, diagnóstico, pérdidas u organización. Se mantienen registros de ejecución y de las condiciones necesarias para interpretar sus resultados.

Verificar los resultados. Se compara lo esperado con lo observado. La revisión distingue cumplimiento de actividades, desarrollo de capacidades y efecto sobre pérdidas, costos o servicio. También identifica restricciones y cambios de datos que afecten la interpretación.

Actualizar el diagnóstico. Los resultados se incorporan a las matrices y a los indicadores. Se revisan brechas, consistencia y condiciones de avance y se establecen las prioridades del nuevo ciclo.

Se propone un período anual como referencia para relacionar diagnóstico, objetivos, presupuesto y evaluación, acompañado de seguimiento operacional y revisiones intermedias. La atención de alertas, reparaciones o cambios de presión mantiene la frecuencia que requiere cada proceso, según su riesgo, variabilidad, disponibilidad de datos y capacidad de respuesta.

Las revisiones intermedias permiten contrastar registros, investigar desviaciones y ajustar las acciones. Al cierre del ciclo se actualizan el balance y la calidad del dato, se comparan los resultados con los objetivos y se revisan las matrices, los recursos y las prioridades del período siguiente. Estas frecuencias se adaptan a cada sistema y no constituyen requisitos universales para asignar un nivel de desarrollo.

Completar un ciclo puede mejorar dimensiones y reducir brechas sin producir un cambio de nivel. El ascenso se reconoce cuando se cumplen las condiciones de consolidación de los cuatro ejes.

- **Trabajo y avance por nivel**

El ciclo comprende dos líneas simultáneas:

- **Trabajo continuo:** mantener, controlar y mejorar las capacidades disponibles y ejecutar las acciones necesarias para gestionar el ANC.
- **Trabajo de avance:** desarrollar capacidades que permitan resolver brechas y aumentar la profundidad del diagnóstico y de las decisiones.

Esta distinción permite continuar con la búsqueda de fugas, las reparaciones, el control comercial y las demás actividades pertinentes mientras se fortalece la información, la infraestructura o la organización.

Los niveles presentan prioridades dominantes de desarrollo. Las actividades previas se mantienen y los indicadores se seleccionan según la pregunta de gestión y la disponibilidad de datos.

- **Niveles de desarrollo**

Los escenarios describen cómo se articulan las capacidades de los cuatro ejes. Permiten interpretar la evaluación y orientar el desarrollo, considerando que un sistema puede presentar capacidades de distintos niveles simultáneamente.

La Tabla 42 relaciona estos perfiles con la regla de posición global. Las condiciones de consolidación se revisan adicionalmente mediante el rango interno de cada eje.

Los escenarios no establecen que todos los sistemas deban incorporar idénticos equipos, porcentajes de cobertura o métodos. Las alternativas se seleccionan según las brechas y condiciones de aplicación identificadas.

El desempeño físico del ANC se analiza mediante sus indicadores específicos. El nivel del marco representa capacidad de gestión; debe interpretarse junto con la evolución de pérdidas, consumo, servicio y condiciones del sistema.

Tabla 42: Perfiles de desarrollo.

Nivel	Perfil observable del sistema y su gestión	Referencia	Prioridad de desarrollo
N1	La cuantificación utiliza fuentes parciales o estimaciones cuya confiabilidad se conoce de manera limitada. Existen incertidumbres sobre flujos, configuración o causas de las pérdidas. Se atienden fugas y anomalías evidentes y pueden realizarse búsquedas propias, pero el registro y seguimiento son incompletos. Las funciones dependen principalmente de prácticas individuales.	Al menos un eje presenta un IDE inferior a 2.	Construir una línea base trazable, reconocer los límites del sistema, verificar fuentes críticas y establecer responsabilidades y registros básicos.
N2	El balance identifica fuentes, métodos y estimaciones. Se verifican flujos y condiciones de instalación, se actualiza el catastro y se desarrollan campañas o pilotos delimitados. Las primeras intervenciones tienen registros y resultados identificables. Existe un responsable y una programación inicial, aunque todavía hay brechas de cobertura y continuidad.	Los cuatro IDE son iguales o superiores a 2 y al menos uno es inferior a 3.	Convertir mediciones y pilotos en procesos regulares de diagnóstico, intervención y comprobación.
N3	El balance y sus verificaciones forman parte de rutinas. Las unidades habilitadas y el monitoreo se utilizan para investigar desviaciones y orientar intervenciones. Existe una representación hidráulica construida y contrastada inicialmente con antecedentes de terreno. La búsqueda de fugas, reparación, gestión comercial y acciones de presión pertinentes tienen seguimiento. Se conocen cobertura y restricciones.	Los cuatro IDE son iguales o superiores a 3 y al menos uno es inferior a 4.	Integrar fuentes y resultados para comparar alternativas, investigar causas y mejorar la asignación de recursos.
N4	Las decisiones comparan desempeño, costos, beneficios y riesgo. El contraste entre terreno, catastro y modelo mejora el diagnóstico. Se ajustan estrategias de presión, búsqueda, reparación, control comercial y activos mediante resultados observados. La planificación incorpora estas comparaciones y revisa los beneficios esperados.	Los cuatro IDE son iguales o superiores a 4 y al menos uno es inferior a 5.	Desarrollar anticipación y adaptación sobre capacidades consolidadas, comprobando la utilidad de nuevas herramientas y análisis.
N5	La información actualizada permite reconocer cambios tempranos y evaluar escenarios. Las alertas y proyecciones se contrastan con resultados reales y orientan respuestas. La organización revisa modelos, procesos y prioridades mediante evidencia y mantiene continuidad de las capacidades y del conocimiento.	Los cuatro IDE son iguales a 5.	Sostener las capacidades, mejorar la anticipación y adaptar la gestión mediante innovación evaluada y aprendizaje institucional.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 43 relaciona propósito, trabajo continuo, trabajo de avance y evidencia. Los indicadores foco orientan el seguimiento y conservan sus condiciones de aplicación.

Tabla 43: Trabajo y avance por nivel.

Nivel	Propósito dominante	Trabajo continuo	Trabajo de avance	Indicadores foco	Evidencia relevante
N1	Estructurar el problema y establecer una línea base trazable.	Mantener registros disponibles, atender fugas y anomalías y documentar intervenciones y condiciones conocidas.	Identificar fuentes, límites y flujos desconocidos; definir responsables y mejorar registros y medición crítica.	ANC en volumen y porcentaje cuando sea calculable; cobertura de registros; proporción medida o estimada y brechas de las fuentes.	Balance inicial con supuestos; inventario de fuentes y flujos; responsables y acciones básicas documentados.
N2	Aumentar el conocimiento y la confiabilidad del diagnóstico.	Mantener el balance, campañas, pilotos, registros de reparación y verificaciones metrológicas y comerciales.	Convertir los antecedentes en rutinas; verificar unidades de análisis, mejorar componentes y construir la integración del diagnóstico.	Calidad del dato; flujos y presiones; cobertura de medición; CMN e indicadores normalizados donde existan datos suficientes.	Pilotos y verificaciones con alcance conocido; información utilizable; discrepancias investigadas y resultados de acciones iniciales.
N3	Utilizar regularmente el diagnóstico para intervenir y comprobar.	Ejecutar programas pertinentes de fugas, presión, reparación y control comercial; investigar desviaciones y mantener el diagnóstico.	Integrar fuentes, profundizar modelación y causas de recurrencia y comparar alternativas técnicas y económicas.	Componentes del ANC; TIRL e ILI cuando sean aplicables; caudal y presión; hallazgos confirmados, tiempos conocidos, recurrencias y resultados.	Intervenciones justificadas y verificadas; modelo construido y contrastado inicialmente; cobertura y restricciones del seguimiento identificadas.
N4	Mejorar decisiones mediante resultados, costos y riesgo.	Mantener diagnóstico integrado, contraste terreno–modelo y revisión de estrategias e inversiones.	Desarrollar anticipación y evaluar analítica o automatización según su aporte esperado.	Recuperación y costo de intervenciones; diferencias entre resultados previstos y observados; riesgo; ELL u otros criterios económicos aplicables.	Alternativas comparadas; modelo calibrado para sus usos; estrategias y recursos modificados mediante evidencia.
N5	Anticipar cambios y adaptar la gestión mediante resultados comprobados.	Mantener capacidades anteriores y verificar alertas, proyecciones, respuestas y funcionamiento de controles.	Mejorar modelos y procesos, evaluar innovaciones y transferir conocimiento.	Desviaciones respecto del comportamiento esperado; alertas confirmadas y pendientes; oportunidad de respuesta; error de proyección y beneficios observados.	Predicciones contrastadas; respuestas verificadas; decisiones de mantener, modificar o ampliar soluciones; continuidad del conocimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Las análisis se ajustan al desarrollo de las capacidades. En N1 se contrastan fuentes, límites y estimaciones; en N2 se revisan las discrepancias y los pilotos que pueden convertirse en rutinas; en N3 se investigan desviaciones, recurrencias y restricciones de cobertura; en N4 se comparan alternativas y se ajustan estrategias e inversiones; y en N5 se contrastan proyecciones con resultados y se evalúan la continuidad, adaptación y transferencia de conocimiento.

En los niveles iniciales, la búsqueda de fugas puede utilizar observación y equipos disponibles. Su desarrollo posterior incorpora mejor focalización y comprobación, según la información y las técnicas pertinentes. La cantidad de hallazgos debe interpretarse considerando las condiciones y la cobertura de búsqueda.

La incorporación de gestión de presiones o nuevas tecnologías también conserva una evaluación particular. El nivel se demuestra mediante su utilización y resultados, sin exigir una modalidad única de control o un porcentaje uniforme de instalación.

7.3 EVALUACIÓN

7.3.1 Evaluación de capacidades

La evaluación comienza delimitando el sistema, localidad o unidad operacional, el período y la cobertura de los antecedentes disponibles. Las capacidades corporativas se reconocen cuando su aplicación a esa unidad puede demostrarse. Asimismo, los pilotos y sectores instrumentados conservan su alcance identificado, evitando extender sus resultados a ámbitos que todavía no han sido verificados.

Las matrices presentadas en esta sección sintetizan las capacidades consideradas en los cuatro ejes de evaluación. Cada matriz organiza cinco dimensiones y describe su progresión entre los niveles Arranque, Medición, Control, Optimización e Innovación. Su presentación permite reconocer la estructura del instrumento y comparar las capacidades requeridas en cada nivel.

Las matrices de síntesis facilitan la lectura conjunta de los ejes, mientras que los descriptores detallados permiten examinar las condiciones que deben demostrarse mediante prácticas, registros y resultados de la unidad evaluada.

Cada matriz conserva cinco dimensiones en sus filas y los niveles N1–N5 en sus columnas. La selección del descriptor se respalda con registros, prácticas observadas y resultados correspondientes a la unidad evaluada.

Las capacidades corporativas se reconocen cuando su aplicación a esa unidad puede demostrarse. Los pilotos y sectores instrumentados mantienen su cobertura identificada para evitar extender sus resultados a ámbitos que todavía no han sido verificados.

- **Eje A: cuantificación, información y calidad del dato**

Este eje evalúa la capacidad de construir y explicar el balance, reconocer la confiabilidad de sus fuentes, distinguir componentes, utilizar indicadores y mantener procesos de validación.

La Tabla 44 diferencia la calidad de los datos de entrada, evaluada principalmente en A2, de la investigación y comprobación del diagnóstico, considerada en A5.

- **Eje B: infraestructura de medición y diagnóstico de red**

Este eje evalúa el conocimiento del sistema físico, la medición de sus flujos, las unidades hidráulicas, el seguimiento y la integración entre información de terreno y representación digital.

La Tabla 45 distingue la construcción y utilización inicial del modelo hidráulico en N3, su calibración para usos definidos en N4 y la incorporación de información actualizada y escenarios comprobados en N5.

- **Eje C: intervención y control de pérdidas**

Este eje evalúa la transformación del diagnóstico en intervenciones, su comprobación y el ajuste de prioridades. Incluye pérdidas reales y aparentes.

La Tabla 46 reconoce que la búsqueda activa puede comenzar con medios limitados y diferencia su desarrollo según programación, focalización, comprobación y aprendizaje.

- **Eje D: capacidad organizacional e integración de la gestión**

Este eje evalúa las condiciones que permiten mantener las capacidades técnicas, coordinar decisiones y conservar el conocimiento.

La Tabla 47 vincula la formalización con su aplicación efectiva. Una designación, procedimiento o capacitación debe relacionarse con el funcionamiento de la gestión.

Tabla 44: Matriz de evaluación del Eje A: cuantificación, y calidad del dato.

Dimensión	N1 — Arranque	N2 — Medición	N3 — Control ★	N4 — Optimización	N5 — Innovación
A1. Construcción y trazabilidad del balance hídrico	✗ VES estimado por método indirecto (horas bombeo, curva) ✗ Sin estructura IWA aplicada ✗ Sin trazabilidad por componente	✓ Estructura IWA aplicada (VES / CAF / ANC / PA / PR) ✓ Macromedidor en salida principal del estanque ✓ Fuente, período y método documentados por componente	✓ Todos los puntos de salida relevantes con macromedidor calibrado ✓ Reboses y consumos propios separados del VES de distribución ✓ Calendario de cierre con responsables identificados	✓ Conciliaciones entre etapas o unidades del sistema ✓ Diferencias investigadas con resultado documentado ✓ VES validado con contraste independiente periódico	✓ Actualización integrada con trazabilidad completa por fuente ✓ Desviaciones activan secuencia formal de investigación y corrección
A2. Calidad y confiabilidad de la información	✗ VES estimado (horas de bombeo, curva de bomba) O medidor en posición incorrecta (antes del estanque) ✗ Sin política de medición definida ✗ No se distinguen datos medidos de estimados	✓ Datos medidos y estimados diferenciados ✓ Inventario de fuentes e instrumentos disponible ✓ Frontera del sistema identificada con puntos de medición documentados	✓ Política de medición documentada (qué, dónde y cómo se mide el VES) ✓ Instrumentos críticos con calibración vigente ✓ DVS Tier III (51-70 pts): umbral habilitante para ILI y BABE	✓ Política de medición aplicada consistentemente ✓ Todos los componentes críticos medidos (no estimados) con historial de calibración ✓ DVS Tier IV (71-85 pts): datos medidos y calibrados | Error ILI <10%	✓ Política de medición integrada al sistema de gestión ✓ Detección automática de anomalías (vacíos, señales constantes, cambios de escala) ✓ DVS Tier V (≥86 pts): alta confiabilidad | NRWPI calculable
A3. Desagregación de los componentes del ANC (PR / PA / BABE / ILI)	✗ Solo ANC total conocido (producción − facturación) ✗ PA y PR sin separación formal ✗ ILI no calculado	✓ PA estimada con componentes identificados (subregistro, CNA, errores de datos) ✓ PR por diferencia (ANC − PA) ⚠ ILI no válido comparativamente sin DVS Tier III (≥51 pts)	✓ Ensayos de micromedidores por rango de consumo con supuestos explícitos ✓ CARL estimado con trazabilidad de fuentes ✓ ILI calculable cuando DVS ≥ Tier III (umbral habilitante para comparación)	✓ Tres componentes BABE diferenciados: fugas de fondo (BL), roturas reportadas (RB), roturas no reportadas (URB) ✓ Se verifica qué componente explica las variaciones del ANC ✓ Recambio y correcciones evaluados por resultado medido	✓ Registros metrológicos, comerciales y operacionales integrados ✓ Estimaciones de componentes actualizadas sistemáticamente
A4. Utilización e interpretación de indicadores (ANC%, TIRL, ILI, ELL)	✗ Solo ANC% o ANF% sin interpretación por rangos ✗ Sin indicadores normalizados por infraestructura Nota: ANC% no permite comparación directa entre sistemas de diferente tamaño	✓ ANC en m³ y % con período y frontera definidos ✓ Al menos un indicador adicional (TIRL u otro) con denominadores compatibles	✓ Indicadores de pérdidas reales (TIRL, ILI) usados con interpretación documentada ✓ Se documenta si el ILI es válido o solo referencial (según DVS disponible) ✓ Condiciones operacionales (presión operativa) incluidas en el análisis	✓ ELL estimado con costo marginal de intervención y beneficio del agua recuperada ✓ Alternativas comparadas mediante volumen recuperable, costos y riesgos ✓ Al menos un análisis de rentabilidad de intervención documentado	✓ Indicadores integrados en sistema de seguimiento con valores esperados ✓ ELL actualizado con cambios de condiciones ✓ Resultados contrastan con proyecciones previas
A5. Validación, contraste y actualización del balance	✗ Sin proceso de revisión formal ✗ Correcciones solo ante errores evidentes o solicitud regulatoria	✓ Al menos una revisión anual documentada ✓ Coherencia de fuentes verificada ✓ Contraste piloto donde existen unidades con límites conocidos	✓ Frecuencia de validación definida (trimestral o semestral) ✓ Parte del ciclo de gestión — no solo ante crisis ✓ Discrepancias investigadas con resultado y fecha registrados	✓ Contraste cruzado ≥2 fuentes como práctica habitual ✓ Análisis CMN en DMAs operativos (referencia: 1-3 l/propiedad/hora, 2-4 AM, descontando CNL) ✓ Retroalimentación terreno↔registros documentada	✓ Cambios detectados activan secuencia de investigación, comprobación y actualización ✓ Trazabilidad completa del balance por período y fuente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45: Matriz de evaluación del Eje B: infraestructura de medición

Dimensión	N1 — Arranque	N2 — Medición	N3 — Control ★	N4 — Optimización	N5 — Innovación
B1. Conocimiento físico y operacional de la red (catastro, GIS, válvulas)	✗ Sin catastro digital de la red ✗ Conocimiento dependiente de personas individuales, sin respaldo documental ✗ Trazados, diámetros o válvulas relevantes desconocidos	✓ Catastro digital básico con trazados, diámetros, materiales y válvulas principales ✓ Configuraciones verificadas en sectores prioritarios ⚠ Verificación en terreno ocasional, no sistemática	✓ Catastro representa conectividad y configuraciones operacionales ✓ Datos de longitud de red principal (Lm) y conexiones activas (Nc) con precisión suficiente para UARL ✓ Válvulas críticas verificadas en terreno	✓ Diferencias catastro-terreno identificadas, investigadas y resueltas ✓ Datos suficientes para diseñar DMAs (sin cruces no identificados) ✓ Actualización sistemática desde operaciones de terreno	✓ Catastro vinculado con registros operacionales y mediciones actualizadas ✓ Cambios de configuración incorporados oportunamente
B2. Macromedición y definición de límites de análisis	✗ VES estimado (horas de bombeo, curva de bomba) O macromedidor antes del estanque ✗ <75% del VES medido en puntos correctos del límite del sistema ✗ Sin programa de verificación de macromedidores	✓ 75-100% del VES en puntos correctos del límite del sistema ✓ Lectura manual del totalizador del medidor ✓ Inventario de puntos medidos, estimados y pendientes	✓ 100% del VES medido en los puntos correctos del límite del sistema ✓ Programa de calibración anual documentado ✓ <25% de medidores fuera de ±6% de exactitud	✓ 100% VES en puntos correctos + calibración anual ✓ <10% de medidores fuera de ±6% de exactitud ✓ Telemetría en tiempo real: transmisión automática del dato (sin lectura manual)	✓ Telemetría en tiempo real + SCADA con detección automática de anomalías ✓ Calibración semestral: <10% fuera de ±3% de exactitud ✓ Procedimientos revisados por tercero con conocimiento del método M36
B3. Sectorización hidráulica (DMAs) y conocimiento hidráulico sectorial	✗ Sin DMAs operativos ✗ Límites hidráulicos entre sectores con incertidumbre relevante ✗ Sin medición de CMN por sector	✓ Al menos una unidad piloto con límites comprobados ✓ Entradas, salidas y almacenamiento identificados ✓ Balance de la unidad piloto calculable	✓ Sectores habilitados con hermeticidad verificada documentada ✓ CMN medido como promedio de 1 hora, período mínimo 7 días de registro (mínima hora rodante) ✓ Consumo nocturno legítimo (CNL) descontado para obtener fuga neta	✓ Todos los DMAs en el rango recomendado: 500-3.000 conexiones ✓ Sectores con caudal Y presión monitoreados mediante telemetría en tiempo real ✓ Fronteras e instrumentación revisadas con resultados de intervenciones documentados	✓ Configuración sectorial analizada con escenarios de demanda, fallas y reconfiguración ✓ Sectores adaptados ante cambios del sistema
B4. Monitoreo de caudales y presiones	✗ Sin series continuas por sector ✗ Datos basados en lecturas puntuales o estimaciones Nota: normativa SISS exige manómetros en PCPs (piso regulatorio, equivale a Tier II)	✓ Campañas con dataloggers en puntos representativos ✓ Series que permiten caracterizar unidades y períodos ✓ Compatible con DVS Tier II (26-50 pts)	✓ Dataloggers de presión en DMAs con descarga periódica de datos ✓ Caudal de entrada a DMAs disponible desde memoria del medidor (descarga periódica) ✓ CMN medible en sectores habilitados durante períodos de seguimiento	✓ Telemetría en tiempo real para caudal Y presión en todos los DMAs ✓ Alertas configuradas con valores de referencia definidos ✓ Compatible con DVS Tier IV (71-85 pts): error ILI <10%	✓ SCADA con integración en tiempo real de sensores de presión y caudal ✓ Control remoto de VRPs desde nodo crítico ✓ Compatible con DVS Tier V (≥86 pts)
B5. Integración terreno-catastro/GIS-modelación-diagnóstico	✗ Sin modelo hidráulico ✗ Diagnóstico basado en experiencia individual sin soporte de simulación	✓ Diagnósticos de unidades concretas con catastro y terreno ✓ Hipótesis documentadas aunque sin simulación hidráulica	✓ Modelo hidráulico construido y ejecutable para el ámbito evaluado ✓ Resultados comparados con mediciones de terreno	✓ Modelo calibrado para usos previstos ✓ Usado para diseñar DMAs y simular VRPs antes de inversión ✓ Punto AZP ubicado en centroide hidráulico del sector (error en AZP mal ubicado: 15-40% en UARL e ILI)	✓ Datos operacionales actualizados incorporados al modelo ✓ Predicciones del modelo contrastadas periódicamente con resultados reales

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Matriz de evaluación del Eje C: Control de pérdidas.

Dimensión	N1 — Arranque	N2 — Medición	N3 — Control ★	N4 — Optimización	N5 — Innovación
C1. Detección activa de fugas	✗ Sin programa de detección activa ✗ Solo atención de reportes ciudadanos ✗ Registro de búsquedas incompleto	✓ Búsquedas documentadas en zonas priorizadas ✓ Registro de recorrido, técnica, condiciones, hallazgos y derivación a reparación	✓ Programa que vincula diagnóstico, búsqueda, confirmación, reparación y verificación ✓ Velocidades de intervención conocidas ✓ Campañas al menos anuales en sectores habilitados	✓ Correladores acústicos para localización a distancia ✓ Selección de técnica según material, diámetro y CMN del sector ✓ Zonas y frecuencia ajustadas por riesgo hidráulico y resultados previos	✓ Integración de monitoreo continuo con técnicas activas ✓ Detección de cambios tempranos respecto del comportamiento esperado
C2. Gestión de presiones (GAP)	✗ Sin gestión activa de presiones ✗ Presión atendida solo ante problemas de servicio	✓ Condiciones representativas y puntos críticos medidos ✓ Evaluación de alternativas con registro de criterios	✓ VRP instaladas en zonas prioritarias según diagnóstico ✓ Criterios de operación, responsables y seguimiento documentados ✓ Servicio verificado con presión ajustada	✓ Estrategias comparadas por demanda, pérdidas, energía, riesgo y costo ✓ Efecto cuantificado mediante FAVAD (N1≈0,5 tuberías rígidas; N1=1,5-2,5 plásticas)	✓ Control remoto de VRP desde nodo crítico via SCADA ✓ Presión nocturna reducida: referencia 15-20 m.c.a. sin vulnerar servicio en horas punta
C3. Reparación, seguimiento y control de recurrencias	✗ Antecedentes de reparación incompletos ✗ Sin seguimiento post-reparación ✗ Sin análisis de recurrencias	✓ Registro de ubicación, tipo de falla, fechas y material por evento ✓ Base de datos básica de fallas disponible	✓ Prioridades y objetivos de atención definidos por la empresa ✓ Verificación de la reparación con registro de seguimiento ✓ Tramos con recurrencia identificados	✓ Causas de fallas y recurrencias modifican procedimientos y materiales ✓ Análisis formal de patrones de deterioro ✓ Decisiones de renovación informadas por historial de fallas	✓ Historial de fallas sustenta evaluaciones anticipativas de deterioro ✓ Intervenciones consideran desempeño histórico del activo
C4. Gestión de pérdidas aparentes	✗ Sin programa de control metrológico ✗ Atención puntual sin criterios definidos	✓ Revisión de grupos de medidores y procesos comerciales ✓ Irregularidades registradas con proceso de seguimiento	✓ Muestras de ensayo justificadas (por tecnología, diámetro, antigüedad, perfil de consumo) ✓ Tres componentes PA gestionados: subregistro, CNA y errores de datos ✓ Errores cuantificados y correcciones documentadas	✓ Segmentos priorizados por condición metrológica, consumo y costo-efectividad ✓ Resultados verificados contra estimaciones previas	✓ Registros integrados de medición, lectura, facturación y verificación ✓ Anomalías identificadas tempranamente antes de que escalen
C5. Priorización, renovación y evaluación de resultados	✗ Decisiones reactivas sin criterios documentados ✗ Sin seguimiento de resultados de intervenciones	✓ Antecedentes básicos de condición, fallas y criticidad registrados ✓ Criterios parcialmente documentados	✓ Criterios técnicos explícitos: estado físico, edad, frecuencia de fallas, criticidad hidráulica ✓ Referencia previa establecida y resultado posterior verificado ✓ ELL estimado con costo de intervención y beneficio del agua recuperada	✓ Cartera compara riesgo, costos, vida útil y alternativas ✓ ELL como criterio explícito en decisiones de CAPEX ✓ Resultados previstos comparados con observados	✓ ELL actualizado ante cambios de condiciones ✓ Cartera revisada con escenarios anticipativos ✓ Plan de largo plazo integra evaluaciones económicas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Matriz de evaluación del Eje D: capacidad organización.

Dimensión	N1 — Arranque	N2 — Medición	N3 — Control ★	N4 — Optimización	N5 — Innovación
D1. Roles, responsabilidades y gobernanza	✗ Gestión dependiente de iniciativas individuales ✗ Sin responsable identificado con funciones claras	✓ Responsable identificado con funciones definidas y acceso a áreas necesarias ✓ Dirección informada y receptiva a reportes	✓ Responsabilidades formalizadas (información, diagnóstico, intervención, seguimiento) ✓ Mandato explícito de dirección con objetivos y revisiones periódicas	✓ Resultados del ANC informan decisiones de operación, mantenimiento, planificación e inversión ✓ Objetivos compartidos entre áreas	✓ Continuidad asegurada ante cambios de personas ✓ Mecanismos de transferencia y reemplazo formalizados
D2. Competencias, capacitación y transferencia de conocimiento	✗ Conocimiento tácito no documentado ✗ Dependencia crítica de personas individuales	✓ Competencias necesarias reconocidas y brechas identificadas ✓ Procedimientos básicos documentados ✓ Capacitaciones realizadas para procesos principales	✓ Competencias definidas por función ✓ Aplicación de procedimientos verificada ✓ Capacitaciones periódicas integradas al ciclo de gestión	✓ Brechas detectadas en resultados modifican formación y procedimientos ✓ Capacidades locales para métodos avanzados desarrolladas	✓ Continuidad institucional del conocimiento asegurada ✓ Nuevas técnicas incorporadas con prueba, evaluación y transferencia
D3. Coordinación entre áreas	✗ Coordinación ocasional y reactiva ✗ Sin responsables ni formatos de intercambio definidos	✓ Responsables, formatos y vías de intercambio definidos ✓ Discrepancias registradas con derivación a resolución	✓ Procesos habituales de investigación conjunta entre áreas ✓ Referencias comunes de ubicación, activo o cliente utilizadas ✓ Acciones acordadas con seguimiento	✓ Análisis conjunto modifica decisiones de operación, medición, comercial e inversión ✓ Resultados de coordinación verificados y documentados	✓ Coordinación proactiva que responde a señales anticipativas ✓ Mecanismos adaptados ante cambios del entorno
D4. Planificación, priorización y asignación de recursos	✗ Asignación reactiva ante urgencias ✗ Sin vínculo entre presupuesto y objetivos de ANC	✓ Programa inicial con prioridades, responsables, recursos e indicadores ✓ Resultados del período anterior considerados en la planificación	✓ Programa ejecutado y revisado con objetivos, indicadores y presupuesto ✓ Desviaciones analizadas con redefinición de prioridades	✓ Alternativas comparadas por riesgo, desempeño, costos y beneficios ✓ Horizontes de inversión de corto y largo plazo integrados ✓ Resultados y lecciones modifican procedimientos y criterios	✓ Escenarios y cambios anticipados incorporados en la asignación ✓ Proyecciones contrastadas con resultados reales
D5. Seguimiento, reportería, aprendizaje e integración	✗ Seguimiento centrado en reportes externos (regulador) ✗ Sin proceso interno sistemático de revisión	✓ Reportes internos con fuentes, períodos y brechas ✓ Acuerdos de revisión parcialmente cumplidos	✓ Revisiones relacionan diagnóstico, acciones y resultados ✓ Desviaciones investigadas y supuestos verificados ✓ Ajustes documentados en procedimientos	✓ Resultados y lecciones modifican procedimientos, planificación e inversiones ✓ Se verifica si los cambios produjeron el efecto esperado	✓ Seguimiento prospectivo: proyecciones contrastadas con resultados ✓ Criterios y métodos actualizados con aprendizaje acumulado

Fuente: Elaboración propia.

La integración comparativa permitió organizar las capacidades identificadas en cuatro ejes y veinte dimensiones. Las matrices resultantes muestran que la progresión comprende cambios complementarios: en el Eje A, aumenta el respaldo de la información y la capacidad para explicar los componentes del balance; en el Eje B, se profundiza el conocimiento físico e hidráulico del sistema y su utilización en el diagnóstico; en el Eje C, las intervenciones incorporan planificación, comprobación de resultados y ajuste de prioridades; y en el Eje D, se fortalecen las responsabilidades, la coordinación, la asignación de recursos y el aprendizaje organizacional.

La lectura conjunta muestra que las capacidades iniciales permanecen presentes en los niveles superiores, donde se utilizan con mayor continuidad, profundidad e integración. También permite distinguir capacidades cuyo desarrollo puede ser diferente dentro de un mismo sistema. Este resultado fundamenta la evaluación mediante cuatro índices por eje y el análisis de las diferencias entre dimensiones, evitando que un promedio general oculte brechas relevantes. Las matrices de esta sección sintetizan esta progresión, mientras que el 231presenta los descriptores completos que sustentan su evaluación.

7.3.2 Resultados de la evaluación

El resultado de cada eje se obtiene mediante el promedio de sus cinco puntuaciones, conservando la regla original del IDE. El nivel de referencia se determina sin redondear y se acompaña del mínimo, máximo, rango y desviación estándar poblacional.

La posición global corresponde al menor nivel de referencia entre los cuatro ejes. La consolidación del avance requiere que los cuatro IDE alcancen el valor del nivel siguiente y que cada eje presente un rango igual o inferior a 1, según lo establecido en la sección 6.6.3

La Tabla 48 sintetiza los resultados por eje del ejercicio Las puntuaciones ilustran el cálculo y la identificación de prioridades; no corresponden a la evaluación de una empresa específica.

Tabla 48: Resultado del ejercicio hipotético de evaluación por eje.

Eje	Puntuaciones de las cinco dimensiones	Promedio	Rango	Desviación estándar	Nivel de referencia
A	3 – 3 – 4 – 3 – 4	3,40	1	0,49	N3 — Control
B	2 – 3 – 2 – 2 – 1	2,00	2	0,63	N2 — Medición
C	3 – 3 – 3 – 3 – 3	3,00	0	0,00	N3 — Control
D	3 – 4 – 3 – 4 – 4	3,60	1	0,49	N3 — Control

Fuente: Elaboración propia.

Al cierre del primer ciclo, las puntuaciones de B son 2–3–3–2–2. Su IDE aumenta de 2,00 a 2,40, el rango disminuye de 2 a 1 y la desviación estándar poblacional disminuye de 0,63 a 0,49. Los demás ejes mantienen sus puntuaciones. Estos cambios representan un fortalecimiento de capacidades dentro de N2; sus efectos sobre las pérdidas deben comprobarse mediante los indicadores correspondientes.

La posición global del ejemplo corresponde a **N2 — Medición**, determinada por el Eje B. Este eje presenta además un rango de 2, que evidencia una diferencia interna relevante.

Los resultados orientan el trabajo de avance hacia el Eje B, mientras se mantienen las capacidades de A, C y D. Dentro del Eje B, la dimensión evaluada con 1 presenta el mayor rezago; las tres dimensiones puntuadas con 2 requieren fortalecimiento para alcanzar N3, mientras la dimensión puntuada con 3 requiere continuidad y seguimiento. Para consolidar el avance, el IDE del Eje B debe alcanzar al menos 3,00 y su rango disminuir a 1 o menos, comprobando que los demás ejes mantienen también estas condiciones. Las nuevas puntuaciones deben respaldarse en capacidades demostradas mediante la reevaluación.

La lectura por dimensiones identifica B5 como rezagada respecto del nivel global, mientras B1, B3 y B4 requieren fortalecimiento para el nivel objetivo. B2 ya alcanza una condición compatible con N3. Esta diferenciación permite orientar las acciones hacia integración del diagnóstico, conocimiento de la red, sectorización y seguimiento.

El ejercicio muestra la utilidad conjunta del promedio y de la lectura dimensional. Un resultado agregado identifica la posición; las dimensiones permiten determinar qué debe desarrollarse.

7.3.3 De las brechas a los objetivos de gestión

En el diagnóstico inicial de la Tabla 52, y considerando N3 como objetivo, B5 se clasifica en rojo; B1, B3 y B4, en amarillo; y B2, en verde. Al cierre del primer ciclo, B3 pasa a verde y B5 a amarillo, mientras B1 y B4 permanecen en amarillo. Las dimensiones de los demás ejes mantienen capacidades iguales o superiores al objetivo y continúan sujetas a seguimiento.

Los ejes pueden desarrollarse a ritmos diferentes. La evaluación debe conservar esa información para identificar qué capacidades limitan el avance y cuáles permiten continuar gestionando el ANC.

Cuando la posición global se encuentra entre N1 y N4, las dimensiones se comparan con el nivel objetivo siguiente, N+1. La Tabla 49 presenta el semáforo de capacidades y su tratamiento dentro del ciclo.

Tabla 49: Semáforo de capacidades.

Condición de la dimensión	Estado	Interpretación y tratamiento
Evaluación igual o superior a N+1.	**Verde**	La capacidad alcanza el descriptor requerido para el nivel objetivo. Se mantiene y verifica mediante trabajo continuo. Su condición no consolida por sí sola el avance del eje ni del sistema.
Evaluación igual a N.	**Amarillo**	La capacidad corresponde al nivel global actual y requiere fortalecimiento para contribuir al siguiente. Se incorpora al trabajo de avance.
Evaluación inferior a N.	**Rojo**	Existe un rezago respecto de la posición global. Deben investigarse sus causas y dependencias y establecerse acciones prioritarias de fortalecimiento.

Fuente: Elaboración propia.

En el ejercicio de la Tabla 48, B5 se clasifica en rojo; B1, B3 y B4, en amarillo; y B2, en verde respecto de N3. Las capacidades de los demás ejes se mantienen activas.

El semáforo representa brechas de capacidad. La atención de eventos operacionales conserva sus criterios de riesgo, servicio y urgencia, independientemente del color asignado a la dimensión.

La nivelación dirige el esfuerzo adicional hacia las capacidades rezagadas, manteniendo el funcionamiento de las demás. Cuando existen varias brechas, se consideran su distancia respecto del objetivo, su pertenencia a los ejes de menor desarrollo y las capacidades que habilitan. La Tabla 50 presenta situaciones que orientan esta priorización.

Tabla 50: Estrategias de nivelación.

Situación	Consecuencia para la gestión	Estrategia de nivelación
Eje D rezagado respecto de las capacidades técnicas.	La información o infraestructura disponible se utiliza de forma irregular; las acciones dependen de personas y los acuerdos pueden quedar sin ejecución.	Precisar responsabilidades, coordinación, competencias y seguimiento. Comprobar que los procesos permiten utilizar y mantener las capacidades instaladas.
Eje A rezagado respecto de la infraestructura y las intervenciones.	Los cambios del balance o de los indicadores pueden atribuirse a pérdidas sin investigar calidad, períodos, estimaciones o errores de medición.	Revisar fuentes críticas, trazabilidad y componentes. Programar verificaciones y corregir discrepancias antes de utilizar resultados inciertos como fundamento de decisiones.
Eje B rezagado respecto de	La empresa puede disponer de balances y planificación, pero carecer de resolución suficiente para localizar causas y	Priorizar levantamientos, verificación de límites y medición según las preguntas pendientes. Desarrollar unidades de diagnóstico y ampliar su

información y organización.	comprobar resultados territoriales.	cobertura mediante resultados comprobados.
Eje C rezagado respecto del diagnóstico disponible.	Se identifican anomalías o zonas prioritarias, pero los hallazgos no se convierten consistentemente en intervenciones y resultados verificados.	Vincular diagnóstico, órdenes de trabajo, recursos y comprobación. Revisar restricciones de búsqueda, reparación, presión, control comercial o activos según la causa identificada.
Rango interno de un eje superior a 1.	El promedio puede ocultar una capacidad rezagada y presentar una imagen más homogénea que la condición efectiva.	Identificar las dimensiones que generan la diferencia, investigar sus causas y programar su fortalecimiento. Recalcular el IDE y el rango después de comprobar las mejoras.

Fuente: Elaboración propia.

Cada brecha priorizada debe convertirse en un objetivo que indique la capacidad por desarrollar, las acciones previstas, el responsable, los recursos, el plazo de gestión y la evidencia de logro. El indicador debe corresponder al resultado buscado: instalar un equipo se comprueba mediante su habilitación; desarrollar monitoreo requiere además registros utilizables; mejorar el diagnóstico exige demostrar su aplicación en investigaciones o decisiones.

Por ejemplo, fortalecer la integración del diagnóstico requiere establecer cómo se relacionarán los antecedentes de terreno, el catastro, las mediciones y el modelo, y qué utilización permitirá comprobar la mejora.

El Catálogo apoya la selección de instrumentos una vez identificada la necesidad. Deben revisarse su finalidad, información requerida, condiciones de aplicación y limitaciones. Esta selección permite definir qué puede ejecutarse con las capacidades actuales y qué requiere una etapa previa.

En N5, el seguimiento se concentra en mantener las capacidades, verificar su desempeño y adaptarlas a cambios. No se establece un nivel superior dentro de la escala propuesta.

La secuencia de aplicación queda organizada como:

Evaluación de capacidades → determinación de la posición → identificación y priorización de brechas → definición de objetivos → selección de acciones e instrumentos → ejecución y comprobación → actualización de la evaluación.

7.3.4 Procedimiento de aplicación de la Hoja de Ruta

La aplicación requiere participación de las funciones que generan información, operan el sistema, ejecutan intervenciones y asignan recursos. La Tabla 51 organiza el procedimiento.

La repetición permite examinar la evolución del sistema bajo criterios consistentes. Las matrices representan el estado de las capacidades en un momento determinado y la Espiral organiza su desarrollo mediante ciclos sucesivos.

Las variaciones de evaluación deben poder explicarse. Un cambio puede responder a una capacidad desarrollada, a nueva evidencia, a una modificación del alcance o a la pérdida de continuidad de una práctica; estas situaciones deben conservarse en el registro.

Tabla 51: Procedimiento de aplicación de la Hoja de Ruta.

Paso	Aplicación
1. Delimitar la unidad de evaluación.	Definir sistema, localidad o unidad operacional, período y cobertura. Identificar cómo se aplican las capacidades corporativas.
2. Recopilar evidencia.	Reunir antecedentes para las veinte dimensiones y registrar las verificaciones pendientes.
3. Evaluar las dimensiones.	Seleccionar el descriptor que corresponde a la condición demostrada. Registrar justificación y evidencia y resolver diferencias de interpretación.
4. Calcular los resultados por eje.	Obtener IDE A, IDE B, IDE C e IDE D, además de mínimo, máximo, rango y desviación estándar poblacional.
5. Determinar la posición.	Asignar niveles de referencia sin redondear los IDE y obtener el nivel global. Registrar la consistencia interna y las brechas de consolidación.
6. Identificar fortalezas y brechas.	Aplicar el semáforo y revisar rezagos, dependencias y cobertura de las capacidades.
7. Construir los objetivos del ciclo.	Definir trabajo continuo y trabajo de avance, considerando prioridades operacionales y condiciones que habilitan otras capacidades.
8. Seleccionar acciones e instrumentos.	Consultar el Catálogo y definir requisitos, responsables, recursos, plazos, indicadores y evidencias de logro.
9. Ejecutar, comprobar y reevaluar.	Desarrollar las acciones, investigar desviaciones, verificar resultados y actualizar las matrices y prioridades.

Fuente: Elaboración propia.

7.4 COHERENCIA, APLICABILIDAD Y LIMITACIONES

Coherencia y aplicabilidad

La coherencia se examinó relacionando los componentes del marco con las funciones y condiciones presentes en los métodos revisados. La Tabla 52 presenta esa correspondencia y su utilización frente a sistemas con capacidades diferentes.

Tabla 52: Correspondencia entre los componentes del marco.

Componente propuesto	Sustento metodológico principal	Aplicación en el marco
Cuantificación y calidad de la información	Balance IWA, auditoría AWWA y evaluación de calidad del dato.	Reconocer cómo se obtiene el ANC, qué fuentes lo limitan y qué resultados pueden interpretarse con respaldo.
Medición y diagnóstico de red	Macromedición, DMA, caudales nocturnos, presión y representación hidráulica.	Aumentar la resolución del diagnóstico según límites, cobertura y confiabilidad de la información.
Intervención y control	Cuatro pilares, CAF, GAP, control metrológico y comercial y criterios económicos.	Relacionar causas y capacidades con acciones pertinentes y resultados verificables.
Capacidad organizacional	NRW-CMI, WUM, Turnaround Framework y BSC.	Incorporar responsabilidades, competencias, coordinación, recursos y continuidad de la gestión.
Gestión cíclica	Planificación, implementación, evaluación y actualización del PMPI.	Organizar objetivos, acciones y comprobación dentro de ciclos periódicos.
Desarrollo progresivo	Síntesis de capacidades y condiciones identificadas durante la comparación.	Diferenciar cinco estados de desarrollo mediante cuatro ejes y veinte dimensiones, manteniendo requisitos particulares de los instrumentos.

