



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil – Construcciones civiles

***Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A***

Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

Leiria, Septiembre de 2018

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Disertación

Maestría en Ingeniería Civil – Construcciones civiles

Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A



Parte de este trabajo se ha sido aceptada para la presentación en conferencia: Valla, Lourdes; Gomes, Ricardo; Maldonado, Lenin (2018). “Importancia de los Indicadores de Desempeño para las Empresas Públicas de Agua Potable y Alcantarillado del Ecuador”, in Atas del X Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Coimbra (Portugal), 6-8 Septiembre.

Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

Disertación de Maestría realizada bajo la orientación del Doctor Ricardo de Jesus Gomes, Profesor de la Escuela Superior de Tecnología e Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y co-orientación del Ingeniero Lenin Maldonado, Docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Leiria, Septiembre de 2018

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Dedicatoria

A Emilia, fruto de mi ser, luz de mi vida.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Agradecimientos

Al Gobierno del Ecuador por confiar en los jóvenes profesionales y abrirles las puertas de un futuro mejor para ellos, sus familias y el Estado.

A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología por materializar los anhelos de desarrollo en materia de conocimiento e innovación.

Al Instituto Politécnico de Leiria y sus profesores por el apoyo brindado durante mi preparación profesional.

A la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A) por incentivar el desarrollo de proyectos en pro del mejoramiento de su gestión y de la sostenibilidad ambiental.

Al profesor Ricardo Gomes, guía incondicional de este trabajo y amigo sincero.

A mi madre y familia por su apoyo constante.

A Juan Carlos por acompañarme durante el desarrollo de esta investigación, por su apoyo, su comprensión y su amor hacia mí.

.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Resumen

El Gobierno del Ecuador, a través de sus políticas actuales, ha situado al sector del agua potable y saneamiento en un espacio importante dentro de la agenda de desarrollo del país. En la actualidad, el desafío tanto para los gobiernos locales como para las entidades reguladoras del agua es centrarse en el mejoramiento de su gestión y brindar un servicio de calidad con tarifas accesibles para la población. En este artículo se presentan los resultados de la evaluación de calidad del servicio de abastecimiento de agua prestado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EP-EMAPA-A) de la ciudad de Ambato, particularmente en el subsistema Troya, a través de un análisis de indicadores de desempeño, con el objetivo de reducir el valor total del agua no facturada. El análisis se inició con la recopilación de información para el cálculo de los indicadores internacionales (Balance Hídrico e Índice Infraestructural de Fugas - IIF). Con ello se pudo determinar que para 2017 el porcentaje de pérdidas (reales + aparentes) es de 46,32%, mientras que el porcentaje de agua no facturada (pérdidas comerciales) es de 47,67%. El indicador IIF dio como resultado 1,59, lo que se traduce en una adecuada gestión en materia de reparación de fugas y control activo de éstas. Considerando los indicadores de desempeño nacionales se determinó que la gestión de la EP-EMAPA-A tiene un buen nivel de servicio. Finalmente se indican los procedimientos para mejorar la gestión (Benchmarking) tales como la implementación de zonas de medición y control, gestión de la presión, sistemas SCADA, entre otros.

Con este trabajo se pretende abrir el camino a futuras investigaciones en el campo de Gestión de los sistemas de abastecimiento público de agua potable con el fin de reducir el porcentaje de pérdidas comerciales como una manera de optimizar los recursos económicos de la entidad y aportar a la sostenibilidad del medio ambiente.

Palabras clave: *Abastecimiento público de agua potable, Benchmarking, Indicadores de desempeño*

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Abstract

The Government of Ecuador, through its current policies, has placed the potable water and sanitation sector in an important space within the development agenda of the country. Currently, the challenge for both local governments and water regulators is to focus on improving their management and providing a quality service with affordable rates for the population. This article presents the results of the quality assessment of the water supply service provided by the Municipal Public Water and Sewerage Company (EP-EMAPA-A) of the city of Ambato, particularly in the Troya subsystem, through of an analysis of performance indicators, with the objective of reducing the total value of unbilled water. The analysis began with the collection of information for the calculation of international indicators (Water Balance and Infrastructure Leakage Index - IIF). With this we can determine that for 2017 the percentage of losses (real + apparent) is 46.32%, while the percentage of unbilled water (commercial losses) is 47.67%. The IIF indicator resulted in 1.59, which translates into adequate management in terms of leakage repair and active control of them. Considering the national performance indicators it was determined that the management of EP-EMAPA-A has a good level of service. Finally, the procedures to improve management (Benchmarking) are indicated, such as the implementation of measurement and control zones, pressure management, SCADA systems, among others.

This work aims to open the way for future research in the field of Management of public drinking water supply systems in order to reduce the percentage of commercial losses as a way to optimize the economic resources of the entity and contribute to the sustainability of the environment

Keywords: Public drinking water supply, Benchmarking, Performance indicators

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Lista de figuras

Figura 1. Estimación y proyecciones de la población mundial, 1970 a 2050 [1].....	2
Figura 2. Relación entre la disponibilidad de agua y la población. [3].....	3
Figura 3. Administración de la estructura de los servicios de Agua [7]	7
Figura 4. Ciclo urbano del agua.....	8
Figura 5. Pasos para el desarrollo del benchmarking, adaptado de EWURA, 2014 [11]	15
Figura 6. Diversos tipos de pérdidas existentes en un sistema de abastecimiento de agua. Adaptado de Gomes [17].....	23
Figura 7. Puntos de seguimiento del caudal a lo largo de un sistema de abastecimiento de agua [18].....	24
Figura 8. Relación entre la presión y el caudal a través de fugas para diferentes materiales de los conductos [17]	29
Figura 9. Porcentaje de pérdidas reales en la red en función del IIF y N1[17].	30
Figura 10. Indicadores de desempeño como parte de un sistema de evaluación del desempeño [12].....	42
Figura 11. Ubicación del cantón Ambato, tomado del PDOT 2016 [30]	46
Figura 12. Sistema de distribución Troya (Tilulún).....	50
Figura 13. Características de la zona: Residencial (izquierda) y comercial (derecha)	50
Figura 14. Edificio de la Asociación de empleados.....	51
Figura 15. Tanques reservorios del sistema Troya	52
Figura 16. Agua no facturada. Sistema de Indicadores de desempeño de Portugal [15] (los valores considerados son para sistemas en baja – en portugués: baixa)	60
Figura 17. Agua que ingresa en el sistema, agua facturada, agua no facturada (m ³ /año)....	60
Figura 18. Consumo autorizado, consumo autorizado facturado, consumo autorizado no facturado (m ³ /año)	61
Figura 19. Consumo autorizado facturado, consumo facturado medido, consumo facturado no medido (m ³ /año).....	62
Figura 20. Agua no facturada, pérdidas (reales y aparentes), consumo autorizado no facturado (m ³ /año)	62
Figura 21. Eficiencia en el uso de agua potable	68
Figura 22. Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable 2017.....	69
Figura 23. Nivel de conformidad en análisis físico – químico para agua potable 2017	69
Figura 24. Fases de la concepción e instalación de un sistema de medición zonificada. Adaptado de Alegre [18].....	74
Figura 25. Delimitación de las ZMCs. Tomado de Gomes [17]	75
Figura 26. Duraciones estimadas y tasas de flujo de ráfagas. Adaptado de Farley [35]	83
Figura 27. Metodología BABE y FAVAD. Adaptado de Gomes [17]	90
Figura 28. Componentes de un Sistema SCADA [36]	92
Figura 29. Modelos de simulación hidráulica. Adatado de Gomes [17].....	94
Figura 30. Esquema para la gestión del sistema de agua potable del caso de estudio.....	105

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Lista de tablas

Tabla 1. Niveles de cobertura por región y tamaño del cantón [7]	7
Tabla 2. Evaluación del desempeño y benchmarking como herramientas de eficiencia, adaptado de “Benchmarking para servicios de agua” [12].....	15
Tabla 3. Modelos de Gestión del Agua y Saneamiento. Adaptado de Villarroel y Solís [14]	18
Tabla 4. Componentes del balance hídrico [19].....	25
Tabla 5. Componentes para la estimación de las PRIM. Adaptado de Gomes [17].	28
Tabla 6. Valores patrón para la estimación de las componentes de las PRIM. Adaptado de Gomes [17].....	28
Tabla 7. Estimación de cada componente de las PRIM. Adaptado de Gomes [17].....	29
Tabla 8. Matriz de objetivos de pérdidas reales (del Módulo de capacitación WBI NRW 6: Indicadores de rendimiento) [26]	32
Tabla 9. Bandas de confianza recomendadas para la exactitud de los datos [12].....	40
Tabla 10. Bandas de confianza recomendadas para la fiabilidad de los datos [12]	41
Tabla 11. Ubicación geográfica cantonal, tomado de PDOT 2016 [30]	47
Tabla 12. Población por área urbano / rural del cantón Ambato, tomado de PDOT 2016 [30]	47
Tabla 13. Sistemas de distribución de agua de la ciudad de Ambato.....	49
Tabla 14. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2013, metodología de la IWA.....	54
Tabla 15. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2014, metodología de la IWA.....	55
Tabla 16. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2015, metodología de la IWA.....	56
Tabla 17. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2016, metodología de la IWA.....	57
Tabla 18. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2017, metodología de la IWA.....	58
Tabla 19. Resumen del Balance hídrico anual de EP-EMAPA-A	59
Tabla 20. Indicadores de evaluación ARCA [29]	65
Tabla 21. Límites de los indicadores [29].....	66
Tabla 22. Resultados del cálculo de los parámetros de la gestión del servicio.....	67
Tabla 23. Métodos para rehabilitación de infraestructuras hidráulicas	79
Tabla 24. Técnicas para la instalación de nuevas tuberías	80
Tabla 25. Técnicas para la renovación de tuberías.....	81
Tabla 26. Técnicas para la detección y localización aproximada de fugas. Adaptado de Gomes [17].....	84
Tabla 27. Técnicas para la detección y localización más precisa de fugas. Adaptado de Gomes [17].....	85
Tabla 28. Medidas para el uso eficiente del agua en el sector urbano	104
Tabla 29. Síntesis de la viabilidad de la aplicación de medidas para el uso eficiente del agua	106

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Lista de siglas

La simbología que se presenta a continuación se refiere sólo a los símbolos más relevantes, pudiendo, en el texto, utilizar otros símbolos en casos particulares y no pasibles de ambigüedad.

ADERASA	Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas
AWWA	American Water Works Association
BABE	Bursts and Background Estimates
COOTAD	Código Orgánico Organización Territorial, Autonomía y Descentralización
ENAS	Estrategia Nacional de Agua y Saneamiento
ENIEP	Estrategia Nacional para la Igualdad y Erradicación de la Pobreza
EP-EMAPA-A	Empresa Pública – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado – Ambato
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
EUAP	Eficiencia en el Uso de Agua Potable
FAVAD	Fixed Area and Variable Area Discharges
FCAS	Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento
IANC	Índice de Agua no Contabilizada
IBNET	International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities
IIF	Índice de Infraestructura de Fugas
IWA	International Water Association
JAAP	Juntas Administradoras de Agua Potable
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LORHUyA	Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua
NAPR	Nivel Actual de Pérdidas Reales
OFWAT	Office of Water Services

PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PRIM	Pérdidas Reales Inevitable Medias
SCADA	Supervisory Control and Data Aquisition
VRP	Válvula Reductora de Presión
WBI	World Bank Institute
ZMC	Zonas de Medición y Control

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract	IV
Lista de figuras	V
Lista de tablas	VI
Lista de siglas	VII
Índice	IX
1. Capítulo I: Introducción	1
1.1 Enquadramiento general	1
1.1.1 Previsión del crecimiento de la población y del consumo de agua potable	1
1.1.2 Disponibilidad de recursos hídricos	3
1.1.3 Actuales desafíos de la industria del agua	4
1.2 Ciclo urbano del agua	8
1.2.1 Buenas prácticas en el ciclo urbano del agua	9
1.3 Motivación y objetivos	10
1.4 Organización del documento	11
2. Capítulo 2: Revisión literaria	13
2.1 Introducción	13
2.2 El benchmarking como herramienta de monitorización del rendimiento	14
2.3 Modelos de gestión de los servicios de abastecimiento público de agua	16
2.4 Regulación y evaluación de la calidad del servicio	18
2.5 Principales causas de ineficiencia de los sistemas	20
2.6 Indicadores de desempeño	21
2.6.1 Balance hídrico	23
2.6.2 Índice de Infra estructura de Fugas	27
2.6.3 Evolución de los sistemas de indicadores de desempeño	32
2.6.3.1 Indicadores de desempeño de la IWA	32
2.6.3.2 Indicadores de desempeño en Portugal	34
2.6.3.3 Indicadores de desempeño en Inglaterra	35
2.6.3.4 Indicadores de desempeño en Ecuador	36
2.6.4 Diseño de un sistema de evaluación de desempeño	38
2.6.5 Proceso de implementación	41
2.6.6 Selección de indicadores	42
2.6.7 Recolección y validación de datos	43
3. Capítulo 3: Caso de estudio	45
3.1 Introducción	45
3.2 Caracterización general del sistema de abastecimiento público de agua	46
3.3 Descripción del sistema	49
3.4 Metodología	52
3.4.1 Evaluación de la calidad del servicio prestado	53
3.4.1.1 Balance Hídrico Anual	53
3.4.1.2 Índice de Infra estructura de Fugas (IIF)	63

3.4.1.3 Indicadores de estructura del servicio e indicadores operativos utilizados en Ecuador	64
4. Capítulo 4: Gestión de pérdidas de agua	71
4.1 Gestión y exploración de sistemas de abastecimiento público de agua	71
4.1.1 Zonas de Medición y Control	72
4.1.2 Concepción e implementación de ZMCs	74
4.1.2.1 Levantamiento de las condiciones locales	76
4.1.2.2 Selección de los puntos de medición	76
4.1.2.3 Selección del tipo de medidor de caudal a utilizar	77
4.1.2.4 Realización de obras de construcción civil e instalación de medidores de caudal	77
4.1.2.5 Verificación del sistema	77
4.1.3 Ventajas y desventajas de ZMCs	78
4.2 Rehabilitación de la red	78
4.3 Control activo de pérdidas	81
4.4 Gestión de la presión	86
4.4.1 Zona de presión	87
4.4.2 Dispositivos para reducción de la presión	87
4.4.3 Metodologías BABE y FAVAD	89
4.5 Sistemas SCADA	91
4.5.1 Características generales del sistema SCADA	92
4.6 Modelación y simulación hidráulica	93
4.6.1 Construcción y calibración de modelos de simulación hidráulica	95
5. Capítulo 5: Conclusiones	101
5.1 Principales conclusiones acerca de la evaluación del desempeño del sistema de distribución de agua	101
5.2 Procedimientos para mejorar el rendimiento de la entidad gestora	103
6. Capítulo 6: Bibliografía	107
Anexos	113

*Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*

Introducción

Capítulo 1

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

1. Capítulo I: Introducción

1.1. Encuadramiento general

1.1.1. Previsión del crecimiento de la población y del consumo de agua potable

El informe de las Naciones Unidas: La situación demográfica en el mundo 2014, revela datos importantes referentes al crecimiento de la población mundial en los últimos 20 años, a partir de la última Conferencia Internacional sobre la población y el desarrollo, celebrada en El Cairo en 1994.

Según se indica en el informe, la población mundial alcanzó 7.200 millones en 2014, y se espera que para 2050 habrá aumentado más de 2.000 millones. La mayor parte del crecimiento de la población se producirá en las regiones menos desarrolladas. Entre 2010 y 2014, la población del mundo aumentó a una tasa anual del 1,2 %, considerablemente por debajo del 1,5 % anual que se registraba en 1994. A principios de 2014 se calculaba que la población mundial era de 7.200 millones de personas, que se incrementaba en unos 82 millones de personas cada año, y que más o menos la cuarta parte de este crecimiento se producía en los países menos adelantados. De mantenerse la trayectoria actual, la población mundial alcanzará 8.100 millones en 2025 y 9.600 millones en 2050 [1]. En la actualidad, de los 82 millones de personas que se suman cada año a la población mundial, el 54 % corresponde a Asia, y el 33 % a África. No obstante, para 2050 más del 80 % del aumento mundial tendrá lugar en África, y solo un 12 % en Asia.

En el extremo opuesto, se espera que la población de más de 40 países y regiones principales decrezca entre 2014 y 2050. Los descensos más acusados en cifras absolutas se darán en Alemania, China, la Federación de Rusia, el Japón, Polonia, Rumania, Serbia, Tailandia y Ucrania [1].

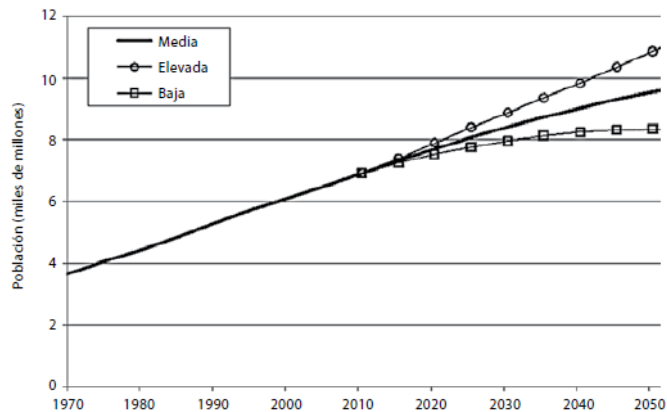


Figura 1. Estimación y proyecciones de la población mundial, 1970 a 2050 [1]

Consumo del agua potable

Como se ha observado, los datos apuntan a un crecimiento de la población mundial hacia el 2050, especialmente en África y Asia. La población mundial está creciendo a un ritmo de 82 millones de personas al año aproximadamente, lo que implica una demanda de agua dulce de aproximadamente 64 mil millones de metros cúbicos anuales [2].

Este crecimiento está estrechamente ligado al consumo de los recursos naturales del planeta para asegurar la supervivencia del ser humano. Los factores demográficos y un aumento del consumo como consecuencia de una mayor renta per cápita son los principales responsables de la presión ejercida sobre los recursos hídricos. Para asegurar la sostenibilidad alimentaria de la población mundial, la agricultura se encarga de abastecerla de alimentos, y asimismo por esta actividad, se extrae la mayor parte de parte de agua dulce. Aproximadamente el 70% de las extracciones de agua dulce se destinan a la agricultura de regadío [2].

Según se estima en el 3^{er} informe de las Naciones Unidas: *El agua en un mundo en constante cambio*, la demanda de recursos naturales, incluyendo el agua dulce, se incrementará debido a una mayor esperanza de vida, a la globalización del comercio y a la publicidad sugestiva que estimula el consumo por parte de la gente joven tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. En lo que respecta a la producción de energía, el mundo necesitará casi un 60% más de energía en el 2030 respecto al 2020. El agua se utiliza para generar todo tipo de energía, por lo que el aumento del abastecimiento de energía repercutirá en los recursos hídricos.

A continuación se detallan las múltiples realidades de la utilización del agua en el planeta y las tendencias en el uso [2].

- El uso del agua varía de un país a otro. Los diez mayores consumidores de agua (en volumen) son India, China, Estados Unidos, Pakistán, Japón, Tailandia, Indonesia, Bangladesh, México y la Federación de Rusia.
- Aproximadamente el 20% del agua utilizada en el mundo procede de fuentes de agua subterráneas (renovables o no) y esta proporción está aumentando con rapidez, especialmente en regiones secas.
- Con el rápido crecimiento de la población, las extracciones de agua se han triplicado en los últimos 50 años.

Los países que dependen de la agricultura, están explorando posibles escenarios futuros, ya que sus economías son las más vulnerables a los efectos anticipados del cambio climático.

1.1.2. Disponibilidad de recursos hídricos

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. El agua dulce disponible se distribuye regionalmente tal como se indica en la figura 2.

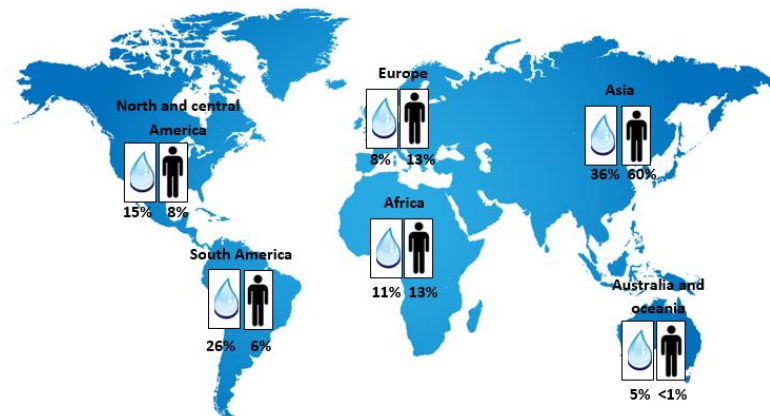


Figura 2. Relación entre la disponibilidad de agua y la población. [3]

Como se puede observar en la figura de arriba, existe una disparidad entre la población existente en cada continente y el acceso al agua dulce que poseen. El caso más notorio es Asia, en donde se concentra cerca del 60% de la población mundial y sin embargo las fuentes de agua se encuentran a la mitad.

A la cantidad natural de agua dulce existente en lagos, ríos y acuíferos se agregan los 8.000 kilómetros cúbicos (km³) almacenados en embalses. El ser humano extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. El control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es ahora global y el ser humano desempeña actualmente un papel importante en el ciclo hidrológico. El consumo de agua per cápita aumenta (debido al mejoramiento de los niveles de vida), la población crece y en consecuencia el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva. Por otro lado, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación [3].

1.1.3. Actuales desafíos de la industria del agua

Según Ede Ijjasz - Vásquez, en un artículo publicado por el Banco Mundial de Desarrollo [4], en América Latina se han logrado grandes avances al ampliar el acceso al agua en toda la región durante las últimas dos décadas. El número de personas con servicio de agua potable en los centros urbanos se incrementó en 70 millones en la última década y de igual manera, muchos países de la región, especialmente Brasil, se han convertido en ejemplos de gestión de sus recursos hídricos. Sin embargo, el acceso al servicio de agua corriente sigue siendo muy desigual. Por lo tanto, uno de los desafíos cruciales para muchos países de América Latina es mejorar aún más la gestión de este recurso.

La bonanza económica que experimentó la región entre el 2002 y el 2012 [5] propició el aumento de las inversiones para lograr una mayor cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento, sin embargo esto no siempre se tradujo en servicios de óptima calidad a nivel de los hogares. Según un informe del Banco de Desarrollo de América Latina [5], si entre 2010 y 2030 la región invierte el 0,3% del PIB, se podría cerrar la brecha de los servicios de agua y saneamiento en el medio urbano, rehabilitar la infraestructura descuidada por la falta de mantenimiento, ampliar la infraestructura de drenaje urbano a un 80% en los asentamientos urbanos, expandir las fuentes de abastecimiento para 100 millones de habitantes y formalizar las conexiones domiciliarias para 10 millones de hogares.

En base a estos objetivos, a nivel de la región existen varias organizaciones internacionales que apoyan el mejoramiento de las entidades gestoras de agua y saneamiento, tanto en aspectos técnicos como financieros, pues consideran al agua como un recurso invaluable y su gestión adecuada debe ser materia de interés de los gobiernos locales. Entre

las instituciones más destacadas del sector hídrico se encuentran el Banco de Desarrollo de América Latina, la Unidad de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, Fondo de cooperación para Agua y Saneamiento (FCAS), la Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y saneamiento de las Américas (ADERASA), que es la encargada de emitir y estudiar los indicadores de desempeño para visualizar la calidad de la gestión del agua en sus diversos aspectos. Además existen varios países con entidades reguladoras propias que son ejemplo de buenas prácticas en cuanto a operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable.

Según el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía del Banco Mundial (en inglés: ESMAP - *Energy Sector Management Assistance Program*), las medidas de eficiencia energética pueden ayudar a las empresas de agua y saneamiento a reducir el costo de energía entre el 5 y el 25% [6].

Algunos datos que se conocen en materia de operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y saneamiento (SAPS), son por ejemplo, las experiencias recogidas en el taller internacional “Explorando el nexo entre el agua y la energía” desarrollado en Argentina con la participación de varios países de la región [6].

- En América Latina, un 45% del agua se pierde antes de llegar al cliente. Esta pérdida, que no se le puede facturar a nadie, no sólo complica el reto de aumentar el acceso a agua potable, sino que también representa un gran despilfarro de energía.
- Las empresas de agua y saneamiento consumen alrededor del 4% de la energía total producida en el mundo, pero pierden hasta 4/5 de esa energía entre la planta potabilizadora y el grifo.
- La reducción de pérdidas de agua es la forma más eficaz para que las empresas de agua y saneamiento generen mayores ingresos y aumenten el suministro de agua potable.

En la actualidad, el desafío tanto para los gobiernos locales como para las entidades reguladoras de abastecimiento de agua deben centrarse en el mejoramiento del servicio, a un menor costo de producción, reducir el volumen total de pérdidas de agua y brindar un servicio de calidad con tarifas accesibles para la población. Según el Banco de Desarrollo de América Latina [5], la situación actual de la región puede dividirse considerando la magnitud de los asentamientos poblacionales, de la siguiente manera:

- ✓ En las grandes ciudades (más de 200.000 habitantes) los servicios de agua potable y saneamiento son proporcionados por empresas crecientemente profesionalizadas con cobertura regulatoria. En la mayoría de los casos las tarifas pueden cubrir los costos de operación, sin embargo, persisten ineficiencias significativas que se evidencian en pérdidas de facturación de agua potable superiores al 35% y demoras en el mantenimiento y reposición de activos.
- ✓ En ciudades medianas y pequeñas (20.000 a 200.000 habitantes) no existe el tamaño suficiente para capturar economías de escala y obtener retornos razonables a la inversión. En este segmento de ciudades la cobertura de las instituciones regulatorias es débil y frecuentemente se gerencia siguiendo la política de los gobiernos municipales. Esta gestión se caracteriza por ciclos cortos de decisión sobre asuntos gerenciales y de inversiones, así como por la ausencia de incentivos para agregarse más allá de los límites territoriales de los gobiernos locales, lo cual impide alcanzar escalas operativas mayores.
- ✓ La población rural abarca 160 millones de habitantes en la región. En este heterogéneo segmento, 20 millones de habitantes se encuentran dispersos en agrupaciones menores a 100 familias, y allí se presentan las mayores carencias de servicios de agua potable y saneamiento en los hogares, que se traduce en índices de morbilidad y mortalidad asociada a enfermedades gastrointestinales. También registra la inoperancia de los modelos regulatorios diseñados para las grandes ciudades.

Situación de las empresas de agua en Ecuador

El Gobierno del Ecuador, a través del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) y la Estrategia Nacional para la Igualdad y Erradicación de la Pobreza (ENIEP), ha situado al sector del agua potable y saneamiento en un espacio importante dentro del desarrollo del país, consiguiendo que las diferentes estructuras del Estado alineen sus esfuerzos para incrementar significativamente el acceso a estos servicios básicos [7]. La figura 3 indica la administración de la estructura de los servicios de agua potable en el país.

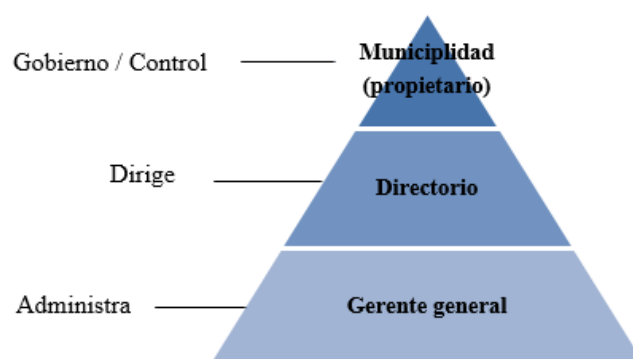


Figura 3. Administración de la estructura de los servicios de Agua [7]

Una de las estrategias planteadas para conseguir el objetivo de “garantizar el ejercicio pleno del derecho humano al agua y saneamiento de la población ecuatoriana, en condiciones de sostenibilidad y participación efectiva” es la Estrategia Nacional de Agua y Saneamiento (ENAS) que establece dos pilares de intervención. El primer pilar se centra en los mecanismos necesarios para movilizar y asegurar el uso eficiente de los recursos financieros requeridos para alcanzar el acceso universal dentro de un periodo definido; y el segundo pilar abarca los esquemas que deben ser introducidos para asegurar que los servicios prestados a través de aquella infraestructura sean de calidad, eficientes, sostenibles y asequibles para el conjunto de la población. Conforme a estos dos pilares, es necesario ubicarnos en el contexto actual del país en lo que se refiere a la cobertura de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, la cual varía significativamente de acuerdo a la región geográfica y al tamaño de los municipios, así como al área urbana o rural. La tabla 1 indica los niveles de cobertura de las ciudades, divididas según los factores antes mencionados.

CONCEPTO	COBERTURAS URBANAS		COBERTURAS RURALES	
	AGUA	SANEAMIENTO	AGUA	SANEAMIENTO
Región Sierra	99,20%	94,92%	92,16%	81,58%
Grandes	99,48%	97,38%	95,66%	91,67%
Medianos	98,94%	93,43%	90,89%	75,69%
Pequeños	96,25%	83,62%	90,84%	80,66%
Micro	97,95%	82,39%	89,01%	74,11%
Región Costa	91,19%	62,63%	57,99%	61,7%
Grandes	95,42%	75,04%	66,68%	78,0%
Medianos	86,99%	54,47%	59,02%	63,4%
Pequeños	95,75%	65,47%	72,37%	60,4%
Micro	89,37%	38,52%	53,73%	55,5%
Región Amazónica	92,56%	75,33%	59,35%	54,9%
Medianos	89,77%	70,20%	44,58%	52,6%
Pequeños	96,64%	84,34%	71,09%	56,4%
Micro	95,30%	79,60%	62,21%	55,5%
Región Insular	98,21%	36,91%	79,50%	90,9%
Pequeños	99,23%	84,02%	87,80%	89,1%
Micro	97,49%	3,77%	76,66%	91,6%

Tabla 1. Niveles de cobertura por región y tamaño del cantón [7]

1.2 Ciclo urbano del agua

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmobilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas, y únicamente el 0,26% es accesible al ser humano (aguas superficiales, aguas subterráneas, etc.) [8]

El agua utilizada por el ser humano para sus actividades es el resultado del transporte atmosférico del agua de mar a la tierra, mediante los procesos de evaporación y condensación. El exceso de precipitación sobre la evaporación que se da en los continentes constituye el agua utilizable que es almacenada en acuíferos, ríos, lagunas, aguas subterráneas, entre otros.

Se entiende por ciclo urbano del agua precisamente al proceso de recolección de las aguas lluvia sobre la superficie terrestre, a la utilización de éstas en el abastecimiento de las poblaciones y finalmente al drenaje de las aguas residuales hacia los lechos fluviales. La figura 4 ilustra el ciclo urbano del agua según se plantea en este párrafo.



Figura 4. Ciclo urbano del agua

Aunque es cierto que las cifras importantes en cuanto a volumen de agua “usada” se deben sobre todo a las actividades agrícolas (aproximadamente 65% del total), lo que más afecta al recurso, son las consecuencias que tienen las actividades urbanas sobre el agua. La ciudad es un gran “digestor” de recursos, y el agua es sin duda uno de sus catalizadores principales. Su supuesta abundancia y su bajo precio, la hacen presente en las más variadas

funciones de nuestra actividad cotidiana. El ciclo urbano del agua, a diferencia del ciclo natural, es mucho más rígido en sus demandas constantes, indiferente prácticamente a la localización y a la estacionalidad, de tal manera que cualquier ciudad se comportará de manera muy semejante a lo largo del mismo año y más allá de su posición geográfica. Además, el nivel de desarrollo de la sociedad influye en cuanto a las cantidades de agua consumidas por sectores y a la calidad de sus vertidos, pero no tanto a la trayectoria previsible de la evolución de sus demandas [9]. Es la superposición de este ciclo urbano, y en general de la sobreexplotación frente al delicado ciclo natural del agua lo que está produciendo los evidentes síntomas de estrés hídrico en los recursos del planeta.

1.2.1 Buenas prácticas en el ciclo urbano del agua

Considerando las repercusiones del consumo urbano dentro del ciclo del agua, se hace evidente la necesidad de cambiar los actuales modelos de gestión donde el único objetivo es asegurar el suministro por otros que promuevan una gestión del agua más consciente y tenga en cuenta que, a mayor suministro, mayor carga de residuales. Es decir, un sistema que permita que el agua desde su captación hasta su devolución al medio, en el ciclo al que llamamos urbano consiga que todas sus partes funcionen complementariamente y con el único objetivo de un consumo más eficaz [8].

Las buenas prácticas dentro del ciclo urbano del agua constituyen tres factores principales en el uso y aprovechamiento de este recurso.

- Hidrología → Control de inundaciones
- Abastecimiento de agua → Control de la calidad
- Drenaje urbano → Protección del ambiente

El control de inundaciones se refiere a tomar medidas tanto estructurales como no estructurales para proteger a los medios urbanos de posibles desastres provocados por el exceso de precipitaciones, causados principalmente en la actualidad por el cambio climático. El objeto es fomentar la infiltración al subsuelo de la mayor cantidad posible de las aguas de precipitación [8], con el fin de:

- Devolver el agua de manera inmediata al subsuelo, manteniendo los acaudales de escorrentía subterránea.

- Disminuir el arrastre de grandes volúmenes de agua a través del medio urbano, evitando su contaminación.
- Disminuir el volumen de agua en las plantas de tratamiento.

Respecto a la calidad del agua, el análisis no es complicado y se trata de mantenerla en los límites físicos, químicos y biológicos permitidos para el consumo. Más bien el objetivo principal en el tema de abastecimiento de agua es buscar un sistema más eficiente que no se trate solamente de asegurar el suministro sino que permita aprovechar el recurso de mejor manera.

De las aguas que han sido usadas, el volumen que se genera debe ser conducido adecuadamente por la red de drenaje y posteriormente tratado, con el fin de devolver al ambiente un recurso idóneo para asegurar la vida de los ecosistemas aguas abajo de la descarga.

Estos tres parámetros constituyen un aporte importante al ciclo urbano del agua, considerando que actualmente existe un desequilibrio entre las fuentes de agua dulce y el consumo humano.

1.3 Motivación y objetivos

Como ya se mencionó anteriormente, el crecimiento acelerado de la población, la expansión de las zonas urbanas, el mejoramiento de las condiciones de vida y a la par los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos, hacen que sea imprescindible la optimización de las fuentes de agua y de los recursos económicos invertidos en materia de abastecimiento y saneamiento.

El Gobierno del Ecuador, a través del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) y la Estrategia Nacional para la Igualdad y Erradicación de la Pobreza (ENIEP), ha situado al sector del agua potable y saneamiento en un espacio importante dentro de la agenda de desarrollo del país, consiguiendo que las diferentes estructuras del Estado alineen sus esfuerzos para incrementar significativamente el acceso a este servicio básico.

Como parte de las políticas públicas adoptadas en el Ecuador, a partir del año 2014 se creó la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), que es un organismo técnico administrativo, con las facultades de, entre otras, recopilar, procesar y administrar la información hídrica de carácter técnico y administrativo. En base a esta disposición la ARCA

creó un sistema de indicadores de desempeño para los sistemas de abastecimiento de agua potable, con el fin de conocer el desempeño de las Entidades Gestoras para garantizar la optimización de los sistemas, la conservación de los recursos hídricos del país y el acceso de la población a este servicio. En la actualidad, el desafío tanto para los gobiernos locales como para las entidades reguladoras de agua es centrarse en el mejoramiento del servicio, a un menor costo de producción, reducir el volumen total de pérdidas de agua y brindar un servicio de calidad con tarifas accesibles para la población.

Conociendo que en América Latina el 45% del agua se pierde antes de llegar al cliente, que las pérdidas de agua en los sistemas, no sólo representan efectos económicos desfavorables sino que perjudican la sostenibilidad de las fuentes hídricas, y que la reducción de pérdidas de agua es la forma más eficaz para que las empresas de agua y saneamiento generen mayores ingresos y aumenten el suministro de agua potable, el presente trabajo tiene por objeto desarrollar la gestión del sistema de abastecimiento de agua potable a través de la aplicación de indicadores de desempeño en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Ambato. El caso de estudio seleccionado tiene la característica de ser una empresa con 50 años de experiencia en la zona centro del país, con un buen desempeño reconocido a nivel regional y nacional en cuanto al abastecimiento de agua y saneamiento, sin embargo, por dificultades propias del sector, aún falta un estudio de benchmarking que permita posicionar a la empresa en un ranking de prestadores del servicio o desarrollar las mejores prácticas para optimizar sus recursos.

1.4 Organización del documento

El trabajo está estructurado en cinco capítulos, y al final del documento se citan las referencias bibliográficas empleadas a lo largo del documento. Cada capítulo está dividido en secciones y cuyo contenido se indican a continuación.

Capítulo I – Introducción

En esta sección se aborda la importancia del tema desarrollado, se indica la situación actual de las empresas de agua a nivel de América Latina y además se plantea el objetivo del documento.

Capítulo II – Revisión de la literatura de indicadores de desempeño para servicios de abastecimiento público de agua.

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre los indicadores de desempeño utilizados a nivel nacional como en otros países. Además se abordan temas como la evaluación de sistemas de indicadores, el proceso de selección de indicadores y los métodos para recolección y validación de datos.

Capítulo III – Caso de estudio

El capítulo III hace referencia al caso de estudio, la empresa de abastecimiento público de agua potable EP-EMAPA-A de la ciudad de Ambato. Aquí se describe de manera particular el sistema Troya que abastece al centro de la ciudad. Se evalúa la calidad del servicio en base a la aplicación de los indicadores de desempeño establecidos por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA). Se realiza también el cálculo del balance hídrico y el Índice Infraestructural de Fugas.

Capítulo IV – Procedimientos para la Gestión de pérdidas de agua

En este capítulo se describen diferentes metodologías desarrolladas y utilizadas a nivel de otros países para que las empresas de agua puedan evaluar la calidad de su servicio, compararse con los mejores prestadores a nivel internacional y gestionar sus sistemas de agua de manera más eficiente y eficaz.

Capítulo V – Conclusiones

En el capítulo V se describen las conclusiones del trabajo de investigación luego de analizar la situación actual del servicio prestado por la EP-EMAPA-A y se emiten algunas recomendaciones, además un programa a seguir para implementar medidas que optimicen el servicio que presta la empresa a la ciudadanía.

*Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*

Revisión de la literatura de indicadores de desempeño para servicios de
abastecimiento público de agua

Capítulo 2

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

2. Capítulo 2: Revisión literaria

2.1 Introducción

Desde mediados de la década de 1990, se ha prestado mayor atención a la evaluación comparativa del rendimiento de los proveedores de servicios de agua urbanos. El concepto de Benchmarking fue introducido en el sector privado en 1981 por la empresa Xerox para identificar a los mejores proveedores en el sector y adoptar sus prácticas con el fin de obtener mejores resultados. Desde entonces se ha adoptado el marco de evaluación comparativa por diferentes tipos de grupos industriales, gobiernos, agencias reguladoras, asociaciones comerciales, entre otras, para administrar, supervisar o regular la calidad del servicio utilizando indicadores de desempeño [10].

En los últimos años, se han realizado importantes esfuerzos para desarrollar y estandarizar el enfoque de benchmarking en el sector del agua. Entre ellos, la *American Water Works Association* (AWWA), la *International Water Association* (IWA) y la *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (IBNET) del Banco Mundial han realizado esfuerzos notables. La IWA proporciona un marco dentro de una perspectiva de utilidad y un conjunto completo de indicadores para el suministro de agua y aguas residuales. Tanto IBNET como AWWA proporcionan marcos listos para usar y una plataforma para la recopilación de datos, análisis, control de calidad y difusión de resultados.

La información de rendimientos y el benchmarking han sido utilizados por las entidades reguladoras para una visión general de los servicios de agua de consumo y aguas servidas en varios países. Las agencias reguladoras en Reino Unido y en Australia han empleado el benchmarking de manera exitosa como una herramienta para monitorizar los servicios de agua bajo su jurisdicción desde mediados de la década de los 90. Estos sistemas están bien desarrollados en ambos casos y han sido internacionalizados por compañías en sus sistemas de información propios. Esto también juega un rol importante en la regulación del costo del servicio [10].

En Ecuador, a partir del año 2014, se crea la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) con el objeto de regular lo relativo a los parámetros e indicadores para la evaluación y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento en el territorio nacional, respondiendo a los principios de obligatoriedad,

generalidad, uniformidad, eficiencia, accesibilidad, continuidad y calidad. Anteriormente, dentro del país no existía una entidad que regule el servicio de las empresas públicas de agua potable y saneamiento, y con la implementación de esta agencia se expiden también una serie de indicadores de desempeño, adaptados a las necesidades y políticas del país.

2.2 El benchmarking como herramienta de monitorización del rendimiento

Dentro del ámbito de los servicios de agua potable y saneamiento, el benchmarking ha sido adoptado por los gobiernos locales como una herramienta para monitorizar el rendimiento de las compañías de agua. Desde este punto de vista se puede definir al Benchmarking como “un proceso sistemático de búsqueda de mejores prácticas, ideas innovadoras y procedimientos de operación efectivos que conduzcan a un rendimiento superior para luego adaptar estas prácticas, ideas y procesos a nuestra organización a fin de incrementar el propio rendimiento” [11].

Con este concepto se intenta decir que el benchmarking no es un proceso de “hágalo usted mismo”. La búsqueda de buenas prácticas implica que hay lecciones que deben ser aprendidas de terceros, con suerte de los mejores de la clase. En todo caso, pese a que el benchmarking consista en mirar hacia fuera, también es un ejercicio de mirar hacia dentro y aprender sobre cómo se hacen las cosas internamente [12]. Por otro lado, un primer paso imprescindible en benchmarking es evaluar cuan eficiente o con qué estándar opera cierto prestador, o cómo una función, tarea o proceso es realizado. Dicha evaluación se hace habitualmente por medio de indicadores de desempeño que necesitan compararse con una referencia para obtener una evaluación.

El proceso de evaluación comparativa del desempeño inicia con la identificación de los indicadores de desempeño claves y el establecimiento del nivel de objetivos [11]. Se puede implementar este proceso de manera continua siguiendo los siguientes cinco pasos (Figura 5).

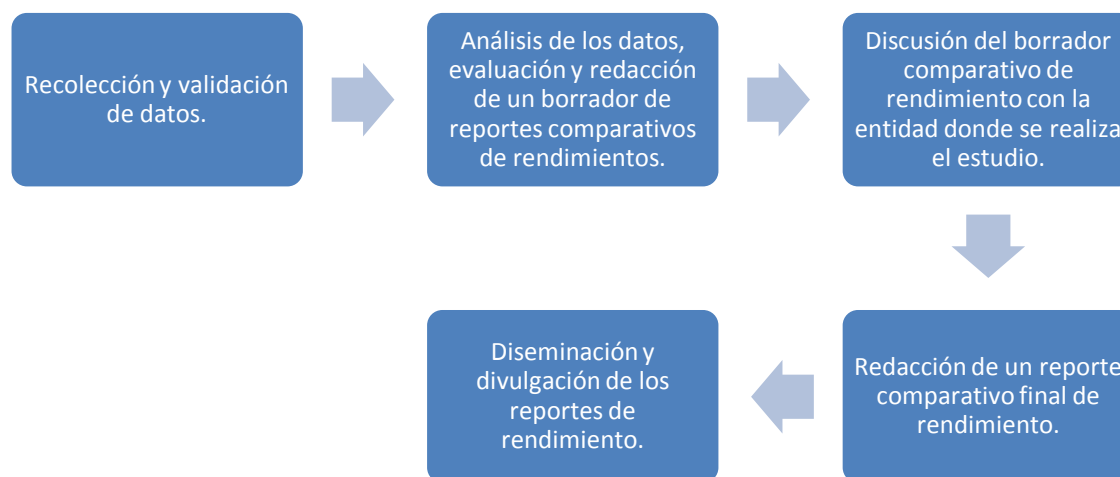


Figura 5. Pasos para el desarrollo del benchmarking, adaptado de EWURA, 2014 [11]

Anteriormente, la mayoría de los proyectos de benchmarking (que recolectaban información de indicadores de desempeño y comparaba sus valores) se centraban en la evaluación del desempeño a nivel de prestador. Aunque han sido valiosos para los prestadores participantes, señalando deficiencias en sus procedimientos de manejo de información y descubriendo debilidades y áreas de mejora potenciales, no consideraban la adaptación de las mejores prácticas de los mayores prestadores para adaptarlos a su realidad. Tanto la evaluación del desempeño como la mejora del desempeño son herramientas valiosas que cualquier prestador debería considerar para ser más eficiente [12].

A continuación se muestran las diferencias entre un proceso de evaluación de desempeño y un proceso de benchmarking (Tabla 2). A pesar de que a simple vista parecen similares, se observa que el benchmarking va más allá que la simple recopilación y comparación de datos.

Evaluación del desempeño	Benchmarking (evaluación y mejora del desempeño)
<ul style="list-style-type: none"> • Estimula la recopilación de la información adecuada y el mejoramiento de la calidad de la información. • Ofrece una visión primaria acerca de áreas de mejora potencial. • Es una de las principales herramientas de los reguladores. • Muchos proyectos de evaluación del desempeño luego evolucionan hacia proyectos de mejora del desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incluye algo más que la simple comparación de métricas. • Aspira a comparar funciones y prácticas equivalentes para establecer posiciones relativas. • Contiene componentes cuantitativos y cualitativos. • Facilita y estimula un plan de acciones de mejora fruto de la comparación y el intercambio de experiencias (talleres, visitas a prestadores, etc.)

Tabla 2. Evaluación del desempeño y benchmarking como herramientas de eficiencia, adaptado de "Benchmarking para servicios de agua" [12]

2.3 Modelos de gestión de los servicios de abastecimiento público de agua

En Ecuador existe la particularidad de que las empresas que administren los sectores estratégicos son de derecho único del Estado y solamente éste puede administrar, regular, controlar y gestionarlos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos son la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley [13].

De acuerdo a la Constitución de la República, en el artículo 314 se especifica que el Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, y los demás que determine la ley. El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación [13].

Los modelos de gestión del Estado para los sectores estratégicos, dentro de los cuales se encuentra inmersa el agua para consumo humano, pueden ser de dos tipos según lo señala la misma Constitución de 2008 y el Código Orgánico Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD):

- Empresas públicas bajo la regulación y el control específico de los organismos pertinentes. Funcionarán como sociedades de derecho público, con personalidad jurídica, autonomía financiera, económica, administrativa y de gestión, con altos parámetros de calidad y criterios empresariales, económicos, sociales y ambientales. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.
- Empresas mixtas en las cuales el Estado tenga mayoría accionaria. La delegación se sujetará al interés nacional y respetará los plazos y límites fijados en la ley para cada sector estratégico. El Estado podrá, de forma excepcional, delegar a la

iniciativa privada y a la economía popular y solidaria, el ejercicio de estas actividades, en los casos que establezca la ley.

Para una mejor regulación de las empresas de agua potable y saneamiento, el gobierno nacional creó la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), cuyo objetivo es regular la aplicación de los criterios técnicos y actuariales para la fijación de las tarifas para los usos y aprovechamiento productivo del agua por parte de la Secretaría del Agua.

Ya en las localidades, es decir Municipalidades cada cantón, la ley establece que:

- Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas: prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley;
- Los gobiernos autónomos descentralizados municipales planificarán y operarán la gestión integral del servicio público de agua potable en sus respectivos territorios, y coordinarán con los gobiernos autónomos descentralizados regional y provincial el mantenimiento de las cuencas hidrográficas que proveen el agua para consumo humano;
- Todas las instancias responsables de la prestación de los servicios deberán establecer mecanismos de control de calidad y los procedimientos de defensa de los consumidores; y las sanciones por vulneración de estos derechos, la reparación e indemnización por deficiencias, daños o mala calidad de bienes y servicios, y por la interrupción de los servicios públicos que no fuera ocasionada por caso fortuito o fuerza mayor.

Según un estudio desarrollado por Jeanneth Villarroel y Helder Solís, titulado “Caracterización de los Modelos de Gestión de agua y saneamiento en 16 municipios de 5 provincias en Ecuador” [14], se establecen cuatro modelos de gestión del agua y saneamiento, dentro de los cuales se pueden enmarcar las diferentes entidades reguladoras del servicio del país. A continuación se describe cada modelo (Tabla 3).

MODELO	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	CARACTERÍSTICA
1. Gestión pública sin instancia específica	Municipio → Obras públicas	La gestión de agua y saneamiento se realiza dentro de las responsabilidades de obras públicas.
2. Gestión pública con instancia específica	Municipio → Obras públicas → Unidad / Departamento de agua potable y saneamiento	La municipalidad define una estructura específica para responder a la competencia a través de una instancia dentro de obras públicas o a través de una dirección.
	Municipio → Dirección de Agua Potable y Saneamiento	
3. Empresa pública	Municipio → Empresa de agua Potable y alcantarillado (municipal o pública)	Se constituye una empresa para la prestación de servicios de agua y alcantarillado.
4. Gestión en alianza pública-comunitaria	Municipio → Obras públicas → Unidad de agua potable y saneamiento + Estructura de atención comunitaria	La gestión de la competencia establece una estructura público-comunitaria para la prestación del servicio.

Tabla 3. Modelos de Gestión del Agua y Saneamiento. Adaptado de Villarroel y Solís [14]

2.4 Regulación y evaluación de la calidad del servicio

Las actividades de abastecimiento público de agua a las poblaciones, de saneamiento de aguas residuales urbanas y de gestión de residuos urbanos constituyen servicios públicos de carácter estructural, esenciales para el bienestar general, la salud pública y la seguridad colectiva de las poblaciones, las actividades económicas y a la protección del medio ambiente. Estos servicios deben guiarse por principios de universalidad en el acceso, de continuidad y calidad del servicio, y de eficiencia y equidad de los aranceles aplicados [15].

En Ecuador, la entidad nacional que regula el sector de abastecimiento público de agua es la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), la cual evalúa la gestión y

el desempeño relativo a los aspectos de calidad, operativos, de servicio, administrativo y económico de los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento a partir de los parámetros e indicadores definidos para el efecto.

En el año 2016, se expidió la Regulación DIR-ARCA-RG-003-2016 la cual tiene por objeto regular lo referente a los parámetros e indicadores para la evaluación y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento en el territorio ecuatoriano; y establecer la metodología para la elaboración, implementación y evaluación de los Planes de Mejora por parte de los prestadores. Dicha regulación se aplica a todos los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento que brinden sus servicios en el territorio nacional.

Este modelo regulatorio pretende contribuir a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad.

Clasificación de prestadores de los servicios de agua potable y/o saneamiento

En Ecuador los prestadores de los servicios de agua potable y/o saneamiento se clasifican en:

- *Prestadores públicos:* Son los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) quienes prestan los servicios de manera directa y/o a través de empresas que prestan los servicios de agua potable y/o saneamiento en las áreas urbanas y rurales.
- *Prestadores comunitarios:* Son las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) y/o saneamiento.