Fuente: Elaboración propia.

El aporte del marco consiste en relacionar instrumentos que responden a preguntas diferentes dentro de una estructura común de decisión. La evaluación identifica capacidades por fortalecer y el Catálogo facilita la selección de medios para abordarlas.

Su aplicabilidad conceptual al contexto sanitario chileno se relaciona con la heterogeneidad de los sistemas. Un mismo objetivo de reducción puede requerir fortalecer primero medición, diagnóstico, intervención o coordinación, según las condiciones observadas.

La separación entre trabajo continuo y trabajo de avance permite mantener la gestión de pérdidas mientras se desarrollan capacidades adicionales. Esto resulta pertinente cuando coexisten necesidades operacionales inmediatas y brechas de información o infraestructura.

El ejemplo hipotético demuestra el funcionamiento de las reglas y su traducción en prioridades. La correspondencia metodológica y la demostración no constituyen una validación empírica del desempeño del marco en empresas reales.

Alcances y limitaciones

La propuesta permite evaluar capacidades, reconocer brechas y orientar decisiones. Los plazos, presupuestos, equipos, metas y secuencias operacionales deben definirse para cada unidad y organización.

El desarrollo técnico profundiza principalmente en pérdidas reales. Las pérdidas aparentes y los consumos autorizados no facturados se incorporan mediante balance, metrología, registros y control comercial, conservando su diferenciación. Una aplicación especializada en gestión comercial puede requerir herramientas adicionales.

Los niveles, intervalos del indicador y criterios de consolidación son reglas adoptadas en esta investigación. Deben distinguirse de exigencias regulatorias y de umbrales universales de desempeño. La disponibilidad de una tecnología o un porcentaje de cobertura aporta evidencia dentro de su alcance, pero no determina por sí solo la madurez.

La selección de descriptores requiere juicio técnico y evidencia. La participación de distintas funciones, el registro de justificaciones y la conservación del alcance ayudan a reducir diferencias de interpretación, aunque su consistencia debe examinarse mediante aplicaciones posteriores.

Las aplicaciones futuras permitirán revisar la claridad de los descriptores, la disponibilidad de evidencias, la sensibilidad del IDE y de su regla de avance y la utilidad de las prioridades generadas. También permitirán comprobar cómo se adapta el instrumento a unidades con diferentes tamaños, configuraciones y capacidades.

La actualización de referencias y tecnologías forma parte de su utilización. Las nuevas soluciones deben evaluarse mediante sus requisitos, cobertura, resultados y condiciones de validación, manteniendo la estructura de capacidades como criterio para orientar su incorporación.

8 CONCLUSIONES

El objetivo general de esta investigación fue proponer un marco estructurado para la gestión del Agua No Contabilizada en empresas sanitarias, mediante la integración comparativa de metodologías y herramientas nacionales e internacionales, con el fin de orientar progresivamente la toma de decisiones según el nivel de desarrollo técnico, de información y organizacional de cada sistema.

La revisión documental, la aplicación de criterios comunes de análisis y la integración de los resultados parciales permitieron desarrollar dos productos complementarios: un Catálogo de métodos y herramientas, destinado a apoyar necesidades específicas de gestión, y una Hoja de Ruta basada en una Espiral de Madurez, orientada a evaluar capacidades, identificar brechas y establecer prioridades de trabajo y desarrollo. A partir de los resultados obtenidos se establecen las siguientes conclusiones:

1. La principal dificultad identificada para la gestión del ANC no corresponde a la ausencia de métodos, sino a su fragmentación y a las diferentes condiciones requeridas para utilizarlos. La literatura dispone de herramientas consolidadas para cuantificar pérdidas, evaluar la confiabilidad de la información, analizar indicadores, diagnosticar la red, intervenir sobre pérdidas reales y aparentes, evaluar alternativas económicas y fortalecer capacidades organizacionales. Sin embargo, estos instrumentos responden a preguntas distintas y no constituyen alternativas equivalentes ni una secuencia obligatoria. El análisis realizado permitió reconocerlos como componentes complementarios de un proceso de gestión más amplio, confirmando que no existe una solución técnica única aplicable de igual forma a todos los sistemas (Thornton et al., 2008; Hamilton & McKenzie, 2014).

2. La aplicabilidad y profundidad de un método dependen de las capacidades disponibles para utilizarlo. Una herramienta técnicamente adecuada puede entregar resultados de escasa utilidad cuando sus datos de entrada no son suficientemente confiables, cuando la red no se encuentra adecuadamente caracterizada o cuando la organización carece de procesos para interpretar y utilizar sus resultados. Esto implica que la selección de una herramienta no debería comenzar por la tecnología disponible, sino por la necesidad que se busca resolver, la información existente y la capacidad efectiva de la organización para transformar el resultado en una decisión. Esta conclusión explica además por qué un mismo método puede permanecer vigente durante diferentes estados de desarrollo, aunque cambie la profundidad con que se utiliza.

3. La calidad y trazabilidad de la información constituyen capacidades habilitantes para la gestión, pero no son suficientes por sí solas. El Balance Hídrico IWA y el proceso de auditoría promovido por AWWA muestran que la confiabilidad de

los resultados depende de conocer las fuentes, criterios de estimación y calidad de los datos utilizados (AWWA, 2009, 2020a, 2020b). Sin embargo, disponer de mayor cantidad de datos o de mejores sistemas de medición no garantiza una mejor gestión si esta información no puede relacionarse con el conocimiento físico y operacional de la red, el diagnóstico y las decisiones posteriores. Por esta razón, el marco propuesto evalúa de manera separada pero integrada la información, la infraestructura de diagnóstico, la capacidad de intervención y la organización.

4. Los indicadores de desempeño son complementarios y su utilidad depende de la pregunta de gestión y de la confiabilidad de los antecedentes disponibles. El ANC% permite representar de manera simple la magnitud global del problema, pero presenta limitaciones para explicar su composición y causas. Indicadores como las pérdidas reales normalizadas, el ILI, el caudal mínimo nocturno u otros criterios técnicos y económicos pueden aportar mayor profundidad cuando existen las condiciones necesarias para su cálculo e interpretación (Lambert et al., 1999; AWWA, 2009). Por tanto, el desarrollo de la gestión no debería interpretarse como una sustitución lineal de indicadores, sino como la incorporación progresiva de nuevas métricas que complementan las anteriores y permiten responder preguntas de mayor profundidad.

5. La integración de los métodos mostró que el desarrollo de la gestión del ANC presenta un carácter progresivo y acumulativo. Las capacidades adquiridas en estados iniciales continúan siendo necesarias en estados posteriores. Un sistema que avanza hacia una gestión optimizada sigue requiriendo balances, validación de datos, monitoreo, detección de fugas, gestión de presiones, reparación y seguimiento; la diferencia se encuentra en la mayor confiabilidad de los antecedentes, la resolución del análisis y la integración de los resultados en la toma de decisiones. Esta conclusión sustenta la representación mediante una Espiral y evita interpretar los niveles como etapas que deben ser abandonadas una vez superadas.

6. La estructura de cinco niveles permite representar capacidades progresivas y acumulativas para la gestión del ANC. El Water Utility Maturity Model, aunque aborda el desarrollo general de las empresas sanitarias, constituyó un referente conceptual relevante para definir la estructura final y la denominación de la propuesta como una Espiral de Madurez (Kayaga et al., 2013). Su aporte permitió relacionar el fortalecimiento de capacidades con una trayectoria de desarrollo organizacional. A partir de este referente y del análisis comparativo de los métodos revisados, la investigación desarrolló una estructura específica para el ANC, organizada en cuatro ejes y veinte dimensiones. Los niveles Arranque, Medición, Control, Optimización e Innovación expresan diferencias en la profundidad, continuidad e integración de las capacidades.

7. Las matrices y el cuestionario complementario vinculan la evaluación de capacidades con los antecedentes que la sustentan. Las preguntas orientan la recopilación y revisión de evidencias, mientras que los descriptores permiten fundamentar la asignación de un único nivel por dimensión. Esta relación hace explícitas las razones de cada puntuación y las condiciones pendientes para avanzar, manteniendo el cálculo del IDE a partir de las cinco dimensiones de cada eje. El resultado debe interpretarse como un diagnóstico de capacidades de gestión, cuya relación con la evolución efectiva de las pérdidas requiere seguimiento.

8. La diferenciación entre trabajo continuo y trabajo de avance permite compatibilizar la reducción cotidiana del ANC con el desarrollo de nuevas capacidades. Una organización no debería suspender las actividades ya consolidadas para concentrarse únicamente en alcanzar un nivel superior. La medición, diagnóstico, control activo de fugas, reparación, gestión de presiones, seguimiento de pérdidas aparentes y otras acciones pertinentes deben continuar mientras se desarrollan las capacidades que actualmente limitan el sistema. Esta distinción constituye una de las características prácticas de la Hoja de Ruta, ya que evita transformar la Espiral en una secuencia de proyectos aislados y reconoce que la gestión del ANC corresponde a una función permanente de la organización.

9. La capacidad organizacional es una condición habilitante transversal para sostener las mejoras técnicas. Los modelos NRW-CMI, WUM y Water Utility Turnaround Framework coinciden en incorporar elementos asociados a liderazgo, competencias, procesos, coordinación, planificación y capacidad institucional como componentes relevantes del desempeño (Konatar & Schiller, s. f.; Kayaga et al., 2013; Soppe et al., 2018). A partir de esta convergencia, el marco incorpora el Eje D como una dimensión permanente de evaluación. Su desarrollo no reemplaza los requerimientos técnicos de información, diagnóstico o intervención, pero puede facilitar o limitar la velocidad y sostenibilidad con que estos se desarrollan. En consecuencia, incorporar tecnología sin desarrollar simultáneamente competencias, procesos, responsabilidades y mecanismos de aprendizaje puede generar capacidades subutilizadas.

10. El Catálogo y la Hoja de Ruta responden a dos escalas complementarias de toma de decisiones. El Catálogo permite identificar métodos o herramientas frente a una necesidad específica de cuantificación, diagnóstico, intervención o evaluación. La Espiral responde a una pregunta diferente: permite reconocer la condición general del sistema, identificar fortalezas y brechas y determinar qué capacidades requieren mayor atención. De este modo, la Hoja de Ruta contribuye a determinar qué necesita fortalecerse, mientras que el Catálogo permite posteriormente consultar qué instrumentos pueden contribuir a resolver la necesidad identificada. La separación entre ambas funciones evita

transformar los métodos en requisitos rígidos de un nivel y conserva la flexibilidad necesaria para adaptar las decisiones a las características de cada sistema.

11. La gestión del ANC requiere un proceso periódico de diagnóstico, decisión, intervención y retroalimentación. La propuesta incorpora un ciclo mediante el cual la organización evalúa su situación, analiza las brechas, prioriza necesidades, planifica, interviene, verifica los resultados y actualiza nuevamente el diagnóstico. Esta lógica es consistente con enfoques de gestión basados en indicadores y retroalimentación, como el PMPI desarrollado por AbuEltayef et al. (2025). La ejecución de un ciclo no implica necesariamente avanzar de nivel. Una organización puede completar sucesivos ciclos dentro de una misma posición mientras fortalece capacidades, disminuye brechas y mejora la consistencia interna. Así, la Espiral permite representar simultáneamente la mejora continua de corto plazo y el desarrollo progresivo de capacidades de mediano y largo plazo.

12. Los contenidos desarrollados durante el Magíster en Gestión del Agua contribuyeron a ampliar la comprensión del ANC desde un problema predominantemente técnico hacia un problema multidimensional de gestión. El análisis de los catorce módulos mostró aportes complementarios: Gestión de Redes, Eficiencia Hídrica y Evaluación de Recursos proporcionaron fundamentos técnicos y herramientas de diagnóstico; Gestión y Planificación de Recursos Hídricos, Gobernanza y Economía del Agua y Planificación Estratégica incorporaron criterios de sostenibilidad, priorización y toma de decisiones; Riesgos y Sistemas de Gestión reforzaron la necesidad de evaluar capacidades y procesos; Finanzas y Gestión de Clientes permitieron incorporar las dimensiones económica, comercial y de servicio; mientras que Innovación y los módulos de visión sistémica aportaron criterios para integrar nuevas tecnologías sin desvincularlas de la capacidad organizacional. Este aprendizaje contribuyó directamente a que la propuesta final no se limitara al control de fugas, sino que integrara información, infraestructura, intervención, personas y toma de decisiones. El detalle de esta relación se presenta en la sección 4.1.2 de la investigación.

13. El marco presenta condiciones conceptuales de aplicabilidad al sector sanitario chileno, pero su validación empírica queda fuera del alcance de esta investigación. La diversidad existente entre sistemas en términos de medición, sectorización, información, infraestructura y capacidades organizacionales hace pertinente disponer de una herramienta adaptable y no sustentada en requisitos tecnológicos universales. Sin embargo, el estudio no realizó una aplicación integral mediante levantamiento de información primaria en una empresa específica. Por tanto, no corresponde asignar niveles de madurez al sector sanitario chileno a partir de esta investigación ni afirmar que la estructura propuesta ha sido validada empíricamente.

14. La principal contribución de esta investigación es metodológica y consiste en transformar un conjunto amplio y fragmentado de conocimientos en una estructura utilizable para apoyar decisiones. La propuesta no desarrolla una nueva técnica para detectar fugas ni pretende sustituir los métodos existentes. Su aporte consiste en relacionar dichos métodos, reconocer las capacidades necesarias para utilizarlos, diferenciar necesidades específicas de brechas estructurales y proporcionar una lógica para orientar el trabajo continuo y el desarrollo progresivo. En este sentido, el marco propuesto debe entenderse como una herramienta de orientación y no como un estándar regulatorio, una metodología universal de implementación o un sistema de metas rígidas.

En síntesis, la gestión del Agua No Contabilizada no puede entenderse únicamente como un problema asociado a las pérdidas físicas de la infraestructura. Su reducción sostenida requiere que la organización sea capaz de conocer y validar su información, comprender el funcionamiento de la red, ejecutar y evaluar intervenciones, coordinar a las áreas involucradas y aprender de los resultados obtenidos. La tecnología constituye un medio para desarrollar estas capacidades y no un indicador de madurez por sí misma.

La Espiral de Madurez busca representar precisamente esta condición: avanzar no significa abandonar las capacidades adquiridas, sino utilizarlas con mayor profundidad, confiabilidad e integración, manteniendo simultáneamente el trabajo necesario para controlar el ANC y el desarrollo de las capacidades requeridas para afrontar decisiones de mayor complejidad.

9 RECOMENDACIONES

A partir de la revisión realizada, se recomienda abordar la gestión del Agua No Contabilizada como un proceso integral y sostenido. Los métodos y herramientas analizados no constituyen una solución única ni deben interpretarse como una secuencia rígida. Su utilidad depende de las condiciones de cada sistema, de las brechas existentes y de la capacidad de la organización para incorporarlos efectivamente en su gestión.

- **RECOMENDACIONES PROFESIONALES**

Desde la perspectiva profesional, se recomienda evitar que la gestión del ANC se concentre exclusivamente en acciones directas de reducción de pérdidas, como la detección de fugas o la renovación de redes. Estas actividades son fundamentales, pero su efectividad depende también de la calidad de la información, el conocimiento del sistema, el control operacional, la capacidad de análisis y la coordinación entre las distintas áreas involucradas.

En este sentido, el profesional dedicado a la gestión de pérdidas debe mantener una visión amplia del sistema, combinando información de terreno y análisis técnico para comprender las causas de las desviaciones antes de definir las intervenciones. Cuando el diagnóstico se realice por sectores, se recomienda verificar sus límites hidráulicos y los posibles intercambios de agua con sectores vecinos, mediante comprobaciones apropiadas para las condiciones del sistema. La incorporación de nuevas tecnologías debe responder a una necesidad identificada y acompañarse de las capacidades necesarias para utilizar, mantener e interpretar la información que generan.

- **RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN**

El marco desarrollado en esta tesina debe utilizarse como una herramienta de orientación y no como un método único para gestionar el ANC. Su aplicación debe adaptarse a las características de cada sistema y actualizarse a medida que cambian sus condiciones.

Se recomienda utilizar el catálogo cuando exista una necesidad específica que requiera identificar métodos o herramientas pertinentes, y la Hoja de Ruta cuando se busque evaluar de manera más amplia las capacidades existentes, reconocer brechas y establecer prioridades de trabajo. La evaluación debe repetirse periódicamente, manteniendo las capacidades ya desarrolladas mientras se fortalecen aquellas que limitan el avance.

Como continuidad de esta investigación, se recomienda realizar una aplicación piloto de las matrices y del cuestionario en sistemas con distintas condiciones de información, infraestructura y organización. Esta aplicación debería examinar la claridad de las preguntas y los descriptores, la disponibilidad de las evidencias

solicitadas, el tiempo requerido y la concordancia entre evaluadores. Las diferencias de interpretación permitirían ajustar el instrumento antes de ampliar su utilización.

En aplicaciones sucesivas, se recomienda mantener registros de las puntuaciones, sus evidencias y las acciones ejecutadas, junto con indicadores de pérdidas, costos y condiciones de servicio pertinentes para cada sistema. Este seguimiento permitiría examinar cómo el fortalecimiento de capacidades se relaciona con los resultados de gestión. El aumento de la puntuación de madurez debe respaldarse en capacidades demostrables y acompañarse de la verificación de sus efectos.

- **RECOMENDACIONES PERSONALES**

La experiencia profesional que dio origen a esta investigación mostró la importancia de trabajar con las personas como parte de la gestión del ANC. Integrar equipos, acercar el conocimiento de terreno al análisis y mejorar la comunicación entre unidades ha permitido avanzar en la gestión y obtener mejoras relevantes sin depender necesariamente de grandes inversiones.

Un aprendizaje importante ha sido que las personas trabajan mejor cuando comprenden para qué sirve lo que hacen y cómo su trabajo aporta al resultado. Quienes levantan información, actualizan catastros, operan la red o registran intervenciones deberían conocer cómo esos datos serán utilizados y por qué son importantes. Evitar que los equipos trabajen de forma aislada o sin conocer el propósito de sus tareas favorece una participación más consciente y una mejor calidad de la información.

Esto adquiere especial importancia frente al aumento de la tecnología y la digitalización, que pueden ampliar las brechas de conocimiento entre quienes operan los sistemas y quienes procesan o analizan la información. Por ello, junto con incorporar nuevas herramientas, resulta necesario capacitar, compartir conocimiento y generar espacios donde terreno, análisis y otras unidades puedan aprender unos de otros.

Desde esta experiencia, las habilidades interpersonales resultan tan necesarias como las capacidades técnicas. Escuchar, comunicar, enseñar, generar confianza y lograr que las personas se reconozcan como parte de un mismo proceso son aspectos que pueden contribuir significativamente a sostener la mejora continua.

- **RECOMENDACIONES SEGÚN ÁMBITOS DE APLICACIÓN**

En el ámbito empresarial, se recomienda avanzar hacia una gestión en que el ANC deje de ser responsabilidad exclusiva de equipos especializados en pérdidas y se incorpore progresivamente en la operación, mantenimiento, planificación, renovación de infraestructura y decisiones de inversión.

A nivel sectorial e institucional, la reducción sostenida del ANC requiere condiciones que trascienden la actuación individual de las empresas. La regulación, los

mecanismos de incentivo, la disponibilidad de información comparable, la planificación de inversiones y el intercambio de experiencias pueden facilitar o limitar el desarrollo de capacidades. Por ello, además de establecer metas de reducción, resulta relevante considerar las condiciones necesarias para que los sistemas puedan alcanzarlas y sostenerlas.

Finalmente, frente a la creciente disponibilidad de sensorización, telemetría, modelos hidráulicos y herramientas digitales, se recomienda que la incorporación tecnológica avance junto con el fortalecimiento de los procesos y capacidades que permiten utilizarla. El desarrollo tecnológico constituye una oportunidad para mejorar la gestión, pero no reemplaza el conocimiento de la red, la capacidad operacional ni la coordinación institucional necesaria para transformar la información en decisiones.

10 BIBLIOGRAFÍA

AbuEltayef, H., AbuAlhin, K., & Alastal, K. (2025). A novel method for evaluating and establishing benchmarks for non-revenue water through performance indicators (NRWPI). *Discover Water, 5*, artículo 106. https://doi.org/10.1007/s43832-025-00305-y

AbuEltayef, H., Alastal, K., & AbuAlhin, K. (2025). Nonrevenue water paradigm for planning and management by performance indicators. *Water Practice & Technology, 20*(7), 1639–1660. https://doi.org/10.2166/wpt.2025.092

AGS — Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade, S.A. (2025a). *8.º informe bianual de desempeño: Aguas Atacama, período enero–junio de 2025* [Informe técnico interno].

AGS — Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade, S.A. (2025b). *9.º informe bianual de desempeño: Aguas Atacama, período julio–diciembre de 2025* [Informe técnico interno].

Alegre, H., Baptista, J. M., Cabrera, E., Jr., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., & Parena, R. (2016). *Performance indicators for water supply services* (3.ª ed.). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781780406336

American Water Works Association. (2009). *Water audits and loss control programs* (Manual M36, 3.ª ed.).

American Water Works Association. (2020a). *AWWA Free Water Audit Software* (versión 6.0) [Software]. https://www.awwa.org/toolbox/free-water-audit-software/

American Water Works Association. (2020b). *AWWA Free Water Audit Software v6.0: Interactive Data Grading (IDG) matrix*.

American Water Works Association. (2020c, 4 de diciembre). *AWWA Free Water Audit Software Version 6—Evolutions* [Memorando de lanzamiento].

American Water Works Association. (2022). *El estado del control de pérdidas de agua en las empresas de agua potable* [Versión en español].

Anele, A. O., Hamam, Y., Abu-Mahfouz, A. M., & Todini, E. (2017). Overview, comparative assessment and recommendations of forecasting models for short-term water demand prediction. *Water, 9*(11), 887. https://doi.org/10.3390/w9110887

Arregui, F. J., Cobacho, R., Soriano, J., & Jiménez-Redal, R. (2018). Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system. *Water, 10*(12), 1809. https://doi.org/10.3390/w10121809

Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas. (2007). *Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario*.

Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas. (2024). *Benchmarking de indicadores de gestión a nivel de Latinoamérica: Informe 2024, datos 2022*.

Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. (2023a). *Consideraciones técnicas y alcances metodológicos para la fijación de metas en un marco de eficiencia hídrica: Informe de avance* [Informe elaborado por Seinco Chile].

Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. (2023b). *Consideraciones técnicas y alcances metodológicos para la fijación de metas en un marco de eficiencia hídrica: Resumen ejecutivo–abstract* [Informe elaborado por Seinco Chile].

BLASS Chile. (2023). *Pérdidas de agua: Digitalización del sector sanitario* [Presentación de diapositivas].

Bykerk, L., & Valls Miro, J. (2022). Vibro-acoustic distributed sensing for large-scale data-driven leak detection on urban distribution mains. *Sensors, 22*(18), 6897. https://doi.org/10.3390/s22186897

Cabrera Flamini, A., & Schwartz, K. (2025). Meeting multiple mandates: The increasing complexity of water utility management. *Utilities Policy, 96*, 102033. https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102033

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2015). *Informe a la nación: La megasequía 2010–2015*.

Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Libro 42. Mantenimiento y reparación de tuberías y piezas especiales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión para el Mercado Financiero. (2022). *Guía de implementación y supervisión de la sección 8.2 de la Norma de Carácter General N.º 461*. https://www.cmfchile.cl/portal/estadisticas/617/articles-53716_doc_pdf.pdf

Escobar Morales, J. J. (2011). *Método de los caudales mínimos nocturnos: Revisión de sus bases científicas, evaluación de errores potenciales y propuestas para su mejora* [Trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de València]. https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/7ba538d8-918f-49bb-ae7e-c767f323e2b2/content

Faber, S., & Radakrishnan, M. (2019). *Roadmap to non-revenue water reduction and management* [Herramienta operativa de la serie BEWOP]. IHE Delft Institute for Water Education y UN-Habitat/GWOPA. https://gwopa.unhabitat.org/resources/library/bewop-tool-series-roadmap-to-non-revenue-water-reduction-and-management

Farley, M., & Liemberger, R. (2005). Developing a non-revenue water reduction strategy: Planning and implementing the strategy. *Water Science and Technology: Water Supply, 5*(1), 41–50. https://doi.org/10.2166/ws.2005.0006

Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Singh, S. (2008). *The manager's non-revenue water handbook: A guide to understanding water losses*. Ranhill Utilities Berhad y United States Agency for International Development.

Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Rodríguez Sánchez, J. P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of the Total Environment, 806*, 150447. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447

Ghatole, S., Kadam, A., Tupkar, R., & Ramteke, P. (2024). An effluent treatment plant's procedure improved by employing the Kaizen approach. *MATEC Web of Conferences, 405*, 01004. https://doi.org/10.1051/matecconf/202440501004

Grigg, N. S. (2015). Management tools to optimize pipeline longevity. *Journal AWWA, 107*(1), 40–50. https://doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0019

Grupo de trabajo MWM 130. (2025). *Diagnóstico ANC y propuesta de mejora continua en Nueva Atacama S.A. (A10R1-G2)* [Trabajo académico]. Universidad Técnica Federico Santa María.

Grupo de trabajo MWM 530. (2025). *Gestión del ANC y sistemas de evaluación de riesgo en empresas sanitarias chilenas (A10C1-G4)* [Trabajo académico]. Universidad Técnica Federico Santa María.

Hamilton, S., & Charalambous, B. (2020). *Leak detection: Technology and implementation* (2.ª ed.). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789060850

Hamilton, S., & McKenzie, R. (2014). *Water management and water loss*. IWA Publishing.

Høgh, K., & Kirstein, J. K. (2018). *ICT frameworks—Moving towards smart water networks* [Resumen de congreso]. IWA World Water Congress & Exhibition, Tokio, Japón. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/159256648/IWA2018_conference_abstract.pdf

International Water Association, Water Loss Specialist Group. (2022). *Position statement: Use of the Infrastructure Leakage Index (ILI) in EU directives and regulations*.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press.

Kayaga, S., Mugabi, J., & Kingdom, W. (2013). Evaluating the institutional sustainability of an urban water utility: A conceptual framework and research directions. *Utilities Policy, 27*, 15–27. https://doi.org/10.1016/j.jup.2013.08.001

Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). *The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries—How the private sector can help: A look at performance-based service contracting* (Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series, n.º 8). World Bank.

Konatar, M., & Schiller, T. (s. f.). *NRW Change Management Index: An innovative approach for non-revenue water management* [White paper]. Water Online. https://www.wateronline.com/doc/nrw-change-management-index-an-innovative-approach-for-non-revenue-water-management-0001

Kresse, A. (2025). *Sector sanitario en Chile: Proyectos de reducción de pérdidas y uso de tecnología avanzada* [Presentación de clase, MWM 510]. Universidad Técnica Federico Santa María.

Lambert, A. (1994). Accounting for losses: The bursts and background concept. *Water and Environment Journal, 8*(2), 205–214. https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1994.tb00913.x

Lambert, A. (2003). Assessing non-revenue water and its components: A practical approach. *Water21*, agosto, 50–51.

Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 48*(6), 227–237. https://doi.org/10.2166/aqua.1999.0025

Lambert, A., Fantozzi, M., & Thornton, J. (2013). *Practical approaches to modeling leakage and pressure management in distribution systems—Progress since 2005* [Ponencia]. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, Perugia, Italia.

Lambert, A., & Hirner, W. (2000). *Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures*. International Water Association.

Lambert, A. O., & Lalonde, A. (2005). *Using practical predictions of economic intervention frequency to calculate short-run economic leakage level, with or without pressure management* [Ponencia]. IWA Leakage 2005 International Conference, Halifax, Canadá.

Lambert, A. O., & McKenzie, R. (2002). *Practical experience in using the Infrastructure Leakage Index* [Ponencia]. IWA Conference "Leakage Management: A Practical Approach", Lemesos, Chipre.

Latif, J., Shakir, M. Z., Edwards, N., Jaszczykowski, M., Ramzan, N., & Edwards, V. (2022). Review on condition monitoring techniques for water pipelines. *Measurement, 193*, 110895. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110895

Liemberger, R., & Farley, M. (2004). *Developing a non-revenue water reduction strategy, Part 1: Investigating and assessing water losses* [Ponencia]. 4th IWA World Water Congress & Exhibition, Marrakech, Marruecos.

Liemberger, R., & McKenzie, R. (2005). *Accuracy limitations of the ILI—Is it an appropriate indicator for developing countries?* [Ponencia]. IWA Leakage 2005 International Conference, Halifax, Canadá.

Liemberger, R., & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply, 19*(3), 831–837. https://doi.org/10.2166/ws.2018.129

Loera Burnes, E., & Salazar Adams, A. (2017). Gestión de recursos humanos en organismos de agua de Hermosillo y Mexicali. *Estudios Fronterizos, 18*(36), 25–53. https://doi.org/10.21670/ref.2017.36.a02

Lombana Córdoba, C., Saltiel, G., & Pérez Penalosa, F. (2024). *Utility of the Future 4.0: Taking water and sanitation utilities beyond the next level. A methodology to ignite transformation in water and sanitation utilities*. World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/aa37cf9a-fb81-456b-8855-379f154a9e97

Luciani, C., Casellato, F., Alvisi, S., & Franchini, M. (2018). From water consumption smart metering to leakage characterization at district and user level: The GST4Water project. *Proceedings, 2*(11), 675. https://doi.org/10.3390/proceedings2110675

Madrid-Aris, M. (2000). *Privatización y regulación de empresas sanitarias: Teoría, evidencia empírica e implicancias para Chile* [Borrador final del 2 de febrero de 2000; trabajo presentado en la Quinta Jornada de Hidráulica Francisco Javier Domínguez, noviembre de 1998]. Pontificia Universidad Católica de Chile.

May, J. (1994). Pressure dependent leakage. *World Water and Environmental Engineering*, octubre.

Morrison, J., Tooms, S., Lambert, A., Høgh, K., Wyeth, G., Smith, J., Sahawneh, E., & Gorzelnik, S. (2024). *District metered areas: Guidance notes for DMA management* (versión 2). International Water Association, Water Loss Specialist Group. https://www.leakssuitelibrary.com/wp-content/uploads/2026/01/IWA-DMA-Guidance-Notes-2024.pdf

Morrison, J., Tooms, S., & Rogers, D. (2007). *District metered areas: Guidance notes*. International Water Association.

Muhammetoğlu, A., Muhammetoğlu, H., Adıgüzel, A., İritaş, Ö., & Karaaslan, Y. (2018). Management of water losses in water supply and distribution networks in Turkey. *Turkish Journal of Water Science and Management, 2*(1), 58–75. https://doi.org/10.31807/tjwsm.354298

Muñoz-Trochez, C., Smout, I., & Kayaga, S. (2011). *Economic level of leakage (ELL) calculation with limited data: An application in Zaragoza* [Ponencia]. 35th WEDC International Conference, Loughborough, Reino Unido. https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/conference/35/Munoz-Trochez-C-1104.pdf

Nueva Atacama S.A. (2024). *Memoria anual 2024*.

Oberascher, M., Maussner, C., Hinteregger, P., Knapp, J., Halm, A., Kaiser, M., Gruber, W., Truppe, D., Eggeling, E., & Sitzenfrei, R. (2025). Using digitalisation for a real-word implementation of an early warning system for water leakages. *Water Practice & Technology, 20*(1), 49–64. https://doi.org/10.2166/wpt.2024.300

Ofwat. (2023). *Leakage: PR24 common performance commitment definition*. https://www.ofwat.gov.uk/wp-content/uploads/2023/05/Leakage.pdf

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2017). *Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile: Análisis de gobernanza de infraestructura*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264286948-es

Rubio, P. (2025). *Los 4 marcos para el diseño estratégico en la gestión del agua* [Presentación de clase, MWM 510]. Universidad Técnica Federico Santa María.

Sharif, V., Yao, Y., Loayssa, A., & Sagues, M. (2026). Urban water leakage detection system over dark fiber networks based on distributed acoustic sensing and sparse autoencoders. *Sensors, 26*(7), 2152. https://doi.org/10.3390/s26072152

Silva, M. A., Loureiro, D., Amado, C., & Arregui, F. (2021). Análise de dados de telemedição de consumos domésticos para apoio na avaliação de perdas aparentes e reais em sistemas de distribuição de água. *Ingeniería del Agua, 25*(1), 37–47. https://doi.org/10.4995/ia.2021.13641

Soppe, G., Janson, N., & Piantini, S. (2018). *Water utility turnaround framework: A guide for improving performance*. World Bank. https://documents1.worldbank.org/curated/en/515931542315166330/pdf/Water-Utility-Turnaround-Framework-A-Guide-for-Improving-Performance.pdf

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025). *Informe de gestión del sector sanitario 2024*. Gobierno de Chile.

Tanner, A. S., McIntosh, B. S., Widdowson, D. C. C., & Tillotson, M. R. (2018). The water utility adoption model (wUAM): Understanding influences of organisational and procedural innovation in a UK water utility. *Journal of Cleaner Production, 171*, S86–S96. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.176

Tchórzewska-Cieślak, B., Szpak, D., Żywiec, J., & Rożnowski, M. (2024). The concept of estimating the risk of water losses in the water supply network. *Journal of Environmental Management, 359*, 120965. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120965

Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). *Water loss control* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Universidad Técnica Federico Santa María. (s. f.). *Desafío y amenazas del sector sanitario: ANC* [Material docente del curso MWM 400].

United States Environmental Protection Agency. (2010). *Control and mitigation of drinking water losses in distribution systems*. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1009VCZ.TXT

Vardon, M. J., Le, T. H. L., Martinez-Lagunes, R., Pule, O. B., Schenau, S., May, S., & Grafton, R. Q. (2025). Accounting for water: A global review and indicators of best practice for improved water governance. *Ecological Economics, 227*, 108396. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108396

Wang, C., Liu, Z., Fei, J., Long, Z., Wang, P., & Yu, T. (2025). Evaluating the generalizability and transferability of acoustic leak detection models for water distribution networks. *Water Research, 286*, 124273. https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124273

Water & Sanitation for the Urban Poor. (2017). *A guide to non-revenue water reduction: How to limit losses, strengthen commercial viability and improve services*. https://wsup.com/wp-content/uploads/2017/08/NRW-guide_FULL-VERSION.pdf

Wyatt, A. S. (2010). *Non-revenue water: Financial model for optimal management in developing countries* (RTI Press Methods Report n.º MR-0018-1006). RTI Press. https://doi.org/10.3768/rtipress.2010.mr.0018.1006

Wyatt, A., Cavaleiro de Ferreira, R., Depexe, M. D., Finger, F., Manzi, D., Mendes, R., & Schuch, K. (2021). *Perdas de água: Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. https://antigo.mdr.gov.br/images/20210325_Nivel_economico_de_perdas_de_agua___Brasil.pdf

11 WEBGRAFÍA

ANDESS — Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G. (2025). *Indicadores sector sanitario*. Recuperado el 14 de julio de 2026, de https://www.andess.cl

American Water Works Association (AWWA). (2021). *Free Water Audit Software v6.0* [Software de auditoría hídrica]. Recuperado el 14 de julio de 2026, de https://www.awwa.org/Resources-Tools/Resources/Water-Loss-Control

IWA Water Loss Specialist Group (WLSG). (2024). *DMA guidance notes y recursos técnicos*. Recuperado el 14 de julio de 2026, de https://www.iwa-network.org/groups/water-loss

Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2025). *Informes de gestión del sector sanitario*. Recuperado el 14 de julio de 2026, de https://www.siss.gob.cl

Nota: Si alguna URL no estuviera activa al momento de la revisión, los documentos pueden localizarse a través de los buscadores institucionales de las organizaciones citadas.

12 GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

En este capítulo el glosario define los términos técnicos y acrónimos utilizados en esta tesina. Los términos se presentan en orden alfabético por sigla. Las definiciones incorporan tanto el significado técnico estándar reconocido por la literatura internacional (IWA, AWWA) como su aplicación en el contexto del marco metodológico propuesto.

ANC — Agua No Contabilizada

Volumen de agua que una empresa sanitaria produce e introduce en el sistema de distribución, pero que no genera ingresos porque no llega medida al cliente final. Equivale al término inglés Non-Revenue Water (NRW). En Chile, la regulación diferencia entre ANC y ANC (ver entrada).

ANC — Agua No Contabilizada ajustada

Indicador regulatorio chileno adoptado por la SISS y ANDESS en 2025 que excluye del ANC los consumos operacionales del sistema y los asentamientos irregulares, aislando así las pérdidas técnicamente gestionables. Se calcula como: ANC = ANC – consumo operacional propio – consumo irregular no facturable.

ANF — Agua No Facturada

Término operativo histórico utilizado por la SISS en sus informes de gestión del sector. Corresponde al volumen de agua producida que no genera facturación. Se expresa como porcentaje del Sistema de Entrada (SIV). Equivale funcionalmente al NRW pero se calcula como porcentaje, no como volumen absoluto.

AWWA — American Water Works Association

Asociación americana de empresas de agua potable con sede en Denver, Colorado, EE.UU. Desarrolla normas técnicas y materiales de referencia para el sector, incluyendo el Manual M36 (auditoría de agua) y el Free Water Audit Software (FWAS).

BABE — Background And Burst Estimates

Método de descomposición de pérdidas reales presentado por Lambert (1994). Desglosa el volumen de fugas en tres componentes: background (fugas de fondo de pequeño caudal y generalmente continuas), reported bursts (roturas reportadas, habitualmente aflorantes) y unreported bursts (roturas no reportadas, habitualmente localizadas mediante búsqueda activa). Considera los caudales y duraciones de cada componente y constituye una base metodológica para estimar la UARL.

BAJ — Banda de Alta Jornada

Período del día en que el consumo de agua en una zona de medición alcanza su máximo. Opuesto al MNF (Mínimo Nocturno).

BSC — Balanced Scorecard (Cuadro de Mando Integral)

Marco de gestión estratégica desarrollado por Kaplan y Norton (1996). Organiza los indicadores de desempeño de una organización en cuatro perspectivas: financiera, clientes, procesos internos y aprendizaje/crecimiento. En la gestión del ANC se utiliza para integrar los indicadores técnicos en la estrategia corporativa.

CARL — Current Annual Real Losses

Pérdidas reales actuales expresadas como volumen anual. Se obtienen del balance para un ámbito y período definidos, diferenciadas de los consumos autorizados y las pérdidas aparentes. Su expresión por conexión y tiempo corresponde a un indicador derivado.

CMN/MNF — Caudal mínimo nocturno

Caudal observado durante una ventana nocturna representativa. Incluye consumos legítimos y otros flujos que deben revisarse antes de estimar fugas. Su horario se determina según el comportamiento y operación del sistema.

DAF — Detección Activa de Fugas

Actividades de búsqueda, detección y localización de fugas realizadas por la empresa sin depender exclusivamente de avisos de usuarios o terceros. Sus hallazgos se vinculan con la programación de reparaciones y la comprobación posterior de resultados.

DMA — District Metered Área / Área de Medición de Distrito

Unidad de la red utilizada para medición y análisis, con límites, entradas, salidas y condiciones operacionales conocidos. Su utilización requiere comprobar la configuración y la calidad de los registros.

DVS — Data Validity Score

Puntaje que sintetiza la evaluación de validez de los datos de la auditoría FWAS. Se interpreta mediante cinco Tiers y no equivale a un porcentaje de exactitud ni al nivel de madurez del sistema.

ECDPM — European Centre for Development Policy Management

Centro de investigación europeo especializado en políticas de desarrollo. Referenciado en el contexto del Water Utility Turnaround Framework (Banco Mundial, 2018) como fuente metodológica para el análisis institucional de empresas de servicios públicos en países en desarrollo.

ELL — Economic Level of Leakage / Nivel Económico de Fugas

Nivel de pérdidas reales evaluado mediante costos y beneficios de su control, bajo condiciones y supuestos definidos.

FAVAD — Fixed And Variable Area Discharges

Enfoque que explica la relación entre presión y caudal de fuga considerando áreas de descarga fijas y variables. La respuesta depende de las características de las fugas y de su deformación; el exponente utilizado requiere justificación.

FWAS — Free Water Audit Software

Herramienta de AWWA para elaborar auditorías, evaluar sus datos y obtener indicadores. En esta investigación se utiliza la versión 6.0 y su documentación de 2020.

GAP — Gestión Activa de Presiones

Conjunto de estrategias para adecuar la presión y sus variaciones, conservando las condiciones de servicio. Sus efectos sobre fugas y roturas se comprueban mediante mediciones y seguimiento.

GIZ — Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

Agencia alemana de cooperación internacional. Pública documentos técnicos sobre gestión del agua en contextos de países en desarrollo, incluyendo el documento de Wyatt et al. (2021) sobre el Nivel Económico de Fugas en sistemas de bajos ingresos.

ILI — Infrastructure Leakage Index / Índice de Fugas en la Infraestructura

Indicador adimensional que relaciona las pérdidas reales actuales con la referencia UARL: ILI = CARL/UARL. Su interpretación requiere comprobar los datos y las condiciones de aplicación del modelo (Lambert et al., 1999).

IWA — International Water Association

Asociación internacional de profesionales del sector del agua. Sus grupos especializados han contribuido a la estandarización del balance hídrico para cuantificación del ANC y al desarrollo de indicadores de desempeño (Lambert & Hirner, 2000; Alegre et al., 2016). Su Water Loss Specialist Group (WLSG) promueve el desarrollo y la difusión de conocimientos técnicos sobre gestión de pérdidas.

NRW — Non-Revenue Water

Término internacional estándar para el Agua No Contabilizada (ANC). Definido por la IWA como la diferencia entre el volumen de Sistema de Entrada (SIV) y el volumen de Consumo Autorizado Facturado: NRW = SIV – Consumo Autorizado Facturado.

NRW-CMI — NRW Change Management Index

Enfoque de diagnóstico que relaciona condiciones técnicas e institucionales de la gestión del ANC. Su puntuación formal requiere disponer del instrumento y sus reglas; no equivale automáticamente a los niveles del marco propuesto.

NRWPI — Non-Revenue Water Performance Index

Enfoque de evaluación mediante indicadores asociados a los componentes del ANC. Permite construir perfiles y orientar prioridades, conservando definiciones, fuentes y condiciones de comparación.

PMPI — Planning and Management by Performance Indicators

Marco que organiza la planificación y gestión del ANC mediante cinco fases y diecinueve pasos, relacionando condiciones institucionales, indicadores, acciones, evaluación y actualización.

SISS — Superintendencia de Servicios Sanitarios

Organismo regulador del sector sanitario chileno, dependiente del Ministerio de Obras Públicas. Establece los requerimientos de reporte de eficiencia hídrica, pública el Informe de Gestión del Sector Sanitario anualmente y define los indicadores regulatorios, incluyendo el nuevo ANC (2025).

SIV — Sistema de Entrada / System Input Volume

Denominación inglesa del volumen de entrada al sistema —VES—. Corresponde a los aportes que ingresan al ámbito del balance durante el período definido.

TIRL — Total Infrastructure Real Losses

Indicador que expresa pérdidas reales por conexión o longitud de red y tiempo presurizado. Su interpretación considera presión, régimen de suministro y confiabilidad de los antecedentes.

UARL — Unavoidable Annual Real Losses

Referencia técnica de pérdidas reales calculada mediante infraestructura y presión. La expresión utilizada en el informe entrega litros por día y debe convertirse a unidades y período compatibles con CARL antes de calcular el ILI.

VRP — Válvula Reductora de Presión

Dispositivo hidráulico instalado en la entrada de una DMA u otro punto estratégico de la red que reduce y estabiliza la presión aguas abajo. Su uso es el instrumento principal de la Gestión Activa de Presiones (GAP) y permite reducir tanto el caudal de fugas existentes como la frecuencia de nuevas roturas.

WSUP — Water & Sanitation for the Urban Poor

Organización internacional sin fines de lucro con sede en el Reino Unido. Desarrolló en 2017 una guía práctica para la reducción del NRW en sistemas con distintos

niveles de capacidad, reconocida por su principio explícito de adaptabilidad al estado actual de la empresa.

WUM — Water Utility Maturity Model

Modelo de evaluación institucional mediante comportamiento, estructura y procesos, capacidades, herramientas organizacionales e influencia. Sus categorías se distinguen de los niveles propios del marco.

ANEXOS

ANEXO A. REVIEW BIBLIOGRÁFICO COMPLETO

MATERIAL INTERNO MWM — Lecturas Fundamentales (F1-F7)		
N	**CITA (formato APA)**	**DESCRIPTOR**
1	USM-MWM400. (ca. 2023). Desafío y Amenazas Sector Sanitario: ANC. Clase MWM 400, UTFSM.	Definición técnica del ANC como diferencia entre agua producida y facturada. Balance hídrico IWA: pérdidas físicas + aparentes. ILI como indicador comparativo. Meta SISS 2030: 25%; empresa modelo: 15%. Marco conceptual central de la tesina.
2	[Tchórzewska-Cieślak, B., Szpak, D., Żywiec, J., & Rożnowski, M. (2024). The concept of estimating the risk of water losses in the water supply network. *Journal of Environmental Management, 359*, 120965. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120965	Propone una evaluación del riesgo de pérdidas de agua mediante una matriz de tres parámetros: probabilidad, pérdidas y vulnerabilidad. Utiliza características de las tuberías y antecedentes de fallas para elaborar mapas de riesgo y priorizar los tramos donde realizar búsqueda activa de fugas. Aporta criterios para orientar las actividades de diagnóstico y control del ANC según el riesgo identificado.
3	Poljak, D. (2019). Lean and green wastes in a water supply organization. J. Water Supply Research & Technology - AQUA, 68(6), 410-419. https://doi.org/10.2166/aqua.2019.086	Aplica Lean management (7 tipos de Muda) al suministro de agua. El ANC se describe como sobreproducción estructural: se produce más de lo necesario. Vincula enfoque de procesos con reducción de pérdidas sin grandes inversiones.
4	[Grigg, N. S. (2015). Management tools to optimize pipeline longevity. *Journal AWWA, 107*(1), 40–50. https://doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0019	Presenta herramientas de gestión basadas en información para respaldar programas de renovación de tuberías. Destaca la importancia de disponer de datos confiables y análisis fundamentados para justificar las decisiones de inversión. Su aporte a la investigación consiste en relacionar la calidad de la información sobre la infraestructura con la planificación de su renovación.
5	OCDE. (2017). Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile [Cap. 5: La gobernanza de la infraestructura de agua en Chile]. OECD Publishing. ISBN: 9789264286948. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2017/12/gaps-and-governance-standards-of-public-infrastructure-in-chile_g1g7d719/9789264286948-es.pdf	Introduce el concepto de nivel económico óptimo de pérdidas (10-20%): reducir más allá de ese punto cuesta más de lo que se recupera. Base económica para el enfoque diferenciado por empresa del marco propuesto.
6	Grupo de trabajo MWM 130. (2025). Diagnóstico ANC y Propuesta de Mejora Continua en Nueva Atacama S.A. (A10R1-G2). UTFSM.	Caso aplicado: DMAIC, Pareto e Ishikawa para diagnóstico de ANC en empresa sanitaria chilena. Identifica causas raíz específicas y propone plan de acción estructurado. Valida la aplicabilidad del marco metodológico en el contexto nacional.
7	Grupo de trabajo MWM 530. (2025). Gestión del ANC y sistemas de evaluación de riesgo en empresas sanitarias chilenas. (A10C1-G4). UTFSM.	Diagnóstico del ANC en empresas sanitarias chilenas (30-35% promedio). Propone Red Inteligente (sensorización + gestión de presiones) y AHP para priorización de inversiones. Referente metodológico para el caso Nueva Atacama.

MATERIAL INTERNO MWM — Lecturas Específicas (F8-F15)		
N	**CITA (formato APA)**	**DESCRIPTOR**
8	Latif, J., Shakir, M. Z., Edwards, N., Jaszczykowski, M., Ramzan, N., & Edwards, V. (2022). Review on condition monitoring techniques for water pipelines. Measurement, 193, 110895. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110895	Revisión sistemática de técnicas de monitoreo del estado de tuberías: correlación acústica, CCTV, sensores. Conocer el estado real de la red es condición previa para diagnosticar correctamente el ANC físico.
9	Buchade, G., Teli, S. N., Yakkundi, V., & Mulgund, G. V. (ca. 2019). A Six Sigma Approach to Water Savings. [Articulo academico; revista y DOI no legibles en PDF del curso MWM 130 — confirmar]	Aplica DMAIC con indicadores estadísticos de proceso para reducir pérdidas en empresa de agua. Demuestra que es posible reducir el ANC sin grandes inversiones en infraestructura, solo mejorando procesos operativos.
10	Tanner, A. S., McIntosh, B. S., & Widdowson, D. C. C. (2018). The water Utility Adoption Model (wUAM): Understanding influences of organisational and procedural innovation in a UK water utility. Journal of Cleaner Production, 171, S86-S96. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.018	Marco para entender por qué las sanitarias no adoptan innovaciones disponibles: barreras financieras, culturales y de capacidad. Propone condiciones habilitantes para la adopción efectiva de mejoras para reducción del ANC.
11	Loera Burnes, E., Salazar Adams, A., & Moreno Vasquez, M. J. (2017). Human resources management in the water utilities of Hermosillo and Mexicali. Estudios Fronterizos, 18(36), 25-53. https://doi.org/10.21670/ref.2017.36.a02	Correlación entre prácticas de gestión del capital humano (capacitación, incentivos, estabilidad) y el indicador de ANC. Empresas con mejor gestión de personas muestran menores pérdidas: dimensión organizacional frecuentemente ignorada.
12	Memoria Nueva Atacama S.A. (2024). Memoria Anual 2024. Empresa sanitaria, Chile. [Documento técnico interno]	Caso real: programa de reducción del ANC con telelectura AMI/AMR para pérdidas aparentes y búsqueda activa de fugas para físicas. Plan Maestro a 15 años. Referente de experiencia local con datos reales de aplicación.
13	Kresse, A. (2025). Sector sanitario en Chile: proyectos de reducción de pérdidas y uso de tecnología avanzada. Presentación clase MWM 510, UTFSM.	Estado del sector sanitario chileno: ANC >30% vs. meta SISS 25% para 2030. Uso de IA y redes neuronales requiere datos confiables como condición previa. Fundamenta la necesidad del marco por etapas.
14	Ferrans, P., Torres, M. N., Temprano, J., & Rodriguez Sanchez, J. P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. Science of the Total Environment, 806, 150447. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447	Los DSS combinan modelos técnicos (hidráulicos, GIS) con criterios multicriterio para estructurar decisiones en infraestructura urbana. Aplicable a decisiones de inversión en reducción de ANC bajo restricciones presupuestarias.
15	Cabrera Flamini, A., & Schwartz, K. (2025). Meeting multiple mandates: The increasing complexity of water utility management. Utilities Policy, 96, 102033. https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102033	Las sanitarias equilibran tres mandatos: cobertura universal, viabilidad comercial y sostenibilidad. Reducir el ANC contribuye a los tres: libera capacidad, mejora el flujo de caja y reduce el impacto ambiental de la sobreproducción.

MATERIAL INTERNO MWM — Lecturas Complementarias (F16-F20)		
N	**CITA (formato APA)**	**DESCRIPTOR**
16	Rubio, P. (2025). Los 4 Marcos para el diseño estratégico en la gestión del agua. Presentación clase MWM 510, UTFSM.	Estructura de 4 marcos de análisis previos a cualquier diseño estratégico: global (OCDE), institucional nacional, posición de la organización, situacional (PESTEL). Marco directamente aplicable al diseño del marco ANC propuesto en esta tesina.
17	Ghatole, S., Kadam, A., Tupkar, R., & Ramteke, P. (2024). An Effluent Treatment Plant's Procedure Improved by Employing the Kaizen Approach. MATEC Web of Conferences, 405, 01004. https://doi.org/10.1051/matecconf/202440501004	Aplicación de Kaizen (mejora continua incremental) a procesos de tratamiento de agua. Complementa DMAIC y Six Sigma: cambios pequeños y sostenidos en protocolos operativos generan reducciones acumuladas significativas del ANC.
18	CR2 — Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2015). Informe a la Nación: La Megasequía 2010-2015. U. de Chile / U. de Concepción. [Confirmar notebook MWM 100] [No encontrado en bibliografía básica de MWM 100; buscar en apuntes o material complementario]	Contextualiza la urgencia de reducir el ANC en Chile: megasequía demuestra que cada litro perdido es extraído de cuencas bajo presión. La reducción de pérdidas es la medida de adaptación más costo-efectiva ante la escasez hídrica estructural.
19	CMF Chile. (2022). Guía NCG N.º 461: Reporte de sostenibilidad para emisores. Comisión para el Mercado Financiero, Chile.	Indicador IF-WU-140a.2 (volumen de pérdidas de agua no remuneradas) como métrica ESG de reporte obligatorio para sanitarias. Convierte el ANC en variable de gobernanza corporativa y rendición de cuentas ante el regulador.
20	Anele, A.O. et al. (2017). Overview, comparative assessment and recommendations of forecasting models for short-term water demand prediction. Water, 9(12), 887. https://doi.org/10.3390/w9120887	Comparación de modelos ARMA, ARMAX y redes neuronales para predicción de demanda de corto plazo. La desviación sistemática entre consumo esperado y real permite detectar fugas no visibles como herramienta indirecta de diagnóstico del ANC.

Fuente: Elaboración propia

FUENTES EXTERNAS (F21-F28)		
N	**CITA (formato APA)**	**DESCRIPTOR**
21	Liemberger, R., & Farley, M. (2004). Developing a non-revenue water reduction strategy. Water Supply, 5(1), 41-50. IWA Publishing. DOI: https://doi.org/10.2166/ws.2005.0006	Estructura el proceso de reducción del ANC en 2 partes: Parte 1 = diagnóstico e investigación; Parte 2 = planificación e implementación. Principio central: primero entender el problema, después actuar. Distingue pérdidas aparentes (fácil, bajo costo) vs. pérdidas reales (requiere inversión). Ancla metodológica principal del Módulo 1.
22	American Water Works Association (AWWA). (2009). Water Audits and Loss Control Programs (Manual M36, 3.ª ed.). AWWA. [notebook Tesina]	Metodología completa de auditoría de agua. Data Validity Score (DVS, escala 1-10 en 4 bandas) YA ES un modelo de madurez de datos: Banda I (0-25) = datos muy deficientes; Banda II (26-50) = datos básicos; Banda III (51-70) = datos en desarrollo; Banda IV (71-100) = datos confiables. Respaldo directo para los niveles 1-4 de madurez propuestos.
23	Konatar, M., & Schiller, T. (2020). NRW Change Management Index: An Innovative Approach For Non-Revenue Water Management. White Paper, wateronline.com / KfW Development Bank. URL: https://www.wateronline.com/doc/nrw-change-management-index-an-innovative-approach-for-non-revenue-water-management-0001	Marco más cercano a un modelo de madurez real para NRW encontrado en la literatura. Combina dimensión TÉCNICA (water balance, metas de reducción, DMAs, monitoreo NRW) + dimensión INSTITUCIONAL (actitudes, comportamiento y habilidades del personal en todos los niveles). Respaldo para Módulo 2 (seguimiento multinivel) y Módulo 4 (gestión del conocimiento y personas).
24	AbuEltayef, M., Alastal, A. I., & AbuAlhin, M. (2025). Nonrevenue water paradigm for planning and management by performance indicators. Water Practice & Technology, 20(7). IWA Publishing. DOI: https://doi.org/10.2166/wpt.2025.092	Propone el modelo PMPI (Planning and Management by Performance Indicators): ciclo lineal analizar -> fijar metas -> plan de acción -> mejora continua. Validado con 78.7% de consenso por expertos académicos y profesionales. Fuente más reciente (IWA, 2025) alineada con el marco propuesto. Respaldo para la dimensión de mejora continua basada en indicadores.
25	UN-Habitat & GWOPA. (2019). Roadmap to Non-Revenue Water Reduction and Management. UN-Habitat/GWOPA. URL: https://gwopa.unhabitat.org/sites/default/files/downloads/0120NonE28091revenue20water20reduction-10c-82.pdf	Herramienta operativa por pasos, diseñada para empresas con distintos niveles de capacidad. 3 componentes: (1) plan con compromiso gerencial, (2) dividir el problema en partes manejables, (3) reducir y gestionar de forma sostenida. Enfatiza cambios técnicos + culturales + organizacionales simultáneamente. Respaldo para Módulo 3 (procedimientos adaptados).
26	WSUP. (2017). A Guide to Non-Revenue Water Reduction. Water & Sanitation for the Urban Poor. URL: https://wsup.com/wp-content/uploads/2017/08/NRW-guide_FULL-VERSION.pdf	Guía práctica paso a paso con declaración explícita: 'el enfoque puede adaptarse al estado actual de las actividades NRW de la empresa'. Diseñada para empresas de distintos tamaños y capacidades. Respaldo internacional directo del principio 'no pedir lo mismo a todos', que sustenta el Módulo 1 y el enfoque diferenciado por etapas.
27	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2025). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2024. Gobierno de Chile. URL: https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6415.html	ANF (Agua No Facturada) nacional: 33%, estancado por más de una década. Por tipo de empresa: mayores 33%, medianas 33%, menores 32%. Meta ANDESS+SISS firmada: 25% al 2030; ningún sistema urbano sobre 40% al 2033; promedio 29% al 2033. Propuesta de ley en trámite (octubre 2025). Diagnóstico oficial del regulador chileno que justifica la urgencia del tema.
28	Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. World Bank Water Supply and Sanitation Working Note No. 8. World Bank.	Análisis del Banco Mundial sobre los desafíos específicos de reducir el ANC en países en desarrollo: bajas capacidades técnicas e institucionales, falta de datos confiables, contexto regulatorio débil. Sin condiciones mínimas de gobernanza y datos, las intervenciones técnicas fracasan. Respaldo para el enfoque 'datos y personas antes que tecnología' (Módulos 4 y 5).

29	Kayaga, S., Mugabi, J., & Kingdom, B. (2013). Evaluating the institutional sustainability of an urban water utility: A conceptual framework and research directions. Utilities Policy, 27, 15-27. https://doi.org/10.1016/j.jup.2013.08.001	Modelo de madurez institucional para empresas de agua con 5 niveles (initial a progressive). Evalúa la sostenibilidad en 5 dimensiones: comportamiento, estructura, capacidades técnicas, herramientas e influencia. Proporciona una hoja de ruta de crecimiento endógeno para que las empresas avancen en forma organizada. Es el modelo de madurez más cercano a lo que propone la tesina — respaldo teórico directo para el marco por etapas.
30	Liemberger, R., & Farley, M. (2004). Developing a non-revenue water reduction strategy, Part 1: Investigating and assessing water losses. Proc. IWA 4th World Water Congress & Exhibition, Marrakech, septiembre 2004. IWA Publishing. URL: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/LIEMBERGER%20FARLEY%202004%20Developing%20a%20NRW%20Reduction%20Strategy.pdf	Marco IWA para cuantificar el ANC de forma rigurosa, reemplazando estimaciones por medición precisa. Distingue pérdidas aparentes (errores de medición, fraudes) y reales (fugas físicas). Promueve el Balance Hídrico Estándar IWA y el ILI como indicador de referencia internacional. Metodología top-down y bottom-up para establecer línea base. Ancla metodológica complementaria a Liemberger & Farley (2004).
31	Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water Loss Control (2.ª ed.). McGraw-Hill.	Manual técnico de referencia completo para control de pérdidas de agua. Distingue pérdidas reales (fugas en infraestructura) y aparentes (errores de medición, consumos no autorizados). Promueve gestión proactiva: detección activa de fugas y gestión de presiones en lugar de reparación reactiva. Marco estructurado para reducir el ANC y recuperar recursos financieros de la empresa. Referencia IWA fundamental.
32	Hamilton, S., & McKenzie, R. (2014). Water Management and Water Loss. IWA Publishing.	Guía técnica práctica para cuantificar y mitigar pérdidas de agua en sistemas de distribución. Establece balance hídrico estándar para distinguir pérdidas físicas y comerciales. Incluye matriz de tecnologías de detección de fugas clasificadas por material de tubería, diámetro y presión (gas, correlación acústica, sensores en línea). Aborda la gestión de presiones y el dilema 'reparar o reemplazar' con casos internacionales. Principio clave: no existe solución única para todos los sistemas.
33	Lambert, A., et al. (2000). IWA Standard Water Balance and Performance Indicators for Water Losses — Water Loss Task Force Article 2. IWA.	Define el balance hídrico estándar IWA adoptado globalmente. Categoriza el agua en Consumo Autorizado, Pérdidas Aparentes y Pérdidas Reales. Introduce las Pérdidas Reales Inevitables Anuales (UARL) como piso técnico de fugas — base para calcular el ILI. Todos los cálculos incluyen intervalos de confianza al 95% para asegurar calidad del dato. Es el estándar de referencia que sustenta toda la metodología de la tesina.
34	ADERASA — Asociación de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento de las Américas. (2007). Manual de Indicadores de Gestión para Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. ADERASA.	Manual de benchmarking para el sector agua en América Latina y el Caribe. Establece un marco estandarizado de indicadores de gestión para evaluar eficiencia de empresas monopólicas de agua. Metodología de cálculo de balances hídricos, clasificación de pérdidas físicas y comerciales, y sistema de calificación de calidad del dato por confianza y precisión. Referencia regional directa para el contexto latinoamericano de la tesina.
35	ANDESS — Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. (2023). Consideraciones técnicas y alcances metodológicos para la fijación de metas en un marco de eficiencia hídrica (Manual Metodológico N°1). ANDESS, Chile, febrero 2023.	Marco técnico chileno para la medición y gestión del ANC según estándar IWA. Establece el balance hídrico para distinguir consumo autorizado, pérdidas reales y pérdidas aparentes. Define un nivel eficiente de pérdidas equilibrando costo de producción vs. inversión en infraestructura. Marco regulatorio local que complementa los estándares internacionales y da contexto normativo a la propuesta.

36	ANDESS — Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios. (2023). Resumen Ejecutivo — Consideraciones técnicas y alcances metodológicos para la fijación de metas en un marco de eficiencia hídrica. ANDESS, Chile, febrero 2023.	Síntesis del Marco Metodológico ANDESS para gestión del ANC en Chile. Adopta el balance hídrico IWA top-down y estandariza fórmulas de cálculo e indicadores adaptados a la geografía operacional chilena. Determina niveles eficientes de pérdidas como punto donde el costo de controlar fugas iguala el valor del agua ahorrada. Es el documento ejecutivo que resume la política sectorial chilena en materia de ANC.
37	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2018). Eficiencia de las Empresas Sanitarias de Chile — Agua No Facturada. Gobierno de Chile.	Diagnóstico histórico del ANC en Chile: en 2018 aproximadamente un tercio del agua producida no fue facturada — tendencia estancada durante años. Compara el desempeño de empresas grandes, medianas y pequeñas con benchmarks internacionales, evidenciando que Chile está rezagado respecto a países desarrollados. Contextualiza la urgencia técnica e institucional de la propuesta de marco para la gestión del ANC.
38	American Water Works Association (AWWA). (2016). Water Loss Control Guide (versión en español). AWWA. [confirmado: Manual M36, 4.ª ed., AWWA 2016]	Guía práctica AWWA para control de pérdidas, disponible en español. Introduce la auditoría de agua estandarizada y el concepto de NRW reemplazando terminología vaga. Estrategia de los '4 Pilares' para gestión de fugas y protección de ingresos. Define el nivel económico óptimo de pérdidas (ELL). Casos de éxito en Georgia, Philadelphia y Halifax. Versión en español facilita la aplicación directa en empresas latinoamericanas.
39	American Water Works Association (AWWA). (2014). Free Water Audit Software — Grading Matrix. AWWA. [confirmado: versión 5.0, 2014, AWWA]	Matriz de calificación del proceso de auditoría de agua que complementa el Manual M36. Evalúa la integridad de los datos por categorías: fuentes de suministro, precisión de medidores de clientes, seguimiento de consumos no facturados y no autorizados. Premia a las empresas que transicionan de registros manuales estimados a sistemas automatizados (SCADA, calibración electrónica, verificación por terceros). Operacionaliza el Data Validity Score en criterios concretos para cada banda.
40	Selek, B., Adigüzel, A., Iritas, Ö., Karaaslan, Y., Kinaci, C., Muhammetoglu, A., & Muhammetoglu, H. (2018). Management of water losses in water supply and distribution networks in Turkey. Turkish Journal of Water Science and Management, 2(1), 58-75. https://doi.org/10.31807/Tjwsm.354298	Analiza la gestión estratégica de pérdidas de agua en redes de Turquía. Identifica el ANC como desafío dual: pérdidas físicas (fugas, derrames) y aparentes (errores de medición, consumo ilegal). Propone metodología sistemática: creación de DMAs, modelación hidráulica y SCADA para monitoreo en tiempo real. Destaca regulación nacional 2014 que obliga a reducir pérdidas bajo 25% en plazos específicos. Caso comparable al contexto regulatorio chileno con metas SISS 2030.
41	Ofwat — Water Services Regulation Authority. (2023). Leakage Framework — Performance Commitment Definitions PR24. Ofwat, UK. [año confirmado: metodología PR24 publicada dic. 2022; definiciones PC leakage actualizadas 2023]	Marco regulatorio del regulador inglés Ofwat para medición y reducción de fugas como compromiso de desempeño. Combina monitoreo de caudal nocturno (bottom-up) y reconciliación del balance hídrico (top-down). Establece reducción porcentual desde la línea base 2019-20 con incentivos económicos y penalidades. Incluye auditorías y checklists de cumplimiento para verificar uso de datos de alta calidad. Modelo regulatorio avanzado con incentivos/penalidades directamente aplicable al contexto de regulación SISS.
42	México — Comisión Nacional del Agua (Conagua). (s. f.). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento — Libro 42: Control de Fugas y Mantenimiento en Redes de Agua Potable (SGAPDS-1-15-Libro42). Conagua.	Manual técnico de Conagua México para mantenimiento y control de fugas en infraestructura hidráulica. Categoriza fallas de infraestructura (perforaciones, fisuras, roturas) y provee metodologías de identificación de fugas visibles y ocultas con tecnologías electroacústicas. Establece programa estratégico de control de fugas con indicadores estadísticos. Referencia técnica latinoamericana directamente aplicable a los procedimientos del Módulo 3 de la propuesta.

43	World Bank Group. (2018). Water Utility Turnaround Framework — A Guide for Improving Performance. World Bank	Guía estratégica del Banco Mundial para transformar empresas sanitarias con bajo desempeño en instituciones eficientes y crediticias. Identifica la economía política disfuncional (interferencia política, baja responsabilidad) como trampa estructural. Metodología de 4 fases: evaluación de desempeño, planificación estratégica, implementación e institucionalización. Marco de la Pirámide del Éxito: integración de gestión interna (financiera, RRHH, técnica) con el entorno gobernante. Respaldo para la dimensión institucional del marco propuesto.
44	Ranhill Utilities. (s. f.). The Manager's Non-Revenue Water Handbook — A Guide for NRW Managers. Ranhill Utilities.	Manual gerencial práctico para gestores de ANC. Categoriza ineficiencias en pérdidas físicas (fugas) y comerciales (errores de facturación, robo). Propone transición de un 'Círculo Vicioso' de deterioro financiero a un 'Círculo Virtuoso' de sostenibilidad mediante DMAs y desarrollo de capacidades organizacionales. Enfatiza responsabilidad transversal entre departamentos para la gestión del ANC. Perspectiva gerencial complementaria a los marcos metodológicos IWA/AWWA.
45	Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (s. f.). Inteligencia Artificial en los Sectores de Agua, Saneamiento y Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe. BID.	Hoja de ruta del BID para integrar IA en los sectores agua y saneamiento en LAC. Modelo de 10 pasos para gestión de la innovación. Enfatiza que la adopción exitosa requiere equilibrar herramientas técnicas con gobernanza centrada en las personas, gestión ética del riesgo y colaboración multidisciplinaria. Ejemplos de mantenimiento predictivo y detección de fraudes con IA. Relevante para el Módulo 5 (datos y tecnología como etapa posterior al ordenamiento operativo).
46	Gonzalez Delgado, F. (2017). Diseño, aplicación y evaluación de una metodologia de detección activa de perdidas en redes de agua potable. Memoria de titulación de Ingeniero Civil, Departamento de Obras Civiles, UTFSM, Valparaíso, Chile. Profesor guía: Carlos Barboza Zepeda.	Tesis de pregrado UTFSM sobre evaluación de pérdidas de agua en la red Gran Alimentadora de Valparaíso. Aplica la metodología BABE (Burst and Background Estimates) y modelación WaterCAD para identificar sectores críticos de ANC. Distingue pérdidas técnicas y comerciales. Análisis de factibilidad para instalación de equipos permanentes de medición de caudal con evaluación costo-beneficio de sensores ultrasónicos y electromagnéticos. Caso de aplicación local que ejemplifica el uso de metodologías IWA en Chile.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLETAS

Este anexo complementa el catálogo comparativo presentado en el Capítulo 7 y reúne las fichas ampliadas de los métodos, herramientas y marcos analizados durante la investigación. Su propósito es facilitar su utilización como material de consulta para profesionales vinculados a la gestión del Agua No Contabilizada.

Las fichas sintetizan el problema que aborda cada instrumento, su objetivo, los principales antecedentes requeridos, los resultados que permite obtener, sus condiciones de aplicación y limitaciones, así como su relación con otras herramientas incluidas en la Hoja de Ruta.

Se incorpora además la referencia utilizada en esta tesina y, cuando corresponde, una fuente institucional o técnica recomendada para consultar actualizaciones posteriores. Esta última referencia no implica necesariamente la existencia de una "versión vigente" del método, dado que algunos enfoques han evolucionado mediante publicaciones sucesivas y no a través de versiones formales.

Tabla Ficha A. 1

	TIPO de lectura (Fundamental MWM 400)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Ottone, F. (2025). Agua no contabilizada. Clase MWM 400, UTFSM.
Palabras claves:	ANC, balance IWA, ILI, DMA, MNF, SCADA, Smart Water, empresa módulo
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 2. **Redacciones propias**	1. "El agua no contabilizada se determina utilizando el Balance Hídrico, metodología implementada por la IWA... permite distinguir y calcular los diferentes componentes del Agua Facturada y Agua No Facturada." 2. "La metodología de desarrollo se basa en el modelo de 5 capas, estructurando una visión Smartwater a distintos niveles, priorizando desde la infraestructura hasta la fusión y análisis de datos." 3. Integra balance hídrico IWA, ILI y sectorización DMA con tecnologías Smart Water (SCADA, telemetría). Transforma datos operativos en conocimiento estratégico para reducir pérdidas físicas y aparentes.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar (marco conceptual central) Definir (ANC, ILI, DMA, MNF)
Materiales más significantes:	Tabla: balance IWA / Gráfico: ILI por empresa / Esquema: modelo 5 capas

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 2

	TIPO de lectura (Fundamental MWM 130)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Carvallo, C. (2025). Eficiencia hídrica: herramientas de calidad. Clase MWM 130, UTFSM.
Palabras claves:	DMAIC, Lean/Muda, ISO 46001, Ishikawa, Pareto, Six Sigma, mejora continua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1. “Proporciona un marco sistemático y flexible para que organizaciones de cualquier sector mejoren el uso del agua, reduzcan pérdidas, integren tecnologías y promuevan una cultura de eficiencia (sobre ISO 46001).” 2. DMAIC estructura el diagnóstico del ANC en fases; Lean/Muda identifica el ANC como sobreproducción; Pareto e Ishikawa priorizan causas raíz; ISO 46001 provee el marco sistémico de gestión.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar (metodología diagnóstica) Avalar (mejora continua)
Materiales más significantes:	Tabla: tipos de desperdicio Gráfico: Pareto de causas Esquema: DMAIC

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 3

	TIPO de lectura (Fundamental MWM 500)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rubio, P. (2025). Gobernanza y economía del agua. Clase MWM 500, UTFSM.
Palabras claves:	NEP, DEA, benchmarking, GIRH, señales de precios, gobernanza multinivel
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1. “Se estima que el nivel económico óptimo de pérdidas oscila entre 10% y 20%... el nivel óptimo se alcanza cuando el costo de reducir más ese nivel es igual al beneficio.” 2. “El método DEA consiste en construir fronteras de posibilidades de producción para analizar ineficiencias... el enfoque del análisis de insumos o la producción tiende a ser una elección del analista.” 3. La meta no es cero pérdidas sino el nivel económicamente óptimo. El DEA permite comparar eficiencia entre empresas y la GIRH integra la reducción de pérdidas en gestión hídrica multinivel.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar (marco económico) Avalar (NEP y benchmarking)
Materiales más significantes:	Gráfico: curva costo-beneficio Tabla: comparación DEA empresas

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 4

	TIPO de lectura (Fundamental MWM 510)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Valenzuela, L. (2025). Planificación y dirección estratégica. Clase MWM 510, UTFSM.
Palabras claves:	BSC, marcos de 4 niveles, PESTEL, gestión de activos, ANC como KPI estratégico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1. “El Cuadro de Mando Integral es un modelo de gestión que traduce la misión y estrategia de la empresa en objetivos, medidos a través ahora de indicadores y ligados a unos planes de acción.” 2. “Los marcos de referencia corresponden a los marcos previos a la definición del diseño de una estrategia, integrando desde la gobernanza global hasta la situación local real.” 3. El ANC se integra como indicador estratégico en el BSC. Los 4 marcos (OCDE, institucional, organización, PESTEL) estructuran el análisis previo al diseño estratégico, directamente aplicable al análisis.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar (diseño estratégico) Avalar (BSC y gestión activos)
Materiales más significantes:	Esquema: BSC con ANC Tabla: marcos de 4 niveles

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 5

	TIPO de lectura (Fundamental MWM 100)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Martín Vide, J. (2025). Gestión y planificación de los recursos hídricos. Clase MWM 100, UTFSM.
Palabras claves:	Gestión de la demanda, confiabilidad, resiliencia, vulnerabilidad, backcasting
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1. “Hacia una nueva cultura del agua: Ahorro y eficiencia hídrica en todos los sectores. Reducción de las pérdidas en las redes de distribución. Gestión de la demanda de agua. “Aporta base científica para posicionar el ANC como herramienta de seguridad hídrica. Los índices de sostenibilidad cuantifican el impacto de la reducción de pérdidas en el suministro ante escasez. 2.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar (seguridad hídrica) Complementar (contexto escasez)
Materiales más significantes:	Gráfico: índices de sostenibilidad Esquema: backcasting

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 6

	TIPO de lectura (específica MWM 530)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Peña, P. (2025). Sistemas de gestión: eficiencia operativa. Clase MWM 530, UTFSM.
Palabras claves:	Red Inteligente, DEA, AHP, ARIMA, gestión de activos, ciclo de vida
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1. “Iluminar la red permite incorporar tecnología y un nuevo estándar de operación.” 2. “Permite construir fronteras de eficiencia para comparar insumos y productos entre unidades operativas, identificando las de mejor desempeño como referencia.” 3. Red Inteligente como estándar operativo progresivo. AHP prioriza inversiones según riesgo y rentabilidad. DEA mide eficiencia relativa. ARIMA detecta anomalías de consumo indicativas de fugas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (Red Inteligente como etapa avanzada) Orientar (AHP priorización)
Materiales más significantes:	Esquema: Red Inteligente 5 capas Tabla: criterios AHP

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 7

	TIPO de lectura (Específica MWM 540)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rojas, I. (2025). Gestión de clientes. Clase MWM 540, UTFSM.
Palabras claves:	Micromedición, pérdidas aparentes, WUSQI, tarifa plana, detección fraudes
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	"La medición es uno de los componentes clave de las empresas modernas de agua; los sistemas de tarifa plana no son adecuados pues presentan distorsiones relacionadas con la no penalización al cliente por desperdicio de agua.” Las medidas para la detección de fraudes son necesarias para asegurar los ingresos de la compañía. Es mejor tener políticas para regularizar la situación de los consumidores ilegales que negarles los servicios. Micromedición es el pilar para reducir pérdidas aparentes. La detección de fraudes y la gestión del catastro son acciones de alto impacto en ANC comercial con bajo costo de implementación.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (micromedición)Complementar (gestión comercial ANC)
Materiales más significantes:	Tabla: indicadores WUSQI Esquema: proceso facturación a ANC

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 8

	TIPO de lectura (Específica MWM 550)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Araya, J. (2025). Innovación y gestión de proyectos. Clase MWM 550, UTFSM.
Palabras claves:	WUAM, adopción tecnológica, capacidad de absorción, innovación, barreras
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Los porcentajes de pérdida de agua producida alcanzaron un promedio de 33,6%... a estas tasas, recién en 450 años podría reponerse todas las redes de los servicios.""[sobre wUAM] Marco para comprender los factores que influyen en la adopción de innovaciones organizacionales en empresas de agua: restricciones financieras, alineación con la misión, impacto en el servicio. “El wUAM explica las barreras que impiden adoptar innovaciones ya disponibles para reducir el ANC. La innovación efectiva requiere liderazgo, capacidad de absorción y alineación organizacional.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (barreras adopción) Orientar (gestión del cambio)
Materiales más significantes:	Esquema: modelo wUAM Tabla: dominios evaluativos

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 9

	TIPO de lectura (Específica MWM 520)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Arenas, T. (2025). Finanzas y desarrollo de negocios. Clase MWM 520, UTFSM.
Palabras claves:	IF-WU-140a.2, RAB, SASB, NCG 461, EBITDA, ESG
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Regulatory asset base (RAB) is the basis for calculating return on equity for each water and sewerage service." "[sobre NCG 461] Obliga a reportar IF-WU-140a.2 (volumen de pérdidas reales no remuneradas) como métrica ESG. Convierte el ANC en variable de gobernanza corporativa." El ANC pasa de ser un problema técnico a indicador financiero crítico (impacta el EBITDA) y de reporte obligatorio. La RAB permite recuperar inversiones para reducción de pérdidas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (ANC como métrica financiera) Complementar (reporte ESG obligatorio)
Materiales más significantes:	Tabla: indicadores SASB sanitarias Esquema: RAB y flujo de caja

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 10

	TIPO de lectura (Específica MWM 140)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Catalán, P. (2025). Riesgos y conflictos en la gestión de recursos. Clase MWM 140, UTFSM.
Palabras claves:	ISO 31000, FMEA, PSA, SGRH, GIR, capital humano, RPN
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	"La Gestión Integral de Riesgos (GIR) corresponde a todas las acciones para detectar, mitigar y monitorear el comportamiento de aquellos elementos constitutivos de riesgos que pueden generar incertidumbre." "La evaluación de la resiliencia no debe considerar únicamente la dimensión técnica, sino también las dimensiones ambiental, organizacional, social y económica." FMEA prioriza fallas según RPN (gravedad x ocurrencia x detectabilidad). PSA incluye fugas como peligros operativos. SGRH vincula gestión del capital humano con la eficiencia en ANC.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (gestión proactiva) Orientar (dimensión organizacional)
Materiales más significantes:	Tabla: FMEA con RPN Esquema: jerarquía de controles

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 11

	TIPO de lectura (Específica MWM 110)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Suárez, R. (2025). Evaluación de los recursos hídricos. Clase MWM 110, UTFSM.
Palabras claves:	STWD, ARMA, FFBP-NN, WaMDaM, predicción de demanda, detección anomalías
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	"STWD es fundamental para la gestión de sistemas de distribución pues es útil para pinpointing possible network failures (e.g., water leaks and pipe bursts)." "The hybrid model (combined forecast from ARMA and FFBP-NN) was the best model para predicción de demanda de corto plazo." Modelos de predicción de demanda permiten detectar anomalías que pueden indicar fugas. WaMDaM integra datos heterogéneos de múltiples fuentes para un balance hídrico más preciso.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (herramientas cuantitativas) Orientar (diagnóstico indirecto)
Materiales más significantes:	Gráfico: predicción demanda vs. real Tabla: comparación modelos

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 12

	TIPO de lectura (Específica MWM 110 — Paper)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Anele, A.O. et al. (2017). Overview of forecasting models for short-term water demand. Water, 9(12), 887. https://doi.org/10.3390/w9120887
Palabras claves:	Predicción de demanda, ARMA, redes neuronales, detección anomalias en red
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	"Short-term water demand prediction is used for operating, managing, and planning water distribution systems.""La comparación de modelos muestra que los enfoques hibridos (ARMA + redes neuronales) superan a los modelos individuales en precisión y adaptación a patrones cambiantes. “La desviación entre consumo esperado por el modelo y el consumo real medido es un método indirecto de detección de fugas no visibles, aplicable en sistemas de monitoreo automatizado.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (detección automatizada) Avalar (modelos cuantitativos ANC)
Materiales más significantes:	Tabla: comparación modelos predictivos Gráfico: desviación consumo

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 13

	TIPO de lectura (Específica MWM 130 — Trabajo grupal MWM)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Grupo MWM 130. (2025). Diagnóstico ANC y Propuesta de Mejora Continua en Nueva Atacama S.A. (A10R1-G2). UTFSM.
Palabras claves:	DMAIC, Pareto, Ishikawa, causa raíz, plan de acción, empresa sanitaria
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	Caso aplicado: ilustra la aplicación práctica de DMAIC, Pareto e Ishikawa para diagnóstico del ANC en empresa sanitaria chilena. Valida la aplicabilidad del marco metodológico en el contexto nacional.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (caso real Chile) Complementar (herramientas aplicadas)
Materiales más significantes:	Tabla: diagnóstico ANC Gráfico: Pareto causas Esquema: Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 14

	TIPO de lectura (Específica MWM 530 — Trabajo grupal)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Grupo MWM 530. (2025). Gestión del ANC y evaluación de riesgo en sanitarias chilenas. (A10C1-G4). UTFSM.
Palabras claves:	Red inteligente, AHP, diagnóstico ANC, sanitarias chilenas, evaluación de riesgo
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	Diagnóstico consolidado del ANC en empresas sanitarias de Chile. Propone Red Inteligente + AHP para priorización. Referente directo para la demostración del caso Nueva Atacama.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (diagnóstico Chile) Orientar (modelo Red Inteligente)
Materiales más significantes:	Tabla: ANC por empresa Gráfico: comparación estándares

Fuente: Elaboración propia

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 120)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Molina, X. (2025). Gestión de la captación y tratamientos del agua. Clase MWM 120, UTFSM.
Palabras claves:	Economía circular, gestión de riesgos de suministro, seguridad hídrica, HACCP
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Contribuir a la economía circular. Reducir el uso de la energía (en los procesos) y las pérdidas de agua." "Seguridad hídrica: Acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada... mantener una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequias." El ANC es un costo de capital: cada litro perdido fue extraído, tratado y presurizado. Las fugas deben incluirse en la matriz de riesgos del suministro. Marco de seguridad hídrica para justificar la prioridad estratégica del ANC.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (economía circular) Orientar (riesgo suministro)
Materiales más significantes:	Esquema: ciclo economía circular en agua Tabla: matriz de riesgos

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 15Tabla Ficha A. 16

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 410)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Homsi Auchen, J. (2025). Gestión de la depuración y reutilización. Clase MWM 410, UTFSM.
Palabras claves:	RSA Framework, CHANS, agua como activo económico, AHP, LCA
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Domestic wastewater is now being seen as a resource than as a waste. It offers opportunities to recover water, energy and fertilizing nutrients.""[sobre CHANS] La gestión del agua requiere entender los flujos como sistemas acoplados de humanos y naturaleza: la toma de decisiones no es solo técnica sino sistémica."RSA Framework evalúa inversiones bajo escenarios de escasez. La visión del agua como activo económico incentiva la gestión eficiente de la red. El enfoque sistémico sitúa el ANC en un contexto de gestión integrada.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (agua como activo) Orientar (marco de decisiones integrado)
Materiales más significantes:	Esquema: RSA Framework Tabla: análisis LCA inversiones

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 17

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 420)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Millán, M. (2025). Gestión del sistema pluvial. Clase MWM 420, UTFSM.
Palabras claves:	DSS, gobernanza hibrida, brecha de información, catastro, intersectorialidad
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Estas herramientas sistematizan los criterios de toma de decisiones y eliminan el sesgo inherente al juicio experto, abaratando el aspecto técnico para usuarios no técnicos." "[sobre brecha de información] Los trazados informados por las sanitarias frecuentemente no coinciden con la realidad en terreno durante las excavaciones." Los DSS estructuran la toma de decisiones en infraestructura. La brecha de información en catastros es un obstáculo crítico para el diagnóstico del ANC. Aporta perspectiva de gobernanza hibrida.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (DSS para ANC) Avalar (brecha catastro causa raíz)
Materiales más significantes:	Esquema: arquitectura DSS Tabla: criterios multicriterio

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 18

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 100 — Referencia)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	CR2. (2015). Informe: La Megasequia 2010-2015. U. de Chile / U. de Concepción. [MWM 100]
Palabras claves:	Seguridad hídrica, estrés hídrico, megasequia, resiliencia hídrica Chile
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	Contextualiza urgencia de reducir el ANC en Chile: la megasequia demuestra que cada litro perdido es extraído de cuencas ya bajo presión extrema. La reducción de pérdidas es la medida de adaptación más costo-efectiva.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementar (contexto urgencia Chile) Orientar (ANC como adaptación climática)
Materiales más significantes:	Mapas: estrés hídrico Chile Gráfico: déficit hídrico

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 19

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 510 — Referencia)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kresse, A. (2025). Sector sanitario Chile: reducción de pérdidas y tecnología avanzada. Clase MWM 510, UTFSM.
Palabras claves:	Sector sanitario Chile, pérdidas en red, IA, redes neuronales, meta SISS 2030
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	ANC >30% en Chile vs. meta SISS 25% para 2030. Tecnología avanzada (IA, redes neuronales) requiere datos confiables como condición previa. Fundamenta la necesidad del marco por etapas de desarrollo.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avalar (diagnóstico sector) Complementar (perspectiva tecnológica)
Materiales más significantes:	Gráfico: evolución ANC Chile Tabla: comparación empresas