La evaluación de la gestión y desempeño relativo a los aspectos de calidad, operativos, de servicio, administrativa y económica de los prestadores de servicio de agua potable es regulada por la ARCA. En primer lugar, las entidades gestoras tienen el deber de reportar a la autoridad única del agua los resultados de la autoevaluación de su gestión; una vez realizado esto, la ARCA verificará la consistencia y calidad de la información reportada por los prestadores. De ser necesario, la autoridad solicitará la formulación de un Plan de Mejora (PM), hará el seguimiento y la evaluación periódica de la implementación de los PM y ejecutará las adecuaciones que le correspondan en su función de control e impondrá sanciones pertinentes.

En resumen, los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento están obligados a:

- Reportar la información de los parámetros e indicadores en la oportunidad y medios establecidos por la ARCA;
- Presentar para aprobación de la Autoridad Única del Agua los PM en los términos establecidos por la regulación; y
- Llevar a cabo la ejecución de los PM o su implementación.

El modelo de regulación aplicado incluye la utilización por la autoridad única del agua de mecanismos de evaluación de la calidad del servicio prestado a los usuarios por prestadores del servicio y su comparación con los resultados de las otras entidades gestoras similares actuando en zonas geográficas distintas (benchmarking). En este contexto, al contribuir a la cuantificación de la calidad del servicio prestado a los usuarios, la utilización de indicadores de desempeño permite también la evaluación comparada del cumplimiento de objetivos y su análisis a lo largo del tiempo (evolución). Los resultados tanto de la evaluación como del benchmarking son objeto de exposición pública, en la medida en que ello alienta a las entidades gestoras a progresar hacia la eficiencia, por supuesto si quieren verse colocadas en una posición favorable, materializándose así en un derecho fundamental que asiste a todos los usuarios. Se pretende también consolidar una verdadera cultura de información, concisa, creíble y de fácil interpretación. Por otro lado, se considera que una de las principales ventajas comprobadas durante la aplicación de este sistema de indicadores de calidad del servicio se refiere precisamente a la exigencia de las entidades gestoras implementar y mantener actualizadas rutinas de recolección y organización de datos [15].

2.5 Principales causas de ineficiencia de los sistemas

Las pérdidas de agua constituyen uno de los problemas principales para las empresas de agua ya que son inevitables, y éstas se traducen en pérdidas económicas y problemas que afectan directamente al medio ambiente. Por tal motivo es importante identificar el tipo de pérdidas de agua que existen, sus causas y consecuencias, a fin de mejorar la gestión de los sistemas de agua potable y reducir los índices de pérdidas. Las pérdidas de agua son de dos tipos, pérdidas reales y pérdidas aparentes:

- *Pérdidas reales* - Corresponde al volumen de agua que se pierde a lo largo de la red, con el sistema presurizado hasta el contador del ramal.

- *Pérdidas aparentes* - Corresponde al volumen de todo tipo imprecisiones asociadas a las mediciones de agua producida y consumida, y también el consumo no autorizado por hurto o uso ilícito.

Factores que influyen las pérdidas reales

- Disponibilidad de recursos
- Presión de servicio
- Frecuencia con que ocurren las roturas
 - Estado de conservación y edad de las infraestructura
 - Planeamiento y construcción de las infraestructuras
 - Características del suelo envolvente
 - Existencia de tráfico y movimientos del suelo

Factores que influyen las pérdidas aparentes

- Consumos no autorizados
 - Conexiones ilícitas
 - Uso fraudulento de hidrantes
- Errores de medición
 - Errores de medición de los contadores en condiciones normales de medición
 - Errores de medición por dimensionamiento deficiente o instalaciones
 - Errores de lectura o registro
 - Errores de medición por avería
 - Lecturas erradas por falta de acceso a los contadores

2.6 Indicadores de desempeño

Como toda empresa u organización, los prestadores del servicio público de agua potable también deben realizar la autoevaluación de la gestión de sus servicios, para conocer el nivel de eficiencia y eficacia que poseen, para brindar un servicio de calidad a los usuarios y para asegurar su sustentabilidad económica y financiera. El sistema de evaluación de la calidad del servicio es un instrumento basado en el uso de indicadores de desempeño el cual tiene por objetivo determinar una medida cuantitativa de la eficiencia o de la eficacia del servicio prestado por las entidades gestoras [15].

Según Cabrera et al., los indicadores de desempeño son medidas de la eficiencia o eficacia de la prestación de un servicio por parte de la empresa, resultado de la combinación de varias variables. La información proporcionada por un indicador de desempeño es el resultado de una comparación (con un valor meta, valores previos del mismo indicador o valores del mismo indicador en otras empresas) [12].

Un indicador se define como un valor calculado a partir de parámetros que proporciona información sobre un asunto con una importancia que supera a la que está directamente asociado con un valor del parámetro [16]. Los indicadores de desempeño pretenden ser medidas numéricas y objetivas de la eficiencia y de la eficacia de las entidades gestoras en relación con aspectos específicos de la actividad desarrollada o del comportamiento de los sistemas.

Los indicadores de desempeño deberán ser únicos y colectivamente adecuados para representar los aspectos relevantes del servicio de manera fiel e imparcial. Cada indicador de rendimiento deberá:

- Ser claramente definido, con una interpretación concisa e inequívoca;
- Ser evaluado a partir de variables que se miden fácilmente y de manera fiable, a un coste razonable;
- Contribuir a la expresión del nivel de rendimiento actual, alcanzado en un determinado dominio;
- Corresponde a una zona geográfica específica (y, en el caso de un análisis comparativo, debe situarse en la misma zona geográfica);
- Estar relacionado con un período específico (por ejemplo, anual, trimestral);
- Permitir efectuar una comparación clara con los objetivos perseguidos y simplificar un análisis que, de otra manera, sería complejo;
- Ser verificable;
- Ser simple y de fácil comprensión;
- Ser objetivo y evitar apreciaciones personales o subjetivas.

La selección de los indicadores del sistema de desempeño debe ser realizada considerando:

- La política de calidad;

- Los sectores principales de la organización: competitividad en el mercado; satisfacción del cliente; cuota de mercado, resultados económicos / financieros;
- Factores de rendimiento;
- Los objetivos del proceso.

2.6.1 Balance hídrico

La auditoría al uso del agua es, sin duda, un instrumento indispensable para la evaluación del desempeño interno de una Entidad Gestora, cuando se realiza anualmente y de forma sistemática. Por otro lado, la importancia del control de las pérdidas de agua hace que, en la mayoría de los casos, las auditorías estén relacionadas con este componente, y dirigidas sobre todo para la realización de balances hídricos. Sin embargo, debe abandonarse siempre que se desee comparar la eficiencia con otras entidades gestoras o entre zonas del mismo sistema con características distintas, ya que no tiene en cuenta los factores específicos de cada sistema, que a su vez están relacionados con las pérdidas de agua, entre los cuales: el material y la longitud de los conductos, topografía, densidad de ramales, solicitud del sistema, presión media de servicio cuando el sistema se encuentra presurizado, calidad de mantenimiento y operación del sistema, frecuencia y duración media de roturas, entre otros. Así, para comparar el desempeño entre Entidades Gestoras, o entre zonas del mismo sistema con características distintas, otros indicadores de desempeño deben ser utilizados [17]. En la Figura 6 se esquematizan los diversos tipos de pérdidas existentes en un sistema de abastecimiento de agua, y en la figura 7 se indican los principales puntos de monitorización del caudal, desde la captación hasta la zona de consumo.

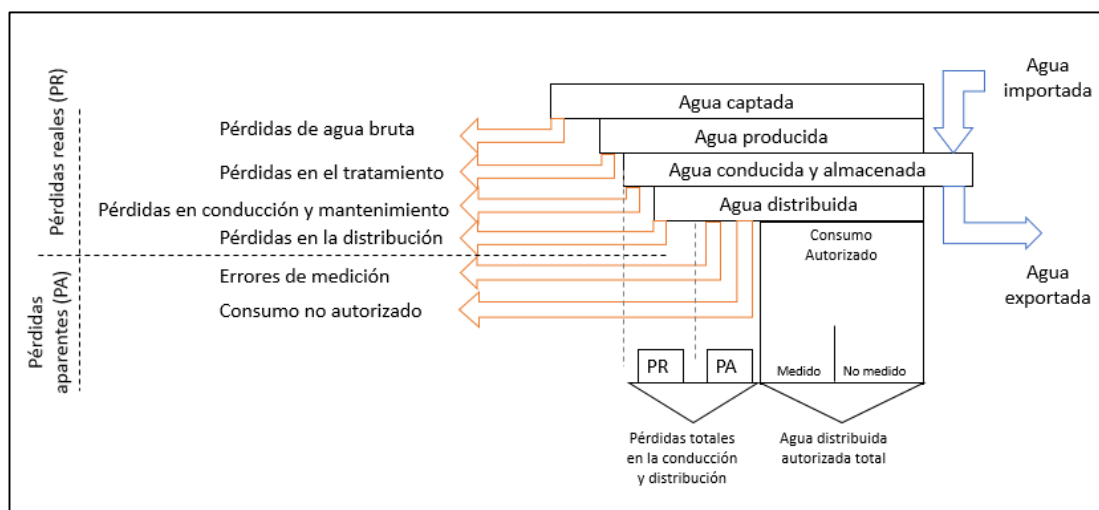


Figura 6. Diversos tipos de pérdidas existentes en un sistema de abastecimiento de agua. Adaptado de Gomes [17]

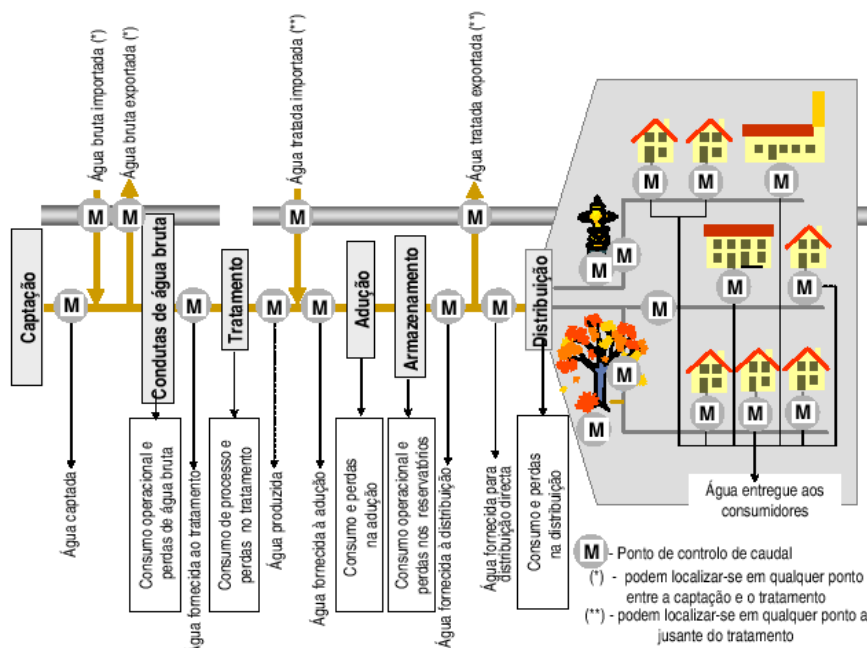


Figura 7. Puntos de seguimiento del caudal a lo largo de un sistema de abastecimiento de agua [18]

El balance hídrico se calcula normalmente para un período de 12 meses, estando relacionado con las estimaciones de los volúmenes de agua en cada punto de monitorización del caudal señalado en la Figura 7, representando la media anual de todos los componentes del consumo y de las pérdidas de agua en relación al caudal a la entrada del sistema. La tabla 4 ilustra el procedimiento de cálculo para el balance hídrico, de acuerdo con la terminología recomendada por la *International Water Association (IWA)* [18], [19]. Los pasos para calcular el balance hídrico son los siguientes:

- **Paso 0:** Definir los límites exactos del sistema (o sector de red) a auditar y las fechas de referencia (definiendo un período de un año);
- **Paso 1:** Determinar el volumen de agua entrante en el sistema e introducir en la columna A;
- **Paso 2:** Calcular el consumo facturado medido y el consumo facturado no medido e incluir en la columna D e introducir el total de éstos como consumo autorizado facturado (columna C) y como agua facturada (columna E);
- **Paso 3:** Determinar el volumen de agua no facturada (columna E) restando el agua facturada (columna E) al agua entrante en el sistema (columna A);
- **Paso 4:** Definir el consumo no facturado medido y el consumo no facturado no medido en la columna D y registrar el total en consumo autorizado no facturado en la columna C;

- Paso 5: Sumar los volúmenes correspondientes al consumo autorizado facturado y al consumo autorizado no facturado de la Columna C e introducir el resultado como consumo autorizado (columna B);
- Paso 6: Calcular las pérdidas de agua (columna B) como la diferencia entre el agua entrante en el sistema (columna A) y el consumo autorizado (columna B);
- Paso 7: Evaluar, utilizando los mejores métodos disponibles, las parcelas del uso no autorizado y de los errores de medición (columna D), sumarlas y registrar el resultado en pérdidas aparentes (columna C);
- Paso 8: Calcular las pérdidas reales (columna C) restando las pérdidas aparentes (columna C) a las pérdidas de agua (columna B);
- Paso 9: Evaluar las parcelas de las pérdidas reales (columna D) usando los mejores métodos disponibles (análisis de caudales nocturnos, datos de medición de la zona, cálculos de frecuencia / caudal / duración de las roturas, modelado de pérdidas basadas en datos locales sobre el nivel base de pérdidas, entre otros), sumarlas y compararlas con el resultado de las pérdidas reales (columna C).

A	B	C	D	E
Agua que entra en el sistema [m ³ /año]	Consumo autorizado [m ³ /año]	Consumo autorizado facturado [m ³ /año]	Consumo facturado medido (incluyendo agua exportada) [m ³ /año]	Agua facturada [m ³ /año]
			Consumo facturado no medido [m ³ /año]	
		Consumo autorizado no facturado [m ³ /año]	Consumo no facturado medido [m ³ /año]	Agua no facturada (perdidas comerciales) [m ³ /año]
			Consumo no facturado no medido [m ³ /año]	
	Pérdidas de agua [m ³ /año]	Pérdidas aparentes [m ³ /año]	Consumo no autorizado [m ³ /año]	
			Pérdidas de agua por errores de medición [m ³ /año]	
		Pérdidas reales [m ³ /año]	Fugas en las tuberías de conducción y/o distribución [m ³ /año]	
			Fugas en los reservorios de conducción y/o distribución [m ³ /año]	
Fugas en los ramales de ligación (sobre el punto de medición) [m ³ /año]				

Tabla 4. Componentes del balance hídrico [19]

De acuerdo con la terminología de la IWA, el agua captada consiste en el volumen anual de agua obtenido a partir de captaciones de agua bruta que ingresa en estaciones de tratamiento de agua. El agua bruta, importada o exportada se refiere al volumen anual de agua bruta transferida de otros sistemas de conducción y distribución. Mientras que el agua suministrada al tratamiento se refiere al volumen anual de agua bruta que descarga en las instalaciones de tratamiento. El agua producida consiste en el volumen anual de agua tratada que se suministra a los conductos de conducción o directamente al sistema de distribución. El agua suministrada a la conducción se refiere al volumen anual de agua tratada que ingresa al sistema de conducción y el agua suministrada para distribución corresponde al volumen anual de agua tratada que ingresa al sistema de distribución. El agua suministrada para distribución directa se refiere al volumen de agua correspondiente a la diferencia entre el agua suministrada para la distribución y el agua tratada exportada mientras que el agua entrante en el sistema se refiere al volumen anual introducido en la parte del sistema de abastecimiento de agua objeto del cálculo del balance hídrico. El consumo autorizado se refiere al volumen anual de agua, medido o no medido, facturado o no, suministrado a consumidores registrados, a la propia Entidad Gestora y a otros que estén implícita o explícitamente autorizados a hacerlo para usos domésticos, comerciales o industriales. Finalmente las pérdidas de agua se refieren al volumen de agua correspondiente a la diferencia entre el agua entrante en el sistema y el consumo autorizado. Las pérdidas de agua pueden ser calculadas para todo el sistema o para subsistemas, como la red de agua no tratada, el sistema de conducción, el sistema de distribución o zonas del sistema de distribución. En cada caso, los componentes del cálculo se considerarán de acuerdo con la situación examinada. Las pérdidas de agua se dividen en pérdidas reales y pérdidas aparentes. En lo que se refiere a las pérdidas reales, éstas se refieren al volumen de agua correspondiente a las pérdidas físicas de agua del sistema a presión, hasta el contador del cliente (usuario). El volumen anual de pérdidas a través de todo tipo de grietas, roturas y daños depende de la frecuencia, el caudal y la duración media de cada fuga. La parte de las pérdidas aparentes contabiliza todos los tipos de imprecisiones asociadas a las mediciones de agua producidas y del agua consumida (relacionadas con la calidad del agua, condiciones climáticas adversas, presencia de aire en las conducciones, ausencia de calibración de contadores, existencia de reservorio domiciliarios, el dimensionamiento e instalación incorrecta de contadores, la desactualización del registro de usuarios y los métodos de lectura y facturación ineficientes), y el consumo no autorizado (por hurto o uso ilícito). Por último, el agua no facturada consiste en el volumen de agua correspondiente a la diferencia entre los

totales anuales del agua entrante en el sistema y el consumo autorizado facturado. El agua no facturada incluye no sólo las pérdidas reales y aparentes, sino también el consumo autorizado no facturado.

2.6.2 Índice de Infraestructura de Fugas

El cálculo del Índice de Infraestructura de Fugas (IIF), en inglés *Infrastructure Leakage Index* (ILI), se basa en la relación entre el valor de las pérdidas reales (NAPR - Nivel Actual de Pérdidas Reales) y el valor de las pérdidas reales mínimas (PRIM - Pérdidas Reales Inevitable medias), tal como se indica en la ecuación (Ec.1):

$$IIF = \frac{NAPR \text{ (litros/ramal/día)}}{PRIM \text{ (litros/ramal/día)}} \quad Ec. 1$$

La relación entre NAPR y PRIM corresponde a una buena aproximación para el máximo potencial de reducción de pérdidas reales cuando el sistema está en presión. Por otro lado, cuanto más cerca de la unidad se encuentre este indicador, mejor será el desempeño de la Entidad Gestora en lo que se refiere al control de las pérdidas de agua [20]. El valor de PRIM se refiere a la estimación de las pérdidas reales inevitables medias, atendiendo a las mejores prácticas y tecnología existente para detección, localización y reparación de roturas. Varios investigadores, entre ellos Lambert y Mckenzie [22], sostienen que este indicador es extremadamente útil y puede ser utilizado en benchmarking, cuando se pretende realizar un análisis comparativo de sistemas o subsistemas de distribución de agua, evaluación de los objetivos establecidos por las Entidades Reguladoras, la evaluación de proyectos candidatos a fondos de financiación y la programación de acciones relacionadas con el control y la reducción de las pérdidas de agua.

En el marco de las mejores prácticas de gestión de las pérdidas de agua, la ecuación empírica (Ec.2), utilizada para estimar el valor de las PRIM, se basa en tres componentes de la infraestructura y en la presión media de servicio en la red, tabla 5 [21], [22], [20].

$$PRIM \left(\frac{\text{litros}}{\text{día}} \right) = (\alpha_d \times L_d + \beta_r \times N_r + \lambda_r \times L_r) \times \left(\frac{P_m}{P_{ref}} \right)^{N1} \quad Ec. 2$$

En que:

- α_d - pérdidas de agua en la red de distribución;
- L_d - longitud de la red de distribución de agua;
- β_r - pérdidas de agua por ramal de conexión hasta el límite de propiedad;
- N_r - número de extensiones de conexión entre la red pública y el límite de propiedad;

- λ_r - pérdidas de agua en el ramal de conexión entre el límite de propiedad y el medidor de caudal;
- L_r - longitud total de los ramales de conexión entre el límite de propiedad y el medidor(es) de caudal;
- P_m - presión media de servicio en la red;
- P_{ref} - presión de referencia (50 m c.a.);
- $N1$ - exponente relacionado con el material de los conductos (relaciona la variación de las pérdidas de agua con la presión y el material de los conductos).

Componentes de la Infra estructura	Perdas de base	Roturas reportadas	Roturas no reportadas
Rede de distribución α_d	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud • Presión de funcionamiento • Caudal mínimo (perdidas/km) * 	<ul style="list-style-type: none"> • Número/año • Presión de funcionamiento • Caudal medio * • Duración media 	<ul style="list-style-type: none"> • Número/año • Presión de funcionamiento • Caudal medio * • Duración media
Ramal de conexión (hasta límite de propiedad) β_r	<ul style="list-style-type: none"> • Número • Presión de funcionamiento • Caudal mínimo (perdidas/ramal) * 	<ul style="list-style-type: none"> • Número/año • Presión de funcionamiento • Caudal medio * • Duración media 	<ul style="list-style-type: none"> • Número/año • Presión de funcionamiento • Caudal medio * • Duración media
Ramal de conexión (entre límite de propiedad y medidor(es) de caudal) ** λ_r	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud • Presión de funcionamiento • Caudal mínimo (perdidas/km) * 	<ul style="list-style-type: none"> • Número/año • Presión de funcionamiento • Caudal medio * • Duración media 	<ul style="list-style-type: none"> • Número/año • Presión de funcionamiento • Caudal medio * • Duración media

* Valores relacionados con la Presión media de funcionamiento en el sistema, cuando éste se encuentra presurizado.
 ** Caso el contador de ramal este en el límite de propiedad, esta componente puede ser despreciada. Por otro lado, se debe tener en cuenta que un único ramal de conexión puede abastecer un número elevado de fuegos (edificios multifamiliares).

Tabla 5. Componentes para la estimación de las PRIM. Adaptado de Gomes [17].

Como ejemplo, en las tablas 6 y 7 se indican valores estándar para la estimación de los componentes de las pérdidas de agua esperadas en las infraestructuras de distribución de agua cuando están bien gestionadas y en buen estado de conservación, una vez normalizadas para la presión de referencia de 50 m c.a. [22], [23], [24].

Componentes de la Infra estructura	Pérdidas de base	Roturas reportadas	Roturas no reportadas
Red de distribución α_d (litros/km/ m c.a.)	20 litros/km/h *	0,124 roturas por km de red por año con 12 m ³ /hora * durante 3 días	0,006 roturas por km de red por año con 6 m ³ /hora * durante 50 días
Ramal de conexión (hasta límite de propiedad) β_r (litros/ramal/m c.a.)	1,25 litros/ramal/h *	2,25 roturas por 1000 ramales por año con 1,6 m ³ /hora * durante 8 días	0,75 roturas por 1000 ramales por año con 1,6 m ³ /hora * durante 100 días
Ramal de conexión (entre límite de propiedad y medidor(es) de caudal) λ_r (litros/km/ m c.a.)	33,3 litros/km de ramal/h * o 0,5 litros/ramal/h * (longitud media 15 m)	1,5 roturas por 1000 ramales por año con 1,6 m ³ /hora * durante 9 días	0,5 roturas por 1000 ramales por año con 1,6 m ³ /hora * durante 101 días

* Presión media de servicio igual a 50 m c.a.

Tabla 6. Valores patrón para la estimación de las componentes de las PRIM. Adaptado de Gomes [17]

Componentes de la infra estructura	Perdidas de base	Roturas reportadas	Roturas no reportadas	PRIM*	Unidades
Red de distribución α_d (litros/km/ m c.a.)	9,6	5,8	2,6	18,0	Litros por día, por unidad de longitud de red y por unidad de Presión
Ramal de conexión (hasta límite de propiedad) β_r (litros/ram al/m c.a.)	0,6	0,04	0,16	0,80	Litros por día, por ramal de conexión y por unidad de Presión
Ramal de conexión (entre límite de propiedad y medidor(es) de caudal) λ_r (litros/km/ m c.a.)	16,0	1,9	7,1	25,0	Litros por día, por unidad de longitud de ramal de conexión y por unidad de Presión

* Presión media de servicio igual a 50 m c.a.

Tabla 7. Estimación de cada componente de las PRIM. Adaptado de Gomes [17]

En la figura 8 viene indicada, para diferentes materiales de las tuberías, la relación entre la presión y el caudal a través de un orificio. Así, según las características del orificio y el material de los conductos, se deben utilizar diferentes valores para N1.

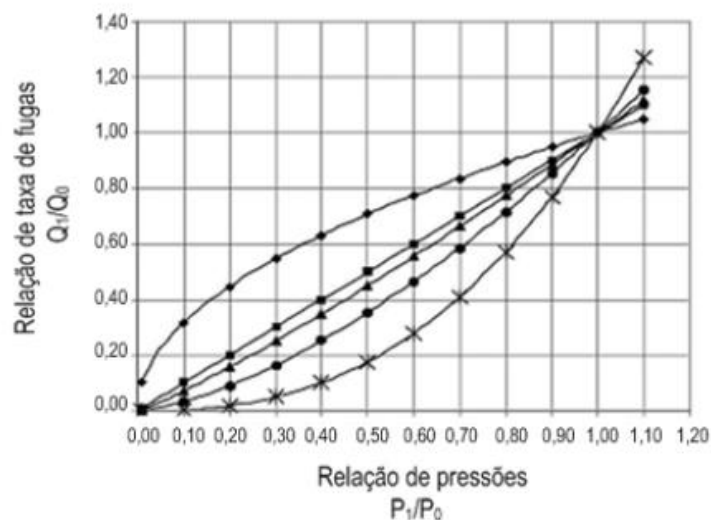


Figura 8. Relación entre la presión y el caudal a través de fugas para diferentes materiales de los conductos [17]

En cuanto a los valores de N1 indicados, se hace referencia a lo siguiente [17]:

- 0,5 - Se aplica cuando el área del orificio no cambia con la variación de la presión, es decir, el caudal a través de la fuga es prácticamente independiente de la presión. Este coeficiente es característico de las redes de distribución de agua en las que los conductos son de hierro fundido dúctil y/o acero y sirve para modelar consumos y roturas de gran dimensión.