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 20

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Konatar, M., & Schiller, T. (2020). NRW Change Management Index: An Innovative Approach for Non-Revenue Water Management. KfW Development Bank / MACS Energy & Water. Water Online White Paper.
Palabras claves:	NRW maturity model, gestión del cambio, dimensión técnica, dimensión institucional, KfW, personas y ANC
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Only lately has it been recognized that the institutional environment and culture of a utility is a key factor for successful NRW management and the sustainability of water supply and sanitation services." "By consolidating the technical and institutional dimensions, the NRW Change Management Index gives a holistic picture of a utility's NRW management approach, overcoming existing shortcomings of the one-dimensional technical NRW audits." La evidencia del caso Batumi Tskali (Georgia) muestra que una empresa puede tener infraestructura nueva y seguir con ANC >90% si no hay cambio cultural interno: el diagnóstico técnico solo es la mitad del problema.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Valida la dimensión institucional como eje paralelo al diagnóstico técnico en los Módulos 2 y 4 del instrumento. Demuestra que las intervenciones técnicas fracasan sin cambio cultural, argumento central de la Escalera de Madurez para los Niveles N1 y N2. Aporta las cuatro categorías técnicas (balance, metas, DMA, monitoreo) y las categorías institucionales (actitudes, comportamiento, habilidades) como referencia para el diagnóstico integrado.
Materiales más significantes:	Tabla de dimensiones técnica e institucional del NRW-CMI con sus cuatro categorías de indicadores técnicos; Descripción del caso Batumi Tskali (Georgia): 90%+ ANC revertido mediante cambio de gestión institucional; Esquema conceptual de consolidación de dimensiones técnica e institucional en un índice único.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 21

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Liemberger, R., & Farley, M. (2004). Developing a non-revenue water reduction strategy. Water Supply, 5(1), 41-50. IWA Publishing. [pendiente confirmar DOI]
Palabras claves:	estrategia reducción ANC, diagnóstico NRW, pérdidas aparentes vs reales, planificación, IWA
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"This paper is the first part of the outline of a basic NRW reduction strategy and is intended to motivate utility managers to establish a standard water balance, calculate the level of NRW, quantify its components and identify main problem areas." "This diagnostic approach, followed by the practical implementation of solutions which are practicable and achievable, can be applied to any water company, and forms the foundation of a comprehensive NRW management programme." La estructura de dos fases —investigar primero, planificar después— establece el principio que ordena el proceso diagnóstico de la tesina.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orienta la lógica diagnóstica de la tesina al articular las dos fases del proceso ANC: investigar (balance, indicadores, diagnóstico) y luego planificar e implementar. Avala los cinco grupos de tareas (HOW MUCH? WHERE? WHY? HOW TO IMPROVE? HOW TO MAINTAIN?) que estructuran el protocolo propuesto en los Módulos 2 y 3 del instrumento.
Materiales más significantes:	Figura 1: Tabla de cinco preguntas-tareas para el proceso ANC (p.12, Parte 2) — marco ordenador del proceso completo; Matriz de balance hídrico IWA estándar con todos los componentes (p.2, Parte 1); Criterios para estimación de pérdidas reales y aparentes en sistemas con datos incompletos; Abstract de Parte 2 como síntesis de la estrategia de implementación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 22

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	AbuEltayef, M., Alastal, K., & AbuAlhin, K. (2025). Nonrevenue water paradigm for planning and management by performance indicators. Water Practice & Technology, 20(7), 1639. https://doi.org/10.2166/wpt.2025.092
Palabras claves:	PMPI, indicadores de desempeno, planificación ANC, mejora continua, validación expertos, IWA 2025
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"A key barrier to global NRW reduction is the limited understanding of its magnitude, causes, and costs. Many utility staff and decision-makers cannot identify root causes." "PMPI follows a linear, step-by-step process: analyzing indicators, setting targets, creating action plans, and making continuous improvements based on feedback. To ensure comprehensive management, the model incorporates the International Water Association (IWA) water balance framework and its key components." El modelo PMPI integra los indicadores IWA con un ciclo de planificación–implementación–evaluación que se adopta parcialmente en los Módulos 3 y 4 del instrumento propuesto.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala el enfoque de mejora continua basada en indicadores de desempeño (KPIs) que se adopta en el Módulo 3 del instrumento. Orienta la estructuración del ciclo de planificación por indicadores en cinco fases como referencia para los niveles N3–N4 de la Escalera de Madurez. Aporta el índice NRWPI compuesto como herramienta de benchmarking para sistemas en etapas avanzadas.
Materiales más significantes:	Figura 1: Métodos de desarrollo del enfoque PMPI (p.2); Figura 2: Proceso PMPI completo de cinco fases — Arreglos institucionales → Diseño → Plan de acción → Monitoreo → Mejora continua (p.4-5); Descripción detallada de cada fase con pasos específicos; Contexto de aplicación en Palestina (región con alta variabilidad de datos) como caso comparable.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 23

	TIPO de lectura (Fundamental Externo —AWWA)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	American Water Works Association (AWWA). (2009). Water Audits and Loss Control Programs (Manual M36, 3a ed.). AWWA.
Palabras claves:	auditoría de agua, Data Validity Score, DVS, bandas de madurez, balance hídrico AWWA, pérdidas reales y aparentes
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"This is the question of data validation. The IWA/AWWA Water Audit Method now exists to give water utilities a highly robust and reliable structure for water auditing. However, as with computer systems, the quality of the output of the water audit (performance indicators) is only as reliable as the quality of the data entered into the water audit." "The software requires that the user 'grade' the validity of each input data, from which a composite score (0-100 scale) is calculated, thereby providing a good assessment of the degree of confidence in the data. This is a powerful feature included in the Version 4.0 software." El DVS operacionaliza la calidad de los datos en una escala gradual (1–10 por componente), haciendo que la incertidumbre del balance sea medible, comunicable y accionable.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Define el modelo de madurez de datos (DVS / Data Validity Score) en 4 bandas de calidad que se adopta como columna vertebral del diagnóstico de confianza en el instrumento. Avala la jerarquía datos→indicadores→decisión que organiza los Módulos 2 y 3 de la tesina. Aporta el ejemplo de auditoría de Philadelphia y Peel como casos de referencia de aplicación del método IWA/AWWA.
Materiales más significantes:	Tabla 2-21: Valores unitarios para el cálculo del UARL por componente de infraestructura (p.61); Sección 'Data Validation' (p.62-63): descripción del problema de validez y la solución DVS; Appendix B (Free Water Audit Software): descripción del sistema de calificación 1-10 por categoría (p.229-230); Appendix C: Water Audit Reports de Philadelphia (p.232) y Peel (p.233) como casos de referencia internacional.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 24

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	GWOPA / UN-Habitat. (2014). Roadmap to Non-Revenue Water Reduction and Management. BEWOP Tool Series No. 4. Global Water Operators' Partnerships Alliance.
Palabras claves:	hoja de ruta NRW, roadmap, capacidad institucional, enfoque adaptable, UN-Habitat, GWOPA
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"NRW does not have to be only the result of an underperforming utility, another cause can be a lack of investments that are sometimes out of the scope of a water utility." "NRW reduction and management is a major challenge; it needs vision and commitment from management, contributions from many departments and intensive collaboration between employees. Also, the challenge to reduce NRW includes technical, cultural and organizational changes." El enfoque del roadmap es adaptable a contextos con alta variabilidad institucional, característica central del sector sanitario chileno donde coexisten empresas mayores y pequeñas con capacidades muy distintas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala el enfoque por pasos adaptable a distintos contextos institucionales que se adopta en los Módulos 1 y 3 del instrumento. Aporta la Matriz internacional de evaluación inicial de NRW (categorías A1–D) como criterio de priorización para el Nivel N1 de la Escalera. Documenta los componentes técnicos y comerciales del roadmap como referencia para el protocolo de intervención.
Materiales más significantes:	Figura 5: Balance inicial de agua simplificado con estimaciones para contextos con datos incompletos (p.7); Figura 7: Matriz internacional de evaluación NRW con categorías A1–D y criterios de urgencia de intervención (p.9); Capítulo 4: Pasos detallados de gestión de pérdidas físicas y comerciales (p.19-27); Anexo: Herramientas prácticas incluyendo matriz de autoevaluación NRW.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 25

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 510 — Referencia)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rubio, P. (2025). Los 4 Marcos para el diseño estratégico en la gestión del agua. Clase MWM 510, UTFSM.
Palabras claves:	4 marcos estratégicos, OCDE, institucionalidad, PESTEL, diseño de políticas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	Propone 4 marcos de análisis previos al diseño estratégico: global (OCDE), institucional (ley chilena), posición de la organización, y situacional (PESTEL). Aplicable directamente al diseño del marco ANC propuesto.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Orientar (estructura diseño estratégico) Definir (niveles de análisis previo)
Materiales más significantes:	Esquema: 4 marcos interconectados

	TIPO de lectura (Complementaria MWM 510 — Referencia)
	Tabla: variables por nivel

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 26

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Water & Sanitation for the Urban Poor (WSUP). (2017). A guide to non-revenue water reduction. WSUP.
Palabras claves:	guía NRW, enfoque adaptable, reducción pérdidas, capacidad empresa, WSUP
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"NRW is a key indicator of a utility's operational and financial performance. A high level of NRW normally indicates a water utility that lacks good governance, autonomy, accountability, and the technical and managerial skills necessary to provide a reliable service." "The guide has been designed to provide systemic guidelines – in the form of a set of procedures described through flowcharts – that can be adopted by utility managers, engineers and operations staff to plan and implement a phased, sustainable NRW programme encompassing the full service área and customer base." La guía está diseñada explícitamente para empresas en etapas incipientes de gestión en países en desarrollo, lo que la hace pertinente para las empresas pequeñas y medianas chilenas con menor capacidad operativa.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Valida el enfoque diferenciado por etapa operativa que organiza los protocolos del Módulo 1 (selección del protocolo de diagnóstico según capacidad). Aporta el nexo entre reducción de ANC y cobertura para usuarios de bajos ingresos como argumento de justificación social. Documenta el impacto del caso JIRAMA (Madagascar): 710.000 usuarios de bajos ingresos beneficiados por la reducción de ANC.
Materiales más significantes:	Figura 1: Insumos necesarios para programas NRW exitosos — datos, capacidad técnica, soporte financiero, operaciones comerciales, gestión de activos (p.5); Flujogramas de procedimientos por etapa: DMA, auditoría comercial, detección activa de fugas, evaluación mensual de desempeño (p.8-16); Caso JIRAMA Madagascar como evidencia de impacto social de la reducción del ANC (p.5).

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 27

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2025). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2024. Gobierno de Chile.
Palabras claves:	ANF Chile, meta 2030, SISS, empresas sanitarias chilenas, diagnóstico sector, regulación
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Hemos logrado reducir el índice de Agua No Facturada a un 31,1%, superando el 32,2% registrado el año anterior, lo que refleja un control más estricto sobre las pérdidas físicas y los usos no autorizados." "Al cierre de este ejercicio, la industria atiende a un total de 6.240.615 clientes, lo que representa un crecimiento del 1,51% respecto al año anterior. Estas cifras vienen acompañadas de niveles de cobertura urbana que son motivo de orgullo nacional, alcanzando un 99,94% en agua potable y un 97,54% en alcantarillado." El 31,1% de ANF en 2025 representa una mejora marginal frente al 33,8% de 2018, y sigue siendo significativamente superior a los estándares de los países OCDE de referencia.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Contextualiza la situación actual del sector sanitario chileno al 2025 con los datos de cobertura e indicadores de ANF más recientes. Avala la heterogeneidad del sector y la urgencia de reducción que justifican la Escalera de Madurez como herramienta diferenciada por tamaño de empresa. Provee el dato de 42,2% de medidores mayores a 10 años como evidencia de la brecha de activos.
Materiales más significantes:	Palabras del Superintendente Jorge Rivas Ch. (p.6): contexto de logros y desafíos regulatorios 2025; Resumen en Cifras (p.11-15): ANF 31,1%, cobertura 99,94% AP, dotación 172,8 l/hab/día, red 43.233 km AP, 42,2% medidores mayores a 10 años; Datos de infraestructura: 51 concesionarias, 18.308 empleados sector.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 28

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. World Bank Water Supply and Sanitation Working Note No. 8. World Bank.
Palabras claves:	NRW países en desarrollo, gobernanza, capacidad institucional, fracaso intervenciones técnicas, Banco Mundial
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"A high NRW level is normally a surrogate for a poorly run water utility that lacks the governance, the autonomy, the accountability, and the technical and managerial skills necessary to provide reliable service to their population." "The total cost to water utilities caused by NRW worldwide can be conservatively estimated at $141 billion per year, with a third of it occurring in the developing world. In developing countries, about 45 million cubic meters are lost daily through water leakage in the distribution networks—enough to serve nearly 200 million people." El ANC no es un problema técnico aislado: refleja la capacidad de gobernanza y gestión de la empresa, argumento que justifica el enfoque integrado de la tesina.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala el argumento de que el ANC refleja capacidades de gestión —no solo infraestructura— que es la tesis central del Capítulo 4. Complementa el contexto internacional y el análisis costo-beneficio del Módulo 3, y respalda el caso para esquemas de contratación basada en desempeño como modelo aplicable en Chile. Aporta cuatro casos reales de reducción significativa del ANC en Asia, Europa y América Latina.
Materiales más significantes:	Executive Summary (p.v-vi): síntesis del impacto global del NRW con cifras clave; Lecciones aprendidas de los cuatro contratos de desempeño: Selangor, Bangkok, São Paulo y Dublín (p.24-32); Apéndice 1: cuestiones técnicas del NRW — balance, indicadores y herramientas (p.33+); Figura con condiciones mínimas necesarias para iniciar un programa de reducción del ANC.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 29

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kayaga, S., Mugabi, J., & Kingdom, W. (2013). Evaluating the institutional sustainability of an urban water utility: A conceptual framework and research directions. Utilities Policy, 27, 32-42.
Palabras claves:	modelo de madurez, water utility maturity, 5 niveles, sostenibilidad institucional, capacidad organizacional, benchmarking
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"We consider institutional sustainability to be synonymous with institutional maturity, which is based on a process-based approach to management. The Water Utility Maturity (WUM) model we have proposed builds on the concept of institutional maturity, and draws from the strengths of evaluation tools/guidelines used in international development." "The proposed WUM model is flexible, considers different levels of institutional capacity, and focuses on processes and practices rather than individual competences. It defines five levels of maturity (initial, basic, proactive, flexible and progressive) against five dimensions of organisational behaviour, structures and processes, technical capabilities, tools and influence." El concepto de cinco niveles de madurez institucional del WUM es el antecedente directo de la Escalera de Madurez de la tesina, adaptada desde cinco dimensiones genéricas a cinco niveles operativos para el contexto chileno.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Provee el fundamento teórico del marco por etapas que organiza la Escalera de Madurez. Avala los cinco niveles de madurez institucional del Módulo 4, y aporta el concepto de 'sostenibilidad institucional como capacidad' —argumento central para justificar el diagnóstico organizacional previo al técnico. Aporta también la comparación crítica de 10 herramientas internacionales de evaluación institucional.
Materiales más significantes:	Figura 1 (artículo): Cinco capacidades centrales del modelo ECDPM como base del WUM; Tabla 1: Comparación de 10 herramientas existentes para evaluación de capacidad institucional de empresas de agua (p.7-8); Figura 2: Las cinco dimensiones del WUM — comportamiento, estructura, capacidades, herramientas, influencia; Annex 1: Modelo WUM agregado para autoevaluación rápida de gerencia senior.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 30

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Liemberger, R., & Farley, M. (2004). Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy. Part 1: Investigating and Assessing Water Losses. IWA Water Loss Task Force / BEWOP. Proc. IWA Leakage 2004, Bucharest.
Palabras claves:	estrategia reducción NRW, balance hídrico IWA, ILI, top-down, bottom-up, línea base, definición del problema
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"The main message of this paper is that it always worth trying to establish a water balance, even if main elements are based on estimates. By doing this, it will be possible to produce a catalogue of required actions in order to improve the accuracy of the water balance." La posición del paper —que un balance con datos incompletos es mejor que no tener balance— sustenta el protocolo de partida del Nivel N1 de la Escalera de Madurez.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Define la metodología de diagnóstico base del balance hídrico IWA en contextos con datos parciales, que es la situación de partida más frecuente en Chile. Orienta los pasos 1 a 5 del balance (VES, CA, PA, RL, componentes) que organizan el protocolo de diagnóstico del Módulo 2. Avala que comenzar con estimaciones es más útil que no comenzar.
Materiales más significantes:	Esquema de balance hídrico IWA con todos los componentes y su jerarquía (Figura 1, p.2); Pasos 1-5 para el cálculo del balance con datos parciales (p.1-9); Criterios para estimación del Volumen de Entrada al Sistema sin macromedición completa; Metodología de estimación de pérdidas aparentes por componente.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 31

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water Loss Control (2a ed.). McGraw-Hill.
Palabras claves:	control de pérdidas, pérdidas reales, pérdidas aparentes, detección activa fugas, gestión de presiones, NRW
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Climate issues, growing populations and deteriorating water supply infrastructure are exerting unprecedented pressure on water resources throughout the world. As a result, government and regulatory bodies and water utilities are experiencing a growing awareness of the importance of accurately assessing and efficiently controlling water losses.""In years past, the seemingly infinite supply of water in expanding 'new worlds' allowed water loss to be largely overlooked. With water readily available and relatively inexpensive, losses have been ignored by water utilities, or assumed to be naturally inherent in operating a water supply system."La transición de gestión reactiva (esperar la queja) a proactiva (detectar antes que falle) es el eje transformaciónal que diferencia los niveles N2-N3 de la Escalera de Madurez.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala el argumento de gestión proactiva vs. reactiva de pérdidas que justifica el enfoque de ciclo continuo del instrumento (Módulo 3). Orienta la selección de estrategias de reducción de pérdidas reales (detección activa, control de presión, rehabilitación) y aparentes (auditoría de medidores, errores de facturación) para los niveles N2–N4. Aporta el modelo BABE para cuantificación de pérdidas de fondo y de ráfagas.
Materiales más significantes:	Capítulo 2: Escala global del problema NRW con cifras del Banco Mundial (p.5-17); Capítulo 5: Programa de control de pérdidas — 6 pasos desde diagnóstico hasta evaluación (p.47-59); Capítulo 10: Modelos BABE para pérdidas reales por tipo de fuga (p.121-154); Apéndice A: Casos de estudio de 25 sistemas internacionales (p.393+); Apéndice B: Equipos y técnicas de detección (p.533+).

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 32

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Hamilton, S., & McKenzie, R. (2014). Water Management and Water Loss. IWA Publishing.
Palabras claves:	gestión de pérdidas, detección fugas, matriz tecnologica, presión, gestión de activos, IWA
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"No 'one-size fits all' solution is appropriate when trying to deal with water losses and it is important to understand that each área has its own set of problems, some of which may be common to other áreas and some of which may be unique to a specific region." "A standard water balance has been developed which is now widely accepted worldwide and enables water suppliers to quantify the magnitude of their water losses in a standard and pragmatic approach after which they can select the most appropriate interventions for a specific área." El principio 'no hay solución única' justifica el diseño diferenciado de la Escalera de Madurez: el instrumento propone trayectorias, no recetas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala el enfoque diferenciado de la tesina —no hay solución única para el ANC— como fundamento del Módulo 5 de selección de intervenciones según contexto. Orienta la elección de tecnologías de detección de fugas según las matrices de decisión por material y presión, aplicables en el contexto chileno. Aporta el nexo entre gestión de presión y reducción de pérdidas con casos empíricos en Sudáfrica.
Materiales más significantes:	Matrices 1-4 de tecnologías de detección por material de tubería y presión (p.2-4): A=inyección gas, B=listening stick, C=correlador, D=hidrofonos, E=inline; Capítulo 3: Gestión de presiones con casos Cape Town (p.39) y Sebokeng (p.42); Capítulo 4: Decisión de reparar vs. renovar con análisis costo-beneficio (p.51-67); Capítulo 8: Software AQUALITE, SANFLOW, ECONOLEAK y WDM scorecard.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 33

	TIPO de lectura (Fundamental Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Lambert, A. (2000). Assessing non-revenue water and its components: a practical approach. Water21, Magazine of the International Water Association. IWA Water Loss Task Force.
Palabras claves:	balance hídrico IWA, UARL, ILI, pérdidas reales inevitables, confianza 95%, estandar global NRW
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"An annual water balance is normally used to assess Non-Revenue Water (NRW) and its components. Unfortunately, because of the wide diversity of formats and definitions used for such calculations, previous attempts at national and international comparisons of performance in NRW management have been open to considerable doubt." "UARL (litres/day, when system is pressurised) = (18 × Lm + 0.8 × Nc + 25 × Lp) × P. This equation, based on component analysis of Real Losses for well-managed systems, is used in the calculation of a new and important performance indicator, the Infrastructure Leakage Index (ILI)." La estandarización IWA del balance y la UARL son condición de posibilidad para el benchmarking internacional y la comparación entre empresas sanitarias chilenas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Define el balance hídrico IWA, la UARL y el ILI que son los fundamentos matemáticos del Módulo 2 del instrumento. Avala la estandarización internacional como condición para el benchmarking y como argumento de la tesina para adoptar terminología IWA en Chile. Establece la fórmula UARL y los rangos de confianza al 95% para los componentes del balance.
Materiales más significantes:	Artículo: matriz de balance hídrico IWA con todos los componentes y definiciones; Fórmula UARL completa con coeficientes (18 × Lm + 0.8 × Nc + 25 × Lp) × P; Tabla de aplicación de intervalos de confianza al 95% a cada componente del balance (ejemplo con datos reales); Rangos de UARL calculados para varios sistemas mundiales como referencia.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 34

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	ADERASA — Asociación de Entes Reguladores de Agua y Saneamiento de las Americas. (2007). Manual de Indicadores de Gestión para Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. ADERASA.
Palabras claves:	indicadores de gestión, benchmarking LAC, balance hídrico, confianza precisión, agua potable, América Latina
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Los Indicadores de Gestión (IG) son medidas cuantitativas de aspectos particulares de la gestión del operador o de las características del servicio. Son utilizados para la evaluación de la eficacia y la eficiencia del operador, simplificando evaluaciones de gran complejidad.""La comparación de los IG de un mismo operador a lo largo del tiempo o bien con otros operadores ha sido llamada 'benchmarking', que, literalmente, significa 'punto de referencia'. Se busca comparar la gestión de un operador a través de los IG, ya sea con su propia historia o con otros operadores, estableciendo a éstos como puntos de referencia."El sistema de IG de ADERASA es comparable con IBNET y permite posicionar el desempeño de las sanitarias chilenas en el contexto latinoamericano.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala el benchmarking latinoamericano como contexto pertinente para la tesina, complementando las referencias internacionales del Capítulo 4. Aporta los 80 indicadores de gestión comparables con IBNET para posicionar el desempeño de las sanitarias chilenas en el ranking regional. Documenta que el sistema se construyó sobre la práctica regulatoria de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Perú.
Materiales más significantes:	Sección 3: Definiciones del Balance Hídrico con estructura compatible IWA (p.7-11); Sección 6: Los 80 Indicadores de Gestión organizados por categoría —estructura del servicio, operación, calidad, económico-financiero— (p.22-26); Sección 4: Esquema de tres niveles de confianza y precisión para calificación de datos (p.12-14); Metodología de recolección, validación y carga de datos (p.27-29).

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 35

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS). (2023). Consideraciones técnicas y alcances metodológicos para la fijación de metas en un marco de eficiencia hídrica. Informe de Avance. Santiago: ANDESS.
Palabras claves:	ANDESS, Chile, balance hídrico, nivel eficiente de pérdidas, pérdidas reales, pérdidas aparentes, IWA Chile
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 3. **Redacciones propias**	"El entendimiento del origen de las pérdidas en un sistema de distribución de agua, es prerrequisito esencial para poder desarrollar programas y actividades encaminadas a su reducción. De hecho, si no es posible establecer las causas que las generan, será muy difícil lograr el éxito en la gestión para reducirlas." "La confección de los balances hidráulicos resultan ser una buena herramienta que permite diferenciar en primer lugar, el volumen de entrada al sistema de abastecimiento respecto del volumen debidamente medido y facturado. A partir de esta diferencia, que corresponde al volumen de pérdida por concepto de agua no facturada, se pueden diferenciar las pérdidas comerciales o aparentes de aquellas físicas o reales." El documento contextualiza la aplicación de los indicadores IWA (ILI, TIRL, ANC%) en el marco regulatorio chileno, aportando la metodología específica para fijar metas de eficiencia hídrica en el proceso tarifario.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Contextualiza el marco regulatorio chileno para la eficiencia hídrica, aportando los criterios de cálculo del Nivel Eficiente de las Pérdidas (NEP/ELL) que se adoptan en el Capítulo 6 de la tesina. Define los indicadores ILI, ALI, TIRL y ANC% en el marco legal chileno, validando la adopción de terminología IWA en el contexto de la SISS. Provee la base metodológica para la fijación de metas por tipo de empresa.
Materiales más significantes:	Sección 2.1.1: Matriz de balance hidráulico propuesto por la IWA (2008) con adaptación chilena (p.10); Sección 2.2.11: Indicadores obtenidos del balance — ILI, ALI, TIRL, ANC% — con fórmulas y ejemplos (p.41-45); Sección 3: Nivel Eficiente de las Pérdidas — definición, modelos y cálculo del NEPR (p.46+); Aplicación de WB-EasyCalc como herramienta de cálculo recomendada.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 36

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	ANDESS — Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G. (2022). Resumen ejecutivo: Manual metodológico de eficiencia hídrica — ANC. ANDESS.
Palabras claves:	ANDESS, eficiencia hídrica, balance hídrico IWA top-down, nivel eficiente pérdidas, política sectorial Chile
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"[PDF no localizado para esta ficha — consultar directamente ANDESS para obtener el documento 'Resumen política sectorial eficiencia hídrica']" "[Cita 2 pendiente de completar — consultar ANDESS o SISS para documento actualizado]" El documento resume la política sectorial de eficiencia hídrica y las metas comprometidas por el sector ante la SISS.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Contextualiza la política sectorial de eficiencia hídrica en Chile y las metas comprometidas que el instrumento propuesto debe ayudar a cumplir. Complementa la visión estratégica del sector con datos de objetivos a mediano plazo, validando la pertinencia de la Escalera de Madurez como hoja de ruta.
Materiales más significantes:	Tabla de metas de eficiencia por tipo de empresa (mayor, mediana, pequeña); Esquema del modelo de desempeño sectorial comprometido; Línea de tiempo de implementación de la política de eficiencia hídrica.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 37

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2018). Eficiencia de las empresas sanitarias en el uso del agua: Agua No Facturada (ANF) 2018. Nota técnica SISS.
Palabras claves:	ANF Chile 2018, eficiencia sanitarias, benchmark internacional, agua no facturada, escasez hídrica
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"Durante el año 2018, un 33,8% del agua potable producida en el país para los sectores urbaños, no llegó a los usuarios finales o bien no fue facturada por diversas razones. Al mismo tiempo, en los últimos años no se han observado mejoras significativas en este indicador.""Los niveles de aguas no facturadas en Chile presentan niveles medios en el contexto internacional, sin embargo son más altos que los reportados en algunos países de la OCDE como Polonia, Inglaterra y Nueva Zelanda. Existe una brecha importante respecto de estos países y, por otra parte, los niveles de ANF son especialmente preocupantes en el país en un contexto de creciente escasez hídrica."El diagnóstico histórico de 2018 provee el punto de partida para medir el avance al 2025 (33,8% → 31,1%) y muestra que la reducción es posible pero insuficiente sin una hoja de ruta estructurada.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Contextualiza el diagnóstico histórico del ANC en Chile al 2018, proveyendo el punto de partida para medir el avance al 2025. Avala la heterogeneidad del sector —empresas medianas con 35,22%, pequeñas con 37,0%— que justifica el enfoque diferenciado de la Escalera. Aporta la comparación con IBNET internacional como referencia de benchmarking.
Materiales más significantes:	Gráfico de evolución del porcentaje de ANF (2000-2018) por tipo de empresa; Ranking de las 28 empresas principales por porcentaje de ANF al 2018 (COOPAGUA a Nuevosur); Tabla comparativa con países IBNET: Polonia, Inglaterra, Nueva Zelanda vs. Chile; Reflexiones finales sobre urgencia y desafíos del sector sanitario.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 38

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	American Water Works Association (AWWA). (s.f.). Water Loss Control: A Practical Guide for Water Utilities. AWWA Water Loss Control Committee.
Palabras claves:	control pérdidas agua, auditoría agua, NRW, 4 pilares, nivel económico óptimo, AWWA español
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"[PDF de versión en español no localizado en el corpus. Se recomienda revisar la guía práctica AWWA disponible en el sitio oficial awwa.org o la versión del Free Water Audit Software]" "[Cita 2 pendiente — usar AWWA M36 (ficha 22) como referencia principal para el DVS y el balance; esta ficha puede fusionarse con F22 si el documento no está disponible]" La guía práctica AWWA complementa el manual M36 con ejemplos de implementación de programas de control de pérdidas en empresas norteamericanas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Avala la metodología AWWA de control de pérdidas en un formato más accesible y orientado a implementación que el M36 técnico. Orienta el Módulo 3 del instrumento con los pasos prácticos para diseñar e implementar el programa de control de pérdidas, incluyendo el cálculo del nivel económico óptimo de pérdidas.
Materiales más significantes:	Tabla de estrategia 4 pilares del control de pérdidas (monitoreo, detección activa, control de presión, gestión de activos); Gráfico del nivel económico óptimo de pérdidas reales; Guía de implementación paso a paso para el programa de control.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 39

	TIPO de lectura (Específica Externo —AWWA)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	American Water Works Association (AWWA). (2009). Free Water Audit Software: Grading Matrix. Water Loss Control Committee. AWWA.
Palabras claves:	Data Validity Score, auditoría agua, calidad datos, grading matrix, SCADA, AWWA, automatización
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"100% of treated water production sources are metered. Meter accuracy testing and electronic calibration of related instrumentation is conducted semi-annually, with less than 10% found outside of +/-3% accuracy. Procedures are reviewed by a third party knowledgeable in the M36 methodology." "Conditions between 2 and 4: 25%-50% of treated water production sources are metered; other sources estimated. No regular meter accuracy testing or electronic calibration conducted. [Grade 2-3 description for the lowest functional level]" La Grading Matrix operacionaliza los niveles de calidad de datos en criterios observables y verificables por cualquier empresa, sin necesidad de consultoría externa.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Define los criterios concretos del DVS por categoría de componente del balance (producción propia, importación, exportación, consumo autorizado, pérdidas aparentes) con descriptores observables del grado 1 al 10. Avala la escala de calidad de datos que se adopta en el instrumento para clasificar empresas según su capacidad de diagnóstico. Provee el referente para las cuatro bandas de confianza del balance.
Materiales más significantes:	20 hojas del Grading Matrix con criterios de calificación 1-10 para cada uno de los componentes del balance hídrico AWWA; Descriptores detallados del grado 10 (máxima calidad): 100% macromedición, calibración semestral, revisión por tercero; Descriptores del grado 1-2 (mínima calidad): datos estimados sin verificación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 40

	TIPO de lectura (Específica Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H., Adiguzel, A., Iritas, O., & Karaaslan, Y. (2018). Management of Water Losses in Water Supply and Distribution Networks in Turkey. Turkish Journal of Water Science and Management, 2(1). doi:10.31807/tjwsm.354298
Palabras claves:	gestión pérdidas agua, Turquia, DMA, SCADA, regulación nacional, meta 25%, modelación hidráulica
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"The main benefits of reducing water losses are reducing pumping and water treatment costs, increase in revenue water, delay of investments for new water infrastructure, postponing the need for new water resources, protection of water quality and reducing the risks of water borne diseases, reduction in frequency of pipe bursts and water cuts." "Approximately 60% of total water losses are comprised of physical losses and the remaining 40% are accounted for apparent losses. Although NRW in Turkey was determined as 43.6% for the year 2012, many municipalities in Turkey have no equipment to measure System Input Volume (SIV) which represents the total volume of supplied water to the WDS." El caso de Turquía —meta regulatoria del 25% de pérdidas para todos los municipios al 2019— ofrece un modelo de política sectorial con metas mandatorias comparable con el contexto regulatorio chileno.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa el contexto internacional con un caso de país en transición (similar a Chile) que implementó regulación obligatoria de ANC con metas por etapas. Avala la metodología DMA y balance anual obligatorio como instrumentos de política pública que la tesis propone adoptar en Chile. Aporta la distinción 60%/40% entre pérdidas físicas y comerciales como referencia para priorización de intervenciones.
Materiales más significantes:	Figura 1: Pérdidas típicas en un sistema de suministro de agua según MNRW 2008; Figura 2: Esquema de sectorización DMA con puntos de medición y control; Tabla de actividades de reducción de pérdidas recomendadas por la regulación turca (DMA, balance anual, hidromodelo, gestión de presión, detección activa); Marco regulatorio turco 2014-2015 como caso de implementación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 41

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Ofwat — Water Services Regulation Authority. (2024). PR24 Common Performance Commitments: Leakage Framework. Ofwat, UK.
Palabras claves:	regulación fugas, Ofwat UK, PR24, caudal nocturno, balance hídrico, incentivos penalidades, marco regulatorio
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"The percentage reduction of three year average leakage in Ml/d from the 2019-20 baseline. Annual average leakage is defined as the sum of distribution system leakage, including service reservoir losses and trunk main leakage plus customer supply pipe leakage." El marco Ofwat PR24 vincula los compromisos de desempeño en reducción de fugas con incentivos económicos directos, lo que es el modelo regulatorio más avanzado del mundo para ANC.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa el análisis del modelo regulatorio avanzado con el esquema de compromisos de desempeño (ODIs) de Ofwat PR24, que vincula resultados en reducción de ANC con incentivos y penalidades económicas. Orienta el diseño del marco regulatorio propuesto en el Capítulo 7 de la tesina. Documenta el estándar de medición nocturna (MNF) con cobertura del 95% de propiedades como meta de infraestructura de monitoreo.
Materiales más significantes:	Definición detallada de la métrica de fugas PR24 con método de cálculo post-MLE (p.3); Criterios de cobertura (95% de propiedades) y disponibilidad de datos para reportes válidos (p.5-6); Flujo del proceso de cálculo de fugas (Figura 1): Bottom-up (DMA nightlines) + Top-down (balance) + MLE; Estructura de incentivos ODI y penalidades por incumplimiento de compromisos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 42

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Comision Nacional del Agua (Conagua). (2015). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento — Libro 42: Mantenimiento y Reparación de Tuberias y Piezas Especiales. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Mexico.
Palabras claves:	control de fugas, mantenimiento redes, Conagua Mexico, detección electroacustica, programa de fugas, SGAPDS
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"La reparación de tuberías es una actividad crítica para el control de pérdidas técnicas. Las pérdidas pueden separarse en técnicas y comerciales. Las técnicas se refieren principalmente a fugas en los elementos de distribución de agua potable como conducciones, matrices, arranques y elementos de la red." "La localización de la fuga es un paso fundamental en el proceso de reparación. Las medidas para el control y reducción de fugas incluyen el diagnóstico y el plan operativo, la identificación de necesidades de elementos y piezas de reparación." El manual mexicano provee un catálogo operacional de técnicas de reparación según tipo de tubería y fallo, aplicable en el contexto latinoamericano donde los materiales (PVC, polietileno, fibrocemento) son similares a los usados en Chile.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa el marco técnico de intervención sobre pérdidas reales con un referente práctico latinoamericano para el Módulo 3 del instrumento. Orienta la selección de técnicas de localización y reparación según material de tubería y tipo de falla, aplicable en el contexto chileno. Provee criterios de diagnóstico operacional y programas de seguimiento de control de fugas.
Materiales más significantes:	Sección 1.2: Medidas para el control y reducción de fugas — ocurrencia, diagnóstico, acciones, seguimiento (p.2-6); Sección 1.2.3: Acciones para eliminación de fugas por tipo de causa; Sección 1.2.4: Programa de seguimiento de control de fugas; Secciones 1.5-1.11: Sistemas de reparación por material (fibrocemento, hierro dúctil, concreto, acero, fibra de vidrio, polietileno, PVC); Tabla de tipología de fugas y métodos de reparación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 43

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Soppe, G., Janson, N., & Piantini, S. (2018). Water Utility Turnaround Framework: A Guide for Improving Performance. World Bank, Washington, DC. doi:10.1596/978-1-4648-1207-6
Palabras claves:	turnaround, mejora desempeno sanitaria, economia política, 4 fases, piramide del exito, Banco Mundial
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"A framework for turning around poorly performing water utilities will benefit the management of these utilities, governments with responsibilities for water utilities, and those providing technical and financial support for improving the WSS sector. Despite dedicating substantial time and resources to water utilities, efforts to improve their performance seem to have run out of steam." El Turnaround Framework del Banco Mundial propone que el cambio de desempeño en empresas de agua requiere liderazgo competente, 'primeros compromisos' concretos y ciclos virtuosos progresivos —lógica que refuerza la Escalera de Madurez.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa la dimensión institucional del marco con el enfoque de reestructuración profunda para empresas en estado crítico, pertinente para las empresas sanitarias chilenas con peor desempeño. Orienta el diseño del protocolo de diagnóstico institucional del Módulo 4, incluyendo la matriz de madurez inicial (Initial Maturity Matrix) y los árboles de decisión. No reemplaza al WUM sino que lo complementa para contextos de reestructuración.
Materiales más significantes:	Figura ES.1: The Turnaround Framework completo con sus tres fases (p.xvi); Figura ES.2: Árbol de decisión para determinar el siguiente paso de mejora (p.xviii); Box 4.1: Initial Maturity Matrix — evaluación rápida de madurez inicial (p.42); Figura 4.12: Logic Tree for High NRW — árbol de causas de ANC elevado (p.62); Apéndice A: Matrices de madurez por elemento de la Pirámide del Éxito (p.85-89); Casos CESAN, DAWACO, ONEA, SEDAPAR, SONEB.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 44

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Farley, M. (2008). The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide for Asia. Ranhill Utilities Berhad y USAID.
Palabras claves:	NRW handbook, gerencia ANC, circulo vicioso, circulo virtuoso, DMA, responsabilidad transversal
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"[PDF no localizado en el corpus. Referencia disponible en: http://www.seawun.org/uploads/reports/NRW%20Manager%20Handbook.pdf — consultar directamente]" "[Cita 2 pendiente — el Handbook provee una perspectiva gerencial del ANC con el esquema del círculo vicioso vs. virtuoso de la gestión de pérdidas, citado también en Konatar & Schiller (2020)]" El handbook ofrece una perspectiva gerencial del ANC orientada al nivel directivo, complementando los manuales técnicos con argumentos de toma de decisiones.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa la perspectiva gerencial del ANC con una guía específica para directivos que necesitan justificar inversiones en reducción de pérdidas ante sus directorios. Orienta el Módulo 1 del instrumento (protocolo de diagnóstico inicial) con los conceptos del círculo vicioso vs. virtuoso de la gestión de pérdidas, aplicables en el contexto de empresas sanitarias chilenas.
Materiales más significantes:	Esquema del círculo vicioso vs. virtuoso de la gestión del ANC (alta pérdida → menores ingresos → menor inversión → más pérdida; vs. el inverso); Tabla de responsabilidades gerenciales en un programa ANC (quién hace qué, cuándo, con qué recursos); Marco de análisis de costos-beneficios del programa ANC para directivos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 45

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (s.f.). Inteligencia Artificial en los Servicios de Agua: Oportunidades y Desafios en America Latina y el Caribe. BID, Washington.
Palabras claves:	inteligencia artificial, agua LAC, innovación, gestión del cambio, mantenimiento predictivo, BID
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	La IA como herramienta de gestión del ANC representa el horizonte tecnológico del Nivel N5 de la Escalera de Madurez, donde la empresa tiene capacidades de monitoreo en tiempo real y optimización automática.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa el contexto digital latinoamericano como justificación de la pertinencia del Nivel N5 de la Escalera de Madurez. Avala la inteligencia artificial como etapa de madurez tecnológica avanzada en gestión del ANC, diferenciando a las empresas de alto rendimiento. Aporta evidencia de adopción de IA en LAC con barreras y habilitadores aplicables al contexto chileno.
Materiales más significantes:	Esquema del modelo de 10 pasos para innovación digital en servicios de agua; Tabla de barreras para la adopción de IA en empresas sanitarias LAC (datos, regulación, capacidades); Casos de uso de IA en detección de fugas (sensores acústicos + ML) y gestión de presiones (SCADA + algoritmos).

Fuente: Elaboración propia

Tabla Ficha A. 46

	TIPO de lectura (Complementaria Externo)
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Ramirez Rojas, M.A. (2017). Metodología de evaluación de pérdidas de agua potable y análisis de factibilidad de medición continua en grandes conducciones. Caso: Gran Alimentadora-Valparaiso. Tesis Ingenieria Civil. Universidad Técnica Federico Santa Maria, Valparaiso. Profesor guía: A. Ossandon.
Palabras claves:	pérdidas agua Valparaiso, BABE, WaterCAD, medición caudal, sensores ultrasonicos, caso Chile
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	"La gestión de pérdidas de Agua Potable es un proceso relevante para las compañías sanitarias a nivel nacional. Las pérdidas pueden separarse en técnicas y comerciales. Las pérdidas técnicas se refieren principalmente a fugas en los elementos de distribución de agua potable como conducciones, matrices, arranques y elementos de la red." "Con los valores de caudal nocturno para cada sector de derivación y el volumen de pérdida total, se puede aplicar la metodología BABE (Burst and Background Estimates). Con esta herramienta se estiman las fugas de fondo que se producen y el uso normal nocturno que debería existir por sector con respecto al caudal nocturno medido en terreno." La tesis aplica en la Gran Alimentadora de Valparaíso (ESVAL S.A.) la metodología BABE con modelación WaterCAD, demostrando que las herramientas internacionales revisadas en la tesina son aplicables y adaptables al sistema sanitario chileno.
Aporte específico que se cree obtener sirve para:	Complementa el análisis del instrumento con un caso de aplicación local en Chile que usa metodologías BABE e IWA en una conducción real. Avala la aplicabilidad de los métodos internacionales en el contexto técnico chileno (materiales, presiones, densidad de conexiones). Demuestra la factibilidad de la medición continua como herramienta de monitoreo para grandes conducciones, pertinente para el Nivel N3–N4 de la Escalera.
Materiales más significantes:	Resumen: metodología completa de evaluación — medición de caudal nocturno, BABE, modelación WaterCAD (p.4); Resultados del análisis de la Gran Alimentadora Valparaíso 2016: volumen perdido total con componente técnica y comercial; Estimación de fugas de fondo por sector mediante BABE; Análisis de factibilidad de sensores de medición continua en grandes conducciones.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C. BALANCE HÍDRICO IWA

El Balance Hídrico IWA permite organizar y cuantificar el agua que ingresa a un sistema de abastecimiento, distinguiendo entre consumo autorizado y pérdidas de agua. El consumo autorizado se divide en facturado y no facturado, mientras que las pérdidas se clasifican en aparentes y reales. El Agua No Contabilizada corresponde a la suma del consumo autorizado no facturado, las pérdidas aparentes y las pérdidas reales.

Su construcción combina mediciones, registros y estimaciones, que posteriormente se integran mediante las relaciones del balance. El procedimiento de auditoría descrito por AWWA permite sistematizar esta información y reconocer los componentes que requieren mayor verificación (AWWA, 2009).

El balance requiere construir y comprobar cada volumen antes de integrarlo. Se utiliza el mismo sistema y un período de doce meses, que puede actualizarse mensualmente como año móvil. Este período reduce el efecto de los ciclos de lectura sobre las comparaciones mensuales (AWWA, 2009, p. 13; ANDESS, 2023a, pp. 12 y 36).

Se desarrollan primero el volumen de entrada y la facturación. Los demás componentes se reúnen en C.1.3, con sus fórmulas y herramientas de obtención. Para cada dato se registra fuente, período, variables, coeficientes y verificaciones; la forma de obtenerlo no determina por sí sola su confiabilidad.

Volumen de entrada a distribución

Se identifican los medidores de la política de medición y los puntos donde el agua potable ingresa al sistema evaluado. Para mantener la notación del informe, VES corresponde al suministro neto VS de ANDESS (2023a, pp. 33–35):

$$\mathbf{V_{ES}} = \mathbf{V_P} + \mathbf{T_R} - \mathbf{T_E}$$

$\mathbf{V_P}$: aporte propio de agua potable a distribución; $\mathbf{T_R}$ y $\mathbf{T_E}$: traspasos recibidos y enviados que cruzan los límites del sistema. Todos se expresan en m³ del período. Los traspasos ya incluidos en una medición no se agregan otra vez; entre sectores incluidos, se cancelan al consolidarlos.

Con totalizadores y error comprobado del medidor:

$$\mathbf{V_{reg}} = \mathbf{L_{final}} - \mathbf{L_{inicial}} \quad ; \quad \mathbf{V_{corr}} = \frac{\mathbf{V_{reg}}}{\mathbf{1} + \mathbf{e}}$$

L: lectura acumulada; e = (volumen registrado − volumen de referencia) / volumen de referencia, en fracción decimal. Con e = −0,02 se divide por 0,98. El error debe representar las condiciones y el período de uso.

Sin medición acumulada, pero con caudal y duración de cada condición de bombeo:

$$\mathbf{V_{est}} = \mathbf{3,6} \times \sum_{\mathbf{j}} \mathbf{Q_j} \times \mathbf{h_j}$$

$\mathbf{Q_j}$: caudal comprobado en L/s; $\mathbf{h_j}$: horas efectivas de esa condición. El factor 3,6 convierte L/s y horas a m³. Si cambia el caudal de operación se calcula cada intervalo por separado; la capacidad nominal de la bomba no reemplaza su verificación.

Si falta medición del aporte producido, ANDESS (2023a, pp. 32–35) permite reconstruirlo desde la captación:

$$\mathbf{V_P} = \mathbf{V_C} - \mathbf{PAD} - \mathbf{PP}$$

VC: volumen captado; PAD: pérdidas de aducción y salidas de agua cruda anteriores al aporte de agua potable; PP: volumen utilizado o perdido en el proceso productivo. Se excluyen de VES para estudiar el ANC de distribución.

Para PTAP convencionales, ANDESS (2023a, p. 32) cita la referencia tarifaria siguiente:

$$\mathbf{PP_{ref}} = \mathbf{0,05} \times \mathbf{V_C}$$

Su uso exige identificarlo como supuesto y justificar su aplicación al proceso. No equivale a una pérdida medida ni se aplica de manera general a todas las tecnologías. Si PAD es relevante, debe conservarse en la reconstrucción aunque no exista medición de salida.

Se registran por separado la frecuencia de medición, la recuperación de los registros y su análisis. Si el punto utilizado está aguas arriba de la entrega a distribución, deben explicarse los volúmenes del tramo intermedio. Si está aguas abajo, deben identificarse las instalaciones que deja fuera.

Volumen autorizado facturado

Se utiliza el volumen efectivamente incorporado a la facturación del mismo sistema:

$$\mathbf{CAF} = \mathbf{CAF_M} + \mathbf{CAF_{NM}}$$

$\mathbf{CAF_M}$ y $\mathbf{CAF_{NM}}$: consumo autorizado facturado medido y no medido. La condición de facturado no depende del pago de la cuenta. La fuente comercial debe conciliar consumos regulados, no regulados y sus ajustes (ANDESS, 2023a, pp. 35–37).

Si los datos comerciales se extraen antes de aplicar los ajustes de volumen, su integración puede expresarse como:

$$\mathbf{CAF} = \sum_{\mathbf{j}} (\mathbf{V_{cargo,j}} - \mathbf{V_{abono,j}})$$

$\mathbf{V_{cargo,j}}$ y $\mathbf{V_{abono,j}}$: cargos y abonos expresados en m³. No corresponden a montos monetarios. Si la extracción ya entrega volúmenes netos, los ajustes no se descuentan nuevamente.

Una estimación comercial incluida en la facturación permanece en $\boldsymbol{CAF}$ y se identifica para su revisión. Cuando corresponde estimar un consumo individual con antecedentes comparables, la relación general es:

$$\mathbf{V_{est,j}} = \mathbf{c_j} \times \mathbf{d_j}$$

$\boldsymbol{cj}$: consumo diario representativo en m³/día; dj: días cubiertos por la estimación. Se registra el criterio comercial realmente aplicado y se contrasta con lecturas posteriores. Esta relación no reemplaza los registros faltantes de facturación ni establece una regla de cobro.

La revisión considera cuentas sin lectura, estimaciones, cambios de medidor, refacturaciones y regularizaciones. Los días entre lecturas se examinan cuando expliquen variaciones del volumen facturado. El subregistro metrológico se estima en pérdidas aparentes; no se agrega a CAF manteniendo simultáneamente la misma pérdida.

Otros componentes e integración del balance

Los CANF se separan en medidos y no medidos; las PA incluyen inexactitud de micromedidores (EM), consumo no autorizado (CNA) y errores de datos (ED). La Tabla C.1 reúne las herramientas para obtenerlos (AWWA, 2009; ANDESS, 2023a, pp. 37–41).

$$\mathbf{CANF} = \mathbf{CANF_M} + \mathbf{CANF_{NM}} \quad ; \quad \mathbf{PA} = \mathbf{EM} + \mathbf{CNA} + \mathbf{ED}$$

Tabla C.1. Herramientas y fórmulas para desagregar el ANC.

Componente	Herramienta y relación de cálculo	Variables y aplicación
CANF no medido	$\mathrm{CANF_{NM}} = \sum_j \mathrm{q_j t_j}$ O bien: suma de eventos × volumen por evento.	q: caudal en m³/h; t: horas; n: eventos o cargas; v: m³ por evento. Utilizar registros de operación y entregas; excluir usos ya medidos.
Inexactitud de micromedidores	$\mathbf{EM} = \mathbf{V_{reg}} \times (\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1} + \mathbf{e}} - \mathbf{1})$	Vreg: volumen registrado del grupo; e: error ponderado en fracción decimal. Obtener e de ensayos y perfil de consumo, o estudios comparables justificados.
Consumo no autorizado	$\mathbf{CNA} = \sum_g \mathbf{n_g c_g}$	n: casos del grupo; c: m³ por caso durante el período. Utilizar inspecciones y antecedentes de consumos; justificar extrapolaciones.
Errores de datos	Comparación entre lecturas válidas y volúmenes facturados.	Auditoría de lecturas y facturación. Cuantificar diferencias en m³, separadas de inexactitudes de medidores.

Fuente: síntesis de AWWA (2009) y ANDESS (2023a).

Sin estimaciones específicas, FWAS v6.0 permite las siguientes referencias iniciales, cada una sobre CAF (AWWA, 2020c, pp. 2–3):

$$\mathbf{CANF_{NM}} \approx \mathbf{0,0025} \times \mathbf{CAF}$$

$$\mathbf{CNA} \approx \mathbf{0,0025} \times \mathbf{CAF} \quad ; \quad \mathbf{ED} \approx \mathbf{0,0025} \times \mathbf{CAF}$$

0,0025 equivale a 0,25 %. Se aplica al componente correspondiente y se reemplaza por su estimación propia cuando esté disponible. $\boldsymbol{CANFM}$ se obtiene de registros. Estas referencias no representan $\boldsymbol{PA}$ totales ni proporcionan una estimación de EM.

Con variación de almacenamiento despreciable en el período:

$$\mathbf{ANC} = \mathbf{V_{ES}} - \mathbf{CAF} \quad ; \quad \mathbf{ANC}\,(\%) = \frac{\mathbf{V_{ES}} - \mathbf{CAF}}{\mathbf{V_{ES}}} \times \mathbf{100}$$

$$\mathbf{PR} = \mathbf{V_{ES}} - \mathbf{CAF} - \mathbf{CANF} - \mathbf{PA}$$

$$\mathbf{V_{ES}} = \mathbf{CAF} + \mathbf{CANF} + \mathbf{PA} + \mathbf{PR}$$

Si los estanques están incluidos y la variación de almacenamiento es relevante, se calcula $\boldsymbol{\Delta S = volumen\ final - volumen\ inicial}$ y se utiliza $\boldsymbol{PR = VES - CAF - CANF - PA - \Delta S}$. Los reboses ya están comprendidos en las pérdidas reales de ese sistema; no se agregan nuevamente al residual.

Si falta una estimación defendible de PA, el residual después de descontar los consumos autorizados se informa como pérdidas de agua todavía sin desagregar. Las pérdidas reales calculadas se contrastan con balances parciales, caudales nocturnos o análisis de componentes, manteniendo los mismos tramos, períodos y usos autorizados (Lambert, 2003; AWWA, 2009).

ANEXO D. AUDITORÍA HÍDRICA Y CALIDAD DEL DATO

La auditoría hídrica AWWA organiza la cuantificación de consumos y pérdidas, revisa los antecedentes utilizados y permite reconocer oportunidades de mejora. El Free Water Audit Software (FWAS) facilita este procedimiento mediante una estructura de ingreso de datos, cálculo del balance, evaluación de su validez y obtención de indicadores de desempeño.

Este anexo se basa en la versión 6.0 del FWAS y su documentación técnica (AWWA, 2020). La versión debe identificarse al registrar los resultados, porque los criterios y valores por defecto pueden modificarse entre versiones.

Evaluación de los antecedentes

La evaluación considera tanto los valores incorporados como los procedimientos mediante los cuales fueron obtenidos, revisados y documentados. Contar con un instrumento o registro no garantiza, por sí solo, la calidad del dato.

La Tabla D.1 sintetiza los antecedentes que permiten respaldar la evaluación de acuerdo con la matriz AWWA de calificación de datos del FWAS v6.0 (AWWA, 2020).

Tabla D.1. Antecedentes para evaluar la calidad de la información.

Ámbito	Aspectos examinados	Evidencias que respaldan la evaluación
Medición de entradas y transferencias	Cobertura de medición, pruebas de exactitud, calibración electrónica y continuidad de registros.	Proporción del volumen respaldada por medición, identificación de instrumentos, registros de pruebas y calibraciones, tratamiento de interrupciones.
Registros de consumo facturado	Frecuencia de lectura, utilización de estimaciones, correspondencia temporal y revisión de ajustes.	Proporción de facturas estimadas, calendarios de lectura, ajustes al período de balance, refacturaciones registradas.
Inexactitudes de medidores de clientes	Existencia y representatividad de los ensayos y procedimiento para estimar el error ponderado.	Identificación de medidores ensayados, características de la muestra, resultados por rango de caudal y método de ponderación.
Errores sistemáticos de manejo de datos	Control de unidades y multiplicadores, incorporación de nuevas cuentas y revisión de conversiones.	Verificaciones de conversiones, contraste entre registros, casos detectados, volúmenes corregidos.
Consumos y pérdidas estimados	Procedencia de las estimaciones, respaldo específico del sistema y utilización de referencias.	Registros de actividades, inspecciones, estudios, cálculos auxiliares, supuestos documentados.
Antecedentes complementarios	Calidad de los parámetros necesarios para interpretar los indicadores (conexiones, longitud de red, presión).	Registros actualizados, fuentes identificadas, mediciones disponibles y procedimiento de actualización.

Fuente: Elaboración propia.

La calibración electrónica y las pruebas de exactitud hidráulica examinan aspectos diferentes: la primera revisa la transmisión y conversión de señales; las segundas evalúan el desempeño de la medición del caudal. Sus antecedentes deben distinguirse al documentar la auditoría.

Puntuación de Validez de Datos (DVS) y Tiers

La matriz del FWAS utiliza criterios asociados a calificaciones de los insumos en una escala de 1 a 10. A partir de estas calificaciones, el software obtiene el Data Validity Score (DVS), expresado en una escala de hasta 100 puntos, y lo sitúa en un rango de validez denominado Tier.

El DVS caracteriza el respaldo de los datos utilizados en la auditoría. No representa un porcentaje de exactitud del balance ni un intervalo estadístico de confianza. Por ejemplo, un DVS de 80 puntos no significa que los volúmenes tengan una exactitud del 80 %.

La Tabla D.2 presenta los cinco rangos de validez (Tiers) con sus orientaciones del FWAS v6.0 y la condición de aplicabilidad del NRWPI.

Tabla D.2. Rangos de validez de datos (DVS) y orientaciones del FWAS v6.0.

Tier	DVS	Orientaciones del FWAS v6.0	Condición para NRWPI
I	≤ 25	Organizar la auditoría, abordar deficiencias de medición del suministro y comenzar a identificar los principales componentes del ANC.	No aplicable
II	26–50	Identificar vacíos, mejorar los procesos de medición y facturación y desarrollar estimaciones más defendibles para cada componente.	Solo diagnóstico exploratorio
III	51–70	Formalizar procedimientos de recopilación, establecer controles permanentes y revisar la estrategia de reducción de pérdidas.	Aplicable ✓
IV	71–90	Consolidar los procesos de información y desarrollar una planificación más detallada de la gestión de pérdidas.	Aplicable ✓
V	91–100	Mantener una auditoría anual confiable, revisar metas y mejorar continuamente la calidad del dato.	Aplicable ✓

Fuente: Elaboración propia.

Para puntajes de 50 o menos, la guía recomienda fortalecer la validez de los datos antes de concentrar esfuerzos en comparaciones de desempeño y metas basadas en la auditoría. Los Tiers AWWA son criterios de validez de los datos de auditoría; su relación con los niveles N1–N5 se analiza en el cuerpo del informe.

Política de medición — identificación del ámbito

La política de medición establece los volúmenes que deben conocerse para representar el funcionamiento del sistema y los procedimientos para comprobarlos. Su aplicación requiere relacionar las fuentes, plantas, conducciones, estanques, transferencias y redes de distribución con los puntos de medición disponibles.

El primer paso es elaborar o actualizar un esquema hidráulico que identifique las unidades comprendidas en el balance y sus conexiones: fuentes, entradas externas, puntos de transferencia, salidas hacia otros sistemas, usos operacionales y almacenamiento existente.

La Tabla D.3 identifica los puntos de control para la revisión de cada unidad o punto del sistema, indicando qué información debe verificarse y su utilidad.

Tabla D.3. Puntos de control para la revisión de la política de medición.

Unidad o punto	Información que debe verificarse	Utilidad para el análisis
Fuentes, pozos y plantas	Volumen registrado, ubicación del instrumento, régimen de operación y verificación de exactitud.	Establecer el suministro y reconocer sus ajustes e incertidumbre.
Conducciones y derivaciones	Entradas, salidas, conexiones intermedias y condiciones de funcionamiento.	Investigar diferencias de volumen y posibles pérdidas en líneas productivas.
Estanques	Entradas, salidas, niveles, relación nivel–volumen y antecedentes de reboses.	Incorporar cambios de almacenamiento e identificar pérdidas asociadas.
Transferencias e interconexiones	Sentido del flujo, períodos de operación, unidades conectadas y volúmenes transferidos.	Evitar omisiones y duplicaciones al consolidar balances.
Sectores de distribución	Límites comprobados, entradas y salidas controladas, conexiones y consumos asociados.	Construir balances locales y contrastarlos con el sistema que los abastece.
Usos operacionales	Actividad, ubicación, fecha, duración y volumen medido o procedimiento de estimación.	Incorporar los consumos autorizados en el ámbito correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

La separación entre pérdidas de producción y de distribución debe sustentarse en unidades y puntos de transferencia definidos. Su consolidación debe conservar la totalidad de los volúmenes del balance global.

Balance de una unidad hidráulica

Para una conducción, estanque o subsistema puede calcularse una diferencia residual:

$$\boldsymbol{\Delta V = \Sigma E - \Sigma S - UA - (Alm_f - Alm_i)}$$

donde $\boldsymbol{\Delta V}$ es la diferencia de volumen pendiente de explicar; $\boldsymbol{\Sigma E}$ son los volúmenes que ingresan a la unidad; $\boldsymbol{\Sigma S}$ son los volúmenes registrados que salen; UA son otros usos autorizados no incluidos entre las salidas; y $(\boldsymbol{Alm_f - Alm_i})$ es la variación de almacenamiento del período.

Todos los términos deben expresarse en m³ y corresponder al mismo período. Un aumento del almacenamiento se resta; una disminución se incorpora con signo negativo. El resultado residual puede contener fugas, flujos omitidos y errores de

medición. Las diferencias negativas también deben investigarse: pueden revelar entradas no consideradas o sobreestimación de salidas.

Cuando la variación del almacenamiento se considere despreciable, este supuesto debe justificarse para la unidad y el período analizados.

Verificación de instrumentos y del recorrido del dato

Cada punto de medición debe contar con una identificación que permita vincular el instrumento con sus registros, pruebas y condiciones de instalación. La revisión comprende:

- Tipo, diámetro, rango de operación y condiciones de instalación.
- Correspondencia entre el instrumento y el punto hidráulico representado.
- Pruebas de exactitud frente a una referencia adecuada.
- Verificación de señales, unidades, multiplicadores e integración del caudal.
- Correspondencia entre el registro local y los datos almacenados o transmitidos.
- Disponibilidad de información y tratamiento de interrupciones.

Las pruebas del elemento de medición y la calibración electrónica deben documentarse separadamente, indicando qué parte del sistema fue comprobada.

Fórmula de error y corrección

Si el error se define respecto del volumen de referencia:

$$\boldsymbol{e = (V_registrado - V_referencia) / V_referencia}$$

La corrección correspondiente es:

$$\boldsymbol{V_corregido = V_registrado / (1 + e)}$$

Con esta convención, un error negativo (e < 0) representa subregistro y genera una corrección al alza. Los registros originales deben conservarse junto con el valor corregido, la fecha, el fundamento y el responsable del ajuste.

La corrección aplica fila a fila usando el error medido en el ensayo. Si el error varía con el caudal, deben considerarse los rangos correspondientes y no aplicar un solo factor al volumen total.

Criterios IDG para la calificación del macromedidor de suministro

La matriz de calificación interactiva de datos (IDG) del FWAS v6.0 evalúa el volumen de fuentes propias (VOS) y el volumen importado (VI) mediante diez criterios específicos, cada uno con opciones que se traducen en un puntaje de 1 a 10. El puntaje final del componente queda limitado por el criterio con menor calificación (criterio limitante). Los criterios que no siempre se documentan en los balances habituales se presentan a continuación.

La Tabla D.4 describe los criterios IDG que requieren mayor atención al calificar el macromedidor de suministro (Q3, Q5, Q7, Q8, Q9 y Q10).

Tabla D.4. Criterios IDG del FWAS v6.0 para la calificación del macromedidor de suministro.

Criterio IDG	Pregunta que evalúa	Opciones de referencia FWAS v6.0
Q3 — Alcance de la calibración electrónica	¿Abarca solo los instrumentos secundarios, el sistema SCADA/historiador, o ambos?	Solo instrumentos secundarios → menor calificación. Instrumentos secundarios + SCADA/historiador → mayor calificación. Cuanto más amplio el alcance verificado, mejor el puntaje.
Q5 — Frecuencia de pruebas de exactitud hidráulica in situ	¿Con qué frecuencia se someten los macromedidores a pruebas de exactitud frente a un volumen de referencia independiente?	No realizado en los últimos 5 años → puntaje mínimo. Cada 5 años → puntaje bajo. Anual → puntaje alto. Semestral o más frecuente → puntaje máximo.
Q7 — Resultados de las pruebas de exactitud	¿Cuál es la exactitud promedio ponderada por volumen del parque de macromedidores según las pruebas in situ?	Exactitud dentro de ±3 % → puntaje máximo. Entre ±3 % y ±6 % → puntaje intermedio. Igual o peor que ±6 % → puntaje mínimo.
Q8 — Rigor de los procedimientos de prueba	¿Se han revisado los procedimientos de prueba para verificar plena conformidad con los manuales AWWA M36 y M33?	Sin revisión de procedimientos → puntaje mínimo. Revisión parcial → puntaje intermedio. Conformidad completa verificada → puntaje máximo.
Q9 — Frecuencia de lectura del macromedidor	¿Con qué frecuencia se registran las lecturas del macromedidor de suministro?	Menos de una vez al mes → puntaje 5. Una vez al mes → puntaje 6. Más de una vez al mes, pero no diaria → puntaje 8. Diaria → puntaje 9. Continua (SCADA / telemetría automática) → puntaje 10.
Q10 — Frecuencia de revisión de datos	¿Con qué frecuencia se revisan los registros de producción en busca de vacíos, valores nulos o anomalías?	Menos frecuente que mensual → puntaje mínimo. Mensual → puntaje intermedio. Diaria o continua → puntaje máximo.

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios Q1 (porcentaje del caudal medido), Q2 (frecuencia de calibración electrónica), Q4 (documentación de calibración) y Q6 (documentación de pruebas de exactitud) se incorporan en la evaluación general de antecedentes de la Tabla D.1 y en las preguntas clave de la sección 6.2.3 del cuerpo del informe. Los seis criterios de esta tabla complementan esa evaluación con el detalle específico que requiere la calificación del FWAS.

Ubicación del macromedidor y ajustes previos al cálculo del VES

El Volumen de Entrada al Sistema (VES) corresponde al volumen de agua tratada que ingresa a la red de distribución bajo presión. El punto de medición ideal es la salida del estanque de regulación o el punto de conexión directo con la red, porque eso representa el caudal efectivamente puesto a disposición de los usuarios.

Cuando el macromedidor se encuentra en la salida de la planta de tratamiento de agua (PTAP), y entre ese punto y la red existe una conducción, estanques intermedios o instalaciones de uso operacional, el volumen registrado no equivale

directamente al VES. En ese caso es necesario aplicar ajustes antes de incorporar el dato al balance hídrico. El FWAS los agrupa bajo el campo VOSEA (VOS Error Adjustment).

La Tabla D.5 describe los tres tipos de ajuste del VOSEA, qué origina la diferencia en cada caso y cómo se trata en el FWAS.

Tabla D.5. Ajustes al VOS cuando el macromedidor no está en el punto de entrega a la red.

Tipo de ajuste	Qué origina la diferencia	Tratamiento en FWAS
Usos en planta (retrolavados, limpieza de filtros, usos operacionales)	Agua tratada utilizada en procesos de la propia PTAP después del punto de medición. Si el medidor está aguas arriba de estos procesos, el consumo ya está incluido en la lectura y debe descontarse.	Se descuenta del VOS como consumo de proceso (no es pérdida real). Si ocurre antes del medidor, no requiere ajuste.
Variación neta del almacenamiento	Cambio en el nivel de estanques intermedios entre la PTAP y la red al inicio y al final del período de balance.	Se resta si el nivel subió respecto al inicio del período (esa agua quedó almacenada, no ingresó a la red). Se suma si el nivel bajó (se distribuyó agua que ya estaba almacenada).
Pérdidas en líneas de transporte	Fugas o roturas en conducciones entre la PTAP y el punto de entrega a la red de distribución.	Depende de la frontera del sistema (ver más abajo). Si las conducciones se incluyen en la auditoría, las pérdidas se registran como pérdidas reales del balance. Si quedan fuera de la frontera, se deducen como ajuste previo en VOSEA.

Fuente: Elaboración propia.

El VOS ajustado resultante es el valor que el FWAS utiliza como VES para construir el balance hídrico. Su cálculo correcto es un requisito previo para que los indicadores de desempeño (ILI, CARL, NRWPI) sean comparables entre sistemas.

La frontera del sistema define el ámbito espacial de la auditoría y debe documentarse explícitamente. Si las conducciones entre la PTAP y la red se incluyen en la auditoría, el medidor de la PTAP es válido como punto de partida y las pérdidas en esas líneas quedan capturadas dentro de las pérdidas reales del balance. Si la frontera comienza en el punto de entrega a la red, los volúmenes que no llegaron a ese punto deben deducirse mediante VOSEA como ajuste previo. En ambos casos, la definición adoptada debe mantenerse consistente entre períodos para que las comparaciones anuales sean válidas.

El FWAS evalúa adicionalmente, dentro de los criterios VOSEA, si los niveles de estanque se monitorean en forma automática, si los cambios se registran con frecuencia diaria y si la variación neta anual queda incluida de manera explícita en el balance de suministro.

ANEXO E. INDICADORES DE DESEMPEÑO — TIRL, BABE, UARL e ILI

Este anexo presenta las fórmulas y condiciones de aplicación de los indicadores que complementan el balance hídrico IWA para evaluar el desempeño operacional del sistema. El ANC% representa la magnitud global; el TIRL normaliza las pérdidas reales respecto de la infraestructura; BABE examina sus componentes; UARL e ILI aportan una referencia técnica de comparación (Lambert, 1994; Lambert et al., 1999; Lambert, 2000).

TIRL — Normalización de pérdidas reales por infraestructura

El TIRL expresa las pérdidas reales respecto del número de conexiones o de la longitud de red durante el tiempo presurizado. Necesita pérdidas reales diferenciadas de CANF y pérdidas aparentes.

Fórmulas

Por conexión (densidad ≥ 20 conexiones/km):

$$\boldsymbol{TIRL_conex} = \boldsymbol{PR}\,[\boldsymbol{m^3}] \times \mathbf{1.000} / (\boldsymbol{Nc} \times \boldsymbol{dp}) \quad [\boldsymbol{L/conexión/día\ presurizado}]$$

Por longitud de red (densidad < 20 conexiones/km):

$$\boldsymbol{TIRL_long} = \boldsymbol{PR}\,[\boldsymbol{m^3}] \times \mathbf{1.000} / (\boldsymbol{Lm}\,[\boldsymbol{km}] \times \boldsymbol{dp}) \quad [\boldsymbol{L/km/día\ presurizado}]$$

donde Nc es el número de conexiones, Lm la longitud de red principal en km y dp los días equivalentes presurizados del período. En sistemas de suministro continuo dp coincide con los días del período. La referencia de 20 conexiones/km orienta la elección de unidades; el TIRL no normaliza la presión, por lo que las comparaciones deben considerar sus cambios y las condiciones de operación.

Aplicación por nivel

La Tabla E.1 describe las condiciones de aplicación del TIRL y el uso comprobable de sus resultados en cada nivel de madurez.

Tabla E.1. Aplicación del TIRL por nivel.

Nivel	Condición de aplicación y uso comprobable
N1	Si únicamente se conoce el ANC total, el TIRL no puede calcularse. Corresponde identificar los datos necesarios para separar CANF y pérdidas aparentes y obtener conexiones, longitud y tiempo presurizado.
N2	Existe una estimación documentada de pérdidas reales y se conocen los denominadores necesarios. Se selecciona la expresión por conexión o longitud según la red y se calcula una primera referencia, declarando la incertidumbre y el régimen de suministro.
N3	Se calcula una serie con períodos, unidades y denominadores consistentes. Las intervenciones cuentan con referencia anterior y comprobación posterior; los cambios se interpretan junto con presión, suministro y modificaciones de la unidad evaluada.
N4	El TIRL permite comparar resultados de intervenciones y unidades técnicamente comparables. Las diferencias se investigan mediante sus componentes y condiciones hidráulicas, relacionándose con costos y recuperación para ajustar prioridades.
N5	Se mantiene como indicador de verificación de pérdidas reales. Las estimaciones actualizadas comprueban si las respuestas anticipadas produjeron la reducción esperada y si ésta se sostuvo.

Fuente: Elaboración propia.

BABE — Análisis de componentes de pérdidas reales

BABE (Background And Burst Estimation) distingue tres componentes de pérdidas reales: fugas de fondo (background), roturas reportadas y roturas no reportadas. Su cuantificación considera caudales, frecuencia y duración de eventos, junto con condiciones de infraestructura y presión (Lambert, 1994).

Fórmula por componente

$$V_componente = n \times q_medio \times d_medio$$

donde n es el número de eventos del período, q_medio el caudal medio en m³/h y d_medio la duración media en horas. El caudal y la duración deben usar unidades compatibles. Las fugas de fondo requieren estimación específica; no se obtienen asignándoles todo el volumen residual sin explicar.

Esta descomposición permite examinar qué medidas pueden reducir caudal o permanencia de las fugas: gestión de presión, detección activa, velocidad de reparación y gestión de activos.

Preguntas clave al aplicar BABE

- ¿Las pérdidas reales están suficientemente fundamentadas?
- ¿Se distinguen los tres componentes (fondo, roturas reportadas, no reportadas)?
- ¿Los registros de eventos incluyen caudal, frecuencia y duración?
- ¿Los supuestos utilizados están documentados y son específicos del sistema?

UARL — Pérdidas reales inevitables de referencia

La UARL (Unavoidable Annual Real Losses) estima las pérdidas reales inevitables asociadas a las características físicas y operacionales del sistema. Establece la referencia técnica para el ILI.

Fórmula

La expresión entrega litros por día:

$$UARL\,[L/día] = (18 \times Lm + 0{,}8 \times Nc + 25 \times Lp) \times P$$

Variables:

- Lm = longitud de red principal (km)
- Nc = número de conexiones
- Lp = longitud total desde el límite de propiedad hasta los medidores (km); puede ser cero si los medidores están en el límite de la propiedad

- P = presión media representativa del sistema (m.c.a.)

Para convertir a m³/año:

$$\boldsymbol{UARL_anual}\,[\boldsymbol{m^3/año}] \;=\; \boldsymbol{UARL}\,[\boldsymbol{L/día}] \;\times\; \mathbf{365\,/\,1.000}$$

La presión utilizada debe representar el ámbito y el período evaluados. La UARL es una referencia técnica, no un límite físico universal.

ILI — Índice de fugas en la infraestructura

El ILI (Infrastructure Leakage Index) relaciona las pérdidas reales actuales con la referencia UARL. Es adimensional y permite comparar sistemas de distintas características bajo condiciones equivalentes.

Fórmula

ILI = CARL / UARL_anual

donde CARL (Current Annual Real Losses) son las pérdidas reales del balance (PR del período). Numerador y denominador deben representar la misma frontera, período y unidades.

Un ILI inferior a uno requiere revisar datos, conversiones y aplicabilidad del modelo antes de interpretarlo. Durante una intervención de presiones deben seguirse también el volumen perdido y el TIRL, ya que al cambiar la presión se modifica el denominador UARL.

Rangos orientativos

La Tabla E.2 presenta los rangos orientativos del ILI con su lectura inicial y las acciones de comprobación recomendadas para cada intervalo.

Tabla E.2. Rangos orientativos del ILI.

Rango de referencia	Lectura inicial	Comprobación y orientación
ILI < 1	Resultado que requiere revisión particular.	Comprobar pérdidas reales, presión, infraestructura, unidades y aplicabilidad de UARL antes de interpretarlo.
1 ≤ ILI < 2	Pérdidas cercanas a la referencia utilizada.	Mantener controles y evaluar si existen mejoras pertinentes y justificadas.
2 ≤ ILI < 4	Margen de mejora respecto de la referencia.	Examinar componentes, riesgos y alternativas de intervención.
4 ≤ ILI < 8	Distancia importante respecto de la referencia.	Profundizar el diagnóstico y priorizar acciones según causas y condiciones.
ILI ≥ 8	Distancia elevada respecto de la referencia.	Revisar desempeño y calidad de los datos; estructurar intervenciones necesarias.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación por nivel (BABE, UARL e ILI)

La Tabla E.3 resume las condiciones de aplicación conjunta de BABE, UARL e ILI según el nivel de madurez operacional del sistema.

Tabla E.3. Aplicación de BABE, UARL e ILI por nivel.

Nivel	Condición de aplicación (BABE, UARL e ILI)
N1	La UARL solo puede estimarse si existen antecedentes suficientes de Lm, Nc, Lp y presión y se revisa la aplicabilidad del modelo. Sin pérdidas reales diferenciadas no puede calcularse el ILI. Sin antecedentes de caudal, frecuencia y duración de eventos no puede cuantificarse una descomposición BABE.
N2	Se calculan UARL e ILI cuando están disponibles sus insumos, identificando cuáles son medidos y cuáles estimados. BABE puede utilizarse de manera exploratoria con registros de eventos y supuestos explícitos.
N3	Los cálculos tienen fuentes trazables, presión representativa y unidades y períodos compatibles. BABE se aplica donde existen registros suficientes para distinguir fugas de fondo, roturas reportadas y no reportadas.
N4	La composición de las pérdidas y los tiempos de permanencia permiten comparar presión, detección, reparación y renovación. Se comprueba qué componente respondió a cada intervención y se revisan los supuestos del modelo.
N5	Los métodos aplicables se usan para comprobar estimaciones anticipadas de pérdidas y resultados de las respuestas. Los registros posteriores permiten revisar caudales, frecuencias y duraciones supuestos y actualizar los modelos.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO F. NRWPI Y NRWPI-CL

El NRWPI (Non-Revenue Water Performance Indicators) es un marco de benchmarking cuantitativo del ANC publicado por AbuEltayef, Alastal y AbuAlhin (2025a) en Discover Water (Springer). Desagrega el ANC en 18 subindicadores expresados en m³/año que cubren las tres categorías del balance IWA: consumo autorizado no facturado (CANF, 7 subindicadores), pérdidas aparentes (PA, 6 subindicadores) y pérdidas reales (PR, 5 subindicadores).

El resultado se representa en un diagrama polar tipo Windrose donde cada eje corresponde a un subindicador; los pétalos más largos señalan las áreas de mayor pérdida y las prioridades de intervención. Requiere DVS ≥ Tier III (≥ 51 puntos FWAS v6.0).

La sección F.6 presenta el NRWPI-CL, una propuesta de adaptación metodológica para el contexto chileno con cuatro indicadores ajustados a las referencias del sector sanitario (SISS, 2025).

Subindicadores de consumo autorizado no facturado (CANF) — AC1–AC7

La Tabla F.1 describe los siete subindicadores del CANF (AC1–AC7) con su fuente de datos típica para cuantificarlos.

Tabla F.1. Subindicadores de consumo autorizado no facturado (CANF), AC1–AC7.

Código	Subindicador	Fuente de datos típica
AC1	Servicios municipales no medidos (lavado de calles, riego público)	Registros municipales + estimación por patrón de uso
AC2	Riego de espacios públicos sin medición	Estimación por superficie irrigada y tasa de aplicación
AC3	Consumos propios de la empresa (laboratorios, oficinas, patios)	Medición directa o estimación por número de empleados
AC4	Purga y lavado de redes	Registros de operaciones de mantenimiento
AC5	Agua para control de incendios (hidrantes)	Registros de bomberos + registros propios
AC6	Limpieza de calles, mercados y purga de redes principales	Registros de operaciones de limpieza vial + órdenes de lavado de redes
AC7	Otros consumos autorizados no facturados (camiones cisterna, construcción)	Registro caso a caso o estimación

Fuente: Elaboración propia.

Subindicadores de pérdidas aparentes (PA) — AL1–AL6

La Tabla F.2 describe los seis subindicadores de pérdidas aparentes (AL1–AL6) con su fuente de datos típica.

Tabla F.2. Subindicadores de pérdidas aparentes (PA), AL1–AL6.

Código	Subindicador	Fuente de datos típica
AL1	Conexiones ilegales activas (tomas clandestinas sin contrato)	Catastro puerta a puerta, comparación padrón–facturación
AL2	Uso no autorizado en conexiones activas (bypass al medidor)	Inspección de terreno, análisis de consumo anormal
AL3	Manipulación fraudulenta de medidores (imanes, puentes)	Inspección técnica del parque de medidores, denuncias
AL4	Errores de lectura en terreno (transcripción, dígitos transpuestos)	Auditoría de lecturas: comparar estimaciones vs. mediciones
AL5	Errores en procesamiento de datos comerciales (facturación, sistema)	Auditoría del sistema de información comercial
AL6	Submedición sistemática del parque de medidores	Prueba de exactitud de muestra del parque según ISO 4064

Fuente: Elaboración propia.

Subindicadores de pérdidas reales (PR) — RL1–RL5

La Tabla F.3 describe los cinco subindicadores de pérdidas reales (RL1–RL5) con su fuente de datos típica.

Tabla F.3. Subindicadores de pérdidas reales (PR), RL1–RL5.

Código	Subindicador	Fuente de datos típica
RL1	Roturas y fallas en tuberías de la red troncal (agua potable)	Registro de órdenes de reparación + informes de emergencia
RL2	Roturas y fallas en tuberías de distribución secundaria	Registro de órdenes de trabajo; detección con correlador acústico
RL3	Purga y lavado de redes: agua liberada en mantenimiento programado	Registros de operaciones de mantenimiento preventivo
RL4	Daños estructurales y desbordamientos en estanques de regulación	Inspección visual periódica + balance de nivel de estanque
RL5	Fugas y roturas en arranques y acometidas domiciliarias	Campaña de detección con geófono; inspección domiciliaria

Fuente: Elaboración propia.

F.4 Diagrama NRWPI — windrose y escala de clasificación

La **Figura 4** presenta el modelo NRWPI aplicado al sistema de Khan Younis (Gaza), caso de referencia del artículo original. El diagrama (a) muestra la distribución de los 18 subindicadores en el Windrose; el diagrama (b) la escala de clasificación con sus 8 niveles de desempeño (Crítico, Muy bajo, Bajo, Moderado-bajo, Moderado-alto, Alto, Muy alto, Sin valor).

Condiciones mínimas para aplicar el NRWPI

La Tabla F.4 enumera las cinco condiciones mínimas requeridas para aplicar el NRWPI y la consecuencia si alguna de ellas no se cumple.

Tabla F.4. Condiciones mínimas para aplicar el NRWPI.

N°	Condición	Consecuencia si no se cumple
1	Balance hídrico IWA consolidado	Sin balance hídrico no hay denominadores para los 18 subindicadores.
2	DVS ≥ Tier III (≥ 51 puntos FWAS/AWWA)	Con DVS Tier I–II los errores de estimación invalidan el Windrose.
3	Datos de al menos dos períodos (para comparación temporal)	Con un solo período se obtiene solo diagnóstico inicial, sin evaluación de progreso.
4	Adaptación local de umbrales de severidad	Los umbrales del caso Gaza (suministro intermitente) pueden clasificar incorrectamente en contextos de suministro continuo como Chile.
5	Capacidad de gestión N3 o superior	Empresas en N1–N2 raramente disponen de los datos desagregados que el NRWPI requiere para los 18 subindicadores.

Fuente: Elaboración propia.

NRWPI-CL — Propuesta de adaptación metodológica para Chile

La versión NRWPI-CL adapta la metodología de AbuEltayef et al. (2025a) al contexto de las empresas sanitarias chilenas reguladas por la SISS. En lugar de los 19 subindicadores originales, utiliza cuatro indicadores disponibles en los reportes sectoriales: ANC%, ILI, PA% del ANC y CANF% del VES.

Esta simplificación responde a la disponibilidad de datos en Chile. Es apta para diagnóstico y comunicación, pero no reemplaza el NRWPI completo cuando se dispone de información desagregada. Los umbrales se establecen a partir de datos SISS (2025) y referencias IWA/AWWA.

Requisito mínimo: DVS ≥ Tier II (26–50 pts). Para comparación entre períodos se recomienda DVS ≥ Tier III (51–70 pts).

La Tabla F.5 presenta los datos de referencia del sector sanitario chileno que sirven de base para calibrar los umbrales del NRWPI-CL.

Tabla F.5. Datos de referencia del sector sanitario chileno.

Indicador	Valor sectorial (Chile)	Rango observado	Meta regulatoria
ANC% promedio sector	31,1 %	8,4 %–43,6 %	25 % al 2030 / 29 % al 2033
ANC* ajustado (sin campamentos)	~31 %	n.d.	Referencia regulatoria
ILI rango típico Chile	4–16 (sin promedio oficial)	Bien gestionados: 2–4	No publicado por SISS
Empresa modelo (proceso tarifario)	~15 %	—	Referencia eficiencia regulada

Fuente: Elaboración propia.

Eje ANC%

La Tabla F.6 define las bandas de clasificación del eje ANC% con la referencia sectorial chilena correspondiente a cada rango.

Tabla F.6. Umbrales NRWPI-CL — ANC%.

Banda	Rango ANC%	Referencia sectorial
Excelente	< 15 %	Empresa modelo regulada (proceso tarifario SISS)
Bajo	15–20 %	Nivel económico óptimo internacional (OCDE, 2017). Clase mundial.
Moderado	20–30 %	Entre empresa modelo y promedio sectorial. Meta 2030 en este rango.
Alto	30–40 %	Entorno al promedio sectorial (31,1 %). Requiere programa activo.
Crítico	> 40 %	Muy por encima del promedio. Intervención urgente.

Fuente: Elaboración propia.

Eje ILI

La Tabla F.7 define las bandas de clasificación del eje ILI con la categoría IWA y la referencia sectorial correspondiente.

Tabla F.7. Umbrales NRWPI-CL — ILI.

Banda	Rango ILI	Referencia sectorial
Excelente	< 2,0	Categoría A IWA. Gestión activa intensiva. Poco frecuente en Chile.
Bajo	2,0–4,0	Categoría B IWA. Margen de mejora moderado.
Moderado	4,0–6,0	Categoría C IWA. Extremo inferior del rango chileno.
Alto	6,0–10,0	Categoría C–D IWA. Rango medio-alto del sector chileno.
Crítico	> 10,0	Categoría D IWA. Infraestructura con deterioro grave.

Fuente: Elaboración propia.

Eje PA% (del ANC total)

La Tabla F.8 define las bandas de clasificación del eje PA% con la referencia sectorial e indicación del estado del parque de medidores.

Tabla F.8. Umbrales NRWPI-CL — PA% del ANC.