- 1,0 - Utilizado en sectores de distribución de agua de gran tamaño o cuando se pretende hacer un enfoque simplificado del problema. En este caso, es razonable considerar lineal la relación entre el caudal y la presión, es decir, la reducción de la presión en 1% implica una reducción del 1% en el valor de caudal perdido.
- 1,15 - Coeficiente aconsejado para sistemas para los que sea difícil estimar el valor de N1 o donde se mezclan diversos tipos de materiales, tales como, hierro fundido dúctil, acero, PVC, PEAD, entre otros.
- 1,5 - Valor característico de redes de distribución de agua donde predominan conductos de material flexible, tales como el PVC y el PEAD. En este caso, el área del orificio se cambia con la variación de presión.
- 2,5 - Utilizado, excepcionalmente, en redes de distribución de agua constituidas principalmente por conductos de plástico, en la que predominan roturas longitudinales. En este caso, el área del orificio es muy sensible a la variación de presión en la red.

En alternativa, teniendo como referencia el Índice Infraestructural de Fugas (IIF) en el sistema y el porcentaje de pérdidas reales detectables en conductos rígidos (p), el valor de N1 puede ser estimado a través de la ecuación (Ec.3) [25]:

$$N1 = 1,5 - \left(1,0 - \frac{0,65}{IIF}\right) \times \frac{p}{100} \quad Ec. 3$$

En la figura 9 se representa gráficamente la gama de valores para N1 en función del valor de IIF y del porcentaje de pérdidas reales (basado en el porcentaje de los conductos metálicos a nivel de la red y las extensiones de conexión). Por ejemplo, se el valor de N1 para un sector de la red es 1,09 y el valor de IIF es igual a 5, el porcentaje de pérdidas reales en conductos rígidos es igual al 40%.

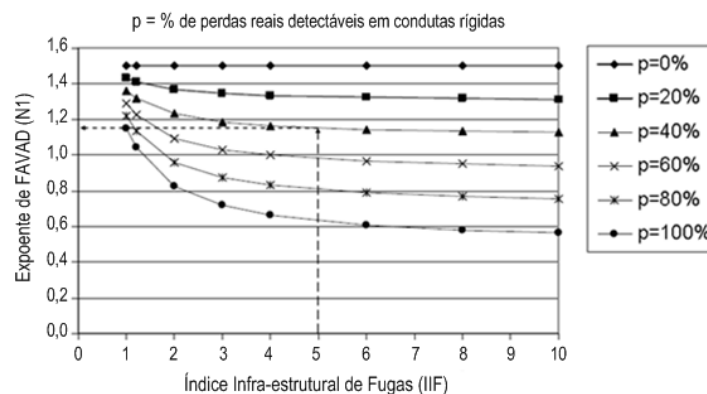


Figura 9. Porcentaje de pérdidas reales en la red en función del IIF y N1 [17].

El sistema de indicador utilizado por el Instituto del Banco Mundial

Los miembros del Equipo de Trabajo de Pérdida de Agua que comenzaron a utilizar el IIF se dieron cuenta de lo poderoso que era el indicador para categorizar el desempeño operativo en la gestión de Pérdidas Reales en una amplia variedad de situaciones internacionales. Pero a falta de programas de capacitación generalizados para un nuevo enfoque en lo que es esencialmente una industria conservadora, también se necesitaba un enfoque intermedio, que tenga en cuenta la presión operativa. Tras un desarrollo anterior del sistema de bandas del IIF (considerados apropiados para Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda), el Instituto del Banco Mundial adoptó y está promoviendo a nivel internacional un sistema de bandas más amplio [20] aplicable tanto a países desarrollados como en desarrollo. Esto utiliza un enfoque matricial para identificar una Categoría de Desempeño Técnico (bandas A a D) para la gestión de las Pérdidas Reales, y una guía sobre el tipo de acciones que la empresa debería llevar a cabo. La interpretación de las bandas A a D es la siguiente [27]:

A = Excelente - no requiere intervención específica

B = Bueno - no requiere acción urgente, aunque debe ser controlada con cuidado

C = Pobre - requiere atención

D = Muy Malo - requiere intervenciones inmediatas de reducción de pérdidas de agua

La tabla 8 muestra la matriz de objetivos World Bank Institute, o sea, demuestra visualmente cómo la reducción de las presiones excesivas puede reducir las pérdidas reales. Los valores en la matriz se basan en la suposición de que los medidores del cliente se encuentran en la línea de propiedad, con una densidad promedio de conexiones de 40 por cada kilómetro de red. Para ubicaciones de medidores y densidades de conexión significativamente diferentes a estas suposiciones, los usuarios pueden desear calcular el IIF y usarla para identificar la banda apropiada para el sistema bajo consideración [26].

Categoría Técnica de Desempeño		IIF	Pérdidas reales en litros/conexión/día (cuando el sistema esta presurizado); a una presión promedio de:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Países desarrollados	A	1 – 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 – 4		50 - 100	75 - 150	100 - 200	125 – 250
	C	4 – 8		100 – 200	150 - 300	200 – 400	250 – 500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Países en vías de desarrollo	A	1 – 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 – 8	50 - 100	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	C	8 – 16	100 - 200	200 – 400	300 – 600	400 – 800	500 – 1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Tabla 8. Matriz de objetivos de pérdidas reales (del Módulo de capacitación WBI NRW 6: Indicadores de rendimiento) [26]

Los sistemas bien gestionados se espera que tengan valores bajos del IIF (alrededor de 1.0), mientras que los sistemas con deficiencias en la gestión de infraestructura y otros componentes, presentarán valores más altos. Es lógico que sistemas con alta densidad de acometidas y con una presión más alta, tengan unas pérdidas mínimas mayores. Por ello, el IIF permite también valorar de forma global la gestión llevado a cabo por las empresas en su esfuerzo por reducir las fugas, y les permite compararse con otras empresas de otro lugar del mundo.

2.6.3 Evolución de los sistemas de indicadores de desempeño

2.6.3.1 Indicadores de desempeño de la IWA

Al mismo tiempo que el desarrollo del sector del agua debe ser auto sostenido, los usuarios son cada vez más exigentes en lo que se refiere al servicio público de abastecimiento de agua. En este contexto, el uso de indicadores de desempeño constituye actualmente una clara referencia a nivel internacional en lo que se refiere a las condiciones de evaluación del desempeño entre Entidades Gestoras y dentro de la propia Entidad Gestora. Además, pueden ser utilizados como reguladores de acceso a líneas de crédito y establecer prioridades y medidas concretas en lo que se refiere a la mejora del desempeño de la propia Entidad Gestora [17].

La cantidad de agua perdida es un indicador importante de la evolución positiva o negativa de la eficiencia en la distribución del agua, tanto en años individuales como a lo largo de un período de años. Los altos y crecientes volúmenes anuales de pérdidas de agua, que son un indicador de planificación y construcción ineficaces, y las actividades de bajo mantenimiento operativo, deberían ser el disparador para iniciar un programa activo de control de fugas. Sin embargo, una red sin fugas no es un objetivo técnico o económico realizable, y no se puede evitar un bajo nivel de pérdidas de agua, incluso en los mejores sistemas operados y mantenidos, donde los proveedores de agua prestan mucha atención al control de la pérdida de agua.

Con la creciente tendencia internacional hacia la sostenibilidad económica y financiera de los servicios de agua y la protección del medio ambiente, el problema de las pérdidas de los sistemas de suministro de agua es de gran interés en todo el mundo. Tanto los aspectos técnicos como los financieros reciben cada vez más atención, especialmente durante la escasez de agua o los períodos de rápido desarrollo. Problemas particulares y malentendidos innecesarios surgen debido a las diferencias en las definiciones utilizadas por cada país para describir y calcular las pérdidas. Además, los indicadores de desempeño tradicionales a menudo dan impresiones contradictorias sobre el verdadero desempeño en el control de las pérdidas de agua [28].

En 1996, el Comité de Operación y Mantenimiento de la División de Distribución de la IWA estableció un Grupo de Trabajo para revisar las metodologías existentes para las comparaciones internacionales de las Pérdidas de Agua de los sistemas de suministro de agua. Los principales objetivos fueron:

- Preparar una terminología estándar básica recomendada para el cálculo de las pérdidas reales y aparentes.
- Revisar y recomendar indicadores de desempeño preferidos para las comparaciones internacionales de pérdidas.

Esta publicación resume las conclusiones del Grupo de Trabajo de Pérdidas de Agua, con referencia particular a los Indicadores de Desempeño preferidos para evaluar el desempeño operativo en el control de pérdidas reales (fugas y desbordamientos) en sistemas de transmisión y distribución. La terminología recomendada y la gama completa de indicadores de desempeño preferidos para los Servicios de Abastecimiento de Agua están

disponibles en el Manual IWA de Mejores Prácticas “Indicadores de Desempeño para los Servicios de Abastecimiento de Agua” [28].

El marco de trabajo de la IWA se ha desarrollado sobre la base de una amplia prueba de campo del sistema de indicadores de desempeño que se basó en las contribuciones de más de 70 empresas voluntarias. Los participantes incluyeron proveedores de agua a granel y directos, solo agua y multiservicios, compañías holding y reguladores. Participantes de países desarrollados y en desarrollo que sirve a poblaciones que van desde 10,000 hasta más de 20 millones tomaron parte en el ejercicio para finalizar el marco. Además, se realizaron talleres para tener un contacto más directo entre los participantes y el equipo coordinador de IWA. El marco actual de IWA es una versión revisada basada en los comentarios de los servicios públicos participantes que han utilizado el marco en sus esfuerzos de evaluación comparativa. La IWA proporciona un marco de referencia y directrices para los operadores o autoridades reguladoras que desean realizar evaluaciones comparativas. Su marco se ha utilizado en muchos países europeos [10].

La IWA también ha iniciado el apoyo a la Alianza de Operadores de Agua (WOP) que se está desarrollando con el apoyo de las Naciones Unidas. Los WOP se han activado en África y el sudeste de Asia. A nivel regional, el Banco Asiático de Desarrollo ha brindado apoyo a los esfuerzos de evaluación comparativa y ha facilitado el desarrollo de libros de datos de servicios en todos los servicios públicos en diferentes subregiones y países de Asia [10].

Los indicadores de desempeño pueden descargarse de la web del Grupo Especialista en Benchmarking y Evaluación del Desempeño de la IWA (www.iwa-network.org).

2.6.3.2 Indicadores de desempeño en Portugal

En Portugal la ERSAR – *Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos* – tiene por misión, la regulación y la supervisión de los sectores de los servicios de abastecimiento público de agua, de saneamiento de aguas residuales urbanas y de gestión de residuos municipales, incluido el ejercicio de funciones de autoridad competente para la coordinación y la supervisión del régimen de calidad del agua para el consumo humano. La actividad de ERSAR busca promover el aumento de la eficiencia y eficacia de la prestación de estos servicios, así como asegurar su sostenibilidad económica y financiera, promoviendo también la garantía de la calidad del servicio prestado a los usuarios y la protección del

medio ambiente. En este contexto, la regulación de la calidad del servicio constituye una pieza fundamental del modelo de regulación implementado por la ERSAR y tiene como objetivo la evaluación cuantitativa de la prestación de estos servicios.

En el año 2004, con el apoyo técnico del LNEC – *Laboratório Nacional de Engenharia Civil* – y basado en el conjunto de indicadores de la *International Water Association* (IWA), se creó la primera generación del sistema de evaluación a las entidades por sí reguladas (que en la fecha tenía la designación de IRAR – *Instituto Regulador de Águas e Resíduos*). El universo de las entidades evaluadas fue de 30 entidades con actividad de abastecimiento público de agua [16].

La segunda generación del sistema de evaluación de la calidad del servicio resulta de la necesidad de adaptar el sistema entonces en vigor a la ampliación del ámbito de actuación de la entidad reguladora, a todo el universo de entidad gestoras de estos servicios. En el proceso de adaptación de este sistema se efectuó un análisis crítico del sistema de indicadores adoptado en la primera generación y de la respectiva aplicación desde 2004 al universo de las entidades concesionarias, la cual tuvo en cuenta el estado del conocimiento existente y la experiencia internacional sin embargo adquirida. A raíz de la publicación de los nuevos planes estratégicos aprobados para el sector del agua (PENSAAR 2020) y para el sector de los residuos (PERSU 2020), ERSAR procedió a una reflexión profunda para la revisión del sistema de evaluación de la calidad del servicio, a adecuarse al mismo a los planes mencionados. En este contexto, surge la actual tercera generación del sistema de evaluación de la calidad del servicio que presenta un conjunto de indicadores adaptado al horizonte 2020, disponible en línea: www.ersar.pt

2.6.3.3 Indicadores de desempeño en Inglaterra

Creada en 1989, OFWAT – *Office of Water Services* – rápidamente convirtió la competencia por comparación (*yardstick competition*) en una de sus herramientas de encuentro clave para el futuro privado del sector del agua. Como consecuencia, se recolectaron y auditaron métricas y se calcularon y compararon indicadores. La necesidad de un modelo transparente y equitativo les causa las técnicas de comunicación (p.ej. gráficos y tablas) así como importantes conceptos como el grado de confianza [12].

En 1996, buscando motivación adicional y competencia entre las compañías reguladas, OFWAT comenzó a participar en varios proyectos internacionales

(fundamentalmente con prestadores australianos). Estas iniciativas continúan aún hoy, principalmente con la participación de otros prestadores regulados. No obstante, las compañías por sí mismas no participan en estos ejercicios y los proyectos consisten principalmente en exportar el modelo del OFWAT y compararlo con los datos obtenidos en Inglaterra y Gales para fines regulatorios [12].

El éxito del modelo inglés está bastante asociado al protagonismo y a la eficacia de la regulación, pero tiene la ventaja de permitir al Regulador una visión general e integral del proceso de modernización. La escala de la gestión de los servicios presupone también una dimensión regional, a nivel de la cuenca hidrográfica, para abarcar todo el ciclo del agua y tutelada por los Ministerios de Agricultura y Medio Ambiente. Actualmente, la regulación en Inglaterra y el País de Gales, es llevada a cabo por tres administraciones, la *Environmental Agency* (EA) en el papel de regulador ambiental, el *Drinking Water Inspectorate* (DWI) como regulador de la calidad del agua y el *Water Services Regulation* (OFWAT) como regulador económico de los servicios y de control de la calidad del servicio y de protección de los consumidores.

El sistema de evaluación de desempeño de OFWAT (www.ofwat.gov.uk) está constituido por 15 indicadores distribuidos en cuatro áreas clave: abastecimiento de agua, aguas residuales, atención al cliente e impacto ambiental. Para cada indicador se define una ponderación que distingue la importancia de los indicadores en el cálculo de la puntuación final de cada entidad gestora. En un proceso de evaluación anual de las entidades gestoras, el OFWAT calcula una puntuación global para cada entidad, compara el desempeño entre entidades gestoras y las tendencias de evolución dentro de cada entidad divulgada en forma de informes públicos, posibilitando con más facilidad visualizar las tendencias de evolución dentro de cada entidad y compararlas entre ellas [16].

2.6.3.4 Indicadores de desempeño en Ecuador

La ARCA – Agencia de Regulación y Control del Agua – creada mediante Decreto Ejecutivo N° 310 del 17 de abril de 2014, ejerce la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, la calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua, en base a lo establecido en el artículo 21 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA).

La ARCA, hasta la fecha, ha emitido 8 regulaciones y 2 resoluciones relacionadas a la gestión del recurso hídrico, las cuales requieren de actividades de control permanentes y continuas para asegurar su cumplimiento, a través de lo cual se espera aportar en la gestión integral e integrada de los recursos hídricos del país.

El sistema de evaluación de los servicios de abastecimiento público de agua potable del país consta de cinco grupos de indicadores y parámetros divididos de la siguiente manera (www.regulacionagua.gob.ec):

- Estructura del servicio
- Operativos
- Calidad
- Apoyo a la prestación de servicios comunitarios de A&S (aplica sólo para prestadores públicos)
- Económico - financieros

En el anexo 2, se muestra la lista completa de parámetros utilizados en el país.

Para efectos de la autoevaluación de la prestación de los servicios, los prestadores deberán registrar los datos y valores requeridos como parámetros en las herramientas descritas en la ley nacional (regulación DIR-ARCA-RG-003-2016), en las cuales se reflejan y grafican los valores de los indicadores de la autoevaluación de la prestación de los servicios. En base a los resultados de la autoevaluación realizada por el prestador se elabora una memoria técnica en la que se describen textualmente las brechas existentes entre los valores de los indicadores resultantes de la autoevaluación y los valores óptimos (0 al 100% donde aplique y según el indicador). Además se describen textualmente las causas de las brechas y las consecuencias de no intervenir en el mejoramiento de las mismas.

La información reportada debe considerarse como información oficial del prestador para todos los efectos en materia de control, vigilancia, inspección, planeación y regulación [29].

2.6.4 Diseño de un sistema de evaluación del desempeño

Evaluar el desempeño es una necesidad natural en cualquier actividad humana. Frecuentemente se intenta determinar cómo estamos o cómo somos en relación a otras personas o si podríamos hacer las actividades de mejor manera.

La evaluación del desempeño podría describirse como el arte de simplificar; mientras más condensados estén los datos, mejor será su interpretación y análisis. Sin embargo, una simplificación excesiva del sistema puede no proporcionar suficiente información para tomar decisiones. Según algunos autores, la evaluación de desempeño en una organización tiene cuatro objetivos: comunicar a los colaboradores la importancia de lo que se está evaluando; motivar al equipo de trabajo que, influenciado en sus comportamientos, se empeña, para controlar los procesos, permitiendo así mejorar la calidad de la organización [16].

Los indicadores son una gran herramienta para evaluar el desempeño. Combinando adecuadamente los indicadores puede obtenerse una visión de conjunto de la realidad. Un indicador es una herramienta muy intuitiva y fácil de entender. Además, los indicadores facilitan la comparación, dado que los denominadores a menudo proporcionan una relación con el tamaño o una cantidad referencia [12].

A pesar de que los indicadores son accesibles y fáciles de entender, crear un buen indicador no es siempre una tarea fácil. Un buen indicador necesita tener ciertas propiedades, tal y como se describe en los manuales de buenas prácticas en indicadores de desempeño para abastecimiento de agua y saneamiento de la IWA.

Individualmente, un indicador de desempeño debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Estar claramente definido y tener un significado conciso.
- Ser razonablemente calculable (lo cual depende de las variables relacionadas).
- Ser auditable.
- Ser tan universal como sea posible y proporcionar una medida independiente de las condiciones particulares del prestador.

- Ser simple y fácil de entender; y
- Ser cuantificable de forma que proporcione una medición objetiva de un servicio, evitando cualquier apreciación subjetiva o personal.

Colectivamente, los indicadores de desempeño deberían cumplir con los siguientes requisitos:

- Cada indicador de desempeño debe proporcionar información significativamente diferente de los otros indicadores de desempeño del sistema.
- Las definiciones del indicador de desempeño deben ser unívocas (este requisito se hace extensible a sus variables).
- Solo deben considerarse los indicadores de desempeño que se consideren esenciales para una evaluación efectiva del desempeño.

Los indicadores de desempeño solo son útiles cuando se comparan con una referencia. El valor de un indicador, sin ninguna otra información adicional adjunta, puede no ser significativo. Por ello, cuando se diseña un sistema de evaluación del desempeño, el método de comparación debe ser claro. Los indicadores pueden usarse para:

- *Evaluar el cumplimiento de objetivos/metás* - Hay que hacer un seguimiento de los objetivos estratégicos para evaluar si pueden alcanzarse. Los indicadores son una gran herramienta para medir si una cierta meta se ha alcanzado y en qué medida y, por tanto, si la estrategia utilizada para alcanzarla fue la adecuada.
- *Análisis de tendencias* - Cuando el objetivo es el estudio de la evolución en el tiempo del prestador o de partes del mismo, un indicador puede proporcionar tendencias e incluso realizar predicciones. En este caso, los indicadores son comparados con valores previos del mismo indicador y obviamente proporcionan información sobre la evolución del desempeño y sobre si se está mejorando o no. Un análisis más profundo puede tener en cuenta la variación de múltiples indicadores y variables del sistema para explicar los cambios en el desempeño del mismo.
- *Comparación* - Una consecuencia natural de cualquier sistema de indicadores es intentar comparar los valores con los de otros prestadores. De hecho, la mayoría de prestadores que utilizan indicadores para fines internos han intentado en algún momento buscar referencias publicadas con valores de otros prestadores. Para poder evaluar si un prestador es eficiente y si su desempeño es mejor o peor comparado al de otros prestadores, pueden

utilizarse indicadores. En este caso, el sistema es más complejo, dado que el análisis de resultados debe tener en cuenta los distintos tamaños y el contexto de cada prestador.

Independientemente del objetivo, un sistema de evaluación de desempeño debe estar bien diseñado y hecho a la medida del objetivo que persigue. Los manuales de la IWA sobre indicadores de desempeño para abastecimiento y saneamiento proporcionan una estructura que puede ser útil cuando se construyen estos sistemas.

El uso de indicadores de desempeño debería ir siempre unido al establecimiento de un sistema de evaluación del desempeño apropiado, en el que todos los elementos mencionados estén presentes y definidos, y estén dirigidos a cumplir un claro objetivo o a obtener información de asuntos o temas específicos.

Un último aspecto importante sobre la definición de un sistema de indicadores de desempeño es la calidad de la información. En la mayoría de los casos, la calidad de los datos utilizados para alimentar el sistema de indicadores ni siquiera está registrada. La calidad o bien se da por supuesta o no se considera importante. Sin embargo, si un sistema de evaluación del desempeño tiene como fin la toma de decisiones, es difícil concebir un sistema en el que la calidad de los datos no sea relevante. Por ejemplo, tomar una decisión crucial sobre un indicador con un valor de 20 con un $\pm 1\%$ de error es completamente diferente de hacerlo sobre un valor de 20 con un error de $\pm 100\%$. [12].

La práctica demuestra que, en general, los suministradores de datos no tienen información detallada sobre la fiabilidad y exactitud, pero son capaces de realizar estimaciones si se utilizan amplias bandas de confianza. Las bandas de confianza recomendadas son:

Banda de confianza	Incertidumbre asociada
0 - 5%	Mejor que o igual a $\pm 5\%$
5 - 20%	Peor que $\pm 5\%$, pero mejor que o igual a $\pm 20\%$
20 - 50%	Peor que $\pm 20\%$, pero mejor que o igual a $\pm 50\%$
< 50%	Peor que $\pm 50\%$

Tabla 9. Bandas de confianza recomendadas para la exactitud de los datos [12]

Las bandas recomendadas para la fiabilidad de los datos son:

Banda de confianza	Definición
***	Fuente de datos altamente fiable: datos basados en registros sólidos, procedimientos, investigaciones o análisis apropiadamente documentados y reconocidos como los mejores métodos de evaluación disponibles.
**	Fuente de datos moderadamente fiable: peor que ***, pero mejor que *.
*	Fuente de datos poco fiable: datos basados en la extrapolación de un número limitado de muestras o en inferencias.

Tabla 10. Bandas de confianza recomendadas para la fiabilidad de los datos [12]

2.6.5 Proceso de implementación

Montar un sistema de evaluación del desempeño apropiado basado en indicadores no es una tarea tan sencilla como la mayoría de personas piensan. La experiencia demuestra que es necesario un enfoque sistemático para crear un grupo equilibrado de indicadores que pueda ser utilizado para un fin concreto. Una de las ideas principales a tener en cuenta es que la evaluación no es un objetivo en sí mismo. Solo es el comienzo del proceso de la mejora del desempeño. Es importante tener unos sólidos cimientos en cualquier proyecto de evaluación del desempeño y ello implica identificar claramente los objetivos del proyecto antes de que cualquier indicador sea siquiera mencionado.

La selección de indicadores necesita estar alineada con los objetivos estratégicos y con las estrategias definidas para alcanzar dichos objetivos. En el caso de proyectos con varios prestadores, los indicadores deberían seleccionarse de acuerdo a los objetivos comunes de todos los participantes. Éste es un buen punto de partida. Una vez que los objetivos han sido claramente definidos, la selección de indicadores es una tarea mucho más sencilla [12].

La figura 10 muestra los pasos propuestos por la IWA para la implementación de un sistema de evaluación del desempeño.