Banda	PA% del ANC	Referencia sectorial
Excelente	< 10 %	Parque de medidores moderno; bajo fraude; buena gestión comercial.
Bajo	10–20 %	PA controlada. Ensayos metrológicos regulares. Auditorías activas.
Moderado	20–35 %	PA estimada con respaldo básico. Programa de reducción en curso.
Alto	35–50 %	PA elevada; parque envejecido o alto fraude. Acción prioritaria.
Crítico	> 50 %	PA dominante: pérdidas comerciales superan a las físicas.

Fuente: Elaboración propia.

Eje CANF% (del VES)

La Tabla F.9 define las bandas de clasificación del eje CANF% con la referencia sectorial para cada rango.

Tabla F.9. Umbrales NRWPI-CL — CANF% del VES.

Banda	CANF% del VES	Referencia sectorial
Excelente	< 0,5 %	CANF medido y documentado. Usos operacionales mínimos y registrados.
Bajo	0,5–1,5 %	CANF cuantificado con metodología ingenieril. Registros operacionales.
Moderado	1,5–3,0 %	CANF estimado con respaldo básico. Rango típico sistemas medianos.
Alto	3,0–5,0 %	CANF elevado o estimación sin respaldo. Revisión necesaria.
Crítico	> 5,0 %	CANF anormalmente alto; posible error en clasificación de componentes.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO G. MICROMEDICIÓN Y CONSUMOS

Este apartado describe la revisión del parque de micromedidores, la estimación de su inexactitud y la trazabilidad de los consumos incorporados al balance. Comprende también los usos autorizados no facturados, cuya cuantificación permite distinguirlos de las pérdidas de agua.

Caracterización del parque y diseño de ensayos

El catastro debe relacionar cada conexión con su medidor, características técnicas, antecedentes de instalación, lecturas y consumos. Para orientar el análisis pueden formarse grupos según tipo, diámetro, antigüedad, volumen acumulado, perfil de consumo y condiciones de servicio.

El diseño de ensayos debe indicar qué población representa, cómo se seleccionan los equipos y qué precisión se requiere. La cantidad de pruebas depende de la heterogeneidad del parque, la variabilidad de los resultados y el nivel de confianza adoptado. Los grandes consumidores requieren una evaluación acorde con su influencia sobre el volumen total registrado (AWWA, 2009).

Los resultados obtenidos de equipos retirados por fallas, reclamos u otras causas específicas deben identificarse como tales. Su extrapolación al conjunto requiere justificar la representatividad de esa selección.

Las pruebas deben incluir rangos de caudal pertinentes para los consumos del grupo. El error promedio utilizado en el balance debe considerar la distribución del volumen entre esos rangos.

Estimación del volumen asociado a la inexactitud

Para cada grupo puede definirse una relación de registro:

$$r_g = \sum_k w_{g,k}\ r_{g,k}$$

Donde $r_{g,k}$ representa el volumen registrado dividido por el volumen de referencia en el rango k, y $w_{g,k}$ corresponde a la fracción del volumen consumido que representa ese rango. Las ponderaciones deben sumar uno y contar con respaldo en el perfil de consumo utilizado.

A partir de esta relación, la diferencia estimada por inexactitud es:

$$\Delta V_{\text{micro},g} = V_{\text{registrado},g}\left(\frac{1}{r_g} - 1\right)$$

Un resultado positivo representa subregistro neto; uno negativo representa sobrerregistro neto. Debe conservarse el signo y documentarse la forma en que se incorpora el ajuste.

La agregación de grupos debe considerar sus volúmenes respectivos. Una media simple de errores de medidores con consumos muy distintos puede representar inadecuadamente el efecto sobre el balance.

La telelectura aporta antecedentes para conocer los perfiles de consumo, pero las ponderaciones deben considerar la resolución del equipo y su capacidad de registrar caudales bajos. La frecuencia de transmisión no reemplaza la comprobación de exactitud.

Relación efectiva de registro y subregistro

Para un grupo de micromedidores se consideran tres rangos de caudal:

Rango	Fracción del volumen consumido	Relación de registro
Bajo	0,20	0,90
Medio	0,50	0,98
Alto	0,30	1,00

Las fracciones representan el perfil de volumen de referencia del ejercicio y suman uno. La relación efectiva es:

$$r = 0{,}20 \times 0{,}90 + 0{,}50 \times 0{,}98 + 0{,}30 \times 1{,}00$$

$$r = 0{,}97$$

Si el grupo registró 97.000 m³:

$$Volumen\ estimado\ de\ referencia = 97.000 / 0{,}97 = 100.000\ m^3$$

$$Subregistro\ estimado = 100.000 - 97.000 = 3.000\ m^3$$

El resultado depende de la representatividad de los ensayos y del perfil utilizado. La estimación permite incorporar la inexactitud al balance; la recuperación comercial necesita una intervención y su comprobación posterior

Revisión de lecturas y registros comerciales

La revisión debe comprobar la correspondencia entre los volúmenes registrados, procesados y facturados. Deben identificarse cuentas duplicadas u omitidas, asociaciones incorrectas entre cliente y medidor, factores de conversión, lecturas estimadas, cambios de equipo y ajustes comerciales.

Los volúmenes utilizados deben representar el período del balance. Cuando los ciclos de lectura sean distintos, debe documentarse el procedimiento de compatibilización temporal.

Las correcciones por inexactitud del medidor y por errores de gestión de datos deben mantenerse identificadas para evitar contar dos veces un mismo volumen. La estimación del subregistro mejora la desagregación del balance; la recuperación efectiva requiere una acción comprobada sobre la medición o el registro correspondiente.

Cuantificación de consumos autorizados no facturados

Los usos deben clasificarse según actividad, ubicación y relación con el ámbito del balance. La Tabla D.6 presenta alternativas de cuantificación.

Tabla D.6. Alternativas para cuantificar consumos autorizados no facturados.

Antecedente disponible	Procedimiento	Respaldo que debe conservarse
Medidor o totalizador propio	Diferencia de lecturas para el período.	Identificación del equipo, lecturas, fechas y verificaciones.
Caudal y duración de la actividad	Integración del caudal o producto entre caudal representativo y duración.	Medición del caudal, horario y condiciones de operación.
Número de eventos y volumen por evento	Número de actividades multiplicado por un volumen representativo.	Registro de eventos y campaña utilizada para caracterizarlos.
Información parcial	Estimación por actividades o grupos comparables, declarando los supuestos.	Fuente, alcance, extrapolación y limitaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Los usos del proceso de producción deben incorporarse al balance que efectivamente los comprende. Su inclusión en un balance de distribución requiere comprobar su relación con los puntos de entrada utilizados.

La estimación debe distinguir los volúmenes medidos de los obtenidos mediante procedimientos indirectos. Cuantificar un uso autorizado permite separarlo de las pérdidas de agua; su reducción exige evaluar y mejorar la actividad que lo genera.

Comprobación de las intervenciones

Los reemplazos de medidores, correcciones comerciales y cambios operacionales deben evaluarse mediante períodos comparables. La revisión debe considerar variaciones de demanda, días del ciclo, cambios de ocupación y otras condiciones que puedan afectar el consumo.

El seguimiento debe distinguir el volumen inicialmente estimado como recuperable del volumen efectivamente recuperado y verificado. Cuando se calcule un costo por m^3 recuperado, los costos y volúmenes deben corresponder a un horizonte de evaluación declarado y consistente.

ANEXO H. TELELECTURA

1. Alcance y aplicaciones

La telelectura permite disponer de registros de consumo de los clientes con una frecuencia mayor que la lectura comercial convencional. Su integración con las mediciones de suministro permite examinar cómo se distribuye el consumo durante el día, seguir las diferencias entre el agua entregada y registrada y detectar cambios que requieren investigación.

Para su utilización deben distinguirse tres características: el intervalo de medición, la frecuencia de transmisión y el tiempo transcurrido hasta que la información está disponible para el análisis. Por ejemplo, almacenar consumos horarios y transmitirlos diariamente permite reconstruir el comportamiento del día anterior; la generación de alertas oportunas dependerá también de la recepción y procesamiento de esos datos.

La Tabla H.1 sintetiza aplicaciones documentadas y los antecedentes que requieren.

Tabla H.1. Aplicaciones de la telelectura en la gestión del ANC.

Aplicación	Utilidad para la gestión	Antecedentes necesarios
Comparación del suministro y el consumo agregado	Seguir diferencias por intervalo y comprobar cambios después de una intervención.	Caudal de entrada y registros de los clientes asociados al mismo sector y período.
Evaluación del consumo nocturno	Mejorar la estimación del consumo legítimo durante el período utilizado para analizar el caudal mínimo nocturno.	Consumos simultáneos de clientes domésticos y no domésticos.
Apoyo a la estimación del subregistro	Caracterizar el uso de los medidores y ponderar sus errores de medición.	Perfiles de consumo con resolución suficiente y resultados de ensayos metrológicos.
Identificación de posibles fugas en instalaciones particulares	Reconocer consumos persistentes y orientar avisos o revisiones.	Series individuales y antecedentes sobre el funcionamiento habitual de la propiedad.
Validación de datos y balances por intervalo	Detectar registros anómalos, discontinuidades y problemas de sincronización.	Reglas de validación y trazabilidad de datos medidos, corregidos y estimados.
Detección y localización de nuevas fugas	Generar alertas y delimitar áreas para inspección en terreno.	Series históricas, mediciones de presión y caudal, algoritmos y modelos hidráulicos según la aplicación.

Fuente: Elaboración propia.

Las aplicaciones de la tabla se sustentan en experiencias con distintos alcances. Luciani et al. (2018) presentan comparaciones entre suministro y consumo, además de análisis de fugas en instalaciones particulares. Silva et al. (2021) estudian consumos nocturnos y perfiles útiles para evaluar errores de micromedición. Høgh

y Kirstein (2018) destacan la preparación y calidad de los datos en experiencias danesas, mientras Oberascher et al. (2025) desarrollan un sistema de alerta y localización de fugas.

2. Preparación y comparación de las series

El análisis comienza definiendo el sistema o sector y comprobando que los clientes incluidos corresponden al territorio abastecido por los puntos de medición seleccionados. Cuando existen varias entradas, salidas hacia otros sectores o estanques dentro del área, deben identificarse las transferencias y variaciones de almacenamiento que afectan la comparación.

Los consumos se calculan para intervalos comunes. Si la plataforma entrega lecturas acumuladas, el volumen de cada cliente se obtiene restando la lectura inicial de la final. Cuando entrega directamente el volumen consumido durante el intervalo, ese valor puede utilizarse después de su validación. A continuación, se suman los consumos de los clientes correspondientes al mismo período.

La conversión de ese volumen a caudal se obtiene de la relación entre volumen y tiempo:

Caudal medio (L/s) = [Volumen del intervalo (m^3) × 1.000] / Duración del intervalo (s)

Para un intervalo de una hora, la expresión se simplifica:

Caudal medio horario (L/s) = Volumen horario (m^3) / 3,6

Así, un consumo agregado de 18 m^3 durante una hora equivale a un caudal medio de 5 L/s. Estas expresiones corresponden a conversiones de unidades basadas en la definición de caudal.

La curva resultante representa el **caudal medio de consumo registrado durante cada intervalo**. Puede superponerse a la señal de caudal de entrega para observar su comportamiento. Para calcular diferencias horarias, el suministro también debe expresarse como promedio de esa misma hora. Si se dispone de registros instantáneos, el volumen se obtiene mediante la integración temporal de la señal, considerando su frecuencia de muestreo.

La Figura H.1 presenta una aplicación de esta comparación. En el panel a se observan el suministro y el consumo agregado; el panel b muestra su comportamiento antes y después de reparar una rotura. La imagen original utiliza m^3/h y se reproduce bajo licencia Creative Commons Atribución 4.0 (Luciani et al., 2018).

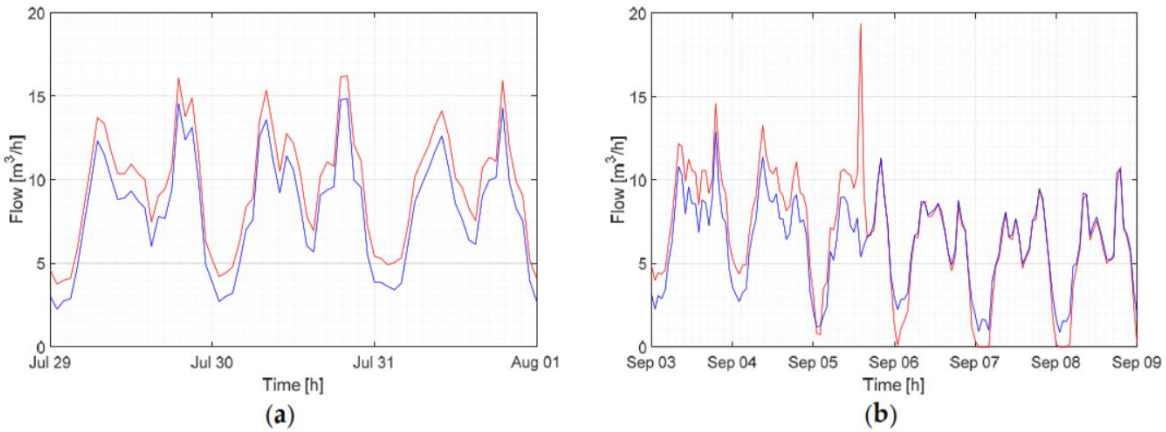


Figura 1. Comparación del caudal de entrada y el consumo agregado de los usuarios.

Fuente: Luciani et al. (2018, Figura 5).

El análisis puede complementarse con la cuantificación volumétrica. Para un caudal medio expresado en L/s durante una hora:

Volumen horario (m³) = Caudal medio horario (L/s) × 3,6

Los volúmenes permiten acumular las diferencias durante el período estudiado. Su interpretación requiere incorporar las entradas, salidas, usos autorizados y variaciones de almacenamiento que correspondan al límite del balance, evitando omisiones o duplicaciones.

3. Interpretación y condiciones de aplicación

La diferencia entre el suministro y el consumo registrado debe tratarse inicialmente como una discrepancia por explicar. Puede contener pérdidas reales, consumos autorizados sin medición, consumos no autorizados, errores de los instrumentos o problemas en la cobertura y preparación de los registros. Su distribución temporal ayuda a formular hipótesis y seleccionar verificaciones.

Durante el análisis nocturno debe utilizarse el consumo de los clientes correspondiente al mismo intervalo en que se evalúa el caudal de entrada. Esto permite descontar los consumos que efectivamente continúan durante ese período. Las fugas posteriores al medidor que este registra forman parte del consumo observado del cliente y deben distinguirse de las pérdidas de la red pública.

Silva et al. (2021) muestran que los perfiles de consumo también pueden apoyar la estimación de pérdidas aparentes cuando se combinan con ensayos de medidores. Para esta aplicación, la resolución debe permitir caracterizar los caudales que atraviesan el instrumento: un promedio horario puede ocultar consumos breves a distintos caudales. Por ello, disponer de telelectura no demuestra por sí mismo la exactitud metrológica del parque.

Antes de atribuir cambios a una pérdida, deben revisarse especialmente:

- La correspondencia entre los clientes y el sector abastecido.
- La sincronización de las mediciones y los intervalos utilizados.
- La cobertura efectiva de registros válidos, incluyendo grandes consumidores.
- Los datos faltantes y el procedimiento empleado para estimarlos.
- Las condiciones de presión, operación y almacenamiento durante el período.

La cobertura instalada debe diferenciarse de la disponibilidad efectiva de datos. Una instalación completa puede presentar registros faltantes por problemas de comunicación o funcionamiento. Høgh y Kirstein (2018), en experiencias con HOFOR y Novafos, destacan la sincronización y la validación como condiciones para desarrollar balances horarios confiables. Los valores reconstruidos deben conservar una identificación que permita distinguirlos de las mediciones originales.

Las aplicaciones avanzadas incorporan predicciones y modelos hidráulicos. Oberascher et al. (2025) combinaron detección de anomalías, estimación del tamaño de la fuga y localización mediante presiones y un modelo calibrado. Sin embargo, durante las pruebas tuvieron problemas de comunicación y debieron reconstruir consumos para alimentar el modelo. Esta limitación muestra la necesidad de evaluar conjuntamente el desempeño del análisis y la calidad de sus datos de entrada.

Como orientación práctica derivada de estos antecedentes, el seguimiento puede considerar la proporción de registros válidos por intervalo, la participación de los volúmenes estimados, la persistencia de las discrepancias, el tiempo de investigación y los resultados comprobados después de intervenir. La aproximación entre las curvas debe acompañarse de una explicación de sus diferencias y de la verificación de las causas identificadas.

ANEXO I. GESTIÓN DE PRESIONES

Este anexo desarrolla los fundamentos, las condiciones de aplicación y las evidencias de la gestión de presiones que sustentan la dimensión C2 del marco. Su finalidad es orientar decisiones sobre medición, operación, regulación y evaluación de resultados, preservando las condiciones de servicio. Complementa el análisis del capítulo 6 y la matriz del Eje C del capítulo 7; no modifica las veinte dimensiones, los cinco niveles ni el cálculo del IDE.

La gestión de presiones puede comenzar con mediciones de terreno y revisión de la operación existente. Su desarrollo no se identifica exclusivamente con instalar válvulas reductoras de presión (VRP), telemetría o control automático. Se evalúan el conocimiento del comportamiento hidráulico, la justificación de la estrategia, su ejecución y la comprobación de sus efectos. La selección de equipos y consignas depende del sistema estudiado y debe responder a las condiciones técnicas y de servicio que le sean aplicables.

DIAGNÓSTICO Y REQUISITOS

La presión influye en el caudal que escapa por un defecto y puede contribuir a la aparición o repetición de fallas. La gestión busca evitar presiones innecesarias y variaciones perjudiciales, manteniendo el abastecimiento requerido. Comprende diagnóstico, selección de zonas, ajustes operacionales, regulación, seguimiento y mantenimiento. Reducir una consigna sin comprobar el comportamiento de los puntos desfavorables no constituye por sí solo una gestión adecuada (Thornton et al., 2008; Hamilton y McKenzie, 2014).

Los resultados deben diferenciarse: disminución del caudal de fugas existentes, cambios en consumos dependientes de la presión, evolución de roturas y eventuales efectos sobre energía, continuidad y calidad del servicio. No todos ocurren con igual intensidad ni en el mismo plazo. Una reducción inmediata del caudal suministrado puede contener varios componentes y no acredita, por sí sola, igual recuperación de pérdidas reales. La variación de fallas requiere registros comparables durante un período suficiente y consideración de otras intervenciones.

La estrategia puede incluir regulación mediante VRP, revisión de bombeos y sus controles, cambios de configuración o delimitación de zonas de presión, entre otras alternativas. En redes con grandes diferencias de cota, disminuir la presión de un punto elevado puede ser incompatible con el abastecimiento de otro. En esos casos corresponde estudiar la zonificación y la operación, antes de generalizar una reducción uniforme. Tampoco se considera que toda red necesite el mismo grado de automatización.

Ámbito hidráulico

El análisis debe delimitar la zona, identificar sus alimentaciones e intercambios, revisar el estado y funcionamiento de válvulas, conocer las cotas relevantes y registrar las formas habituales y excepcionales de operación. Una zona de presión y un DMA pueden coincidir, pero no son conceptos equivalentes: la primera organiza condiciones hidráulicas y el segundo delimita un ámbito medido para análisis y gestión. Una intervención puede estudiarse sin sectorización completa, siempre que se reconozcan sus límites y las conexiones que condicionan la respuesta.

Se revisan condiciones de demanda, niveles de estanques, bombeos, maniobras, restricciones y antecedentes de servicio. También se identifican usuarios o instalaciones con requerimientos particulares. Los puntos más desfavorables pueden cambiar con la demanda, las alimentaciones disponibles o la configuración de la red; no se supone que un único punto observado en una visita representa todas las situaciones. Un modelo hidráulico puede apoyar la selección, pero sus datos y resultados deben contrastarse con observaciones de terreno.

Comprobación nocturna de presiones y posibles transferencias entre sectores

Las mediciones durante el período de caudal mínimo permiten comparar la presión observada con la esperada para la alimentación del sector. En un abastecimiento por gravedad, sin bombeo ni regulación intermedia, la presión estática depende de la diferencia de altura entre la superficie del agua del estanque y el punto de medición. Cuando circula agua, las pérdidas de carga reducen la presión disponible. Durante el período de menor caudal, esas pérdidas disminuyen y la presión puede aproximarse a la referencia estática.

Por ejemplo, si la superficie del agua del estanque está a una cota de 150 metros y el punto de medición a una cota de 100 metros, la presión estática esperada es de 50 metros de columna de agua. Si en ese punto se registran sostenidamente 58 metros de columna de agua, esa lectura no se explica únicamente por la alimentación gravitacional considerada. Corresponde comprobar el instrumento, las cotas y el nivel del estanque, e investigar otras alimentaciones o equipos que puedan aportar presión.

Para identificar posibles transferencias se comparan registros simultáneos a ambos lados de las fronteras sospechosas, junto con caudales, niveles de estanques, bombeos y maniobras. Cuando los puntos están a distintas alturas, esa diferencia debe incorporarse a la interpretación. Una conexión no identificada o una válvula frontera que no cierre correctamente puede permitir que un sector alimente a otro e interfiera con su regulación. En el sector receptor, el caudal medido en la entrada habitual puede disminuir mientras la presión aumenta, sin que se hayan reducido sus fugas (Hamilton y McKenzie, 2014, p. 99).

Las roturas recurrentes durante la noche constituyen un antecedente para investigar sobrepresiones y variaciones de presión. Sin embargo, su horario no confirma por sí solo una transferencia entre sectores. Deben relacionarse con los registros hidráulicos y operacionales, distinguiendo la hora estimada de ocurrencia de la hora del aviso. Si se sospechan variaciones rápidas, se requieren registros capaces de observarlas, porque los promedios pueden ocultar esos eventos.

La Tabla I.1 reúne las variables y los puntos de observación necesarios para este diagnóstico.

Tabla I.1. Variables y puntos de observación para el diagnóstico

Observación	Función en el análisis	Comprobación necesaria
Presión en entradas y salidas de regulación	Reconocer presión disponible, pérdidas y comportamiento del dispositivo.	Ubicación, referencia de cota, unidades, fecha, hora y estado del equipo; coherencia con caudal y operación.
Presión en puntos críticos de servicio	Verificar el abastecimiento bajo las condiciones más desfavorables identificadas.	Representatividad frente a cambios de demanda, topografía, alimentación y maniobras. El punto crítico puede variar.
Presión representativa de la zona	Apoyar análisis de fugas y comparación entre períodos.	Justificar el punto o procedimiento utilizado. La presión junto a la VRP no equivale necesariamente a la presión media de la zona.
Caudales de entradas y salidas relevantes	Relacionar demanda, regulación, intercambios y variaciones compatibles con pérdidas.	Instalación y verificación metrológica, sentido de flujo, resolución y sincronización; declarar mediciones faltantes o compartidas con el balance.
Niveles de estanques y estados operacionales	Reconocer cambios de almacenamiento y condiciones de alimentación.	Vincular niveles, bombeos, válvulas y reboses con los intervalos analizados; el nivel y el caudal de salida no cuantifican por sí solos el rebose.
Variaciones rápidas o transitorios	Investigar cambios de presión que los promedios o registros espaciados pueden ocultar.	Seleccionar sensores y frecuencia de adquisición apropiados al fenómeno; conservar eventos y maniobras asociados.

Fuente: Elaboración propia.

Calidad y resolución de los registros

Las campañas temporales pueden aportar un diagnóstico útil cuando aún no existe monitoreo permanente. Deben cubrir condiciones relevantes y dejar identificados emplazamiento, equipo, período, resolución, incidencias y procedimiento de revisión. Una lectura aislada permite describir ese momento, pero no demuestra la presión máxima, mínima o nocturna de todo el sistema. Para comparar caudal y presión se sincronizan los registros y se verifica que representan el mismo ámbito y período.

El intervalo de registro se elige según la pregunta: caracterizar un ciclo diario, seguir una regulación o investigar transitorios exige capacidades distintas. Un promedio puede ocultar extremos y una transmisión diaria puede contener mediciones mucho más frecuentes; adquisición y transmisión se documentan por separado. No se adopta una resolución universal como sustituto del diseño de la campaña. Los datos faltantes, cambios de sensor y períodos fuera de servicio permanecen identificados.

La revisión metrológica comprende el estado del instrumento, su rango, ubicación, referencia y comprobaciones aplicables. Para los caudalímetros se consideran la instalación conforme al proveedor, las condiciones hidráulicas y distancias libres requeridas, la accesibilidad para contrastación o verificación y la corrección de deficiencias. El diagnóstico electrónico del equipo no reemplaza la comprobación de la medición hidráulica. Este anexo no establece un porcentaje universal de error ni un plazo único de contrastación.

SELECCIÓN Y COMPROBACIÓN DE LA ESTRATEGIA

La selección compara la situación de partida con alternativas técnicamente viables. Se consideran presión disponible, variación de demanda, pérdidas de carga, topografía, capacidad de mantenimiento, comunicaciones, continuidad y consecuencias de una falla del control. La alternativa más compleja solo se justifica cuando aporta una mejora verificable respecto de una solución más sencilla. La estrategia debe incluir cómo se reconocerá una condición anómala y cómo se mantendrá la operación ante una pérdida de información o de control.

Tabla I.2. Modalidades de regulación mediante VRP

Modalidad	Datos y funcionamiento	Utilidad y límites
Salida fija	Mantiene una consigna de presión aguas abajo dentro de las condiciones de funcionamiento del conjunto.	Puede ser adecuada cuando la variación de demanda y pérdidas de carga permite atender los puntos críticos. Una consigna suficiente en punta puede mantener excedentes en horas de baja demanda.
Control por horario	Modifica consignas según períodos definidos a partir de patrones de demanda observados.	Permite diferenciar períodos, pero debe revisarse ante cambios de patrón, eventos o estacionalidad. El horario por sí solo no informa la presión real en el punto crítico.
Control modulado por caudal	Relaciona la consigna con el caudal medido y una curva o regla ajustada al sistema.	Puede compensar cambios de pérdidas de carga. Requiere medición fiable y revisar cómo responde ante fugas, demandas atípicas o cambios de configuración.
Control con señal remota	Utiliza presión de uno o más puntos de la red y un controlador para ajustar la operación.	Puede seguir condiciones reales de servicio, pero depende de sensores, comunicaciones y configuración. El punto crítico de control no representa automáticamente la presión media de la zona.

Fuente: Síntesis de Hamilton y McKenzie (2014, cap. 3).

Estas modalidades no constituyen una correspondencia automática entre equipos y niveles N1–N5. Una regulación fija bien seleccionada, mantenida y comprobada puede formar parte de una gestión sistemática u optimizada. Un controlador remoto instalado sin datos confiables, revisión de alertas o evaluación de resultados no acredita una capacidad superior. Cuando existen varios puntos críticos, la estrategia debe reconocer sus diferencias y el posible desplazamiento de la condición limitante.

Las VRP deben seleccionarse e instalarse según las condiciones de caudal y presión, los requisitos del fabricante y el diseño del conjunto. Se revisan, entre otros aspectos pertinentes, accesibilidad, elementos de aislamiento y protección, medición, mantenimiento y comportamiento fuera del rango esperado. Los cambios de configuración, pruebas y puesta en servicio se realizan con un procedimiento definido para la red y el equipo. Este desarrollo metodológico no sustituye ese diseño ni prescribe velocidades de maniobra o consignas genéricas.

Si el origen del problema está en la operación de bombeos o en zonas mal delimitadas, la instalación de una VRP puede tratar solo una parte de la causa. La comparación de alternativas debe incluir esos componentes. Asimismo, disipar presión en una válvula no implica automáticamente un ahorro de energía en producción: ese beneficio se determina mediante la operación y el consumo energético realmente modificados, considerando el sistema de bombeo y sus condiciones de trabajo.

Interpretación de la relación local

El enfoque FAVAD reconoce que los defectos pueden responder de manera diferente a la presión debido a sus características y a la variación del área de fuga. Una relación potencial permite estudiar la sensibilidad del caudal de fuga entre dos condiciones, dentro de un dominio donde la aproximación sea adecuada. Se expresa aquí con nombres completos para distinguirla de la nomenclatura N1–N5 utilizada para la madurez (Thornton et al., 2008; Hamilton y McKenzie, 2014).

Caudal de fuga posterior = caudal de fuga inicial × (presión posterior / presión inicial) elevado al exponente presión–fuga.

Ambas presiones deben expresarse en las mismas unidades y referirse a condiciones comparables. El exponente presión–fuga, denominado N1 en parte de la bibliografía hidráulica, no es el nivel N1 del marco. Tampoco se asigna automáticamente un valor a toda tubería por ser de PVC, PEAD, acero u otro material. La forma del defecto, su apertura, las uniones, el comportamiento de la conducción y la mezcla de fugas influyen en la respuesta agregada.

La relación se aplica al caudal de fuga estimado o medido, no al caudal total suministrado sin separar sus componentes. La presión utilizada debe representar el ámbito de pérdidas estudiado; adoptar la presión de salida de una VRP para toda la red puede introducir un sesgo. Además, una relación ajustada para ciertas condiciones no se extrapola sin revisión a otro rango de presión, configuración o composición de fugas.

La Tabla I.3 presenta un ejemplo exclusivamente ilustrativo: caudal inicial de fuga de 10 m³/h y cambio de presión representativa de 40 a 32 m.c.a. Las presiones no son una recomendación de operación ni un requisito normativo. Los exponentes se

utilizan como escenarios de sensibilidad; no se atribuyen a materiales específicos ni se consideran valores calibrados de una red real.

Tabla I.3. Sensibilidad del caudal de fuga ante una reducción ilustrativa de presión

Exponente considerado	Caudal posterior estimado	Reducción respecto del caudal inicial
0,5	8,94 m³/h	10,6 %
1,0	8,00 m³/h	20,0 %
1,5	7,16 m³/h	28,4 %
2,5	5,72 m³/h	42,8 %

Fuente: Elaboración propia.

El ejemplo muestra por qué una reducción porcentual de presión no se traduce en un porcentaje único de disminución de fugas. Para convertir un resultado horario en volumen diario se necesita representar la variación temporal de presión y caudal de fuga. Multiplicar por 24 solo sería válido si ese caudal se mantuviera constante durante todo el día. Tampoco se transforma automáticamente la diferencia entre dos mínimos nocturnos en igual volumen diario recuperado.

Estimación y comprobación local

Una prueba de sensibilidad requiere condiciones operacionales conocidas, medición suficiente, separación de consumos legítimos y un procedimiento que preserve el servicio. Se comparan estados suficientemente estables y se documentan maniobras, almacenamiento, intercambios y acontecimientos simultáneos. Si esas condiciones no pueden establecerse, el resultado se informa como una aproximación condicionada o no se estima el exponente, en lugar de presentar una calibración aparente.

Las pruebas y la comparación antes–después deben considerar que la demanda legítima también puede variar con la presión. Los cambios de nivel de estanques, horarios de abastecimiento, consumos extraordinarios, reparación de otras fugas o modificaciones de válvulas alteran la interpretación. Cuando se utilizan los mismos caudalímetros que alimentan el volumen de entrada del balance, existe una nueva forma de analizar los datos, pero no una validación instrumental independiente de ese volumen.

La implementación debe vincular una necesidad observada con una estrategia, responsables, recursos y criterios de evaluación. Se conserva una línea de base suficientemente representativa y se identifican las condiciones de servicio que no pueden vulnerarse. Las metas se formulan para el sistema estudiado y se justifican con antecedentes; no se adoptan presiones mínimas o máximas internacionales como requisitos automáticos del marco.

Tabla I.4. Secuencia de preparación, ejecución y revisión

Etapa	Decisión o actividad	Evidencia para revisar el resultado
Línea de base	Caracterizar presión, caudal, demanda, almacenamiento, fallas y condiciones de servicio.	Registros válidos, ámbito, período, puntos de observación, incidencias y límites de representatividad.
Condiciones de servicio	Identificar puntos críticos y exigencias aplicables al sistema y a sus usuarios.	Documentos y criterios utilizados, situaciones evaluadas y responsables de verificar su cumplimiento.
Selección	Comparar regulación, operación, zonificación y otras alternativas pertinentes.	Justificación técnica y económica, dependencias de información y tratamiento de contingencias.
Instalación y puesta en servicio	Comprobar el conjunto, instrumentos, configuración y funcionamiento bajo las condiciones previstas.	Procedimiento ejecutado, pruebas, consignas registradas, incidencias y conformidad del resultado.
Seguimiento	Revisar servicio, estabilidad, disponibilidad de datos y respuesta ante cambios de demanda.	Series y eventos, alertas, revisión de puntos críticos y seguimiento de mantenimiento.
Evaluación y ajuste	Determinar efectos atribuibles y corregir la estrategia cuando cambian las condiciones.	Comparación con la línea de base, explicación de cambios simultáneos, limitaciones y decisión documentada.

Fuente: Elaboración propia.

El seguimiento incluye la instalación hidráulica y la cadena de datos. Deben distinguirse una desviación real de la red, un problema de sensor, una pérdida de comunicación y una actuación incorrecta del controlador. La pérdida de telemetría no implica necesariamente pérdida de regulación local, pero esa capacidad debe comprobarse para la solución instalada. Las consignas vigentes y sus cambios se registran con fecha, motivo y responsable.

La revisión de resultados puede requerir campañas nuevas después de una ampliación, renovación, modificación de alimentación o cambio de demanda. Mantener indefinidamente una consigna inicial sin examinar esas variaciones no demuestra optimización. A su vez, no corresponde modificar el control cada vez que aparece una fluctuación aislada sin investigar su causa y evaluar sus consecuencias.

Indicadores y resultados

La evaluación combina servicio, comportamiento hidráulico, pérdidas, fallas, disponibilidad y costos. Los indicadores se calculan con un ámbito y un denominador explícitos; no funcionan como umbrales universales de madurez. Cuando faltan datos para atribuir un ahorro, se conserva el resultado que sí puede comprobarse y se identifica la información necesaria para completar la evaluación.

Tabla I.5. Indicadores complementarios para la gestión de presiones

Aspecto	Registro o indicador	Límite de interpretación
Condiciones de servicio	Cumplimiento de criterios aplicables en puntos críticos durante las situaciones evaluadas.	Una media favorable no descarta incumplimientos puntuales. Declarar cobertura temporal y puntos no observados.
Comportamiento de presión	Distribución de presiones, extremos, variabilidad y eventos para intervalos comparables.	La frecuencia de adquisición determina qué variaciones pueden observarse. Un promedio diario no caracteriza transitorios.
Calidad de la información	Proporción de registros válidos y períodos sin datos, por variable y punto.	Disponibilidad de comunicación y validez de medición son atributos diferentes.
Efecto sobre pérdidas	Cambio de caudal de fuga o volumen atribuible, medido o estimado con método declarado.	Separar demanda legítima, almacenamiento, maniobras e intervenciones simultáneas; informar incertidumbre y supuestos.
Fallas y recurrencia	Eventos comparables por longitud o conexiones y tiempo, separados por tipo de activo y falla.	Considerar renovación, reparación, estacionalidad, calidad del registro y exposición. La asociación temporal no demuestra una causa única.
Funcionamiento del control	Disponibilidad, desviaciones de consigna, alertas resueltas y mantenimiento ejecutado.	Equipo instalado no equivale a regulación eficaz; distinguir fallas de control, medición y comunicaciones.
Evaluación económica	Costos de inversión, operación y mantenimiento frente a beneficios sustentados en un horizonte común.	Evitar doble contabilización de beneficios y declarar costo del agua, energía efectivamente modificada y permanencia del resultado.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación económica debe diferenciar el valor de reducir producción, la posible postergación de capacidad y otros beneficios efectivamente considerados. La reducción de consumo autorizado dependiente de presión no se registra como recuperación de una fuga. Tampoco se suma una misma disminución de volumen como ahorro de dos intervenciones que se ejecutaron simultáneamente. Cuando se comparan alternativas, se utilizan costos y beneficios compatibles, un horizonte explícito y una revisión de sensibilidad.

La selección de metas y consignas debe sustentarse en el diseño, los compromisos de servicio y las exigencias vigentes que correspondan al sistema. Este anexo no fija valores regulatorios chilenos ni reemplaza su revisión específica. En el marco se evalúa que la organización identifica esos requisitos, los aplica en sus decisiones y comprueba el comportamiento del sistema, en vez de asignar madurez por alcanzar una presión genérica.

Relación con detección, reparación y gestión de activos

La Figura I.1 ilustra la influencia de la presión en componentes de pérdidas reales: fugas de fondo, fugas no reportadas y eventos reportados. Representa una comparación conceptual y no resultados medidos de la empresa ni porcentajes de ahorro transferibles. Su utilidad es mostrar que presión, caudal de fuga y duración de los eventos deben interpretarse conjuntamente. Las magnitudes del esquema no sustituyen el diagnóstico de la red.

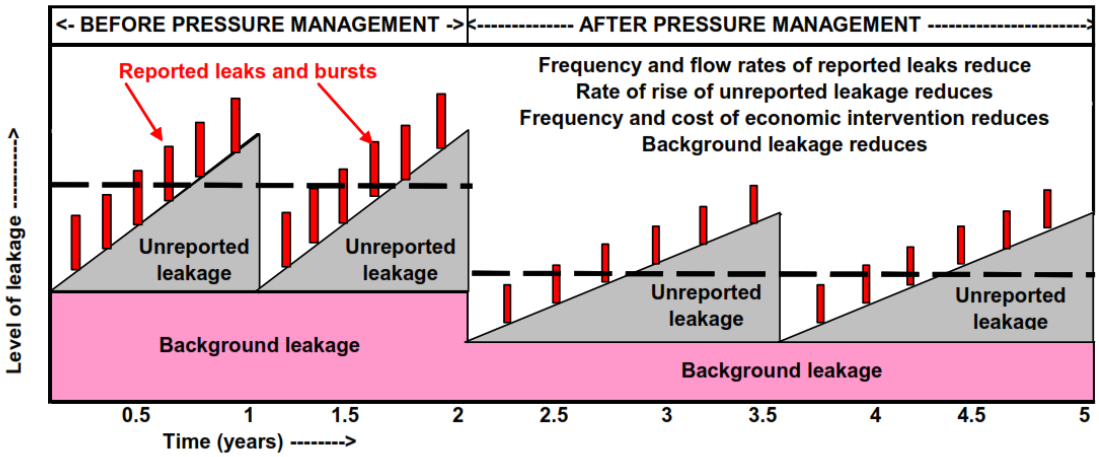


Figure 1: Influence of pressure management on BABE components of Real Losses
Source: Fantozzi & Lambert (2007)

Figura I.1. Influencia conceptual de la gestión de presiones en componentes de pérdidas reales

Fuente: Fantozzi y Lambert (2007).

La gestión de presión puede reducir el caudal de una fuga que continúa abierta; la reparación actúa sobre el defecto y su duración. Por ello, una reducción hidráulica no elimina la necesidad de investigar eventos pendientes. A la inversa, una campaña que repara fugas no resuelve necesariamente presiones excesivas o variaciones que favorecen recurrencias. La secuencia se decide según el diagnóstico y no mediante la obligación universal de ejecutar una intervención antes que todas las demás.

El ANEXO K desarrolla la interpretación de los hallazgos y la adaptación del programa de detección. Después de un ajuste relevante deben revisarse referencias, reglas y resultados de búsqueda. En redes donde disminuyen los eventos visibles pueden adquirir importancia fugas menos evidentes; esta posibilidad se contrasta con registros de cobertura y tipos de hallazgo, sin asumir que una menor cantidad encontrada acredita por sí sola buen desempeño.

Los antecedentes de fallas, presión, reparaciones repetidas y consecuencias de servicio alimentan la priorización de activos. La decisión de renovar requiere considerar condición, riesgo y alternativas; no se sustituye automáticamente por regulación ni se justifica solo por antigüedad. El registro debe permitir reconocer el

aporte y las limitaciones de cada intervención y conservar la trazabilidad entre C1, C2, C3 y C5.

EVIDENCIAS Y REGISTRO

Las condiciones de la Tabla F.6 amplían la evidencia de C2. Se utilizan junto con la matriz del capítulo 7 y no como una puntuación adicional ni como una nueva regla para el IDE. La diferencia entre niveles se reconoce en prácticas observables de diagnóstico, control y aprendizaje; la misma tecnología puede formar parte de capacidades distintas según cómo se seleccione y gestione.

El avance puede consistir primero en mejorar la representatividad de las mediciones, documentar maniobras, verificar puntos críticos o mantener correctamente una regulación existente. En otro sistema puede requerir cambiar la configuración, ampliar sensores o introducir control remoto. La prioridad deriva de la brecha observada y de sus dependencias, en coherencia con F3 y F4. La tabla no impone una secuencia universal de compra de equipos.

Tabla I.6. Aplicación y evidencias de la gestión de presiones por nivel

Nivel	Condición observable	Evidencia que distingue la capacidad
N1 Arranque	Predominan ajustes ante reclamos o eventos, con conocimiento parcial y sin diagnóstico documentado suficiente. Puede haber válvulas o lecturas aisladas.	Registrar puntos, presiones, eventos y ajustes disponibles; reconocer ámbitos desconocidos. La existencia de una VRP no demuestra control sistemático.
N2 Medición	Existe una caracterización documentada mediante campañas o registros, con puntos relevantes y criterios iniciales de actuación. Se identifican excedentes o restricciones y se justifican ajustes básicos.	Ámbito, mediciones revisadas, condiciones de operación, puntos críticos considerados y decisiones trazables. No exige telemetría permanente.
N3 Control	Se ejecuta y mantiene una estrategia con responsables, criterios de servicio y seguimiento periódico. Se comprueba la operación y se atienden desviaciones.	Consignas y cambios registrados, mediciones comparables, revisión de servicio y mantenimiento. Utiliza la información para corregir problemas de funcionamiento.
N4 Optimización	Se comparan alternativas y se ajusta la estrategia según comportamiento, costos, riesgos y efectos comprobados. Se integra con detección, reparación y activos.	Evaluación antes–después con límites de atribución, análisis de alternativas y ajustes justificados. Comprueba la permanencia de resultados y revisa condiciones cambiantes.
N5 Innovación	Se anticipan condiciones relevantes mediante información y reglas verificadas, y se adapta la estrategia con aprendizaje documentado. Se gestionan cobertura, dependencias y contingencias.	Capacidad anticipatoria y adaptación comprobadas, desempeño del control y respuesta ante fallas. La automatización aporta solo si se demuestra su utilidad; no exige una marca o algoritmo específico.

Fuente: Elaboración propia.

Registro mínimo para estudiar y revisar una intervención

La ficha de una intervención debe conservar el ámbito hidráulico y su configuración; la pregunta que se pretende resolver; las fuentes y calidad de datos; los puntos críticos y requisitos de servicio; la línea de base; las alternativas examinadas; la estrategia seleccionada y su justificación; los responsables; y las condiciones de mantenimiento y contingencia. Debe identificar expresamente los supuestos aún no comprobados.

Durante la ejecución se registran instalación, pruebas, consignas, cambios operacionales, incidencias y períodos sin datos. La evaluación posterior presenta comportamiento de servicio, efectos medidos o estimados, costos, limitaciones y actuaciones simultáneas. Finalmente, deja una decisión verificable: mantener, ajustar, ampliar, complementar o revisar la solución. Esa trazabilidad permite utilizar la experiencia en el siguiente ciclo del marco y evita confundir una instalación puntual con una capacidad de gestión consolidada.

ANEXO J. TÉCNICAS DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS

Familias tecnológicas y condiciones de aplicación

Inspección y técnicas acústicas

La señal acústica depende de cómo se genera y se propaga el ruido y de cómo lo capta el sensor. Deben conocerse material, diámetro, trazado, transiciones, accesorios, presión, puntos de acceso y ruido ambiente. En tuberías plásticas y tramos mixtos puede aumentar la atenuación o alterarse la propagación; esto exige comprobar sensores, separación, filtros y parámetros de correlación. No corresponde excluir en general esos materiales ni asumir que una configuración utilizada en metal tendrá el mismo desempeño (Hamilton y McKenzie, 2014, cap. 2).

Un sensor que solo registra un nivel de ruido, un sistema que conserva la señal para análisis y una red capaz de correlacionar sensores tienen prestaciones distintas. Las especificaciones deben indicar qué función realiza cada modelo. La transmisión remota, por sí sola, no convierte un prelocalizador en un localizador ni hace que toda alerta sea una fuga confirmada.

Tabla J.1. Funciones y requisitos de inspección y técnicas acústicas

Técnica o familia	Función que puede aportar	Requisitos, límites y comprobación
Recorrido visual y escucha de contacto	Reconocer afloramientos o indicios sonoros en accesorios; iniciar búsqueda proactiva con recursos básicos.	Requiere ruta, acceso, registro y competencias. Puede ser productivo en redes con eventos visibles acumulados; no cubre por sí solo fugas ocultas o sin señal audible.
Geófono o micrófono de suelo	Afinar la localización desde la superficie y contrastar un punto de interés.	Depende del terreno, pavimento, profundidad, presión, ruido y experiencia. Una ausencia de ruido perceptible no demuestra ausencia de fuga.
Registradores acústicos móviles	Observar ruido durante períodos definidos y prelocalizar tramos sospechosos; permiten campañas sucesivas.	Se comprueban acoplamiento, posición, ventanas, cobertura y descarga. Un registrador no correlante puede indicar sospecha sin entregar la ubicación exacta.
Registradores acústicos fijos	Vigilar puntos de manera repetida y generar indicios para investigación dirigida.	Su cobertura depende de propagación y emplazamiento, no solo de cantidad instalada. Se requiere revisar señales, fallas y alertas y disponer de capacidad de confirmación.
Correlación con sensores externos	Estimar la posición de una fuente mediante el retardo entre señales registradas en puntos distintos.	Requiere señal compartida, sincronización, distancias y datos de tubería fiables. Los tramos mixtos afectan la velocidad adoptada; un pico puede provenir de otra fuente y necesita confirmación.
Hidrófonos y correlación en el agua	Captar ruido transmitido por el agua y ampliar alternativas en tuberías plásticas, grandes diámetros u otros casos difíciles.	Exige acceso compatible y procedimiento apropiado para agua potable. Deben verificarse configuración, propagación y resultado en terreno; no constituye una solución universal.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis hidráulico y métodos complementarios

La medición de caudal y presión permite orientar la investigación cuando sus registros son adecuados. El análisis nocturno requiere límites e intercambios conocidos, tratamiento de consumos legítimos y presión representativa. Un aumento puede relacionarse también con demanda, maniobras o errores de registro; la alerta debe investigarse. Estas condiciones no se exigen para toda búsqueda visual o acústica, sino para los análisis hidráulicos que dependen de ellas (AWWA, 2009; ANDESS, 2023).

Tabla J.2. Funciones y requisitos de análisis hidráulico

Técnica o familia	Función que puede aportar	Requisitos, límites y comprobación
CMN y alertas de caudal o presión	Reconocer sectores con cambios persistentes o eventos compatibles con pérdidas; orientar campañas y evaluar intervenciones.	Necesita registros válidos, operación conocida y consumos legítimos considerados. No identifica automáticamente el punto ni valida el VES si reutiliza las mismas mediciones.
Pruebas escalonadas y maniobras controladas	Reducir el área de investigación mediante cambios interpretables de caudal al modificar la configuración de la red.	Exige conocer válvulas e intercambios, verificar servicio y registrar las condiciones. Su viabilidad se decide caso a caso; no toda red admite aislamiento operativo.
Modelos y análisis de anomalías o transitorios	Relacionar variaciones observadas con hipótesis de localización o aparición de una rotura.	Requiere modelo y sensores adecuados al fenómeno y resolución temporal suficiente. Debe distinguir demanda y maniobras; detectar un evento brusco no acredita identificar toda fuga crónica.
Gas trazador	Investigar escapes mediante un gas introducido en una conducción y detectado en superficie.	Depende de acceso, operación, recorrido y migración del gas y del procedimiento del equipo. Debe comprobarse el punto; no se utiliza como medición directa del caudal de agua perdido.
Inspección acústica interna	Aproximar el sensor a la fuga dentro de conducciones; existen equipos guiados y de libre desplazamiento.	Se revisan diámetro, geometría, caudal, puntos de inserción y recuperación y continuidad. La configuración determina el alcance; localizar una fuga no equivale a evaluar toda la condición estructural.
Termografía y georradar	Investigar anomalías térmicas o del subsuelo compatibles con humedad o alteraciones asociadas a una fuga.	Dependen del contraste térmico o de condiciones del terreno, profundidad y acceso. Las anomalías requieren interpretación y confirmación con otros antecedentes (EPA, 2010).
Observación satelital	Seleccionar áreas de interés para dirigir trabajo de terreno en extensiones amplias.	Se necesita cartografía y comprobación local. El proveedor entrega indicios compatibles con agua en el suelo; la cuadrilla debe localizar y confirmar. No equivale a monitoreo continuo de cada fuga (SUEZ, s. f.).
Fibra óptica y sensado acústico distribuido	Registrar perturbaciones a lo largo de una fibra y aplicar análisis para detectar o localizar anomalías.	Requiere infraestructura y acoplamiento apropiados, interrogación y validación. La cobertura de fibra no acredita igual sensibilidad a toda la tubería; los resultados de un ensayo no se generalizan automáticamente (Sharif et al., 2026).

Fuente: Elaboración propia.

La termografía identifica contrastes térmicos y el georradar responde a propiedades del subsuelo; no son técnicas intercambiables. En ambos casos, una anomalía puede requerir otra investigación antes de atribuirla a una fuga. La guía EPA (2010, sec. 4.2.3) desarrolla sus condiciones y limitaciones. Se utilizan aquí como familias complementarias, sin trasladar al presente los precios o las capacidades de equipos específicos de esa guía.

Como ejemplo de inspección interna, Xylem describe Sahara como plataforma guiada y SmartBall como herramienta de libre desplazamiento con sensores acústicos. Su selección exige revisar la conducción y la logística de cada servicio (Xylem, 2018). En la observación satelital, SUEZ describe puntos de interés que deben investigarse y localizarse mediante técnicos y otras herramientas (SUEZ, s. f.). Estos ejemplos muestran diferencias de función y despliegue; no establecen que una tecnología sea siempre superior a las otras.

Sharif et al. (2026) presentan una prueba en una red urbana que aprovecha fibra de telecomunicaciones y utiliza eventos controlados para evaluar detección y localización. El antecedente permite incorporar al abanico de alternativas, manteniendo explícito el ámbito de validación. No se adopta como requisito de N5 ni como prueba de que cualquier fibra próxima a una tubería podrá detectar todas sus fugas.

Inteligencia artificial y evaluación de magnitud

Funciones y evidencia disponible

La inteligencia artificial puede incorporarse al tratamiento acústico, la identificación de anomalías hidráulicas, la agrupación de alertas y la priorización de investigaciones. Debe especificarse cuál es la salida: probabilidad o clase de fuga, área de interés, posición estimada, categoría de tamaño o caudal. Cada salida exige una comprobación distinta. Una clasificación acertada de presencia de fuga no demuestra por sí sola localización precisa ni estimación correcta de su magnitud.

Bykerk y Valls Miro (2022) estudian análisis de datos vibroacústicos obtenidos en despliegues sobre una red urbana real, con variedad de materiales, tamaños y condiciones. Wang et al. (2025) examinan la transferencia de modelos acústicos entre escenarios y muestran que las diferencias de material y diámetro afectan su generalización. Estos antecedentes respaldan evaluar el algoritmo con datos representativos del ámbito de uso, sin trasladar una exactitud publicada como garantía para una red diferente.

FIDO Tech presenta equipos móviles para investigación acústica y un sistema fijo que entrega puntos de interés diarios ordenados por tamaño estimado. La documentación distingue la investigación de terreno y la vigilancia de red, y describe su conexión con el seguimiento del caso (FIDO Tech, s. f.-a, s. f.-b). Son prestaciones declaradas por el proveedor; su alcance, precisión y conveniencia se deben comprobar en la aplicación local.

La validación debe separar entrenamiento, ajuste y evaluación. En un piloto de un sistema que aprende con registros acústicos, conviene evitar que ventanas del mismo evento aparezcan simultáneamente como entrenamiento y prueba, pues esa dependencia puede sobreestimar el desempeño. Se deben identificar eventos conocidos, condiciones sin fuga comprobadas y casos no resueltos. La

recomendación corresponde al diseño de evaluación de esta propuesta, no a un resultado atribuido a todas las tecnologías revisadas.

Tamaño estimado, caudal y resultado de la reparación

La amplitud o intensidad de ruido no se convierte de forma directa en litros por segundo. El ruido depende, entre otros factores, de presión, geometría de la fuga, material, propagación, acoplamiento y ambiente. Un algoritmo puede estimar una categoría de tamaño o un caudal mediante su propio modelo, pero debe declarar la variable, las unidades, el dominio y la evidencia que sustentan esa salida (Hamilton y McKenzie, 2014).

Cuando se disponga de medición hidráulica suficiente, la evaluación puede comparar el comportamiento antes y después de la reparación, considerando consumos legítimos, presión, almacenamiento, maniobras y cambios simultáneos. La desaparición de una señal acústica comprueba un aspecto del cierre, pero no cuantifica automáticamente el volumen recuperado. Si se estima el caudal con un modelo o con el tamaño del defecto, debe mantenerse identificado como estimación y justificar su conversión a volumen.

La revisión debe preguntar si el método estima magnitud absoluta o solo ordena prioridades; cómo se obtuvieron los valores de referencia; si se probaron los materiales y rangos relevantes; qué incertidumbre conserva; y cómo se trataron fugas múltiples, silenciosas o sin confirmación. Para contrastar resultados con el balance se aplican las condiciones de contrastación del Eje A: fronteras y períodos compatibles, cobertura declarada y mediciones compartidas identificadas.

Registro y evaluación de una técnica o modalidad de vigilancia

Antes de ampliar una solución se define qué decisión debe mejorar y en qué ámbito se probará. El diseño incluye una muestra de condiciones relevantes de la red y evita seleccionar solo sitios donde la señal ya se conoce como favorable. El registro debe permitir comprobar tanto la función prometida como la capacidad de la organización para utilizarla.

Ámbito y referencia: tramo o zona, trazado, materiales, diámetros, accesorios, presión, condiciones de servicio, accesos y antecedentes de pérdidas. Declarar qué parte de la red queda representada.

Función evaluada: vigilancia, detección de indicios, prelocalización, localización, clasificación, estimación de magnitud o comprobación posterior. Identificar el producto esperado y la resolución necesaria.

Configuración y dependencias: equipos, emplazamiento, acoplamiento, espaciamiento, ventanas de registro, transmisión, datos de apoyo y mediciones que también alimentan otros análisis.

Procedimiento de comprobación: forma de confirmar fugas y causas alternativas, tratamiento de casos pendientes, eventos conocidos o de control y criterios definidos antes de evaluar resultados.

Recursos y ejecución: competencias, dedicación, contratación, comunicaciones, mantenimiento según fabricante, responsables de revisar alertas y coordinación con reparación.

Resultados y decisión: esfuerzo, cobertura efectiva, confirmaciones, limitaciones, costos y efecto verificado. Justificar si se mantiene, modifica, complementa o amplía la solución y qué información falta para decidir.

El registro permite comparar modalidades sin imponer una tecnología por nivel. La transición se apoya en la capacidad que falta: por ejemplo, pasar de recorridos informales a una campaña trazable; de campañas repetidas sin orientación a priorización basada en antecedentes; o de sensores que generan alertas a un proceso que las confirma, atiende y utiliza para ajustar la vigilancia. El programa conserva la atención de eventos visibles mientras fortalece la investigación de fugas menos evidentes.

ANEXO K. PROGRAMA DE DETECCIÓN ACTIVA DE FUGAS

Este anexo desarrolla las condiciones de aplicación de la detección activa de fugas (DAF) en redes de agua potable y fundamenta su incorporación en la dimensión C1 de la Espiral de Madurez. La búsqueda puede comenzar con recorridos y técnicas sencillas, sin esperar una sectorización completa. Su desarrollo se reconoce por la capacidad de seleccionar áreas y técnicas, confirmar hallazgos, coordinar su atención y utilizar los resultados para mejorar el programa. La cantidad de equipos instalados o de fugas encontradas no determina por sí sola esa capacidad.

El alcance comprende vigilancia e investigación de pérdidas reales, desde inspección visual y acústica hasta monitoreo instrumental y analítica. Se distinguen principios consolidados, resultados de investigaciones y prestaciones declaradas por proveedores. La elección de una familia tecnológica requiere verificar su configuración y desempeño en la red estudiada; los ejemplos comerciales ilustran funciones y no constituyen una recomendación de compra.

Relación entre detección, reparación, presión y renovación

La detección de fugas y la renovación de redes son intervenciones concretas sobre las pérdidas físicas, pero responden a decisiones diferentes. La búsqueda identifica pérdidas existentes; la reparación elimina o controla el defecto localizado; la gestión de presión actúa sobre las condiciones hidráulicas que influyen en el caudal de fuga y la aparición de fallas; y la renovación o rehabilitación se sustenta en condición, recurrencia, consecuencias de falla y costo del ciclo de vida. Estas actuaciones se complementan dentro del control de pérdidas reales (AWWA, 2009; Hamilton y McKenzie, 2014).

El diagnóstico debe ayudar a decidir dónde buscar, qué señal investigar, con qué técnica localizar y cuándo conviene reparar, modificar la operación o intervenir el activo. Una sucesión de reparaciones en un mismo tramo puede justificar estudiar su renovación, pero el número de fugas por sí solo no demuestra el beneficio de reemplazarlo. Deben considerarse el tramo efectivamente afectado, la causa probable, el volumen, la presión, la criticidad y las alternativas disponibles.

La detección no abarca todas las causas del ANC. El subregistro de medidores, los consumos no autorizados, los errores de datos y los consumos autorizados no facturados requieren investigaciones diferentes. Un cambio del ANC global tampoco demuestra, sin desagregar sus componentes, el resultado de una campaña de fugas. El balance y la política de medición permiten delimitar esa interpretación y reconocer los ámbitos todavía insuficientemente observados.

Tipos de hallazgo y dificultad de detección

Visibilidad, aviso y mecanismo de pérdida

La visibilidad y la condición de reportada son atributos distintos. Una fuga puede tener afloramiento y permanecer sin aviso hasta que una cuadrilla la identifica durante un recorrido. En ese caso existe una búsqueda proactiva, aunque el hallazgo haya sido visual. Si la cuadrilla acude a un aviso ya recibido, su atención corresponde a respuesta al reporte. Por ello, no se clasifica toda fuga visible como atención pasiva ni toda actividad denominada detección activa como búsqueda acústica de fugas ocultas.

La clasificación debe conservar el estado al momento de la primera observación. Una fuga inicialmente oculta puede aflorar después y una fuga de caudal importante puede descargar hacia drenajes u otras vías sin manifestarse en superficie. La ausencia de afloramiento no informa por sí sola su magnitud, y el volumen perdido depende también de cuánto tiempo permanece activa (AWWA, 2009; Hamilton y McKenzie, 2014).

Tabla K.1. Condiciones de hallazgo y significado operacional

Condición observada	Registro necesario	Implicación para la búsqueda
Visible sin aviso previo	Origen del hallazgo, lugar, fecha, evidencia de afloramiento y revisión de avisos existentes.	Puede encontrarse en un recorrido proactivo. No demuestra dominio de técnicas para localizar fugas ocultas.
Reportada antes de la inspección	Fuente y fecha del aviso, primera atención y estado de visibilidad.	Permite evaluar la respuesta. Se contabiliza separadamente de los hallazgos nuevos de una campaña.
Sin afloramiento al detectarse	Indicio inicial, técnica utilizada, localización, confirmación y comprobación tras intervenir.	Requiere investigar señales o antecedentes; la dificultad depende de la fuga, la red y el método.
Pérdidas de fondo o residuales no individualizadas	Estimación del componente, supuestos, sensibilidad de las técnicas y límites del diagnóstico.	No se presume que toda pérdida residual puede localizarse como una fuga puntual. Se examinan presión, activos y conveniencia de nuevas investigaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Cambios de los hallazgos durante la mejora de la gestión

En un sistema con pérdidas acumuladas y vigilancia insuficiente, una cuadrilla puede encontrar fugas con afloramiento sin una investigación compleja. Ese rendimiento inicial puede ser alto aun cuando no existan medición sectorial, monitoreo o una programación consolidada. También puede ocurrir lo contrario: recorrer extensiones amplias sin indicios suficientes consume muchas horas y

produce pocos hallazgos. Ambas situaciones impiden deducir la madurez o la eficacia del método solo a partir de una cantidad de fugas encontradas.

A medida que se atienden los eventos visibles, se controla la presión y se amplía la observación, puede cambiar la composición de las pérdidas pendientes. Pueden adquirir mayor importancia las fugas ocultas, intermitentes, silenciosas para la configuración utilizada o ubicadas en tramos de acceso difícil. Esta es una hipótesis operacional que debe contrastarse con los registros del sistema, no una secuencia inevitable asociada a N1–N5. Suelos, pavimentos, drenajes, profundidad, presión y características de las roturas también condicionan el afloramiento.

Una reducción de hallazgos visibles puede acompañar una mejora del sistema, pero también una menor cobertura, un cambio de técnica o una pérdida de capacidad de detección. Se requiere comparar esfuerzos y condiciones equivalentes, separar tipos de fuga y observar el comportamiento hidráulico cuando existan registros aptos. La relación entre sectorización, presión, monitoreo y dificultad de búsqueda debe utilizarse para ajustar la estrategia, sin convertir un bajo número de hallazgos en prueba automática de buen desempeño.

Duración y volumen perdido

El volumen perdido depende del caudal de fuga y del tiempo durante el cual permanece activa. La Figura J.1 presenta un ejemplo: una fuga de 4 m³/h durante seis días acumula 576 m³, mientras otra de 0,4 m³/h durante setenta y cinco días acumula 720 m³. El ejemplo supone caudal constante y veinticuatro horas de actividad diaria. Su función es mostrar que una fuga de menor caudal puede perder más volumen si permanece abierta durante mucho más tiempo.

Volumen perdido = caudal de fuga × duración. Si el caudal se expresa en m³/h y la duración en días, el cálculo incorpora 24 horas por día. Si el caudal varía con la presión, la operación o el desarrollo del defecto, el volumen debe estimarse por intervalos representativos y no mediante una única tasa constante.

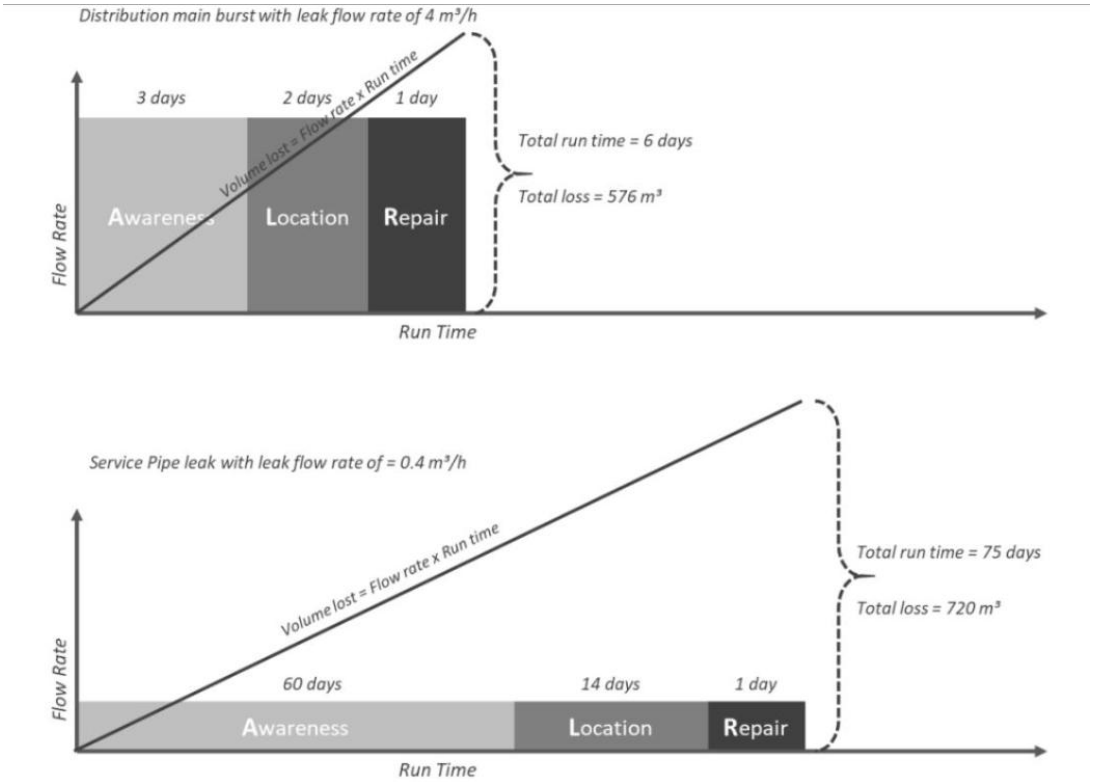


Figura 4. Efecto de la duración de ALR sobre la pérdida total de agua por roturas y fugas.

Figura K.1. Ejemplo ilustrativo del efecto de la duración en el volumen perdido

Fuente: Tooms y Rogers (2007, figura 4, p. 10).

Los períodos de conocimiento, localización y reparación de la figura son supuestos ilustrativos, no plazos exigibles ni metas del marco. La ocurrencia real de una fuga oculta puede desconocerse; el registro debe diferenciar esa incertidumbre de los hitos que sí tienen fecha. La prioridad de atención integra riesgo, continuidad, consecuencias, recursos y conveniencia de la intervención, sin reducirse a comparar dos caudales.

Cadena operacional y modalidades de despliegue

De la selección del área al cierre del hallazgo

La cadena de trabajo comprende las siguientes funciones. No todas las técnicas ejecutan todas ellas ni sus productos tienen la misma resolución espacial:

1. Selección del área. Elegir dónde intervenir según antecedentes disponibles: eventos, criticidad, condición de activos, recorridos anteriores, presión, indicios de caudal y otras alertas. Si faltan datos hidráulicos, documentar los criterios que sí existen y las brechas de información.

2. Detección de un indicio. Identificar una observación compatible con fuga: afloramiento, ruido, variación hidráulica, anomalía térmica o punto de interés de otra tecnología. Conservar la señal original y las condiciones de observación.

3. Prelocalización. Reducir la extensión que debe investigarse a un sector, tramo o conjunto de puntos. El resultado puede ser un área de interés y no una coordenada lista para excavar.

4. Localización. Aproximar la posición del defecto con resolución útil para la intervención. Verificar trazado, accesorios y servicios cercanos; utilizar una técnica complementaria cuando el indicio inicial no permita fijar el punto.

5. Confirmación. Reunir evidencia suficiente de que el indicio corresponde a una fuga y registrar su grado de certeza. La excavación o inspección directa puede confirmar el defecto; un resultado todavía no resuelto conserva ese estado.

6. Reparación y comprobación. Vincular el hallazgo con la orden de trabajo y comprobar la eliminación de la pérdida. Registrar la técnica de reparación y el resultado acústico, visual o hidráulico que corresponda, diferenciando estimaciones de mediciones.

7. Retroalimentación. Actualizar el catastro, la clasificación del caso y el desempeño de la técnica. Revisar falsas alertas, investigaciones pendientes, fugas que se detectaron por otros medios y necesidad de ajustar cobertura o método.

La secuencia puede requerir iteraciones: una correlación dudosa puede conducir a recolocar sensores, un punto confirmado puede revelar más de una fuga y la reparación puede dejar un indicio residual que necesita nueva investigación. Para evitar duplicar hallazgos, varias señales atribuibles a un mismo defecto se vinculan a un identificador de caso. Si se confirman defectos distintos, se conservan por separado.

Campañas, recorridos dirigidos y vigilancia permanente

La búsqueda puede organizarse como barrido de rutas, campaña dirigida a un área priorizada, traslado sucesivo de registradores —lift and shift— o vigilancia con sensores fijos. Las modalidades pueden combinarse: un monitoreo hidráulico selecciona un DMA; los registradores acústicos reducen el área; y un técnico utiliza escucha o correlación para localizar y confirmar. También puede existir vigilancia acústica fija sin una sectorización hidráulica completa. Su alcance acústico debe verificarse por sí mismo y no reemplaza las condiciones requeridas para cuantificar pérdidas mediante CMN.

Una infraestructura fija puede reducir la necesidad de recorrer rutinariamente toda el área vigilada y orientar la salida de una cuadrilla hacia alertas concretas. Sin embargo, deben existir instalación y comprobación de sensores, disponibilidad de comunicaciones o descarga, revisión de resultados, tratamiento de fallas y

capacidad de atención. El operador puede concentrarse en confirmar, localizar y coordinar la reparación, pero el programa necesita responsables de toda la cadena y no se reduce a la compra de equipos.

Instalación permanente, adquisición continua, transmisión periódica y alerta en tiempo real no son equivalentes. Un equipo fijo puede escuchar solo durante ventanas nocturnas y transmitir una vez al día. El tiempo de conocimiento de una anomalía depende de esa configuración, del procesamiento y de su revisión. Hamilton y McKenzie (2014, cap. 9.5) describen tanto los beneficios del monitoreo acústico continuo como la necesidad de investigar indicios y controlar fuentes de ruido ajenas a fugas.

Selección y adaptación del programa

Requisitos y combinación de recursos

El programa parte de un ámbito definido y una pregunta operacional: encontrar pérdidas aún no reportadas, investigar una anomalía concreta, revisar un tramo crítico o comprobar una intervención. Se identifica el conocimiento disponible de la red, los métodos compatibles, el personal propio o contratado y la capacidad de confirmar y reparar. La falta de monitoreo no impide comenzar, pero limita la selección hidráulica de zonas y exige conservar otras evidencias de prioridad.

En niveles iniciales pueden utilizarse historial de roturas, recorridos por zonas críticas, reparaciones repetidas, antecedentes de usuarios y conocimiento de operadores. Estos criterios deben registrarse para revisar su utilidad. Cuando existen DMA y series aptas, el CMN y sus desviaciones pueden reducir el área de búsqueda. Un sistema acústico permanente puede aportar otra vía de selección, siempre que su cobertura y desempeño estén comprobados. Ninguna modalidad obliga a que todos los sistemas recorran la misma secuencia tecnológica.

El espaciamiento de sensores se define para la configuración utilizada, con pruebas de captación y no mediante una distancia universal. También deben evaluarse cambios de material, puntos sin acceso, ruido persistente y sectores que quedan fuera de sensibilidad o comunicación. Se informa por separado red con sensores instalados, red con registros disponibles y ámbito cuya capacidad de detectar ha sido comprobada. La existencia de equipos en todas las zonas no demuestra cobertura efectiva de toda la tubería.

La gestión de presión puede reducir el caudal perdido y modificar la señal acústica o el comportamiento nocturno. Después de cambios de regulación o de reparaciones importantes deben revisarse la referencia hidráulica y las reglas de detección, manteniendo las condiciones de servicio. Del mismo modo, un aumento de sensibilidad puede incrementar los hallazgos sin que haya empeorado la infraestructura. Estas relaciones obligan a interpretar conjuntamente intervención, observación y resultado.

Frecuencia, economía y relación con los activos

La frecuencia de campaña y la modalidad de vigilancia se justifican mediante criticidad, aparición de nuevas fugas, pérdidas pendientes, capacidad de detección, costos y resultados anteriores. Se comparan opciones como repetir un barrido, trasladar registradores, instalar vigilancia fija, utilizar una técnica especializada o intervenir un activo. El análisis económico debe utilizar costos y beneficios compatibles y explicitar la incertidumbre (Hamilton y McKenzie, 2014; ANDESS, 2023).

No se adopta una frecuencia semestral por DMA como requisito universal de C1. Una programación adecuada puede combinar campañas periódicas y acciones activadas por eventos. Lo que se acredita es la existencia de una justificación, ejecución, cobertura y revisión; una frecuencia elevada sin resultados investigados no demuestra mejor gestión. Las restricciones de recursos también se registran para distinguir una estrategia técnicamente elegida de una brecha de ejecución.

Las pérdidas residuales pueden justificar mejorar la detección, estudiar presión o evaluar rehabilitación y renovación, según el mecanismo y las consecuencias. Una fuga difícil de localizar no demuestra por sí sola que deba renovarse toda la red; tampoco la repetición de reparaciones en un activo debe quedar desconectada de su evaluación estructural y económica. C1 aporta los antecedentes de búsqueda; C3 examina reparación y recurrencia; y C5 integra priorización e intervención de activos.

Aplicación de la detección activa por nivel de madurez

La detección activa puede existir en niveles bajos. La progresión C1 describe cómo se organiza y mejora la función, no una escala en la que cada equipo corresponde a un nivel fijo. Las condiciones siguientes amplían la evidencia de esa dimensión y mantienen las denominaciones comunes N1–N5. Una práctica se puntúa por evidencia del ámbito evaluado; la complejidad de una fuga aislada o un resultado favorable ocasional no sustituyen la evaluación del programa completo.

Tabla K.4. Aplicación y evidencias de la detección activa por nivel

Nivel	Condición observable de C1	Evidencia requerida
N1 Arranque	Predomina la atención de avisos o la búsqueda ocasional sin programa ni registro suficiente. Puede haber recorridos y hallazgos visibles o acústicos, pero no se demuestra una práctica reproducible.	Reunir registros de origen del hallazgo, rutas, técnica, confirmación y derivación. La ausencia de evidencia se diferencia de una práctica inexistente.
N2 Medición	Existe al menos una campaña o modalidad de vigilancia documentada en el período evaluado, con ámbito y prioridad explícitos, técnica apropiada y responsable. Registra indicios, hallazgos confirmados y derivación a reparación. No exige DMA ni monitoreo hidráulico completo.	Ruta o ámbito, criterio de selección, método, fechas, personal, estado visible o no visible, evidencia de confirmación y vínculo con atención.
N3 Control	Programa ejecutado con cobertura y frecuencias o disparadores justificados. Combina técnicas y antecedentes disponibles; usa CMN solo donde existen sus requisitos. Revisa alertas, casos no resueltos, hallazgos y cierres y adapta la programación.	Plan, ejecución, cobertura real, recursos y registros comparables. Documenta el seguimiento de campañas o vigilancia fija y distingue técnicas, tipos de fuga y pendientes.
N4 Optimización	Selecciona áreas, combinación de técnicas y modalidad de vigilancia mediante riesgo, información de red, costos y resultados comprobados. Relaciona búsqueda con presión, reparación y activos y modifica la estrategia al cambiar las pérdidas pendientes.	Comparación de alternativas, esfuerzo y costo; resultados de terreno e hidráulicos cuando son válidos; justificación de cambios y evaluación posterior.
N5 Innovación	Mantiene vigilancia anticipada adecuada al riesgo, con alertas o reglas predictivas comprobadas y revisión de cobertura, disponibilidad y desempeño. Integra confirmación y cierre, detecta limitaciones y ajusta métodos con aprendizaje. La automatización o IA se acredita por su funcionamiento y resultado.	Desempeño verificado con eventos y casos de control, tratamiento de falsas alertas y posibles omisiones, respaldo ante fallas, cobertura no observada y mejora documentada. No exige una marca ni sensorización total como sustituto de la capacidad.

Fuente: Elaboración propia.

Las modalidades pueden coexistir en cada nivel y un servicio especializado puede contratarse en una organización inicial. Lo que cambia es su preparación, justificación y uso de resultados. Para acreditar N5, la anticipación debe estar comprobada: vigilar mediante recorridos sin información que permita anticipar y adaptar no basta. La solución puede combinar instrumentos, campañas y reglas de decisión según el sistema, sin exigir inteligencia artificial como única vía de desarrollo.

Un gran número de fugas visibles encontradas durante salidas informales puede corresponder a C1 en N1; si existe campaña trazable y una práctica repetible puede respaldar N2. Una búsqueda sistemática con herramientas sencillas puede acreditar N3 cuando reúne sus condiciones. Una red con sensores instalados, pero con

alertas sin revisar o sin confirmación, no acredita por ese solo hecho N4 o N5. En todos los casos debe revisarse el conjunto de evidencias antes de puntuar.

Las dependencias entre dimensiones se conservan: B3 evalúa sectorización y conocimiento hidráulico; B4, monitoreo; C1, organización y desempeño de la búsqueda; C3, reparación y recurrencia; y C5, priorización y activos. Una misma evidencia puede informar varias dimensiones, pero no debe utilizarse para atribuirles idéntica capacidad. No se modifica el cálculo del IDE ni se eliminan dimensiones por no utilizar una tecnología específica.

INDICADORES PARA EVALUAR ESFUERZO, DETECCIÓN Y RESULTADOS

Los indicadores deben permitir interpretar el trabajo y sus efectos según tipo de fuga, técnica, presión, cobertura y período. Se conservan denominadores y criterios de confirmación. El número de hallazgos se utiliza junto con esfuerzo, resolución de investigaciones y efecto observado, para evitar premiar únicamente redes con pérdidas acumuladas o penalizar la búsqueda de fugas más difíciles.

Tabla K.5. Indicadores complementarios para seguimiento del programa

Indicador	Definición o registro propuesto	Precaución de interpretación
Cobertura de campaña	Longitud efectivamente inspeccionada respecto de la longitud objetivo definida para la técnica y el período.	Repetir un tramo aumenta el esfuerzo, pero no la cobertura única. Informar áreas inaccesibles o no inspeccionadas.
Cobertura y disponibilidad instrumental	Ámbito con capacidad de detección comprobada y proporción de registros válidos respecto de los esperados.	Separar equipos instalados, comunicaciones disponibles y sensibilidad demostrada. Un radio nominal no acredita cobertura real.
Productividad de búsqueda	Hallazgos nuevos confirmados por km investigado o jornada de cuadrilla, indicando su composición.	Separar visibles, no visibles, avisos anteriores, técnicas y condiciones. No es una escala universal de madurez.
Resolución de alertas	Alertas únicas confirmadas como fuga, atribuidas a otra causa o pendientes de investigación, con sus proporciones.	Un caso sin resolución no se clasifica automáticamente como falso positivo; varias señales pueden corresponder a un solo defecto.
Desempeño de detección	Sensibilidad y precisión, cuando existe una muestra con estados de referencia comprobados y diseño de evaluación explícito.	No puede estimarse la proporción de fugas omitidas solo con los casos que el propio equipo detectó. Registrar cómo se verificó la referencia.
Tiempos de la cadena	Intervalos entre primera señal o aviso, revisión, localización, confirmación, reparación y comprobación, según hitos disponibles.	El inicio real de una fuga oculta puede desconocerse. Informar tipo de fuga, número de casos, mediana y dispersión.
Resultado hidráulico y volumen	Cambio de caudal o volumen atribuible a la intervención, medido o estimado con método y condiciones declarados.	Controlar demanda, presión, maniobras, almacenamiento y otras reparaciones; no asignar automáticamente todo el cambio a un hallazgo.
Costo y permanencia del resultado	Costo de búsqueda y confirmación, reparación e instrumentación según el alcance; permanencia del efecto y recurrencias.	Comparar períodos y bases monetarias compatibles; una técnica de mayor costo por hallazgo puede resolver eventos de mayor beneficio o criticidad.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando existe una referencia comprobada, la sensibilidad corresponde a las fugas detectadas respecto del total de fugas presentes en el conjunto de evaluación; la precisión positiva corresponde a las alertas que efectivamente son fugas respecto de las alertas clasificadas como positivas y verificadas. Deben declararse las exclusiones y los casos no resueltos, porque evaluar solo las alertas más evidentes puede sesgar esas proporciones. Si no se conoce la totalidad de fugas del ámbito, no corresponde afirmar que se ha medido su sensibilidad global.

El costo de campaña puede incluir preparación, personal, equipos, contratación, tratamiento de datos y confirmación. Si se informa costo por m³ recuperado, debe

indicarse el horizonte del volumen y distinguir inversión inicial de costos recurrentes. Un volumen estimado o una categoría de tamaño no se presenta como medición directa. Si todavía no existe respaldo para cuantificar recuperación, se conservan los resultados de ejecución y confirmación sin inventar un ahorro.

La referencia operacional de reparar fugas no visibles ya localizadas idealmente en menos de dos días, aportada por la autora, puede utilizarse como ejemplo de meta interna adaptada al contexto. No se transforma en un plazo universal de detección ni en un umbral de C1. La evaluación de la reparación y de sus plazos corresponde a C3 y mantiene las diferencias de riesgo y tipo de evento.

ANEXO L. GWOPA / UN-Habitat

Hoja de Ruta para la Reducción y Gestión del ANC

Planificación del programa

La guía Roadmap to non-revenue water reduction and management, de Faber y Radakrishnan (2019), difundida por GWOPA/UN-Habitat e IHE Delft, integra planificación, organización e intervenciones técnicas y comerciales para sostener la reducción del agua no contabilizada (ANC). Su aporte es vincular el diagnóstico con responsabilidades, recursos y seguimiento, de modo que las acciones formen parte de la gestión permanente del operador.

La propuesta se organiza en tres componentes complementarios (Faber y Radakrishnan, 2019):

Crear el plan con compromiso gerencial. Obtener el respaldo directivo, definir responsabilidades y asegurar los recursos y la coordinación necesarios para ejecutar el programa.

Dividir el problema en partes manejables. Definir sectores hidrométricos o áreas de medición distrital (DMAs) que permitan localizar los problemas, establecer balances sectoriales y comprobar resultados.

Reducir y gestionar el ANC de forma sostenida. Combinar medidas iniciales con acciones de mantenimiento, control y gestión de activos, revisando su efecto y su continuidad.

El caso de negocio analiza la conveniencia del programa mediante el enfoque FIETS, que reúne las dimensiones financiera, institucional, ambiental, tecnológica y social (Faber y Radakrishnan, 2019).

La dimensión financiera considera inversión, operación y mantenimiento; la institucional, responsabilidades, personal y continuidad de las decisiones. La ambiental examina el ahorro efectivo de agua, energía y productos químicos; la tecnológica, la condición de la infraestructura, la medición y la capacidad de mantener los equipos. La dimensión social considera continuidad, presión, atención de fallas y posibilidades de ampliar el servicio.

La evaluación financiera debe distinguir los beneficios de reducir pérdidas reales de los asociados a corregir pérdidas aparentes. En las primeras corresponde evaluar el costo evitable y, cuando exista demanda y capacidad para utilizar el agua recuperada, el beneficio adicional de su venta. En las segundas se evalúan los ingresos recuperables conforme al régimen de facturación aplicable. Multiplicar todo el ANC por la tarifa no representa por sí solo el beneficio económico; también deben incluirse los costos de las medidas y evitar la doble contabilización.

El diagnóstico requiere identificar la frontera del sistema, el período del balance, el volumen de entrada y los consumos autorizados facturados y no facturados. La separación de pérdidas aparentes y reales debe apoyarse en antecedentes de medición, registros comerciales y estimaciones documentadas. Un resultado global sin esa desagregación permite reconocer la magnitud del ANC, pero no asignar sus causas.

El Roadmap reproduce una matriz internacional de evaluación inicial del ANC, atribuida a Recommendations for Initial NRW Assessment de IWA Water Loss 2010. Sus bandas A1, A2, B, C y D consideran el ANC total en litros por conexión y día presurizado, la presión media y el grupo de ingreso del país. Los umbrales se consultan en la Figura 7 de Faber y Radakrishnan (2019); no corresponden exclusivamente a pérdidas reales.

A1 representa un desempeño alto dentro de esa referencia; A2 requiere examinar la conveniencia económica de nuevas reducciones. B señala potencial de mejora, C un desempeño deficiente que exige profundizar el diagnóstico y D un ANC elevado que orienta hacia un programa integral. En todos los casos deben comprobarse las causas y la confiabilidad del balance.

La categoría obtenida no asigna un nivel de madurez ni demuestra por sí sola la rentabilidad de una intervención. Para comparar resultados deben comprobarse la frontera, las unidades, el período, el número de conexiones, la continuidad, la presión representativa y la correspondencia con la matriz empleada.

En sistemas intermitentes, la guía utiliza un factor de normalización temporal que expresa el resultado por día equivalente de suministro continuo:

$$f = \frac{24}{h}$$

En esta expresión, h corresponde a las horas medias diarias de suministro y f es adimensional. Aplicar el factor al indicador no aumenta el volumen realmente perdido: modifica su base temporal de comparación. Si existen sectores con regímenes de suministro diferentes, sus horas y conexiones deben documentarse de manera coherente; no corresponde corregir el denominador considerando automáticamente solo las conexiones presurizadas en un instante.

La guía también incorpora una perspectiva financiera basada en el agua pagada y aborda la cobranza. En esta tesina se mantiene el criterio del balance IWA: el ANC se determina respecto del consumo autorizado facturado. El agua facturada y no pagada se analiza como un problema de recaudación y deuda, separado de las pérdidas de agua.

La guía propone un equipo transversal y una instancia directiva de supervisión que coordinen las áreas técnica, comercial y financiera. Su composición, autoridad y

frecuencia de seguimiento se ajustan a la organización y a la carga de trabajo del operador.

La coordinación mantiene el plan de trabajo y presenta avances y decisiones pendientes. Finanzas evalúa costos y beneficios, asigna recursos y sigue la ejecución presupuestaria.

El equipo técnico gestiona sectorización, instrumentación, fugas, presión y antecedentes físicos. El área comercial revisa clientes, medidores, lecturas y facturación, y concilia las conexiones de terreno con sus registros.

En operadores pequeños una persona puede asumir más de una función. La condición relevante es que las tareas tengan responsables, recursos y mecanismos de coordinación y seguimiento comprobables.