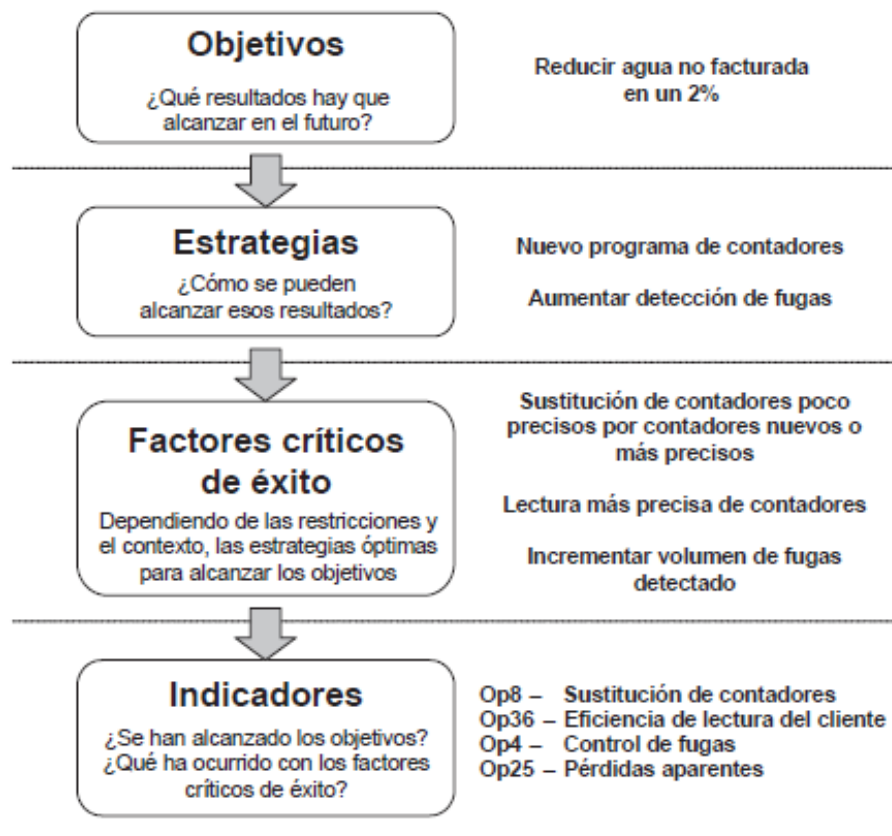


Figura 10. Indicadores de desempeño como parte de un sistema de evaluación del desempeño [12]

2.6.6 Selección de indicadores

Como se ha mencionado anteriormente, el último paso de la implementación (selección de indicadores) es crucial. Incluso estando seguro de lo que se quiere evaluar, no podemos estar seguros de encontrar la herramienta más adecuada de medición. Las definiciones de indicadores de la IWA fueron creadas para evitar este sesgo. Sin embargo, un indicador de la IWA solo garantiza una buena medida y debe estudiarse, para cada caso, si es adecuado o no para un determinado propósito [12].

Además de utilizar indicadores correctamente diseñados, es importante tener en cuenta cómo se construyen los indicadores y cómo las diferentes variables que intervienen pueden afectar a su capacidad de representar la realidad.

2.6.7 Recolección y validación de datos

Un dato básico del sistema puede ser medido en campo o es fácilmente obtenible. Dependiendo de su naturaleza y rol dentro del sistema, los datos pueden considerarse variables, información de contexto o simplemente factores explicativos [12]:

- *Variables* - Una variable es un dato del sistema que puede ser combinado utilizando una fórmula para definir indicadores de desempeño. La variable completa consiste de un valor (resultado de una medición o un registro) expresado en unas unidades específicas y un grado de confianza que indica la calidad del dato representado por la variable.
- *Información de contexto* – La información de contexto está formada por datos que proporcionan información sobre las características inherentes del sistema y que explican las diferencias con otros sistemas. Hay dos tipos posibles de información de contexto:
 1. Información que describe contexto puro y factores externos a la gestión del sistema. Estos elementos permanecen relativamente constantes en el tiempo (demografía, geografía, etc.) y en todo caso no están afectados por decisiones de gestión.
 2. Algunos datos, por otro lado, no son modificables por las decisiones de gestión a corto y medio plazo, pero las políticas de gestión pueden influir en ellas a largo plazo (por ejemplo, el estado de las infraestructuras del prestador).

La información de contexto es especialmente útil cuando se comparan indicadores de prestadores diferentes.

- *Factores explicativos* - Un factor explicativo es cualquier elemento del sistema de evaluación del desempeño que pueda ser utilizado para explicar el valor de los indicadores en la fase de análisis. Esto incluye indicadores, variables, información de contexto y otros datos que no juegan un papel activo antes de la fase de análisis.

Para caracterizar el perfil de la entidad gestora, el perfil del sistema, los indicadores de calidad del servicio y los factores de contexto de la calidad del servicio, la entidad gestora necesita recoger, compilar y enviar a la autoridad de Regulación un conjunto de datos internos relativos a la propia entidad gestora y al sistema que opera. Es responsabilidad de la entidad reguladora complementar estos datos con los datos externos necesarios. En el capítulo 3 se especifican los datos que deben suministrarse para cada actividad

desarrollada con indicación del uso que les está asociado, así como de la entidad responsable de su suministro [15].

Cada dato que deberá proporcionar las entidades gestoras debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar de acuerdo con la definición establecida por la autoridad reguladora;
- Referirse al período de tiempo a que corresponde la evaluación;
- Referirse a la zona geográfica de intervención de la entidad gestora para el servicio en análisis.

Para el caso de Ecuador, la autoevaluación de la prestación de servicios públicos de agua potable y/o saneamiento la realizarán los prestadores públicos y comunitarios en base a los indicadores descritos en la regulación nacional.

*Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*

Caso de estudio: EP-EMAPA-A

Capítulo 3

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

3. Capítulo 3: Caso de estudio

3.1 Introducción

Ecuador, por encontrarse ubicado entre la vertiente amazónica y la cordillera de los Andes, es poseedor de un gran potencial hídrico, motivo por el cual existe abundancia de agua en época de lluvia, misma que es almacenada para abastecer a la población en época de estiaje. A pesar de esta situación, la distribución del recurso no es equitativa para todos. En el territorio continental existen coberturas de servicio de agua vía red pública entre el 53% para la región amazónica, 82% para la región sierra; las zonas delimitadas, con población esencialmente rural, son las más desfavorecidas presentando una cobertura de 23% para servicio de agua vía red pública. La región Insular mantiene una cobertura de 83%, encontrándose por encima de la región Sierra y finalmente, la Costa presenta un nivel de cobertura intermedio de 66%.

Durante los últimos años, en el país se han establecido estrategias direccionadas a solventar las necesidades básicas insatisfechas de la población en el aspecto saneamiento, y la preocupación por preservar y gestionar más eficientemente los recursos naturales se ha convertido en una política pública. Por este motivo, a partir del año 2014 se crea la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), con el objeto de regular los parámetros e indicadores para la evaluación y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento en el territorio nacional, respondiendo a los principios de obligatoriedad, generalidad, eficiencia, accesibilidad, continuidad y calidad. Con el surgimiento de esta entidad se expiden también una serie de indicadores de desempeño, adaptados a la realidad de las empresas de agua del país. Actualmente, es deber de las entidades gestoras de agua potable y saneamiento, emitir los resultados del primer proceso de autoevaluación de sus operaciones para generar una base de datos nacional y posteriormente la discusión de estos resultados entre la entidad reguladora nacional y las entidades gestoras.

Dentro de este contexto, el caso de estudio de la presente investigación es la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP-EMAPA-A), entidad encargada, entre otras actividades, de la producción y distribución del líquido vital a la población de la ciudad. Para efectos de control en la distribución, se ha dividido al sistema

general en varios subsistemas menores, siendo el objeto de este trabajo el Subsistema Tilulún, que abastece a la zona centro de la Ambato con cerca de 62875 habitantes (12575 cuentas registradas). Según los resultados del estudio en el periodo 2013 - 2017, se registra el incremento progresivo del volumen de agua no facturada durante los últimos 3 años, con un porcentaje promedio de 45,80%. El porcentaje de agua facturada se ve reducido de 70,09% en 2014 a 51,62% en 2017, situación que implica menor recaudación de recursos para la empresa. A partir de esta realidad surge la necesidad de, en primer lugar, evaluar la gestión del servicio prestado, y en segundo lugar, tomar las medidas necesarias para reducir el volumen de agua no facturada, mejorando el desempeño global del sistema.

3.2 Caracterización general del sistema de abastecimiento público de agua

El sistema general que contiene el caso de estudio de esta investigación se encuentra en el cantón Ambato, el cual está ubicado en el centro del país en la provincia de Tungurahua (figura 11).

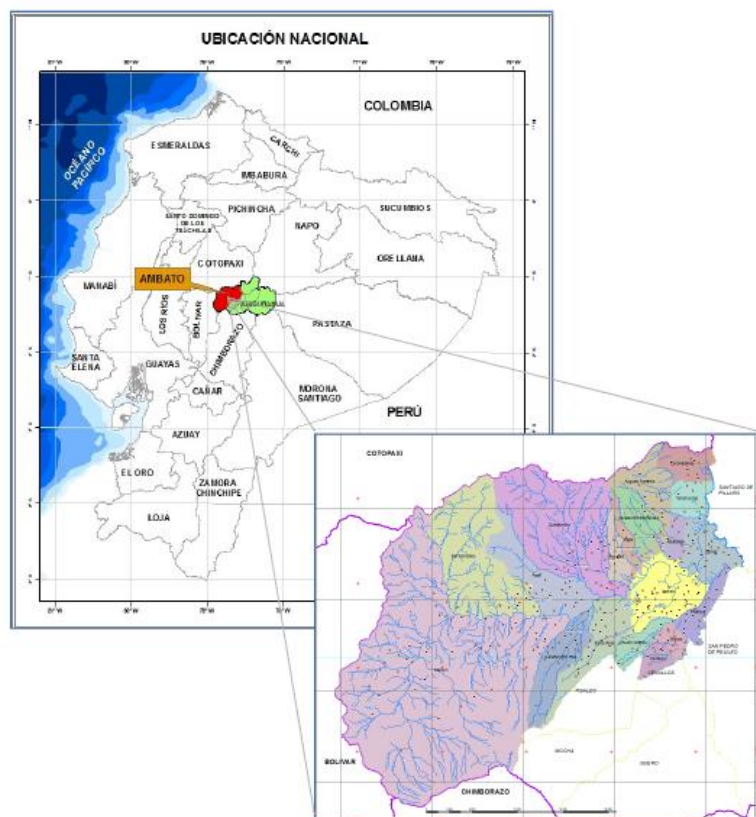


Figura 11. Ubicación del cantón Ambato, tomado del PDOT 2016 [30]

Geográficamente está ubicado entre las siguientes coordenadas:

COORDENADAS		
	Universal Transversal Mercator (UTM) WGS84 Zona 17S	Geográficas
Norte	9877232 m	1°62'38.34"
Sur	9837257 m	1°28'20.25"
Oeste	729310 m	78°56'20.77"
Este	774123 m	78°32'11.69"

Tabla 11. Ubicación geográfica cantonal, tomado de PDOT 2016 [30]

Se encuentra limitado por las siguientes jurisdicciones político-administrativas:

- Norte: Provincia de Cotopaxi
- Sur: Provincia de Chimborazo
- Este: Cantones: Píllaro, Pelileo, Cevallos, Tisaleo y Mocha (Provincia de Tungurahua)
- Oeste: Provincia de Bolívar

Según el último censo de 2010, la ciudad de Ambato posee una población de 329.856 habitantes, distribuidos en las áreas urbana y rural según la siguiente tabla:

Población	Area Urbana	Area Rural	Total
Número	165.185	164.671	329.856
Porcentaje	50,08%	49,92%	100,00%

Tabla 12. Población por área urbano / rural del cantón Ambato, tomado de PDOT 2016 [30]

Aspectos generales del cantón¹

- En Ambato generalmente existe una predominancia de temperatura comprendida entre 13,3°C y 14,7°C. Las temperaturas que van desde los 10 a 16°C son las que dominan el área con aproximadamente 43507 hectáreas, que representa el 39% del área total del cantón.
- La pendiente es la variable más importante en la susceptibilidad a la erosión de suelos del Cantón Ambato, ya que un evento de lluvia anormal puede causar grandes movimientos de suelo pendiente abajo.
- Referente al clima, debe mencionarse que los tres pisos ecológicos principales que dominan el área de acuerdo a la clasificación por altura son: andino (> 3600 m), subandino (3200 – 3600 m) e interandino (2800 – 3200m).

¹ Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2016 del Cantón Ambato.

- En cuanto a la precipitación, esta va de 412 milímetros (mm) hasta precipitaciones mayores a 675 mm, por esta razón la posibilidad de establecimiento de cultivos dependerá de la existencia de un adecuado balance hídrico.
- La evaporación real anual, alcanza a 2605 mm, provocando un déficit de agua durante todos los meses del año, causa por la cual esta región se establece como una zona bastante seca, factor que acelera los procesos erosivos en el sector.

Agua para consumo humano²

De acuerdo a datos proporcionados por los profesionales de la EP-EMAPA-A, el principal vaso de regulación que abastece de agua a la ciudad de Ambato es la represa “Chiquihurco”, además toma agua de otras fuentes como el río Ambato, pozos subterráneos y vertientes subterráneas. Aproximadamente la cantidad de agua tratada que consume la ciudad es de 2521927 m³/año.

La Presa Mulacorral, es utilizada para dotar de agua de riego a las parroquias rurales de la ciudad, además que es la principal fuente de agua para el canal Ambato – Huachi – Pelileo. La presa cuenta con una capacidad de almacenamiento de 3 millones de metros cúbicos.

La ciudad de Ambato actualmente es abastecida por acción de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EP-EMAPA-A), cuya historia se remonta 50 años atrás, como la institución encargada de “dotar servicios de agua potable y alcantarillado, según el Plan de Ordenamiento Territorial de Ambato, y participar en el control de las cuencas hidrográficas aprovechables para la protección de los ecosistemas productores de recursos hídricos” [31].

Entre los años 1967 a 1970 se creó el Departamento de Agua Potable y Alcantarillado que dependía directamente del Municipio. La EP-EMAPA-A inició su trabajo en beneficio de la colectividad con limitados recursos económicos. Realizó estudios de fuentes de captación y conducción, tanto superficial como subterránea, para cubrir la creciente demanda de agua potable. En un principio se suministró el servicio de líquido vital a un pequeño sector del centro de la ciudad. Posteriormente, con la idea clara de la importancia de los servicios básicos para el desarrollo de la ciudad y para precautelar la salud de los habitantes, teniendo como base la experiencia obtenida al transcurrir los años, se inició con una serie de estudios,

² Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2016 del Cantón Ambato.

planes y proyectos para extender estos servicios de acuerdo al crecimiento poblacional. EP-EMAPA-A alcanza su autonomía definitiva el 21 de julio de 2010, y a partir de esta fecha se viene desarrollando como empresa pública con personería jurídica de derecho público con autonomía administrativa, operativa, financiera y patrimonial [31].

En la actualidad, la empresa ha dividido al sistema global de abastecimiento de agua en 3 zonas (sistemas), mismos que a su vez están fraccionados en sistemas menores. La tabla 13 indica los nombres de los sistemas, los caudales de producción, los caudales facturados y el índice anual no contabilizado (IANC), según la recolección de datos de la entidad.

SISTEMAS	PRODUCCIÓN	FACTURACIÓN	IANC
ZONA CENTRO			
Troya (Tilulún)	571614	303367	43,00%
Ficoa	73961	38926	47,40%
Panimboza	189505	103554	45,40%
Quriquingue	136575	87850	35,70%
Planta del Casigana + Apatug	758548	540353	28,80%
Subtotal Producción Zona Centro	1690351 m³/año	1074050 m³/año	36,50%
ZONA NORTE			
Socavón San Luis	153900	117317	23,80%
La Península	33508	21555	35,70%
Quillán Alemania	308617	176717	42,70%
Subtotal Producción Zona Norte	496025 m³/año	315589 m³/año	36,40%
ZONA SUR			
Terremoto La Joya	161768	86200	46,70%
Santa Rosa	44586	27075	39,30%
Huachi Grande	76795	28504	62,90%
Pilahuín	11750	3733	68,20%
Red Techo Propio 200	40652	28811	29,10%
Subtotal Producción Zona Sur	335551 m³/año	174323 m³/año	48,00%

*Tabla 13. Sistemas de distribución de agua de la ciudad de Ambato
Proporcionado por el departamento de Operación y Mantenimiento de la EP-EMAPA-A*

3.3 Descripción del sistema

Dentro de la presente investigación se hace referencia al sistema Troya o Tilulún, por ser uno de los sistemas más antiguos de la ciudad, por poseer un porcentaje de producción de agua y un índice de agua no contabilizada (IANC) muy representativos. Además existe el interés por parte de la empresa de evaluar el subsistema en estudio para conocer las medidas que pueden emplearse con el objeto de reducir el índice de pérdidas de agua y mejorar la calidad del servicio prestado en la zona centro de la ciudad.

La figura 12 muestra el conjunto de áreas abastecidas por el sistema de distribución de Troya. La zona posee un área de 370 hectáreas aproximadamente y está delimitada por la línea verde. El sistema abarca zonas de gran importancia para la ciudad como el casco central

y comercial, el Hospital Regional Docente Ambato, el terminal terrestre, cementerio municipal, estación de bomberos, centro histórico de la ciudad y varias zonas residenciales y hoteleras. El número máximo de pisos que existe en la zona es 19 que pertenecen al edificio de la Asociación de empleados. Las figuras 13 y 14, indican las características del área de estudio.

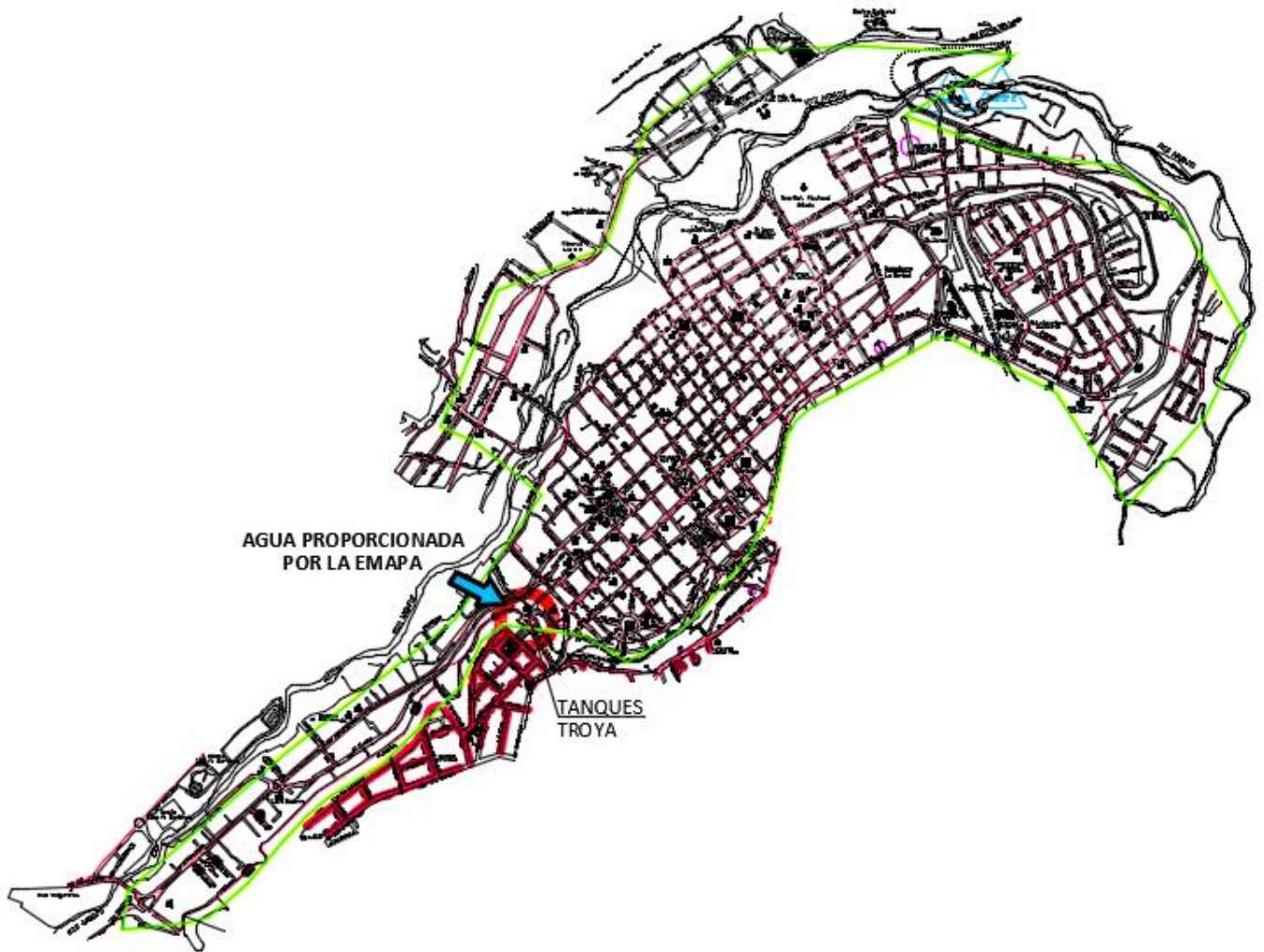


Figura 12. Sistema de distribución Troya (Tilulín).



Figura 13. Características de la zona: Residencial (izquierda) y comercial (derecha)



Figura 14. Edificio de la Asociación de empleados.

Mediante la producción de 571614 m³/año, se abastece de agua a 62875 habitantes (12575 cuentas registradas), ubicados en la zona centro de la ciudad de Ambato. El agua proviene de las vertientes de Tilulún, vertiente de Santa Rosa y las fuentes de Alajua.

Dentro del sistema Troya existen tres tanques reservorios con una capacidad de almacenamiento de 1000 m³ cada uno (figura 15). La edad aproximada de los reservorios es de 30 años. El material de construcción es hormigón armado, y se encuentran ubicadas en la calle Toya, coordenadas 763520.00 m E, 9862143.00 m S, a una altura de 2609 metros sobre el nivel del mar. Tanto a la entrada como a la salida de estos tanques existen macromedidores para medir los caudales de ingreso y caudales de salida del sistema Troya. En total se han ubicado 2 macromedidores a la entrada de los tanques y 2 macromedidores a la salida. Existe una Válvula Reductora de Presión al ingreso de los tanques, cuya función es disminuir la presión del agua de llegada. Las lecturas de los macromedidores las registra el Departamento de Operación y Mantenimiento de la EP-EMAPA-A todos los días, cada hora por medio de un funcionario de la empresa que trabaja y pernocta en las instalaciones de los tanques. Las lecturas de los micromedidores (puntos de consumo) son realizadas por empleados de la empresa que se movilizan de predio en predio registrando el caudal utilizado por los propietarios del bien inmueble, una vez por mes.



Figura 15. Tanques reservorios del sistema Troya

Dentro del sistema existen redes de distribución conformadas por diferentes tipos de materiales según el tiempo de existencia de las mismas. Existen tuberías de asbesto (cemento con un diámetro máximo de 100 mm), hierro fundido (diámetro máximo de 300 mm) y policloruro de vinilo o PVC. Las tuberías de mayor edad son las que ingresan a los tanques. Sin embargo, en la actualidad, cuando se realizan proyectos de reparación, mantenimiento o reinstalación de tuberías se reemplazan con conductos de PVC.

No se conoce de prácticas para gestión de la presión en el sistema mediante válvulas reductoras de presión.

Además, el sistema incluye válvulas de seccionamiento manual en varios puntos de la red, para el aislamiento de tuberías, evitando así el cierre de grandes extensiones de tubería en caso de las operaciones de limpieza, desinfección y reparación de roturas. En los puntos de cotas más elevados existen ventosas con el objeto de facilitar la salida del aire acumulado en la red, y descargas de fondo en los puntos de cota más bajos, para facilitar el cierre de las tuberías en las operaciones de limpieza, desinfección y reparación de roturas. Existen bocatomas contraincendios ubicadas en todo el centro de la ciudad.

3.4 Metodología

La metodología aplicada en este estudio tiene como objeto evaluar la calidad del servicio prestado por la EP-EMAPA-A, de tal forma que se puedan identificar las soluciones

a corto y a mediano plazo para mejorar el desempeño global del servicio prestado, específicamente en el sistema Troya.

Además, se pretende priorizar los diferentes tipos de intervenciones en el sistema que vayan a ser necesarios para mejorar la calidad del servicio prestado.

3.4.1 Evaluación de la calidad del servicio prestado

3.4.1.1 Balance Hídrico Anual

Con el objetivo de calcular la magnitud y evolución del agua no facturada (pérdidas comerciales) y sus componentes en relación al caudal registrado a la entrada del sistema, se realizó el cálculo del Balance Hídrico Anual para los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017, utilizando la metodología recomendada por la IWA y descrita en el capítulo 2. Para tal efecto se recurrió a los registros del volumen total de agua a la entrada del sistema y del volumen de consumo autorizado (y sus componentes), proporcionados por el Departamento de Operación y Mantenimiento de la EP-EMAPA-A. El volumen de agua registrado a la entrada del sistema se obtuvo a partir de los registros de los caudales mensuales medidos por los macromedidores en los tanques de almacenamiento Troya. El volumen de agua medido facturado se obtuvo a través de los registros del Departamento de Facturación. En relación al volumen de agua facturado no medido (consumidores sin contador, riego de espacios verdes, lavado de calles, entre otros) el Departamento de Operación y Mantenimiento posee los registros mensuales en metros cúbicos como un valor estimado. Finalmente los volúmenes de agua mensuales destinados al consumo medido no facturado (consumo propio: planta de tratamiento, tanques de almacenamiento; consumos públicos: operaciones técnicas, hidrantes, lavado de plantas, lavado de tanques) son registrados por el Departamento de Operación y Mantenimiento.

En las tablas 14 a 19 se muestran los resultados obtenidos para el servicio prestado por la EP-EMAPA-A, referente al abastecimiento de agua a la población, riego de espacios verdes y otros servicios. La distribución se realiza únicamente mediante la red pública.

A	B	C	D	E	
BALANCE HÍDRICO					
Agua que ingresa en el sistema (m ³ /año) 650592 100%	Consumo Autorizado (m ³ /año) 458364	Consumo autorizado facturado (m ³ /año) 444408	Consumo facturado medido (m ³ /año) 432864 66,53%	Agua facturada (m ³ /año) 444408 68,31%	
		68,31%	Consumo facturado no medido (m ³ /año) 11544 1,77%		68,31%
			Consumo autorizado no facturado (m ³ /año) 13956 2,15%		
	Pérdidas de agua (m ³ /año) 192228 29,55%	Pérdidas aparentes (m ³ /año) ¿	Consumo no autorizado (m ³ /año) ¿	Agua no facturada (pérdidas comerciales) (m ³ /año) 206184 31,69%	
			¿		Pérdidas de agua por errores de medición (m ³ /año) ¿
		Pérdidas reales (m ³ /año) ¿	Fugas en las tuberías de conducción o de distribución (m ³ /año) ¿		
			Fugas y extravasación en los reservorios de conducción o distribución (m ³ /año) ¿		
			Fugas en los ramales de unión (m ³ /año) ¿		

Tabla 14. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2013, metodología de la IWA

A	B	C	D	E	
BALANCE HÍDRICO					
Agua que ingresa en el sistema (m ³ /año) 658368 100%	Consumo Autorizado (m ³ /año) 486072	Consumo autorizado facturado (m ³ /año) 470568	Consumo facturado medido (m ³ /año) 461376 70,08%	Agua facturada (m ³ /año) 470568 71,47%	
		71,47%	Consumo facturado no medido (m ³ /año) 9192 1,40%		71,47%
	73,83%	Consumo autorizado no facturado (m ³ /año) 15504	Consumo no facturado medido (m ³ /año) 15504 2,36%	Consumo no facturado no medido (m ³ /año) ¿	Agua no facturada (pérdidas comerciales) (m ³ /año) 187800 28,53%
			2,36%		
	Pérdidas de agua (m ³ /año) 172296 26,17%	Pérdidas aparentes (m ³ /año) ¿	Pérdidas de agua por errores de medición (m ³ /año) ¿	¿	
			¿		
		Pérdidas reales (m ³ /año) ¿	Fugas en las tuberías de conducción o de distribución (m ³ /año) ¿	¿	
	Fugas y extravasación en los reservorios de conducción o distribución (m ³ /año) ¿				
	Fugas en los ramales de unión (m ³ /año) ¿	¿	¿		

Tabla 15. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2014, metodología de la IWA

A	B	C	D	E		
BALANCE HÍDRICO						
Agua que ingresa en el sistema (m ³ /año)	Consumo Autorizado (m ³ /año)	Consumo autorizado facturado (m ³ /año)	Consumo facturado medido (m ³ /año)	Agua facturada (m ³ /año)		
		315024	305856 56,19%	315024		
	325284	57,87%	Consumo facturado no medido (m ³ /año)	Consumo no facturado medido (m ³ /año)	Consumo no facturado no medido (m ³ /año)	
		59,76%	10260 1,89%	10260 1,89%	10260 1,89%	
	544320 100%	Pérdidas de agua (m ³ /año)	Pérdidas aparentes (m ³ /año)	Consumo no autorizado (m ³ /año)	Agua no facturada (pérdidas comerciales) (m ³ /año)	
			¿	¿		¿
	219036 40,24%	Pérdidas reales (m ³ /año)	¿	Pérdidas de agua por errores de medición (m ³ /año)		229296 42,13%
			¿	¿		¿
			¿	Fugas en las tuberías de conducción o de distribución (m ³ /año)		¿
			¿	Fugas y extravasación en los reservorios de conducción o distribución (m ³ /año)		¿
			Fugas en los ramales de unión (m ³ /año)	¿		

Tabla 16. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2015, metodología de la IWA

A	B	C	D	E	
BALANCE HÍDRICO					
Agua que ingresa en el sistema (m ³ /año)	Consumo Autorizado (m ³ /año) 330984	Consumo autorizado facturado (m ³ /año) 320712	Consumo facturado medido (m ³ /año) 300672 54,72%	Agua facturada (m ³ /año) 320712 58,36%	
		58,36%	Consumo facturado no medido (m ³ /año) 20040 3,65%		
	60,23%	Consumo autorizado no facturado (m ³ /año) 10272	Consumo no facturado medido (m ³ /año) 10272 1,87%	Agua no facturada (pérdidas comerciales) (m ³ /año) 228792 41,64%	
		1,87%	Consumo no facturado no medido (m ³ /año) 0		
	549504 100%	Pérdidas de agua (m ³ /año) 218520 39,77%	Pérdidas aparentes (m ³ /año) ¿		Consumo no autorizado (m ³ /año) ¿
			¿		Pérdidas de agua por errores de medición (m ³ /año) ¿
Pérdidas reales (m ³ /año) ¿		Fugas en las tuberías de conducción o de distribución (m ³ /año) ¿			
¿	Fugas y extravasación en los reservorios de conducción o distribución (m ³ /año) ¿				
¿	Fugas en los ramales de unión (m ³ /año) ¿				

Tabla 17. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2016, metodología de la IWA

A	B	C	D	E	
BALANCE HÍDRICO					
Agua que ingresa en el sistema (m ³ /año)	Consumo Autorizado (m ³ /año)	Consumo autorizado facturado (m ³ /año)	Consumo facturado medido (m ³ /año)	Agua facturada (m ³ /año)	
		299124	290304 50,79%	299124	
	306852	52,33%	Consumo facturado no medido (m ³ /año)	52,33%	
		53,68%	8820.00 1,54%	8820.00 1,54%	
	571614 100%	Consumo autorizado no facturado (m ³ /año)	7728	Consumo no facturado medido (m ³ /año)	Agua no facturada (pérdidas comerciales) (m ³ /año)
			1,35%	7728 1,35%	
	Pérdidas de agua (m ³ /año)	Pérdidas aparentes (m ³ /año)	Consumo no facturado no medido (m ³ /año)	272490 47,67%	
		¿	¿		
	264762 46,32%	Pérdidas reales (m ³ /año)	Consumo no autorizado (m ³ /año)	272490 47,67%	
			¿		
¿			¿		
		Fugas en las tuberías de conducción o de distribución (m ³ /año)	¿		
		¿	¿		
		Fugas y extravasación en los reservorios de conducción o distribución (m ³ /año)	¿		
		¿	¿		
		Fugas en los ramales de unión (m ³ /año)	¿		
		¿	¿		

Tabla 18. Balance hídrico anual EP-EMAPA-A 2017, metodología de la IWA

CONCEPTO (m ³ /año)	AÑOS
--------------------------------	------

	2013	2014	2015	2016	2017
Agua que ingresa en el sistema	650592	658368	544320	549504	571614
	100%	100%	100%	100%	100%
Consumo Autorizado	458364	486072	325284	330984	306852
	70,45%	73,83%	59,76%	60,23%	53,68%
Agua facturada (consumo autorizado facturado)	444408	470568	315024	320712	299124
	68,31%	71,47%	57,87%	58,36%	52,33%
Consumo autorizado no facturado	13956	15504	10260	10272	7728
	2,145%	2,355%	1,885%	1,869%	1,352%
Consumo autorizado facturado medido	432864	461376	305856	300672	290304
	66,53%	70,08%	56,19%	54,72%	50,79%
Consumo autorizado facturado no medido	11544	9192	9168	20040	8820
	1,77%	1,39%	1,68%	3,65%	1,54%
Consumo autorizado no facturado medido	13956	15504	10260	10272	7728
	2,15%	2,35%	1,89%	1,87%	1,35%
Consumo autorizado no facturado no medido	0	0	0	0	0
	0%	0%	0%	0%	0%
Agua no facturada (pérdidas comerciales)	206184	187800	229296	228792	272490
	31,69%	28,53%	42,13%	41,64%	47,67%
Pérdidas (reales + aparentes)	192228	172296	219036	218520	264762
	29,55%	26,17%	40,24%	39,77%	46,32%

Tabla 19. Resumen del Balance hídrico anual de EP-EMAPA-A

El cálculo del balance hídrico anual es un indicador de desempeño sencillo de implementar y cuyos resultados permiten obtener información relevante para la entidad gestora, normalmente en lo que se refiere al porcentaje de cada una de las componentes del consumo y de las pérdidas de agua en relación al caudal total registrado a la entrada del sistema [32]. A continuación se indican en gráficos los resultados de balance hídrico anual expuestos en las tablas anteriores.

- De los componentes de balance hídrico - agua que ingresa en el sistema, agua facturada, agua no facturada (pérdidas comerciales) se puede deducir que del total de agua que ingresa al sistema en 2017, el 52,33% es agua facturada, mientras que el 47,67% corresponde al agua no facturada. Durante el periodo de análisis (2013-2017) se observa que el volumen de agua facturada va en descenso - 444408 m³ en 2013 a 299124 m³ en 2017 - por lo tanto el volumen de agua no facturada incrementa - 206184 m³ en 2013 a 272490 m³ en 2017 (figura 17).
- De acuerdo al concepto de indicadores de desempeño, se pueden comparar los indicadores nacionales con otros a nivel internacional debido a que son valores

adimensionales o expresados en tanto por ciento (%). Según este criterio, se observa que dentro del sistema de indicadores de desempeño de Portugal, existe un rango de valores que permite ubicar la calidad del servicio de la empresa en buena, mediana o insatisfactoria. El porcentaje de agua no facturada de acuerdo al balance hídrico de año 2017 es 47,67% y si se lo ubica dentro de los rangos observados en la figura 16, se deduce que la calidad del servicio es insatisfactorio, sin embargo se pueden tomar medidas para corregir esta situación.

AA08ab – Água não faturada (%)		
Percentagem de água entrada no sistema que não é faturada.		
AA08ab = dAA53ab / dAA41ab × 100		
dAA41ab – Água entrada no sistema (m ³ /ano)		
dAA53ab – Água não faturada (m ³ /ano)		
Valores de referência para sistemas em	alta	baixa
Qualidade do serviço boa	[0,0; 5,0]	[0,0; 20,0]
Qualidade do serviço mediana]5,0; 7,5]]20,0; 30,0]
Qualidade do serviço insatisfatória]7,5; 100]]30,0; 100]
Código IWA: Fi46	Código ERSAR anterior: AA08ab	

Figura 16. Agua no facturada. Sistema de Indicadores de desempeño de Portugal [15] (los valores considerados son para sistemas en baja – en portugués: baixa)

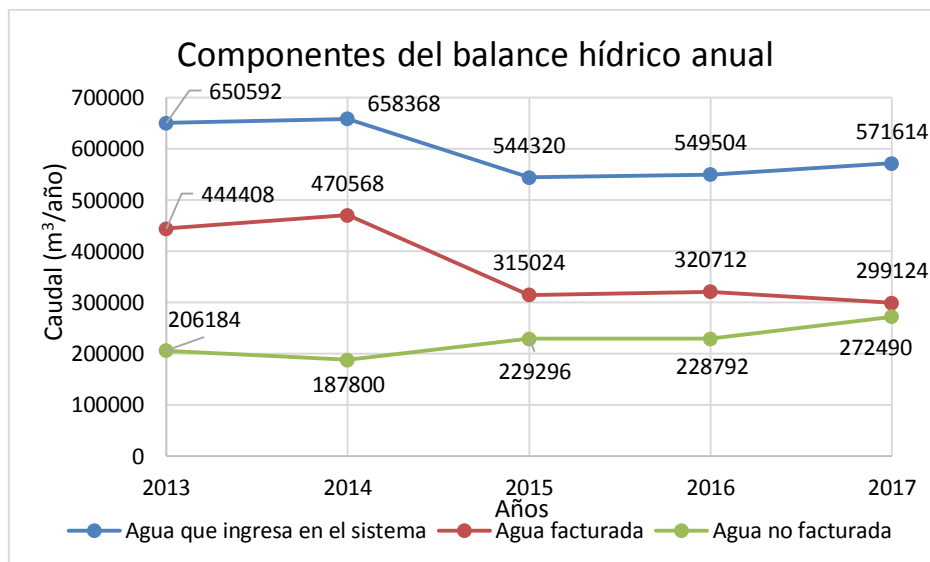


Figura 17. Agua que ingresa en el sistema, agua facturada, agua no facturada (m³/año)

- Respecto al consumo autorizado facturado se observa una disminución en su volumen durante el periodo de análisis; mientras que volumen de consumo autorizado no facturado se mantiene en valores bajos respecto al consumo total y progresivamente va

disminuyendo. La reducción del volumen de agua no facturada se debe a que actualmente algunas instalaciones del sistema Troya no se encuentran en funcionamiento tales como la planta de tratamiento y la estación de bombeo Miraflores. El agua de consumo autorizado corresponde a la suma de los volúmenes del consumo autorizado facturado y consumo autorizado no facturado (figura 18).

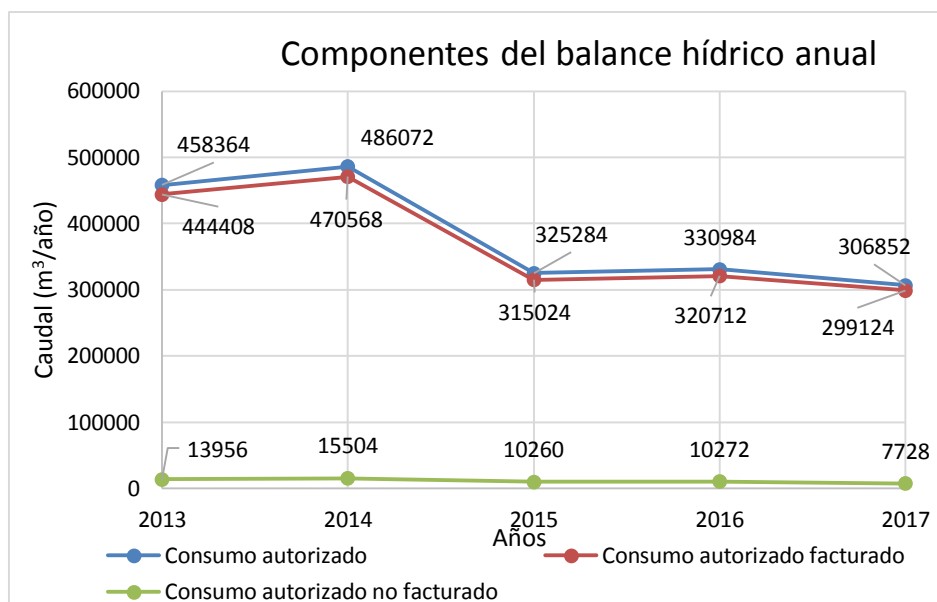


Figura 18. Consumo autorizado, consumo autorizado facturado, consumo autorizado no facturado (m³/año)

- El volumen de consumo autorizado facturado medido que corresponde al agua que efectivamente es distribuida y cobrada por la empresa posee valores en descenso durante el periodo de análisis. Según la tabla 19, del total de agua que ingresa en el sistema este consumo corresponde al 66,53% del volumen total para 2013 y 50,79% para 2017. El consumo autorizado facturado no medido que corresponde a cuentas provisionales sin contador, riego de espacios verdes y otros consumos, registra volúmenes entre 1,77% para 2013, 1,39% para 2014 y 1,68% en 2015. El valor más elevado fue registrado en 2016 con 3,65% (debido a un mayor requerimiento de agua potable en la zona y al incremento del número de usuarios sin contador) y más recientemente el valor registrado fue de 1,54% en 2017. El consumo autorizado facturado corresponde a la suma del consumo facturado medido y no medido (figura 19).

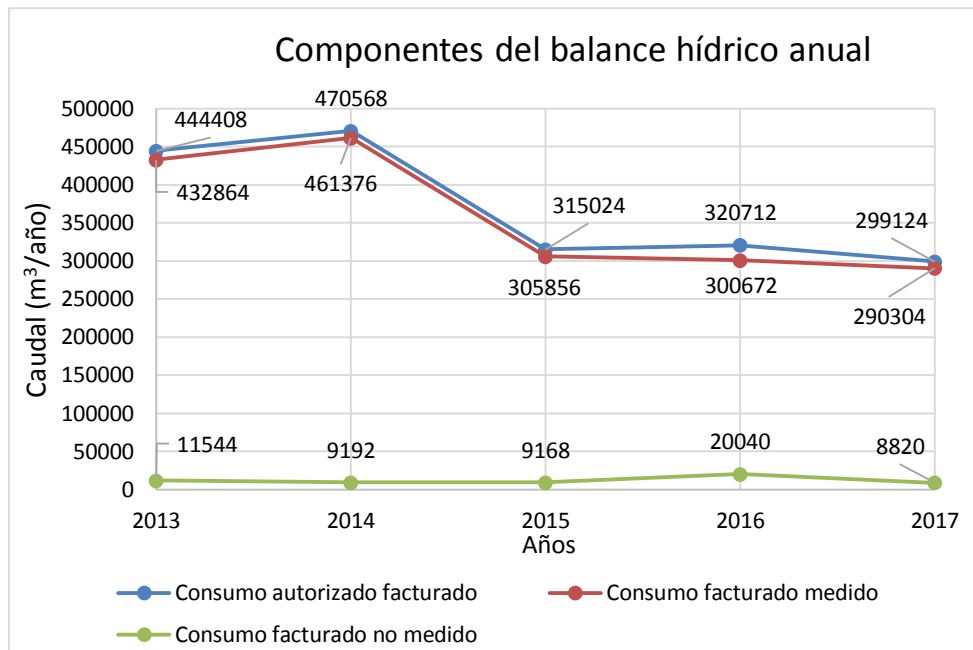


Figura 19. Consumo autorizado facturado, consumo facturado medido, consumo facturado no medido (m³/año)

- Las pérdidas (reales y aparentes) que registra la empresa durante el periodo de análisis van desde el 29,55% para 2013 a 46,32% para 2017, es decir que el volumen de pérdidas va en aumento. Los volúmenes de agua autorizada no facturada se mantienen en valores bajos y disminuye de 2,15% en 2013 a 1,35% en 2017. El volumen de agua no facturada (pérdidas comerciales) corresponde a diferencia del total de agua que ingresa en el sistema menos el consumo autorizado facturado, y estas pérdidas van de 31,69% en 2013 a 47,67% en 2017 (figura 20).

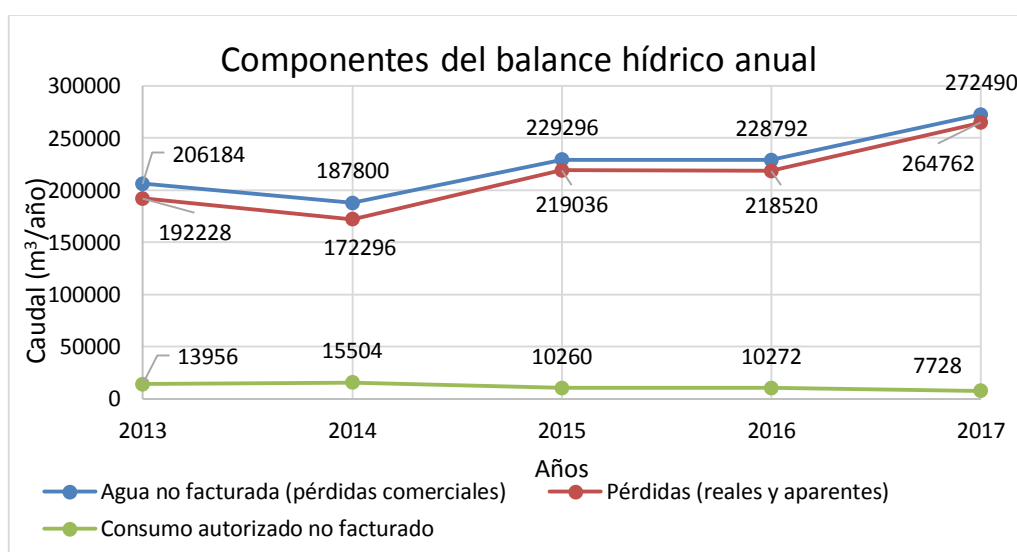


Figura 20. Agua no facturada, pérdidas (reales y aparentes), consumo autorizado no facturado (m³/año)

3.4.1.2 Índice de Infra estructura de Fugas (IIF)

De acuerdo con la metodología presentada en la sesión 2.6.2, a la continuación se muestra el cálculo del índice infraestructural de fugas.

Para el cálculo se utilizan los siguientes datos:

- Nr= 12.575 conexiones
- Horas de servicio= 24 horas
- L_d= 61,89 km

El cálculo de cada término se realiza considerando los valores estándar para la estimación de los componentes de las pérdidas de agua esperadas en las infraestructuras de distribución de agua cuando están bien gestionadas y en buen estado de conservación, establecidos en la tabla 6.

Componentes de la infra estructura

- Cálculo del componente de la red de distribución

$\alpha_d \times L_d =$

$$(20 \times 61,89 \times 24 \times 365) + (0,124 \times 61,89 \times (12 \times 1000) \times 24 \times 3) + (0,006 \times 61,89 \times (6 \times 1000) \times 24 \times 50)$$

$$\alpha_d \times L_d = 20147423 \text{ litros/año}$$

- Cálculo del componente del ramal de conexión (hasta el límite de la propiedad)

$\beta_r \times N_r =$

$$(1,25 \times 12.575 \times 24 \times 365) + (2,25 \times (12.575/1000) \times (1,6 \times 1000) \times 24 \times 8) + (0,75 \times (12.575/1000) \times (1,6 \times 1000) \times 24 \times 100)$$

$$\beta_r \times N_r = 182604090 \text{ litros/año}$$

El coeficiente N1 se considera como 1,15 según la literatura para sistemas con varios tipos de material en sus tuberías. La presión media (P_m) del sistema Troya es de 60 psi, lo que equivale a 42,21 m c.a. La presión de referencia (P_{ref}) es de 50 m c.a.

$$\text{PRIM (litros/día)} = (\alpha_d \times L_d + \beta_r \times N_r + \lambda_r \times L_r) \times \left(\frac{P_m}{P_{ref}} \right)^{N1}$$

Ec. 4

Aplicamos la ecuación 4 (Ec. 4) para determinar el PRIM y obtenemos el valor de Pérdidas Reales Inevitable medias igual a:

$$PRIM = (20147423 + 182604090) \times \left(\frac{42,21}{50}\right)^{1,15}$$

$$PRIM = 166869227 \text{ litros/año}$$

$$PRIM = 166869 \text{ m}^3/\text{año}$$

De acuerdo al balance hídrico de 2017, el valor de pérdidas reales es de 264762 m³/año

$$IFF = \frac{NAPR}{PRIM} = \frac{264762}{166869}$$

$$IFF = 1,5866 \approx 1,59$$

Una vez determinado el indicador IIF = 1,59 y al ubicarlo en la tabla anterior (Nivel A, rango de 1 – 4) para países en vías de desarrollo como lo es Ecuador, se puede indicar que la efectividad con que se lleva a cabo la gestión de las infraestructuras, la reparación de las fugas, el control activo de éstas y el control de la presión de operación es excelente y no requiere intervención específica en el sistema. Sin embargo, si se desea realizar alguna mejora en el sistema queda a criterio de los especialistas en gestión de fugas, ya que este indicador debe ser considerado como indicativo antes que riguroso. Ya que la presión promedio del sistema Troya es de 42,21 m, de la misma tabla se puede identificar que las pérdidas reales en litros/conexión/día se encuentran entre 200 y 250.

3.4.1.3 Indicadores de estructura del servicio e indicadores operativos utilizados en Ecuador

Según la normativa vigente en el Ecuador, Regulación No. DIR-ARCA-RG-003-2016 (Anexo 3) emitida por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), en el Capítulo III se establecen los parámetros e indicadores para la evaluación de desempeño y el diagnóstico de la prestación de servicios públicos de agua potable y/o saneamiento. De acuerdo al artículo 10, los parámetros son los datos y sus valores obtenidos en función de la información relativa a la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, que serán utilizados para caracterizar, evaluar la calidad y medir la gestión de la prestación de los servicios.

En el artículo 11 se definen los tipos de indicadores para la evaluación de desempeño y el diagnóstico de la prestación de servicios públicos de agua potable y/o saneamiento:

- *Indicadores de estructura del servicio* - Corresponden a indicadores que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar las condiciones de coberturas, personal e insumos utilizados en la prestación de los servicios de agua potable y/o saneamiento dentro de la respectiva área de cobertura del servicio³.
- *Indicadores operativos* - Corresponden a indicadores que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar las condiciones técnicas y de operación de los sistemas de agua potable y/o saneamiento.
- *Indicadores de calidad* - Son indicadores de primer orden que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar la calidad de la prestación de los servicios de agua potable y/o saneamiento dentro de la respectiva área de cobertura del servicio.
- *Indicadores de apoyo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados a la prestación comunitaria de los servicios de agua potable y/o saneamiento* - Corresponden a indicadores que permiten medir el apoyo técnico y financiero que realizan los Gobiernos Autónomos Descentralizados a las Juntas administradoras de agua potable para la mejora en la prestación de los servicios en las áreas rurales.
- *Indicadores económico-financieros* - Corresponden a indicadores que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar la facturación y cobranza así como la situación económica y financiera de un prestador de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.

Evaluación de la ARCA a la prestación de los servicios

En el artículo 17 de la misma ley, se muestran los indicadores que la ARCA considerará para la evaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento. Estos indicadores se indican en la tabla 20.

Tipo	Símbolo	Nombre
Operativo	EUAP	Eficiencia en el uso de agua potable
Calidad del servicio	NCA _B	Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable
	NCA _{FQ}	Nivel de conformidad en análisis físico-químico para agua potable
Económico-Financiero	IR	Índice de recaudación
	EIT	Egresos totales respecto de los ingresos totales

Tabla 20. Indicadores de evaluación ARCA [29]

³ El área de cobertura del servicio corresponde al polígono que define el área geográfica dentro de la cual el prestador de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento suministra o puede suministrar dichos servicios de acuerdo con la influencia o la cobertura de la infraestructura existente (DIR-ARCA-RG-003-2016).