La estrategia debe establecer metas específicas, medibles, alcanzables, relevantes y con plazo definido (SMART). Cada meta necesita una línea base, un ámbito de aplicación, un responsable, recursos e indicadores compatibles con los datos disponibles. La duración del programa y sus etapas se justifican según la situación del operador.

Las acciones iniciales pueden concentrarse en corregir registros, reparar fallas evidentes y comprobar la medición. Una etapa de consolidación permite evaluar sectores piloto, ajustar los procedimientos y extender las medidas que hayan demostrado resultados. El seguimiento de largo plazo incorpora mantenimiento, control de pérdidas y gestión de activos. Las acciones iniciales también requieren personal, materiales y presupuesto.

El ANC volumétrico y porcentual puede complementarse con indicadores normalizados por conexiones y tiempo presurizado. El ILI solo se incorpora cuando existen pérdidas reales suficientemente fundamentadas, datos de infraestructura y presión representativa, y se verifica la aplicabilidad de UARL. El cumplimiento de las metas se evalúa junto con la calidad de los datos y las condiciones de servicio.

Implementación de sectores hidrométricos

La sectorización permite trabajar en unidades de análisis delimitadas y medibles. Un DMA requiere conocer su frontera y medir los intercambios de agua relevantes. Puede disponer de varias entradas y salidas siempre que estas se identifiquen y registren, de modo que el balance represente el volumen neto del sector.

El Roadmap menciona entre 500 y 3.000 conexiones como referencia para seleccionar áreas piloto. Este intervalo debe adaptarse a la topología, el tipo de usuarios, la hidráulica, la sensibilidad de medición y los recursos disponibles; no constituye un requisito universal ni invalida por sí solo sectores de menor tamaño.

La selección debe considerar el problema que se busca investigar y la posibilidad de comprobar los resultados. Son antecedentes relevantes el conocimiento del

trazado y las válvulas, las sospechas de ANC elevado, la continuidad y presión del suministro, la identificación de los clientes y la factibilidad de delimitar y medir los intercambios. También deben revisarse ampliaciones o cambios operacionales que puedan alterar el sector durante el piloto.

El levantamiento del sector relaciona las conexiones físicas con el registro comercial y su ubicación en planos o en un sistema de información geográfica (GIS). Debe identificar el tipo de usuario, la cuenta asociada, el medidor y su estado, los consumos autorizados no facturados y las conexiones compartidas o pendientes de aclaración.

Una conexión sin correspondencia inmediata en la base comercial requiere investigación. Puede deberse a errores de ubicación, registros desactualizados, consumos autorizados u otras situaciones; la falta de coincidencia no demuestra por sí sola un consumo no autorizado.

La asignación incorrecta de clientes altera el volumen facturado del sector y su ANC calculado. Antes de atribuir la diferencia a pérdidas aparentes deben revisarse la pertenencia hidráulica de las conexiones, el período de las lecturas, los consumos autorizados no facturados y la integridad de los registros.

La comprobación de la frontera combina revisión del catastro, inspección de válvulas y pruebas de campo. Una prueba de presión cero puede ayudar a detectar alimentaciones no identificadas, siempre que se planifique considerando la continuidad del servicio, el vaciado o almacenamiento y las condiciones de seguridad. Una lectura de caudal cero aislada no demuestra por sí sola que todas las conexiones de frontera sean estancas.

Los macromedidores deben cubrir los puntos de intercambio del DMA y ser adecuados al rango de caudales, incluidas las condiciones nocturnas. Se revisan instalación, verificación metrológica, resolución, integración del caudal, sincronización, transmisión y conservación de los registros. La medición de presión debe representar las condiciones del sector, además de los puntos críticos de servicio.

El error de entrada se propaga al balance como un volumen. Por ejemplo, un error del 2 % sobre el volumen de entrada no equivale necesariamente a un error relativo del 2 % sobre las pérdidas calculadas: su incidencia depende de la magnitud de estas y de las incertidumbres de los demás componentes.

La línea base sectorial compara el volumen neto que ingresa con los consumos del mismo ámbito y período. Debe considerar las variaciones de almacenamiento cuando existan estanques dentro de la frontera. La coincidencia temporal de los registros es necesaria para distinguir cambios reales de diferencias ocasionadas por lecturas desfasadas.

El caudal mínimo nocturno (CMN) se identifica en una ventana de baja demanda comprobada para el sector. Cuando existen varios medidores, se obtiene de la serie neta sincronizada; sumar los mínimos individuales de horas diferentes produce un resultado que no representa una condición hidráulica real.

La estimación del caudal de fuga nocturno requiere descontar los usos nocturnos y considerar el almacenamiento. Con todos los términos expresados en unidades de caudal compatibles, la relación de análisis es:

$$Q_f = Q_e - Q_u - \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Los términos de la ecuación representan, respectivamente, el caudal de fuga, el caudal neto de entrada, los usos nocturnos identificados y la tasa de variación del almacenamiento. El caudal neto de entrada corresponde a las entradas menos las salidas medidas. La variación de almacenamiento es positiva cuando aumenta el volumen almacenado dentro del sector y es cero si no existe almacenamiento interno. Los usos no identificados y los errores de medición aumentan la incertidumbre del caudal residual.

El consumo nocturno debe estimarse según los usuarios y las condiciones locales, incluyendo consumos no residenciales relevantes y el llenado de depósitos de clientes. El caudal residual nocturno no es todavía un volumen diario de pérdidas. Su extrapolación requiere considerar el perfil de presión y la relación presión–fuga, en coherencia con los métodos de análisis nocturno y FAVAD (Thornton et al., 2008).

Actuaciones y herramientas de apoyo

El capítulo operativo de la guía presenta doce pasos que abarcan medición, pérdidas reales, pérdidas aparentes y gestión comercial. Su ejecución se organiza según el diagnóstico y las dependencias entre tareas: algunas acciones pueden avanzar en paralelo y otras requieren comprobar primero sus insumos. La Tabla L1 conserva la secuencia de la guía y agrega evidencias propuestas para su utilización en esta tesina.

Tabla L1: Líneas de actuación

Paso	Actuación	Evidencia propuesta para la tesina
1	Verificar la base de datos de clientes. Contrastar conexiones, cuentas, ubicación, medidores y condición comercial.	Conciliación entre terreno y registros; discrepancias investigadas y correcciones documentadas.
2	Reparar medidores averiados y fugas visibles. Registrar la falla, la actuación y el resultado.	Órdenes de trabajo y comprobación posterior; cambios en consumo registrado o caudal del sector, según corresponda.
3	Verificar y calibrar los medidores de producción y de distrito. Examinar también instalación y recorrido del dato.	Antecedentes metrológicos, resultados de pruebas y correcciones aplicadas al balance cuando proceda.
4	Ensayar micromedidores. Estimar la inexactitud del parque mediante muestras y perfiles de caudal representativos.	Diseño de muestreo, resultados por grupo y estimación volumétrica del error del parque.
5	Aplicar control activo de fugas. Seleccionar técnicas de detección y localización adecuadas a la red.	Áreas inspeccionadas, hallazgos, reparación y seguimiento de caudales, presiones y tiempos de permanencia.
6	Mejorar la calidad de materiales, instalaciones y reparaciones. Reducir fallas repetidas y defectos de ejecución.	Criterios de selección y recepción, controles de ejecución e historial de recurrencia de fallas.
7	Gestionar las presiones. Evaluar presiones excesivas, variaciones y condiciones de servicio.	Registros representativos, consignas justificadas y comprobación del efecto sobre fugas y servicio.
8	Gestionar los activos. Vincular mantenimiento, rehabilitación y renovación con condición, riesgo y desempeño.	Historial de activos, prioridades justificadas y seguimiento de fallas, costos y resultados de las intervenciones.
9	Reducir el consumo no autorizado. Investigar anomalías y confirmar su causa antes de clasificarlas.	Casos verificados, actuaciones conforme al marco aplicable y estimaciones documentadas del volumen asociado.
10	Gestionar el consumo autorizado no medido. Identificar usos, responsables y métodos de cuantificación.	Inventario de usos y volúmenes medidos o estimados; clasificación correcta dentro del balance.
11	Reducir errores de manejo de datos. Revisar lecturas, conversiones, procesamiento y facturación.	Trazabilidad de las correcciones y conciliación entre lecturas, consumos procesados y volúmenes facturados.
12	Mejorar la recaudación y gestionar la deuda. Evaluar el cobro y las cuentas pendientes como componentes financieros.	Indicadores de recaudación y deuda separados del balance volumétrico IWA y de las pérdidas de agua.

Fuente: Elaboración propia.

La verificación de medidores mejora la confiabilidad del balance, pero no equivale automáticamente a recuperar agua. De igual modo, reparar una fuga, modificar la presión y renovar una tubería pueden incidir sobre un mismo volumen; su efecto conjunto debe comprobarse sin sumar beneficios superpuestos.

Las medidas de presión y de activos deben evaluarse conjuntamente con el control de fugas y las condiciones de servicio. La respuesta a la presión depende de las características de las fugas y del sistema; la materialidad de la tubería no permite asignar por sí sola un porcentaje de reducción. La renovación se prioriza con antecedentes de condición, frecuencia de fallas, riesgo y evaluación económica, mientras que el mantenimiento y la calidad de las reparaciones sostienen los resultados.

Las Water Operators' Partnerships (WOPs) son acuerdos de cooperación entre operadores, sin fines de lucro, orientados a fortalecer capacidades. El intercambio entre pares puede apoyar la ejecución de campañas, la organización de equipos, la revisión comercial y la interpretación de datos de terreno. Su duración y modalidad se ajustan a los objetivos, las capacidades y los recursos de los participantes (Faber y Radakrishnan, 2019).

La cooperación permite transferir procedimientos y acompañar su aplicación. Sus resultados deben observarse en las tareas que el operador logra ejecutar y mantener, y en los efectos que puede verificar.

WB-EasyCalc, desarrollado por Liemberger & Partners, apoya el balance hídrico y el cálculo de indicadores con metodología IWA. Su ámbito de aplicación depende de la frontera y de los datos ingresados; puede utilizarse para un sistema o una unidad delimitada con información compatible. Al seleccionar una herramienta deben declararse su versión, las funciones utilizadas y las fuentes de los datos (Liemberger & Partners, s. f.).

La elección entre WB-EasyCalc, FWAS u otra herramienta debe responder al objetivo y a sus funciones verificadas. El software requiere comprobar la medición, sincronizar los registros y fundamentar las estimaciones utilizadas en el balance o en el análisis del CMN.

Para documentar la habilitación de un DMA, esta tesina propone registrar su identificación y frontera; las válvulas y su posición; los puntos de entrada y salida; los equipos y su condición de medición; los clientes asociados; las pruebas de campo; y las incidencias pendientes. Cada registro debe incluir fecha, responsable y evidencia de las comprobaciones efectuadas.

La revisión debe actualizarse cuando cambien las conexiones hidráulicas, las válvulas de frontera, la instrumentación o la asignación de clientes. Su objetivo es comprobar que las mediciones continúan representando el mismo ámbito y detectar cambios que puedan explicar variaciones del balance.

ANEXO M. MATRIZ DE MADUREZ WUM

Naturaleza y propósito del WUM

El Water Utility Maturity Model (WUM), desarrollado por Kayaga, Mugabi y Kingdom (2013), permite examinar las capacidades institucionales que sostienen la prestación de servicios de agua. En esta tesina se utiliza como referente conceptual para analizar las condiciones organizacionales necesarias para mantener la gestión del ANC: orientación estratégica, procesos, personas, herramientas y relaciones institucionales.

Su aporte consiste en examinar por qué la disponibilidad de tecnología e infraestructura puede coexistir con dificultades para ejecutar y sostener las mejoras. Una empresa puede disponer de equipos de detección, sectores hidráulicos o sistemas de supervisión y mantener brechas en responsabilidades, coordinación, mantenimiento y utilización de la información.

El diagnóstico organizacional complementa los métodos técnicos de control de pérdidas. Permite identificar las capacidades necesarias para mantener el balance hídrico, operar la instrumentación, interpretar los registros, ejecutar intervenciones y comprobar sus resultados.

En el marco propuesto, el WUM aporta una referencia para el análisis de la capacidad organizacional. Las dimensiones y los descriptores de la Escalera de Madurez ANC corresponden a la adaptación desarrollada en esta investigación.

Las matrices detalladas de este anexo corresponden a una adaptación de elaboración propia para apoyar la lectura de capacidades organizacionales. Se utiliza el WUM como referente conceptual, manteniendo diferenciados sus planteamientos originales de los descriptores desarrollados para esta tesina. Estos últimos no se presentan como una transcripción de la matriz completa del artículo de Kayaga et al. (2013).

Dimensiones y criterios de lectura

El WUM comprende cinco dimensiones institucionales: comportamiento, estructura y procesos, capacidades, herramientas organizacionales e influencia. Sus niveles se denominan inicial, básico, proactivo, flexible y progresivo.

Las Tablas M.1 a M.5 organizan los ámbitos de revisión desarrollados en este anexo para la gestión del ANC. Sus descriptores se presentan como una elaboración aplicada a la tesina, sin atribuirlos a una reproducción literal de la matriz completa del WU**M.**

Comportamiento

Esta dimensión examina la orientación estratégica, el liderazgo y las prácticas que sostienen la gestión. En el ANC interesa comprobar si las prioridades declaradas se traducen en decisiones, recursos y actuaciones coordinadas.

La Tabla M.1 presenta la progresión propuesta para los ámbitos de orientación estratégica, liderazgo, cultura organizacional, atención al cliente y gestión comercial.

Tabla M.1: Comportamiento.

Ámbito	Inicial	Básico	Proactivo	Flexible	Progresivo
Orientación estratégica	Sin objetivos definidos para gestionar el ANC. Predominan las decisiones inmediatas.	Se reconoce el problema, pero los objetivos todavía no orientan regularmente las acciones.	Existe un programa con objetivos, responsables e indicadores definidos.	Las prioridades se revisan según resultados, restricciones y cambios operacionales.	Se anticipan escenarios y se comprueba la pertinencia de las respuestas previstas.
Liderazgo y gestión	Las decisiones se concentran en pocas personas y predominan las respuestas reactivas.	Existe delegación parcial para resolver actividades operacionales.	Los equipos tienen responsabilidades, objetivos y autoridad definidos.	La delegación se acompaña de coordinación y revisión de resultados.	El liderazgo sostiene la adaptación y el aprendizaje entre áreas y equipos.
Cultura organizacional	Los problemas se resuelven sin conservar antecedentes ni revisar sus causas.	Se reconoce la necesidad de registrar y compartir experiencias.	Se documentan problemas, respuestas y aprendizajes de las actividades críticas.	Los errores y recurrencias generan ajustes comprobables en los procedimientos.	El aprendizaje permite anticipar necesidades y comprobar nuevas formas de gestión.
Orientación al cliente	Los reclamos se atienden como eventos aislados.	Existen registros de atención con seguimiento parcial.	Los reclamos se clasifican y relacionan con las condiciones del servicio.	La información de usuarios orienta prioridades y evaluación de intervenciones.	Se anticipan efectos sobre el servicio y se contrastan con la experiencia posterior.
Orientación comercial	Existen discrepancias sin investigar entre conexiones, medidores y registros comerciales.	Se corrigen inconsistencias de manera puntual.	Se revisan regularmente catastro, lecturas, medición y facturación.	La información comercial se concilia con los antecedentes hidráulicos y operacionales.	Se anticipan anomalías y se comprueba el resultado de las acciones comerciales adoptadas.

Fuente: Elaboración propia.

La orientación al cliente y la gestión comercial permiten investigar consumos, errores de registro y condiciones del servicio. La eficiencia de cobranza debe analizarse separadamente del balance volumétrico: el agua facturada y no pagada constituye un problema financiero, sin transformarse por ello en una pérdida de agua.

Estructura y procesos

Esta dimensión examina la definición de responsabilidades, la coordinación y la aplicación de procedimientos. Para la gestión del ANC, interesa comprobar que las actividades críticas se ejecuten de manera consistente y que sus resultados puedan revisarse.

La Tabla M.2 presenta los criterios propuestos para estructura organizacional, autonomía interna, rendición de cuentas y gestión de procesos.

Tabla M.2: Estructura y procesos.

Ámbito	Inicial	Básico	Proactivo	Flexible	Progresivo
Estructura organizacional	Las responsabilidades están indefinidas o se superponen.	Se identifican responsables, pero persisten vacíos de coordinación.	Las funciones y relaciones entre áreas están documentadas y se utilizan.	La coordinación se ajusta según los problemas y resultados del programa.	La estructura permite anticipar necesidades y sostener respuestas ante cambios.
Autonomía interna	Las decisiones operacionales dependen de autorizaciones sin criterios claros.	Existe delegación limitada para actividades habituales.	Se definen atribuciones, límites y mecanismos de escalamiento.	Los responsables pueden ajustar actuaciones con trazabilidad y rendición de cuentas.	Los equipos responden a escenarios previstos y revisan la efectividad de sus decisiones.
Rendición de cuentas	No existe seguimiento regular de compromisos y resultados.	Se presentan reportes esporádicos, con definiciones variables.	Se revisan indicadores, compromisos y resultados con responsables identificados.	Las desviaciones generan decisiones sobre prioridades, recursos y actuaciones.	Se contrastan resultados previstos y observados, incorporando los aprendizajes al programa.
Gestión de procesos	Las actividades dependen principalmente de prácticas individuales.	Algunos procedimientos están documentados, pero su aplicación es irregular.	Los procesos críticos tienen procedimientos, registros y criterios de revisión.	Las recurrencias y los resultados permiten mejorar los procedimientos.	Los procesos se adaptan a necesidades anticipadas y sus cambios se verifican posteriormente.

Fuente: Elaboración propia.

Los procedimientos deben cubrir las actividades que afectan la confiabilidad del diagnóstico y la ejecución: balance hídrico, revisión de medición, maniobras de válvulas, detección, reparación, actualización del catastro y tratamiento de inconsistencias comerciales. Su existencia documental debe contrastarse con su utilización efectiva.

Capacidades

Esta dimensión examina los recursos y las competencias necesarios para ejecutar el programa. Incluye personal, operación técnica, gestión de activos, recursos financieros y evaluación del desempeño.

La Tabla M.3 presenta los criterios propuestos para comprobar cómo estas capacidades permiten mantener las actividades y sus resultados.

Tabla M.3: Capacidades.

Ámbito	Inicial	Básico	Proactivo	Flexible	Progresivo
Recursos humanos	Las tareas dependen de conocimientos individuales y disponibilidad ocasional.	Se identifican funciones y necesidades básicas de capacitación.	Las competencias requeridas se relacionan con funciones y actividades del programa.	La formación y distribución del personal se ajustan según brechas y resultados.	Se anticipan necesidades de competencias y se comprueba la transferencia del aprendizaje.
Operación técnica	Predominan respuestas a fallas, sin registros suficientes para analizar recurrencias.	Se mantienen registros básicos y algunas actividades preventivas.	La operación utiliza procedimientos, antecedentes de red y seguimiento de trabajos.	Se analizan causas y resultados para ajustar mantenimiento e intervenciones.	Se anticipan condiciones de falla y se contrastan las respuestas previstas con lo observado.
Gestión de activos	La reposición se decide principalmente ante emergencias.	Existe un inventario básico de infraestructura y equipos.	Se relacionan condición, historial y criticidad con las prioridades de intervención.	Se comparan alternativas mediante costos, riesgos y resultados comprobados.	Se evalúan escenarios de deterioro y se actualizan las prioridades con evidencia posterior.
Gestión financiera	Los recursos se asignan sin una programación vinculada al ANC.	Se identifican necesidades y costos básicos de las acciones.	El programa dispone de recursos y seguimiento de ejecución presupuestaria.	Se revisan costos y beneficios para ajustar prioridades e inversiones.	Se anticipan necesidades financieras y se comprueban los resultados de las decisiones de asignación.
Evaluación del desempeño	Se registran actividades sin comprobar sus efectos.	Se dispone de algunos indicadores, con limitaciones identificadas.	Los indicadores tienen definición, fuente, responsable y período de cálculo.	Se utilizan para comparar alternativas y revisar el efecto de las intervenciones.	Se contrastan estimaciones anticipadas con resultados posteriores y se actualizan los criterios de decisión.

Fuente: Elaboración propia.

La disponibilidad de GIS, equipos o planes de renovación debe relacionarse con las personas, los procedimientos y el presupuesto necesarios para mantenerlos. La evaluación organizacional complementa la comprobación técnica de cada herramienta; su adquisición no demuestra, por sí sola, una capacidad consolidada.

Herramientas organizacionales

Esta dimensión examina cómo la información, la tecnología y los mecanismos de seguimiento apoyan las decisiones. La evaluación considera la utilización efectiva de las herramientas y la conservación del conocimiento generado.

La Tabla M.4 presenta los criterios propuestos para monitoreo, gestión de información, tecnología y mejora continua.

Tabla M.4: Herramientas organizacionales.

Ámbito	Inicial	Básico	Proactivo	Flexible	Progresivo
Monitoreo y evaluación	Los datos se revisan de manera ocasional, principalmente ante problemas.	Existen reportes básicos, con análisis limitado de sus variaciones.	Se mantienen rutinas de revisión e investigación de desviaciones.	El seguimiento permite evaluar actuaciones y ajustar prioridades.	Se anticipan desviaciones y se comprueba la efectividad de las respuestas previstas.
Información y conocimiento	Los antecedentes permanecen dispersos o dependen de personas específicas.	Existe intercambio parcial de información entre áreas.	Se definen fuentes, responsables y procedimientos de actualización y consulta.	Se concilian registros y se utilizan antecedentes compartidos para decidir.	Se anticipan necesidades de información y se comprueba su utilidad en nuevas decisiones.
Tecnología	Las herramientas disponibles no permiten registrar o recuperar adecuadamente los antecedentes requeridos.	Se incorporan herramientas para necesidades delimitadas.	Se comprueban operación, mantenimiento, calidad de registros y utilización.	Las herramientas se integran según su aporte al diagnóstico y a las decisiones.	Se evalúan nuevas aplicaciones mediante resultados anticipados y comprobaciones posteriores.
Mejora continua	Los problemas se repiten sin revisión sistemática.	Se identifican oportunidades, pero su seguimiento es irregular.	Se documentan acciones, responsables y resultados.	Los resultados y las recurrencias modifican procedimientos y prioridades.	Se prueban mejoras, se verifica su efecto y se incorpora el aprendizaje a la gestión habitual.

Fuente: Elaboración propia.

La telemetría, la lectura remota, las plataformas analíticas y los modelos pueden apoyar distintos niveles de desarrollo. Su presencia debe evaluarse junto con la

calidad de los registros, la capacidad de interpretar la información y las respuestas que efectivamente generan.

- **M.2.5. Influencia**

Esta dimensión examina las relaciones del operador con su entorno institucional y social. Para el ANC, interesa comprobar cómo estas relaciones permiten obtener información, coordinar actuaciones, sostener recursos y mantener la confianza de los usuarios.

La Tabla M.5 presenta los criterios propuestos para relaciones institucionales, responsabilidad ambiental y social, participación, cooperación y comunicación de resultados.

Tabla M.5: Influencia.

Ámbito	Inicial	Básico	Proactivo	Flexible	Progresivo
Entorno institucional	Las condiciones externas se atienden principalmente cuando generan dificultades.	Se identifican obligaciones y actores relevantes.	Se mantienen responsables y mecanismos de coordinación institucional.	Los cambios del entorno se incorporan a la planificación y evaluación de riesgos.	Se anticipan escenarios institucionales y se comprueba la pertinencia de las respuestas adoptadas.
Responsabilidad social y ambiental	Los efectos de las actuaciones se consideran de manera limitada.	Se identifican impactos y condiciones básicas que deben atenderse.	El programa incorpora objetivos de servicio y uso de recursos.	Se evalúan efectos sobre agua, energía, usuarios y entorno para ajustar las medidas.	Se anticipan impactos y se contrastan con los resultados posteriores.
Relación con partes interesadas	La comunicación se limita a responder situaciones puntuales.	Se identifican actores y necesidades de información.	Existen mecanismos de comunicación y seguimiento de compromisos.	La información recibida se utiliza para revisar prioridades y actuaciones.	Se anticipan necesidades y se comprueba si la participación mejora las decisiones.
Alianzas y redes	La cooperación depende de iniciativas individuales sin continuidad.	Se participa en instancias de intercambio de manera ocasional.	Las colaboraciones responden a necesidades y objetivos definidos.	Se comprueba la aplicación del conocimiento y los resultados de la cooperación.	El aprendizaje se incorpora a la gestión y puede transferirse a otros operadores.
Comunicación de resultados	No se dispone de antecedentes consistentes para explicar la gestión.	Se comunican actividades y algunos resultados.	Los reportes distinguen acciones, resultados y limitaciones de los datos.	La comunicación se revisa según las necesidades de sus destinatarios.	Se comprueba su utilidad para sostener decisiones, coordinación y confianza.

Fuente: Elaboración propia.

La participación en asociaciones, convenios o programas de cooperación constituye un medio para fortalecer capacidades. Su aporte debe comprobarse mediante procedimientos adoptados, competencias desarrolladas y resultados verificables.

Relación con la Escalera de Madurez ANC

La Escalera de Madurez ANC utiliza el desarrollo progresivo de capacidades como referencia para organizar su evaluación. Sus niveles —Arranque, Medición, Control, Optimización e Innovación— pertenecen al marco propuesto en esta tesina y conservan sus propias definiciones.

La Tabla M.6 sintetiza esta progresión desde la identificación de brechas hasta la anticipación y comprobación de respuestas. La relación con el WUM es conceptual y no constituye una equivalencia automática entre sus niveles.

Tabla M.6: Progresión organizacional del ANC.

Nivel	Condición de la gestión	Evidencia para la evaluación
N1 — Arranque	Se reconoce el problema y se identifican antecedentes, brechas y responsables iniciales.	Información disponible y faltante identificada; responsabilidades iniciales reconocidas.
N2 — Medición	Se establece una base de información y se organizan acciones delimitadas.	Fuentes y estimaciones documentadas; responsables, recursos y plazos definidos.
N3 — Control	Se mantienen procedimientos y seguimiento regular del programa.	Registros de ejecución, revisión de desviaciones y comprobación de resultados.
N4 — Optimización	Se comparan alternativas y se ajustan prioridades según resultados, costos y riesgos.	Decisiones justificadas y cambios documentados en recursos, procedimientos e intervenciones.
N5 — Innovación	Se anticipan escenarios, se comprueban las respuestas previstas y se incorpora el aprendizaje.	Estimaciones contrastadas con resultados posteriores y procedimientos actualizados a partir de esa comprobación.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación debe conservar las diferencias internas del operador. Un sistema puede disponer de capacidades técnicas avanzadas y mantener debilidades de coordinación, actualización de información o continuidad de sus procedimientos.

Aplicación a la gestión del ANC

La aplicación al contexto chileno requiere revisar antecedentes del operador evaluado. Las brechas deben comprobarse mediante documentos, registros y prácticas observables, evitando asignar niveles por tamaño de empresa, disponibilidad de tecnología o características generales del sector.

La Tabla M.7 organiza los ámbitos de revisión y las evidencias que permiten relacionar el diagnóstico organizacional con la gestión del ANC.

Tabla M.7: Evidencias para la gestión del ANC.

Ámbito	Aspecto que se revisa	Evidencia observable	Orientación de mejora
Gestión comercial	Correspondencia entre conexiones, clientes, medidores y facturación.	Conciliaciones, inconsistencias investigadas y correcciones registradas.	Mantener la trazabilidad entre terreno, medición y registros comerciales.
Procedimientos	Consistencia en balance, detección, maniobras, reparación y lectura.	Procedimientos vigentes, registros de utilización y revisiones posteriores.	Documentar las actividades críticas y comprobar su aplicación.
Operación técnica	Uso de antecedentes para mantener la red y resolver fallas.	Historial de averías, trabajos, recurrencias y comprobaciones posteriores.	Relacionar mantenimiento e intervenciones con las causas identificadas.
Gestión de activos	Fundamento de las prioridades de mantenimiento, rehabilitación y renovación.	Inventario, condición, historial, criticidad y evaluación de alternativas.	Priorizar según riesgo, desempeño y costos, además de antigüedad.
Indicadores	Definición y utilización de las medidas de seguimiento.	Fuentes, unidades, períodos, responsables y decisiones asociadas.	Seleccionar indicadores calculables y pertinentes para la pregunta de gestión.
Seguimiento	Relación entre actividades ejecutadas y resultados obtenidos.	Revisiones de avance, desviaciones y decisiones adoptadas.	Diferenciar cumplimiento de trabajos y efecto comprobado.
Información	Coherencia entre registros hidráulicos, comerciales y operacionales.	Conciliaciones, actualización del catastro y control de versiones.	Definir responsables y mecanismos de intercambio y actualización.
Instrumentación	Continuidad de operación y confiabilidad de las mediciones.	Antecedentes de instalación, verificación, mantenimiento y disponibilidad de datos.	Desarrollar la medición según las necesidades y recursos del sistema.
Responsabilidades	Capacidad de coordinar decisiones entre áreas.	Funciones, compromisos, mecanismos de escalamiento y seguimiento.	Vincular cada actividad con un responsable y una decisión verificable.
Cooperación	Aplicación del conocimiento adquirido mediante intercambio o asistencia.	Procedimientos incorporados, personal capacitado y resultados comprobados.	Seleccionar colaboraciones que respondan a brechas concretas.

Fuente: Elaboración propia.

La revisión del catastro y de los procesos comerciales ayuda a investigar pérdidas aparentes. El seguimiento de averías, mantenimiento y reparaciones apoya el análisis de pérdidas reales. Ambos componentes requieren coordinación, pero sus resultados deben cuantificarse e interpretarse según sus mecanismos particulares.

La gestión de activos necesita antecedentes de ubicación, material, condición, historial y criticidad. La antigüedad orienta el diagnóstico, pero no determina por sí sola la prioridad de renovación ni permite calcular directamente indicadores de condición hidráulica.

Evaluación y seguimiento

La evaluación debe combinar las perspectivas de quienes dirigen, generan información y ejecutan las actividades. Los documentos permiten comprobar lo

establecido formalmente; los registros y la observación permiten revisar su utilización.

Para cada ámbito deben identificarse las evidencias disponibles, las discrepancias entre participantes y los antecedentes pendientes. Cuando una práctica no puede comprobarse, corresponde registrar esa limitación antes de concluir que está consolidada o ausente.

La evaluación posterior debe utilizar criterios comparables. Los cambios de nivel requieren demostrar modificaciones en las prácticas y su utilización, considerando que una nueva herramienta, una capacitación o un procedimiento escrito constituyen acciones cuyo efecto todavía debe comprobarse.

Los resultados deben traducirse en un programa de fortalecimiento con responsables, recursos, plazos y evidencias de logro. Su seguimiento permite revisar si las brechas se redujeron y si las mejoras se mantienen frente a cambios de personal, tecnologías o condiciones operacionales.

Alcances y limitaciones

El WUM aporta una lectura organizacional que debe complementarse con el diagnóstico técnico y económico del ANC. La evaluación de capacidades no determina por sí sola el volumen recuperable, la conveniencia de una intervención ni una meta de pérdidas.

Los resultados dependen de la calidad y representatividad de las evidencias. Las entrevistas deben contrastarse con registros y prácticas observables para reducir el sesgo de respuestas individuales o la valoración de procedimientos que solo existen formalmente.

Las comparaciones entre operadores requieren definiciones, alcances y criterios de evaluación compatibles. Un perfil de capacidades permite identificar diferencias internas, pero su interpretación debe considerar el contexto de cada sistema.

Las matrices de este anexo apoyan la lectura de las capacidades relacionadas con el ANC. La asignación de niveles del marco se realiza mediante sus matrices de evaluación, conservando la distinción entre el referente conceptual y la propuesta desarrollada en la tesina.

ANEXO N. WATER UTILITY TURNAROUND FRAMEWORK

Alcance y diagnóstico organizacional

El Water Utility Turnaround Framework, desarrollado por Soppe, Janson y Piantini (2018) para el Banco Mundial, organiza el diagnóstico, la planificación y la institucionalización de mejoras en empresas de agua potable y saneamiento. Relaciona el desempeño técnico y comercial con las capacidades de gestión y con el entorno en que opera la empresa. Puede aplicarse a operadores con distintas condiciones iniciales; la evaluación determina qué cambios son pertinentes y desde qué fase conviene abordarlos.

Su contribución a la gestión del agua no contabilizada (ANC) es examinar las restricciones que impiden ejecutar o sostener las intervenciones. Una empresa puede disponer de equipos de detección y medición, pero encontrar dificultades para financiar reparaciones, coordinar información comercial o mantener los procedimientos. El diagnóstico debe identificar esas relaciones y establecer qué decisiones dependen del operador y cuáles requieren compromisos de otros actores.

La Tabla N1 presenta los cinco ámbitos del marco y su aplicación al análisis del ANC. La relación con las pérdidas corresponde a una síntesis para esta tesina; no transforma estos ámbitos en una clasificación hidráulica de los componentes del balance.

Tabla N1: Ámbitos de gestión

Ámbito	Contenido del diagnóstico	Aplicación al ANC
Organización y estrategia	Orientación de la empresa, planificación, estructura, responsabilidades y gestión del desempeño.	Comprobar que el programa tenga respaldo directivo, responsables y coordinación entre áreas.
Recursos humanos	Competencias, asignación de funciones, capacitación y gestión del personal.	Revisar capacidades para medir, analizar, detectar, reparar y transferir conocimiento operacional.
Gestión financiera	Información financiera, costos, presupuesto, planificación y capacidad de financiamiento.	Relacionar medidas con recursos disponibles, costos evitables, ingresos recuperables y mantenimiento.
Operaciones técnicas	Producción, distribución, mantenimiento, activos y desempeño operacional.	Comprobar balance, medición, sectorización, control de fugas, presión y registro de intervenciones.
Operaciones comerciales	Clientes, medición de consumos, lecturas, facturación y recaudación.	Investigar inexactitud de micromedición y errores de datos, coordinando registros y verificaciones de terreno.

Fuente: Elaboración propia.

El marco utiliza representaciones radiales o cobweb para examinar el perfil de la empresa. El desempeño muestra resultados, mientras que la madurez describe

prácticas y capacidades de gestión; sus escalas deben conservarse diferenciadas. Una brecha entre resultados y capacidades orienta la investigación, pero el gráfico no demuestra por sí solo su causa. Las diferencias entre ámbitos deben revisarse mediante registros, entrevistas y comprobaciones de los procesos involucrados.

La Pirámide del Éxito explica la relación entre gestión y entorno. En su base se encuentran el marco legal y la gobernanza; sobre ellos se sitúan finanzas, recursos humanos y organización y estrategia; luego, las operaciones comerciales y técnicas; y en la cúspide, el servicio al cliente. Esta disposición vincula las condiciones de gobierno con la capacidad de gestionar y prestar el servicio, sin reducir la transformación a la compra de infraestructura (Soppe et al., 2018, figura 2.1).

Para aplicar esta lógica al ANC se examinan la autoridad para asignar personal y recursos, la continuidad de las decisiones y los mecanismos de rendición de cuentas. El diagnóstico distingue las restricciones internas que el operador puede resolver de aquellas que requieren coordinación con propietarios, autoridades u otros actores. La respuesta debe ajustarse al marco aplicable y a las condiciones verificadas de cada empresa.

Proceso de transformación

El proceso comprende cuatro fases. La Fase 0 evalúa la situación inicial y permite decidir si el trabajo debe continuar en la Fase 1, 2 o 3. La entrada y el avance dependen del diagnóstico y de la preparación de la empresa; las fases organizan el cambio y no equivalen a niveles de madurez del ANC.

Fase 0. Evaluación de la empresa y su entorno. Se revisan el desempeño, la madurez inicial, el entorno y la capacidad para iniciar y sostener cambios. Para el ANC, el levantamiento reúne el balance y su confiabilidad, los registros de fallas e intervenciones, las prácticas comerciales, las funciones del personal y la disponibilidad financiera. Las diferencias entre lo que muestran los indicadores y los procedimientos realmente utilizados permiten identificar obstáculos que requieren investigación. El resultado es un diagnóstico de brechas y condiciones de ejecución que fundamenta la fase de trabajo siguiente.

Fase 1. Creación de espacio para el cambio y ciclos virtuosos. Busca generar condiciones para comenzar la transformación: conducción competente, autonomía suficiente para actuar, respaldo y compromisos iniciales alcanzables. Las primeras medidas deben permitir demostrar resultados y fortalecer la confianza. En ANC pueden incluir la corrección de registros comerciales, la revisión de medidores averiados y la reparación de fugas visibles, según el diagnóstico. Su selección considera recursos, factibilidad y capacidad de verificar el efecto; una acción inicial también necesita personal, materiales y presupuesto. El cierre de esta fase debe comprobar que existen condiciones para preparar y ejecutar un plan más amplio.

Fase 2. Planificación y ejecución de acciones. Profundiza la línea base y convierte las brechas en actuaciones ejecutables. Cada acción define el problema, su ámbito, resultado esperado, responsable, recursos, plazo y evidencia de cumplimiento. Las dependencias deben quedar identificadas: un balance sectorial requiere entradas y clientes correctamente asociados, y una campaña de fugas necesita capacidad de reparación y seguimiento. La priorización considera el efecto esperado, la confiabilidad de los antecedentes y las restricciones de implementación. El seguimiento compara lo ejecutado con lo previsto y permite modificar medidas o recursos cuando los resultados no respaldan los supuestos iniciales.

Fase 3. Planificación estratégica e institucionalización. Consolida las mejoras dentro de los procesos permanentes de la empresa y aborda los compromisos necesarios para sostenerlas. El marco incorpora un plan estratégico, un plan de negocios a cinco años y un sistema de gestión del desempeño. En ANC, esto se traduce en mantener la medición y el balance, coordinar control de fugas y presión, financiar mantenimiento y renovación, conservar conocimiento y revisar resultados. El presupuesto y los procedimientos deben permitir que estas actividades continúen después del proyecto inicial. La planificación de largo plazo se ajusta a los riesgos, recursos y condiciones de servicio del operador.

La evidencia del avance debe mostrar cambios en la capacidad de gestión y en los resultados: registros más confiables, actuaciones terminadas, menores tiempos de permanencia de fugas, recursos disponibles o procedimientos sostenidos. La contratación de una herramienta, la formulación de un plan o la ejecución de un piloto son antecedentes que requieren comprobar su utilización y continuidad.

Aplicación del árbol lógico al ANC

El árbol lógico del ANC elevado, presentado en el cuerpo del informe, contiene tres ramas principales: ausencia de un balance conforme a los criterios de la International Water Association (IWA), insuficiente control activo de fugas y gestión inadecuada de la red. Cada rama se desagrega en tres causas posibles. El árbol organiza hipótesis para contrastarlas con antecedentes; no calcula volúmenes ni determina automáticamente qué componente explica el ANC (Soppe et al., 2018, figura 4.12).

Su aplicación comienza por definir el sistema, período e indicador que motivan el diagnóstico. Después se relacionan las ramas con los antecedentes disponibles y se identifican las verificaciones pendientes. Varias causas pueden coexistir: errores de medición, fugas de larga duración y fallas recurrentes no son situaciones excluyentes. El equipo debe distinguir lo observado, lo estimado y lo que todavía no ha podido comprobar.

La Tabla N2 conserva las tres ramas y sus nueve causas posibles, agregando comprobaciones propuestas para esta tesina. Estas evidencias permiten convertir

el diagrama en tareas de revisión sin confundir una sospecha con una causa demostrada.

Tabla N2: Aplicación del árbol

Rama del árbol	Causas posibles del original	Comprobación propuesta
Balance hídrico	Mantenimiento y lectura inadecuados de macromedidores; mantenimiento y lectura inadecuados de micromedidores; análisis insuficiente de los datos de ANC.	Revisar instalación y verificaciones, lecturas, conversiones y trazabilidad; conciliar registros técnicos y comerciales del mismo ámbito y período.
Control activo de fugas	Ausencia de un plan de inspección acústica o visual; falta de control de presión para detectar fugas; capacidad insuficiente para atender roturas en la red.	Contrastar áreas inspeccionadas y hallazgos con registros de caudal y presión, órdenes de reparación y tiempos de detección, localización y reparación.
Gestión de la red	Renovación o rehabilitación sin considerar frecuencia de roturas; control de presión insuficiente para determinar niveles óptimos; falta de revisión sistemática de accesorios.	Relacionar historial de fallas y condición de activos con prioridades de intervención; comprobar consignas de presión, mantenimiento y resultados posteriores.

Fuente: Elaboración propia.

La investigación de los datos debe comprobar la frontera, las unidades, las fechas y las estimaciones que sostienen el balance. Los ensayos de medidores y la conciliación comercial pueden modificar la magnitud y la distribución estimada de las pérdidas; por ello, una variación del indicador debe interpretarse junto con los cambios en la calidad del dato. El árbol no sustituye la auditoría metrológica ni la desagregación del balance.

En las ramas de fugas y red se comprueba que la detección tenga continuidad en la reparación y en la verificación posterior. Los registros deben permitir relacionar el hallazgo con la actuación y su efecto, considerando cambios de presión, demanda y configuración hidráulica. La ausencia de información puede impedir concluir sobre una causa, aunque permita identificar qué medición o registro debe levantarse primero.

Para cada causa investigada se registra el antecedente, su fuente, la conclusión provisional y la acción necesaria, con responsable y evidencia de cierre. Una causa comprobada puede incorporarse al plan de intervención; una hipótesis pendiente genera una tarea de verificación. Las medidas urgentes y las comprobaciones pueden avanzar en paralelo cuando sus condiciones de ejecución lo permitan, documentando los supuestos utilizados.

Experiencias y aplicación en la tesina

La Tabla N3 sintetiza los cinco casos del Apéndice D del documento original. Los resultados corresponden a la situación descrita en la publicación de 2018 y abarcan la transformación integral de los operadores; no constituyen cinco casos equivalentes de reducción cuantificada del ANC.

Tabla N3: Casos documentados

Empresa	Transformación descrita	Resultado en el estudio
CESAN Brasil	Estabilización financiera, planificación estratégica, desarrollo del personal y sistemas de información.	Mejora sostenida del desempeño y consolidación de prácticas de gestión.
DAWACO Vietnam	Cooperación con Vitens-Evides International, capacitación y mejoras técnicas, comerciales y de información.	Transformación sostenida, con mejoras de cobertura, ANC y eficiencia del personal.
ONEA Burkina Faso	Mejora de capacidad de abastecimiento, gestión comercial, financiamiento y fortalecimiento directivo.	Mejoras sostenidas en cobertura, continuidad y desempeño operativo y financiero.
SEDAPAR Perú	Planificación e inversiones acompañadas de cambios en autonomía y gestión.	Mejoras iniciales que no lograron sostenerse; muestra la importancia de institucionalizar el cambio.
SONEB Benín	Fortalecimiento del personal, planificación financiera y seguimiento de compromisos de desempeño.	Trayectoria de mejora en curso, cuya continuidad se proyecta favorablemente en el estudio.

Fuente: Elaboración propia.