Los criterios de calidad para la evaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y saneamiento considerados por la ARCA son los niveles de desempeño que se encuentran en función de los indicadores anteriormente señalados y se indican en la tabla 21.

La evaluación de la prestación de servicios públicos de agua potable y saneamiento se realiza en base a los niveles de desempeño de los indicadores. Los diferentes niveles de desempeño de los indicadores descritos en la tabla 21 se determinan a partir de los rangos establecidos por la ARCA. Estos rangos se denominan de la siguiente forma:

- Rango I: Nivel alto de desempeño
- Rango II: Nivel medio de desempeño
- Rango III: Nivel bajo de desempeño

Tipo de prestador	Indicador	Niveles de desempeño		
		Rango I	Rango II	Rango III
Público	EUAP	$70\% < EUAP \leq 100\%$	$50\% < EUAP \leq 70\%$	$EUAP \leq 50\%$
	NCA_B	$NCA_B = 100\%$	$75\% \leq NCA_B < 100\%$	$NCA_B < 75\%$
	NCA_{FQ}	$NCA_{FQ} = 100\%$	$75\% \leq NCA_{FQ} < 100\%$	$NCA_{FQ} < 75\%$
	IR	$70\% \leq IR \leq 100\%$	$50\% < IR \leq 70\%$	$IR < 50\%$
	EIT	$EIT < 100\%$	$100\% \leq EIT \leq 125\%$	$EIT > 125\%$
Comunitario	EUAP	$70\% < EUAP \leq 100\%$	$50\% < EUAP \leq 70\%$	$EUAP \leq 50\%$
	NCA_B	$NCA_B = 100\%$	$75\% \leq NCA_B < 100\%$	$NCA_B < 75\%$
	IR	$70\% \leq IR \leq 100\%$	$50\% < IR \leq 70\%$	$IR < 50\%$
	EIT	$EIT < 100\%$	$100\% \leq EIT \leq 125\%$	$EIT > 125\%$

Tabla 21. Límites de los indicadores [29]

Los diferentes niveles de desempeño en la gestión del servicio se determinarán a partir de la evaluación de los indicadores de la tabla 21. Estos niveles se denominarán de la siguiente forma:

- Nivel alto: La gestión del servicio se encuentra dentro de niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera aceptable con un menor grado de intervención.
- Nivel medio: La gestión del servicio no se encuentra dentro de niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera en estado de alerta con un grado de intervención moderado.

- Nivel bajo: La gestión del servicio se encuentra dentro de niveles inaceptables de desempeño, dicha gestión se considera en estado de emergencia con un alto grado de intervención.

Evaluación de los parámetros de Estructura del servicio

En la tabla 22 se encuentran los resultados de los indicadores de desempeño de estructura del servicio e indicadores operativos del año 2017, los cuales permiten comprender de mejor manera la magnitud de las pérdidas de agua. Los resultados mostrados corresponden a la información oficial proporcionada por EP-EMAPA-A a la ARCA.

Tipo de indicador	Código	Nombre	Unidad	Resultados	Valor óptimo
ESTRUCTURA DEL SERVICIO	CSAP	Cobertura del servicio de agua potable	%	No definido	100%
	ETCap	Empleados totales por conexión de agua potable	Nº empleados / Nº conexiones	5,5	-
	FAC	Fuentes autorizadas para el uso de agua para consumo humano respecto de las fuentes totales	%	No definido	100%
	CMAP	Cobertura de micromedición de agua potable	%	100%	100%
	EMAP	Eficiencia del sistema de micromedición	%	100%	100%
	MOP ₀₋₅	Medidores menores a 5 años de edad respecto del total de medidores	%	43%	-
	MOP ₊₅	Medidores mayores a 5 años de edad respecto del total de medidores	%	58%	-
OPERATIVOS	VPR	Volumen de pérdidas de agua potable por Km de red	m ³ /km	350	-
	VAP	Volumen de agua potabilizada por conexión	m ³ /Nº conexiones	3358	-
	EUAP	Eficiencia en el uso de agua potable	%	59%	70% < EUAP ≤ 100%
	NCA _B	Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable	%	100%	100%
	NCA _{FQ}	Nivel de conformidad en análisis físico – químico para agua potable	%	100%	100%

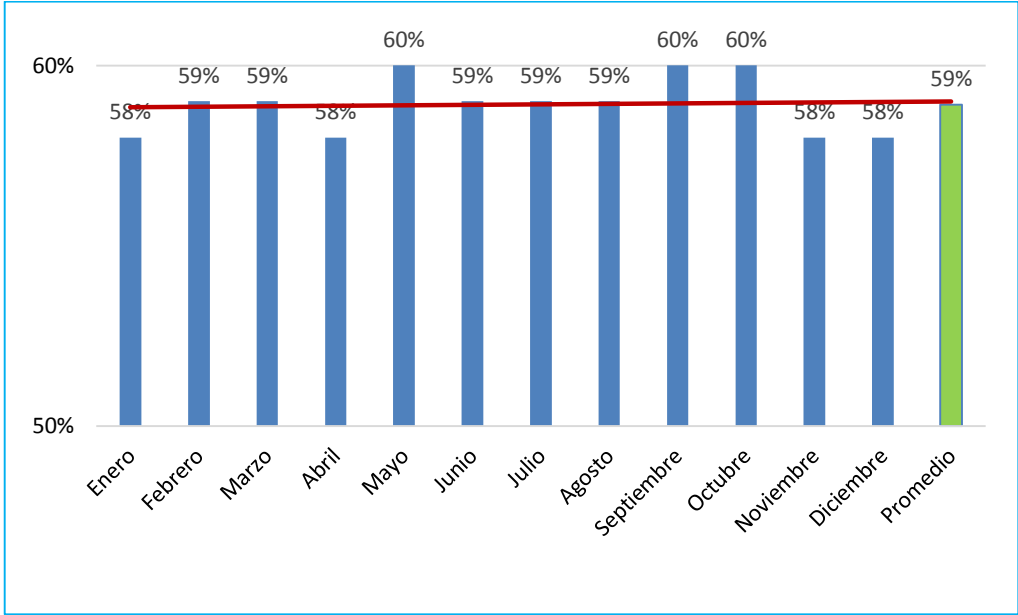
Tabla 22. Resultados del cálculo de los parámetros de la gestión del servicio.

De los parámetros analizados, la cobertura de micromedición de agua potable y la eficiencia del sistema de micromedición son iguales a los valores óptimos. El sistema de micromedición se refiere a que todos los micromedidores existentes en el caso de estudio

son leídos por parte de los empleados de la empresa. Para los parámetros restantes no existe un dato de comparación según la regulación, sin embargo la ARCA, cumpliendo la regulación 003 utiliza una herramienta de cálculo disponible en la página web de la institución⁴ para la autoevaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, en la cual los prestadores deben registrar los datos y valores requeridos como parámetros, y posteriormente se reflejan los valores de los indicadores de la autoevaluación de la prestación de servicios.

INDICADORES OPERATIVOS

- Eficiencia en el uso de agua potable (EUAP)



*Figura 21. Eficiencia en el uso de agua potable
Elaborado por: Unidad de Gestión de Calidad*

Considerando el intervalo de valores que la regulación No. 003, el indicador de Eficiencia en el uso de agua potable se encuentra en el Rango II, es decir que, la gestión del servicio no se encuentra dentro de niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera en estado de alerta con un grado de intervención moderado. La línea roja es una línea de tendencia que indica que la eficiencia en el uso del agua por parte de la empresa se ha mantenido alrededor del 59% para el año 2017.

⁴ <http://www.regulacionagua.gob.ec/nacional/>

INDICADORES DE CALIDAD DEL SERVICIO

- Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable (NCA_B)

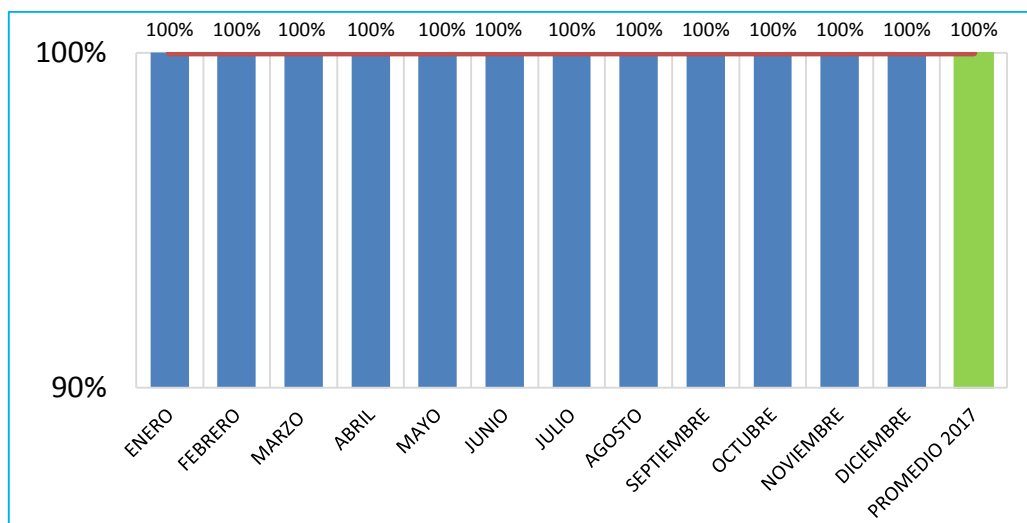


Figura 22. Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable 2017
Elaborado por: Unidad de Gestión de Calidad

De acuerdo al cuadro de evaluación de indicadores de la ARCA, el índice de nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable se encuentra dentro del *Rango I* ($NCA_B = 100\%$), es decir, que según el artículo 22 de la regulación No. DIR-ARCA-RG-003-2016, la gestión del servicio se encuentra dentro de los niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera aceptable con un menor grado de intervención. La línea de tendencia (línea roja) indica que el nivel de conformidad en los análisis bacteriológicos para el agua potable se ha encontrado siempre en el 100% durante el año 2017.

- Nivel de conformidad en análisis físico – químico para agua potable (NCA_{FQ})

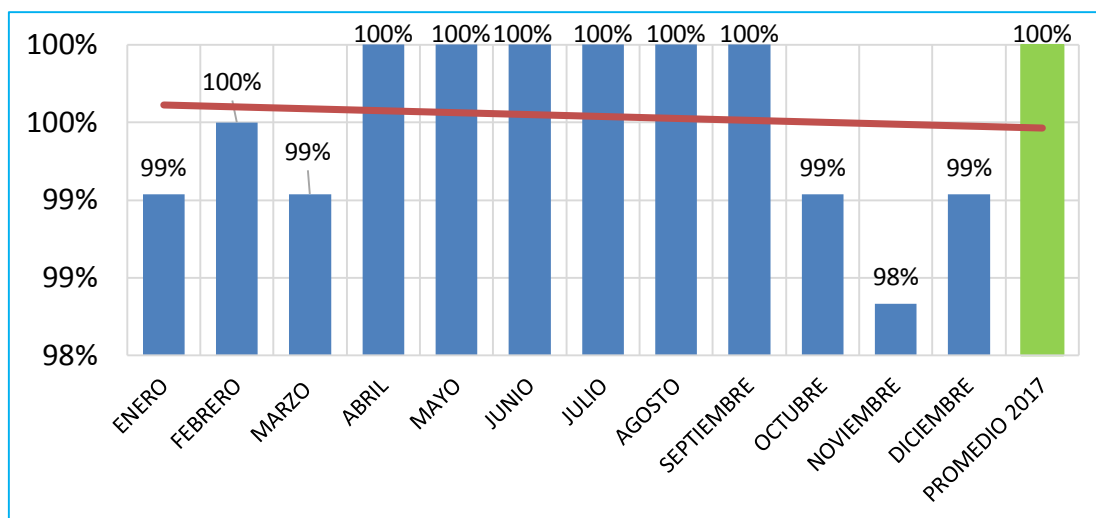


Figura 23. Nivel de conformidad en análisis físico – químico para agua potable 2017
Elaborado por: Unidad de Gestión de Calidad

Tal como indica la figura 23, el nivel de conformidad en el análisis físico – químico del agua potable para 2017 es en promedio igual al 100%, lo que según la regulación No. 003, este indicador se encuentra en el Rango I ($NCA_{FQ} = 100\%$) y en un nivel alto de desempeño. La línea de tendencia (línea roja) indica que el nivel de conformidad en el análisis físico químico del agua potable se encontró a la baja durante los tres últimos meses del año 2017, y que e promedio del año, este indicador se encuentra muy cerca del 99% de eficiencia.

*Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*

Benchmarking para la gestión de Pérdidas de Agua

Capítulo 4

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

4. Capítulo 4: Benchmarking para la gestión de pérdidas de agua

4.1 Gestión y exploración de sistemas de abastecimiento público de agua

Para brindar un servicio de calidad a los usuarios es importante que todos los componentes de los sistemas de abastecimiento público de agua tengan un adecuado funcionamiento y se encuentren siempre bajo el control de la empresa. Actualmente, con la escasez de agua y el crecimiento de la población en el último siglo, sobre todo en los centros urbanos, las entidades gestoras tienen varios contratiempos, entre los cuales están las pérdidas de agua en los sistemas de distribución, la degradación de las infraestructuras o las conexiones clandestinas. Estos contratiempos han imposibilitado el abastecimiento de agua potable de manera óptima a los consumidores. De ahí la necesidad de crear un nuevo abordaje para la gestión y exploración integrada de los recursos hídricos, de manera que se logren cumplir las metas estipuladas en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, donde se espera que las entidades competentes encuentren el equilibrio entre las políticas y las reformas institucionales que promuevan la mejoría del servicio de abastecimiento público de agua.

En este sentido, varias entidades gestoras del servicio de abastecimiento público de agua vienen implementando soluciones que permiten optimizar los recursos disponibles (recursos hídricos, financieros y humanos), permitiendo de esta forma alcanzar progresivamente altos índices de eficacia y eficiencia [32]. En la actualidad, uno de los principales desafíos para las entidades gestoras está relacionado con la reducción del valor global de las pérdidas (agua no facturada), causadas principalmente por las roturas que ocurren en los ramales de conexión y debido a las conexiones indebidas a la red. En este contexto, Ecuador, con la creación de la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) en 2014, intenta mejorar la gestión del servicio de abastecimiento público de agua potable a través de la aplicación de indicadores de desempeño de los prestadores del servicio para:

- Racionar la inversión de manera que ésta no supere los beneficios resultantes;
- Implementar buenas prácticas operacionales y de gestión.

En este sentido, la aplicación de Zonas de Medición y Control en el análisis del funcionamiento de la red (para determinar las zonas donde se registran los principales problemas de las pérdidas), la gestión de la presión (para garantizar la continuidad del suministro de agua con niveles adecuados de presión y la reducción de roturas debido al exceso de presión), la aplicación del balance hídrico (para tener una conciencia del valor global de las pérdidas) y los indicadores de desempeño (para hacer una comparación del rendimiento de las entidades gestoras), son algunas buenas prácticas que permiten la gestión y explotación de los sistemas de abastecimiento público de agua de forma más eficiente y eficaz [32].

4.1.1 Zonas de Medición y Control

Con vistas a la resolución integrada de los problemas existentes en la gestión y exploración de los sistemas de abastecimiento público de agua, como la optimización de los recursos disponibles, en una primera fase, la división del sistema integral de abastecimiento de agua potable en captación, tratamiento, conducción, almacenamiento y distribución, permite analizar individualmente cada componente del sistema y definir el tipo de intervención más adecuado, ya sean acciones preventivas y/o correctivas. Posteriormente, sabiendo que en la distribución es donde existe el mayor potencial de ganancia de eficiencia, dada la extensión y complejidad de las redes de distribución de agua, resulta imprescindible identificar a ese nivel cuáles son las causas de ineficiencia, definir prioridades, establecer objetivos estratégicos y evaluar los resultados de las medidas aplicadas [17]. De entre los diversos problemas identificados, la reducción del volumen total de pérdidas es, sin duda, el que tendrá mayor influencia en términos de ganancia de eficiencia para la mayoría de los prestadores del servicio. En este contexto, la aplicación de Zonas de Medición y Control (ZMC), sectorización del sistema en subsistemas de menor tamaño, puede aportar una excelente contribución para alcanzar estos objetivos. Este concepto se introdujo por primera vez en el Reino Unido en la década de 1980 y desde entonces se ha aplicado de forma más o menos empírica a través de innumerables Entidades Gestoras a nivel mundial [33].

Este método es muy utilizado en países como Inglaterra y Gales para cuantificar las pérdidas en las redes de distribución a través de dos métodos de cálculo basados en el balance hídrico y en la observación del comportamiento de los consumos: el método de los caudales totales y el método de los caudales nocturnos [33]:

- ✓ *El método de los caudales totales* se basa en la contabilización volumétrica del balance hídrico dentro de cada zona de medición, utilizando volúmenes de agua medidos durante un intervalo de tiempo, típicamente una semana, y restando de los volúmenes de agua afluente todos los volúmenes de agua salidos y conocidos, incluida una estimación del consumo. El resultado será el volumen de pérdidas en ese período, que deberá ser descompuesto en los componentes de pérdidas aparentes y de pérdidas reales.
- ✓ *El método de los caudales nocturnos* se basa en la observación del comportamiento del caudal durante las horas de menor consumo, que ocurren típicamente durante la noche, y durante las cuales es lícito suponer que una parte significativa (en general, la mayor parte) del caudal total si se desprende de pérdidas reales, esta fracción puede estimarse. Permite simultáneamente acompañar el comportamiento de los caudales nocturnos y detectar cualquier aumento súbito, que pueda eventualmente asociarse a una nueva fuga, con mayor claridad y prontitud [33].

Ambos métodos son útiles y complementarios. El primero es más útil para identificar prioridades de intervención dentro de la ZMC, el segundo es más adecuado en el ámbito de la monitorización continua o en campañas de corta duración. Sin embargo es recomendable combinar estos dos métodos para mejorar el nivel de conocimiento sobre pérdidas.

La figura 24 esquematiza las diferentes fases en que se divide el proceso de concepción e instalación de un sistema de medición zonificada.

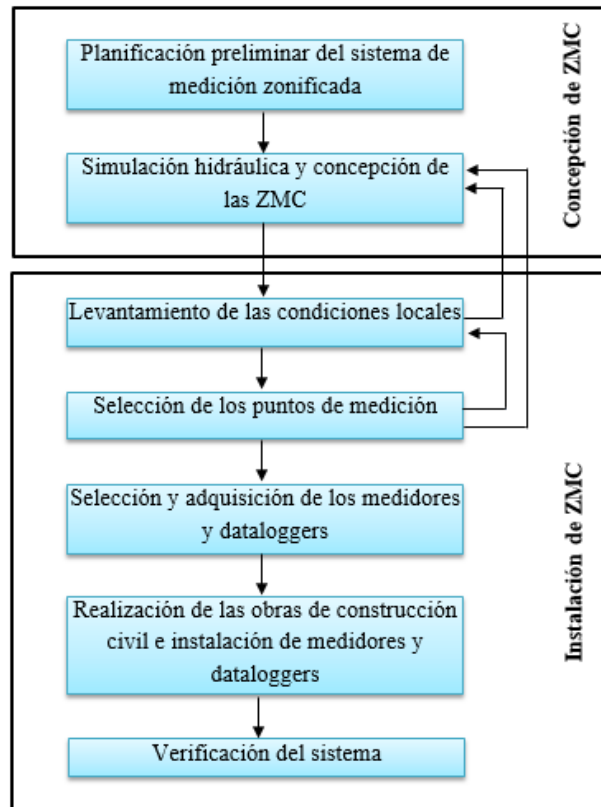


Figura 24. Fases de la concepción e instalación de un sistema de medición zonificada. Adaptado de Alegre [18]

4.1.2 Concepción e implementación de ZMCs

La implementación de Zonas de medición y control (ZMC) consiste en la división de la red de distribución de agua en zonas de menor tamaño, debidamente caracterizadas. A la entrada y salida de las ZMCs deben existir medidores de caudal, para obtener la información detallada del balance de caudales y el patrón de consumos [33]. Según Gomes (2011), las ZMCs también contribuyen a identificar las pérdidas a lo largo de la red, así como para identificar las tendencias de consumo a mediano y largo plazo, y dirigir la inversión a las zonas de la red con menor desempeño.

Esta técnica requiere un conocimiento previo de las condiciones topológicas de la red y del modo de operación y comportamiento global del sistema. Si por un lado, para pequeños sistemas de distribución de agua el proyecto de sectorización puede alcanzarse fácilmente, a medida que la complejidad y la dimensión de los sistemas aumentan, este procedimiento se vuelve cada vez más difícil y costoso ya que necesita técnicas y recursos humanos especializados [17].

Antes de delimitar una ZMC es importante hacer una planificación preliminar con el máximo rigor posible, utilizando el catastro actualizado de la red de distribución recurriendo a modelos de simulación hidráulica de la red [34], haciendo uso de la topología de la red, la densidad poblacional, la densidad de ramales y adoptar una configuración que permita la reducción del número de válvulas de seccionamiento sin comprometer la calidad del servicio prestado [33].

En la figura 25 se indica un ejemplo en el cual se han implementado diferentes ZMCs.

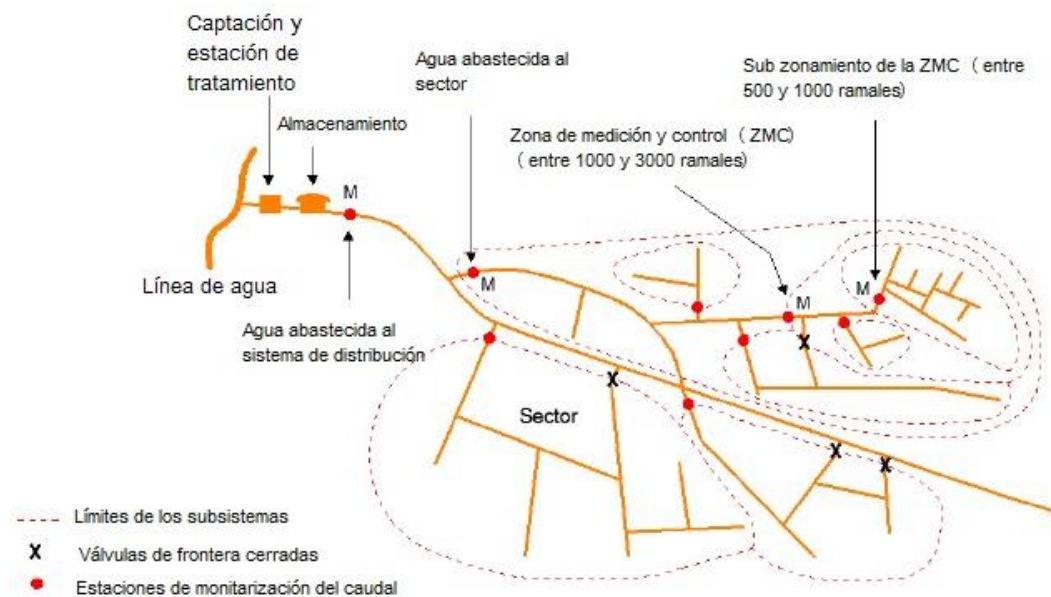


Figura 25. Delimitación de las ZMCs. Tomado de Gomes [17]

Aunque la dimensión de las ZMC puede estar relacionada con el número de ramales y la extensión de la red, la topología depende fundamentalmente del tizado de la red, del desnivel topográfico y del comportamiento hidráulico del sistema. El dimensionamiento de las ZMC debe considerar varios factores antes de seleccionar su superficie ya que su implementación tiene costos asociados y considerar el costo/beneficio entre diferentes alternativas, considerando las particularidades de cada sistema. La experiencia ha evidenciado que en las áreas urbanas la dimensión media de las ZMC debe estar comprendida entre 500 y 3000 ramales, pudiendo ser reducida hasta los 500 a 1000 ramales en sistemas más antiguos. No se recomiendan valores por encima de los 5000 ramales, por motivo que se vuelve más difícil la detección de fugas. En alternativa, en zonas con baja densidad de ramales se puede optar por definir las ZMC con base en la extensión de la red, por motivo que el costo de localización de fugas está más relacionado con la longitud de la

red que con el número de ramales. En este sentido, los valores recomendados varían entre 5 a 10 km, pudiendo ser adoptados valores superiores en sistemas de gran dimensión [17].

Dentro de la concepción de las ZMCs es necesario realizar un modelo de simulación hidráulica que permite detectar la viabilidad, desde el punto de vista hidráulico, de la instalación de la ZMC definidas preliminarmente. Así, en la fase de planeamiento detallado de la ZMC, la utilización del modelo de simulación hidráulica posibilita la identificación de las tuberías que, atravesando las líneas proyectadas de delimitación, transportan caudal suficientemente importante para ser considerado e incluido en la monitorización, así como de aquellas cuya interrupción es aceptable y también de aquellas para las cuales no se puede tomar una decisión en esta primera fase [33].

A continuación se indican y describen de manera breve las fases de instalación de una ZMC.

4.1.2.1 Levantamiento de las condiciones locales

Luego de realizar la planificación de la instalación de una ZMC es necesario proceder a un levantamiento cuidadoso del lugar escogido para instalar el medidor de entrada de la zona. En esta fase los errores contenidos en el catastro son detectados y si existe alguna información no registrada se la puede obtener.

En esta fase se realiza el trazado de la línea de delimitación de la ZMC, además que se ubica el mejor sitio para la instalación de los medidores de caudal, así como de las obras complementarias como el by-pass para trabajos de mantenimiento, reparación o sustitución de los medidores, tuberías y demás accesorios.

4.1.2.2 Selección de los puntos de medición

En esta etapa generalmente se realizan excavaciones de prueba para verificar si el sitio seleccionado para la instalación de los medidores de las ZMC son los adecuados.

Además se debe verificar el caudal y presión de la tubería seleccionada. Es cuestión de la entidad gestora reconocer si el sitio seleccionado es el más adecuado, y en caso de presentarse contratiempos, las alternativas en ese caso van desde la mudanza local, drástica o apenas de ajuste.

4.1.2.3 Selección del tipo de medidor de caudal a utilizar

La selección del tipo de medidor de caudal que mejor se ajusta a la gama de caudales esperados y a las funciones a desempeñar se realiza principalmente a los resultados de la simulación hidráulica. Además de la actividad normal de medición, éste puede ser usado para apoyo de las técnicas de refinamiento de localización de fugas [33].

4.1.2.4 Realización de obras de construcción civil e instalación de medidores de caudal

Tanto los medidores como los equipos complementarios y accesorios deben colocarse dentro de una cámara que tenga el espacio suficiente para albergar todo el conjunto. Si existen cámaras en el sitio, pueden ser utilizadas siempre y cuando se hagan las adecuaciones necesarias. Estas cámaras deben encontrarse en los registros de las ZMC.

Una breve mención se debe hacer a los criterios para la cámara, de que se destaque la necesidad de durabilidad, tanto para la estancia en la intemperie como para eventuales daños ocasionados por individuos, para garantizar las condiciones internas de funcionamiento del equipo [33].

4.1.2.5 Verificación del sistema

Una vez completada la instalación del sistema de medición para la nueva ZMC, es necesario verificarlos garantizando que:

- La frontera de la ZMC es un “estanque”, es decir, todas las válvulas que deben estar cerradas, lo estén realmente.
- Todos los medidores están en operación y funcionando correctamente.

La metodología recomendada para la tarea de verificación consiste en efectuar una prueba nocturna con dataloggers conectados a todos los medidores simultáneamente. Durante la hora de menor consumo se debe experimentar cerrando momentáneamente el abastecimiento a la ZMC y observar el comportamiento de los caudales y presiones. La inspección de los resultados deberá revelar si alguna válvula deja pasar agua.

4.1.3 Ventajas y desventajas de ZMCs

A pesar de que la sectorización de la red de distribución de agua no permite directamente el control activo de pérdidas, es crucial en lo que concierne a su detección, caracterización y distribución espacial. Además facilita la implementación de estrategias activas de control de pérdidas, la localización y la cuantificación de las pérdidas mediante la implementación de zonas progresivamente más detalladas, el establecimiento de prioridades de intervención en ZMC, la gestión de la presión a lo largo de un día en función de los consumos, el control de la facturación y la monitorización de parámetros relacionados con la calidad del agua, entre otros. Además del apoyo al control de pérdidas, la medición por zonas permite el conocimiento más profundo del comportamiento de los consumos efectivos en el sistema y de la respuesta hidráulica del propio sistema a esas solicitaciones.

Aunque existen ventajas inherentes a la zonificación de las redes de distribución de agua, se presentan algunos problemas que dificultan su implementación:

- La falta de catastro actualizado de las infraestructuras existentes;
- Problemas relacionados con la calidad del agua;
- Escasez de recursos humanos especializados;
- Dificultad de obtener financiamiento.

Además de estos factores, este es un proceso que lleva tiempo para las entidades gestoras, por lo cual si se va a realizar su aplicación, éstas deben estar motivadas ya que durante esta fase de implementación pueden ocurrir dificultades a nivel de abastecimiento de agua y eventuales quejas de los usuarios.

4.2 Rehabilitación de la red

El deterioro de los equipos e infraestructuras de abastecimiento de agua y drenaje de aguas residuales y pluviales es inevitable. Cualquier tipo de intervención en el sistema merece especial atención por parte de la empresa, ya que puede afectar directamente al cliente y a la circulación vial / peatonal durante la realización de la intervención.

Algunas intervenciones son simples y rápidas mientras que otras pueden tardar semanas. Las intervenciones relacionadas con la rehabilitación e infraestructuras hidráulicas son complejas y conllevan costos elevados. Por ese motivo, los costos/beneficios de esas intervenciones deben ser previamente demostrados.

Las causas más comunes que provocan la degradación de los componentes de los sistemas de conducción y distribución de agua son:

- Envejecimiento natural de los componentes
- Alteración de los objetivos de servicio
- Deficiencias de concepción del proyecto
- Deficiencias de construcción
- Deficiencia de materiales y equipos
- Deficiencias de operación y mantenimiento
- Causas externas

Métodos para rehabilitación de infraestructuras hidráulicas

En la tabla 23 se muestran tres métodos utilizados para la rehabilitación de las infraestructuras hidráulicas. El método utilizado dependerá del nivel de afectación que tenga la infraestructura o dependerá también del plan de mantenimiento de la entidad gestora.

Cualquier intervención en la red puede ocasionar molestias tanto en la red vial como a los peatones. La instalación de nuevas tuberías se puede realizar con diferentes técnicas, unas más eficientes que otras, sin embargo la técnica utilizada dependerá de la capacidad técnica y económica de la entidad gestora. La tabla 24 indica las diferentes técnicas empleadas cuando el objetivo es instalar nuevas tuberías en la red de distribución de agua. Por otro lado cuando existe afectación en la tubería y no es posible realizar la instalación de una nueva tubería se puede realizar el renovación del antiguo conducto. En la tabla 25 se describen las técnicas para la renovación de tuberías.

Método	Descripción
Renovación	Cualquier intervención física que prolongue la vida útil de un sistema existente o mejore su desempeño hidráulico, estructural y/o calidad del agua. Comprende la alteración de su condición o especificación técnica.
Sustitución	Intervención para rehabilitación de uno o más componentes del sistema existente, con su desactivación funcional y construcción o instalación de un nuevo componente, siendo éste último de funciones o capacidades semejantes o distintos al existente.
Refuerzo	Intervención de rehabilitación hidráulica sobre un componente del sistema existente, con la construcción de un componente adicional, que complementa la capacidad resistente del elemento anterior.

Tabla 23. Métodos para rehabilitación de infraestructuras hidráulicas

Método	Descripción
Sustitución con excavación tradicional	La utilización de palas y retroexcavadoras para apertura de zanjas son actualmente las técnicas más utilizadas por los contratistas. A pesar de ser una técnica, en la que los contratistas ya tienen mucha experiencia, a menudo resultan inviables debido a la congestión de las vías, perturbación con otras infraestructuras, impactos causados en las zonas históricas, entre otras.
Perforación horizontal dirigida (PHD)	La PHD permite instalar tuberías, sin apertura de zanja y sin las limitaciones inherentes a la perturbación del tráfico, incluso en terrenos rocosos. En el recorrido seleccionado, una vez identificados todos los obstáculos subterráneos, se realiza un agujero piloto utilizando una sonda flexible dirigida por una cabeza rotativa, controlada a través de un receptor en la superficie. En estas circunstancias, la tubería se tira hacia dentro del agujero detrás de la cabeza de expansión. La experiencia derivada de la utilización de este tipo de equipo es fundamental para lograr buenos resultados.
Clavado de tuberías	Técnica utilizada en suelos blandos para la instalación de tuberías por debajo de carreteras y líneas de ferrocarril, sin apertura de zanja e interrupción del tráfico o circulación ferroviaria. Una vez identificada la dirección del agujero, se debe apoyar e igualar convenientemente la cabeza del equipo. Utilizando un compresor de aire, la cabeza va progresivamente clavándose en el terreno dejando tras de sí un agujero en el que se instalará la nueva conducción. El suelo acumulado dentro del tubo es entonces removido a través de un sistema de presión, a través del cual se introduce aire comprimido o agua, dentro de la conducción para forzar la salida de los suelos allí acumulados.
Destrucción o reventamiento de la tubería existente	En este proceso los equipos se introducen dentro de la tubería existente hasta la siguiente caja de revisión o agujero. En el extremo opuesto, se añade una lámina de reventamiento para destrucción de la conducción existente, una cabeza de expansión y la tubería nueva. La unidad de reventamiento es entonces tirada a través de la tubería antigua (lámina de reventado y cabeza de expansión) y, simultáneamente instalada la nueva tubería.

Tabla 24. Técnicas para la instalación de nuevas tuberías

Técnica	Descripción
Revestimiento interior con mortero de cemento	<p>Consiste en el revestimiento del interior de la conducción con un mortero de cemento. La capa de mortero de cemento en contacto con material de la conducción, forma un conjunto de alta resistencia y durabilidad. Se aplica a conductos metálicos (conductos de acero o de fundición). El espesor de la capa depende del diámetro y del material de la conducción, pudiendo variar entre 3 y 102 mm y habiendo sido aplicada a conductos de abastecimiento de agua con diámetros entre 150 y 1500 mm. La acción protectora se basa esencialmente en dos agentes: pasivo y activo. El pasivo se efectúa a través del aislamiento mecánico de la pared metálica del conducto. El activo se realiza a través de la conversión química de la capa de cemento con el óxido de hierro en la zona de la frontera entre el mortero de cemento y la pared de hierro de la conducción debido a la interacción del agua que se difunde hacia el interior del mortero.</p>
Revestimiento interior con resina epóxica	<p>El revestimiento con resinas epoxy consiste en revestir interiormente la conducción deteriorada con resinas líquidas aplicadas a través de un spray que posteriormente se solidifica. Es una alternativa bastante competitiva en relación al revestimiento con mortero de cemento, para conductos de pequeño diámetro (hasta 300 mm). El espesor de la capa de resina epoxy es del orden de 1 mm, independientemente de las características de la conducción, teniendo ventajas en términos de capacidad de transporte en relación al revestimiento con mortero de cemento. Puede ser utilizado para la rehabilitación de conductos de abastecimiento de agua, de lucha contra incendios y de abastecimiento industrial. También se puede recurrir a este método cuando se verifican problemas de calidad de agua debido a la corrosión de la pared interna del conducto.</p>
Entubamiento simple o tradicional	<p>El proceso de re-entubado simple, consiste en la colocación de un tubo con menor diámetro dentro del conducto a rehabilitar. Puede usarse siempre que sea posible disminuir el diámetro del conducto inicial. Es un proceso donde domina la utilización de materiales como el PVC y el PEAD.</p>
Entubamiento no tradicional –con toda la pared doblada	<p>El método de re-entubado con tubo de pared doblada, consiste en la introducción de un tubo previamente doblado en fábrica en el interior de la tubería a rehabilitar. Se utiliza solamente con tubos de polietileno y siempre que sea necesario utilizar un tubo que permanezca lo más justo posible a la conducción anterior, para que la conducción no pierda capacidad de transporte. Se utiliza para conductos de pared fina, en una gama de diámetros entre 75 y 1600 mm, pudiendo vencer curvas hasta los 45 grados.</p>

Tabla 25. Técnicas para la renovación de tuberías

4.3 Control activo de las pérdidas

Las pérdidas no todas tienen la misma importancia, ya que una pequeña fuga puede representar un gran volumen de pérdidas en el caso que su detección, localización y reparación no sean inmediatas. El control activo de pérdidas presupone tres procedimientos relacionados con la rapidez y la calidad de las reparaciones: tiempo de detección, localización y reparación de fugas. Existe una clara distinción entre estos tres conceptos.

La detección de fugas es el "descubrimiento" de una fuga o fugas a una sección de la red de tuberías. Las actividades de detección de fugas pueden llevarse a cabo rutinariamente, es decir, como una encuesta "general" de la red, o en áreas precisas de la red, guiadas por el análisis de los datos de la ZMC. La localización de la fuga es la identificación de la posición de una fuga antes de la excavación y reparación, aunque no se puede garantizar la ubicación exacta. Las encuestas de ubicación se pueden llevar a cabo con o sin actividad previa de detección de fugas [35].

La fuga es uno de los componentes de la pérdida de agua, y comprende las pérdidas físicas de tuberías, uniones y accesorios, y también se desborda de los depósitos de servicio. Estas pérdidas pueden ser graves y pueden pasar desapercibidas durante meses o incluso años. Las pérdidas más grandes suelen ser de tuberías reventadas, o de la ruptura repentina de una junta, mientras que las pérdidas más pequeñas provienen de juntas, accesorios, tuberías de servicio y conexiones con fugas [34]. El volumen perdido dependerá en gran medida de las características de la red de tuberías y de la política de detección y reparación de fugas practicada por la empresa, tales como:

- la presión en la red;
- si el tipo de suelo permite que el agua sea visible en la superficie;
- el tiempo de "detección" y/ o "localización" (qué tan rápido se nota la pérdida);
- el tiempo de reparación (qué tan rápido se corrige la pérdida).

La figura 26 muestra el efecto del conocimiento, los tiempos de reporte y la ubicación en el volumen de agua perdida a partir de tres tipos de fugas. Mientras mayor sea el tiempo que se demore la reparación de una fuga, mayor es el volumen perdido en el sistema de distribución de agua.

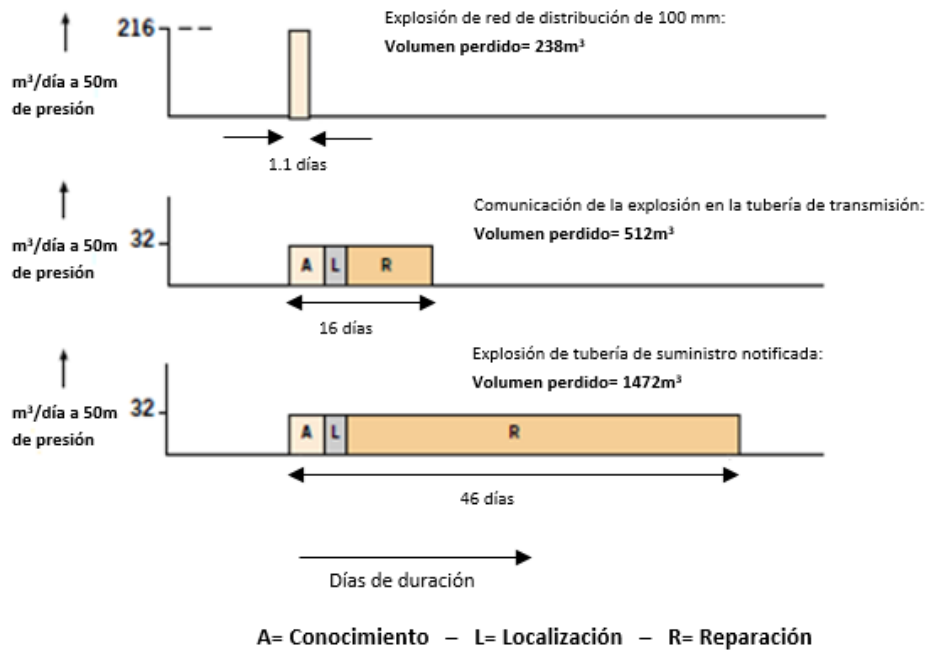


Figura 26. Duraciones estimadas y tasas de flujo de ráfagas. Adaptado de Farley [35]

Las fugas son el principal componente de la pérdida de agua en los países desarrollados, pero este no es siempre el caso en los países en desarrollo o parcialmente desarrollados, donde las conexiones ilegales, los errores en el medidor o los errores contables son a menudo los principales contribuyentes. La clave para desarrollar una estrategia exitosa de control de fugas es, por lo tanto, primero comprender los componentes de la pérdida de agua y su importancia relativa. Luego se pueden desarrollar planes de acción para abordar cada una de las causas de las pérdidas. La capacitación y la transferencia de habilidades son componentes esenciales de la estrategia, para garantizar que se mantenga una buena gestión de fugas.

Existen una serie de técnicas para detectar dónde se producen fugas en la red. Las tablas 26 y 27 indican en resumen técnicas aproximadas y más precisas para la detección y localización de fugas.

Técnica	Descripción
Zonas de medición o sectorización de la red en ZMC	Aunque la medición por zonas o sectorización de la red de distribución de agua no permite directamente el control de pérdidas (reales y aparentes), es crucial en lo que se refiere a su detección, caracterización y distribución espacial. Además, facilita la aplicación de estrategias activas de control de pérdidas, la localización y la cuantificación de las pérdidas mediante la aplicación de niveles de zonificación progresivamente más detallados, el establecimiento de prioridades de intervención entre ZMC, la gestión de las presiones a lo largo del día en función de los consumos, el control de la facturación y la monitorización de parámetros relacionados con la calidad del agua, entre otros.
Sub-zonamiento de ZMC	Este procedimiento consiste en la división temporal de la red de distribución de agua o ZMC, donde se sospecha la existencia de fugas (generalmente abarca entre 500 y 1000 ramales, siendo que los principios de aplicación son en todos idénticos a los adoptados para la medición por zonas). Esta técnica se recomienda sobre todo para sistemas o ZMC de gran tamaño, y permite indicar la existencia de fugas si se produce una reducción de caudal no compatible con la reducción del número y tipo de usuarios en el área aislada. En general, la medición de caudales se realiza durante el período nocturno (durante una o más noches), especialmente si esta operación tiene consecuencias en el funcionamiento de la red, el consumo o la perturbación de la circulación peatonal o de carreteras. Alternativamente se pueden utilizar medidores de caudal portátiles para controlar el caudal afluente / efluente a una determinada zona de la red. En cualquier caso, este procedimiento acaba por tener carácter temporal, terminando tan pronto como se hayan alcanzado los objetivos.
Cierre progresivo de las válvulas (step test)	Este método se basa en el registro continuo del caudal a la entrada del sistema o ZMC y en el cierre progresivo de las válvulas de seccionamiento aguas abajo hacia arriba en la dirección del medidor de caudal. La eficacia de esta técnica depende del instante / secuencia del cierre progresivo de válvulas, siendo que debe comenzar siempre por la válvula más alejada del medidor de caudal. A medida que el área aislada va siendo incrementada, el registro de caudal a la entrada del sistema tiende a cero. Después del cierre de cada válvula y estabilización del caudal, si se produce una caída significativa de caudal a la entrada del sistema, no compatible con la reducción del número y tipo de usuarios en el área aislada, ésta puede estar relacionada con la presencia de fugas que deben ser encontradas utilizando técnicas de búsqueda más precisas. Sin embargo, hay que tener en cuenta las desventajas asociadas a este procedimiento, en particular, el corte del abastecimiento de agua a los usuarios intermedios y la posibilidad de infiltrar las aguas subterráneas debido a la despresurización de la red. El período nocturno, durante el cual los consumos son más bajos y las presiones en la red más elevadas, parece ser la mejor altura para realizar estas operaciones. Además, el impacto sobre la población y la circulación de carreteras también se reducen considerablemente durante el período nocturno. Hay que señalar también la posibilidad de que el área aguas abajo aislada pueda ser abastecida desde otras zonas de la red durante la fase de ensayo. En este caso, cada vez que una de las válvulas se cierra, se puede abrir, comenzando por las válvulas de frontera entre otras zonas de la red y las zonas vecinas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el comportamiento hidráulico global del sistema puede verse afectado debido al cambio de la configuración de la red. Por último, se debe señalar que al medidor de caudal deberá estar asociado un sistema de telemetría de forma registrar la reducción progresiva de caudal a la entrada del sistema o ZMC cada vez que se cierre una válvula.
Loggers acústicos	El uso de los registradores acústicos programables y los correctores automáticos de ruido se ha utilizado cada vez más para inspeccionar zonas de la red en busca de fugas, sobre todo en zonas más sensibles donde la interrupción del suministro o la disminución de la presión puede afectar el consumo y la calidad del agua. Los registradores deben estar dispuestos a intervalos regulares y para abarcar toda el área donde se espera la existencia de fugas, generalmente acoplados a la conducción o accesorios metálicos a través de la base magnética integrada. Esta técnica se asemeja a la correlación simple, y se basa en la monitorización continua o temporal de la variación del ruido a lo largo de los conductos. Posteriormente, mediante la correlación cruzada entre el nivel del ruido registrado entre registros, es posible localizar fugas, verificar la necesidad de una inspección más detallada en la vecindad de un determinado Logger, o bien definir una dirección preferencial de búsqueda, si la fuga no está cubierta por los frenos dispositivos de registro. En este contexto, se destacan los sistemas que incorporan mecanismos de alarma, que en caso de variación expresiva del ruido alertan a la Entidad Gestora para la necesidad de su investigación en una determinada zona de la red (incorporando o no SIG o GPS). A pesar de las ventajas descritas, existen situaciones para las cuales la división de la red y el cierre progresivo de las válvulas es el más adecuado, sobre todo si el ruido producido por las fugas se reduce o se desconocen puntos de consumo elevados.

Tabla 26. Técnicas aproximadas para la detección de fugas. Adaptado de Gomes [17]

Técnica	Descripción
Sensores acústicos	Estos dispositivos permiten detectar el ruido producido por el agua cuando se escapa a través de pequeños orificios, como resultado de fenómenos de cavitación y turbulencia que presentan una cierta gama de frecuencias dominantes. Aunque los sensores acústicos aparenten ser los equipos más utilizados por las Entidades Gestoras para la localización de fugas, pueden no ser los más apropiados cuando los ruidos de fondo se superponen al ruido emitido por las fugas, cuando las presiones son muy bajas o los diámetros muy elevados, o, cuando las fugas se producen en conductos no metálicos. En estos casos, el ruido emitido por las fugas es rápidamente atenuado por lo que dificulta su localización con métodos clásicos acústicos, siendo inevitable el uso de otras técnicas. Para evitar gran parte de los problemas relacionados con el ruido de fondo, se recomienda que los ensayos puedan ocurrir durante el período nocturno, lo que en cierto modo también se beneficia del ruido emitido por las fugas, ya que las presiones también son generalmente más elevadas. De entre los varios equipos que incorporan sensores acústicos, se destaca el vástago de escucha, el geófono, el hidrófono, el correlacionador acústico, el Sahara y el Smart Ball.
Inyección de trazadores	Aunque no representa actualmente una opción corriente, debido al riesgo de contaminación, en el pasado la inyección de trazadores en la red fue bastante utilizada. Se recomienda cuando los diámetros de los conductos son reducidos y / o el ruido emitido por la fuga es insuficiente para que pueda ser detectado por los equipos acústicos. En este caso, la fuga constituye un punto de salida del trazador fácilmente detectable a la superficie mediante sensores o inspección visual. Sin embargo, si se adopta un gas como trazador, se debe tener en cuenta la influencia de las condiciones atmosféricas, ya que puede inducir a una localización errónea de la fuga.
Observación de las características del suelo	Aunque la mayoría de las infraestructuras de abastecimiento de agua no son visibles, existen situaciones en las que el análisis de las características del suelo en la superficie permite denunciar la presencia de una fuga. En este contexto, se destacan los afloramientos irregulares de agua a la superficie, la aparición de vegetación o musgos, la humedad anormal del suelo, entre otros factores.
Inspección visual de la infraestructura	La inspección visual de las infraestructuras está generalmente relacionada con el estado de conductos, depósitos y accesorios, por lo que constituye una de las más antiguas actividades en los sistemas de abastecimiento de agua, dada la simplicidad de realización y el bajo costo operacional. En este caso es posible distinguir dos situaciones: la inspección visual directa y la inspección visual con videocámara. La inspección visual directa está relacionada con la observación simple de depósitos, conductos y accesorios (generalmente ubicados en cajas de visita o en superficie). La inspección visual con videocámara tiene como objetivo observar conductos y juntas no accesibles, por lo que constituye un medio rápido para la verificación de cambios dimensionales (diámetro interior y corrosión), resistencia, presencia de defectos, deformación, entre otros. A pesar de no constituir actualmente una opción corriente para la localización de fugas (a no ser en situaciones excepcionales, ya que implica la interrupción del suministro de agua), la inspección por videocámara controlada remotamente es una técnica potencialmente utilizada en el marco de programas de rehabilitación de sistemas de abastecimiento de agua para reducir las pérdidas.
Sensores térmicos	El uso de sensores térmicos para localización de fugas en sistemas de abastecimiento de agua aún no está muy vulgarizado. Sin embargo, este método tiene la ventaja de permitir identificar zonas de la red donde puedan existir fugas, dado que las características térmicas del suelo circundante quedan alteradas debido a la saturación. Estas desigualdades pueden ser captadas a través de cámaras de infrarrojos instaladas en aviones o cualquier otro medio de transporte.
Radar de penetración en el suelo	El radar de penetración en el suelo puede ser usado para localizar fugas en conductos enterrados, a partir del reconocimiento de las cavidades en el suelo (provocadas por la circulación del agua cerca de la conducta) o detectar segmentos de la conducta que parezcan menos estables (en la zona de la rotura debido a la saturación del suelo envolvente). Al penetrar en el suelo, las ondas emitidas por el radar se reflejan parcialmente cuando encuentran un cambio de las propiedades del suelo, dando una imagen del tamaño y de la forma de la cavidad encontrada. El tiempo transcurrido entre las ondas transmitidas y las reflejadas determina la profundidad a la que se encuentra la cavidad. Esta técnica puede realizarse a nivel local, por vía aérea o por satélite. Es una técnica de inspección considerada a gran escala y, como tal, bastante costosa.

Tabla 27. Técnicas más precisas para la localización de fugas. Adaptado de Gomes [17]

4.4 Gestión de la presión

La presión en un sistema de distribución de agua es reconocidamente un factor determinante para el caudal total de pérdidas, para los consumos y para la tasa de roturas en conductos. A pesar de esta evidencia, la gestión activa de las presiones no suele ser una prioridad en la gestión técnica de los sistemas, por parte de las entidades gestoras. Sin embargo, si se implementa adecuadamente y de forma gradual, es una medida básica para la reducción de pérdidas y el número de roturas, que puede tener gran eficacia con una buena relación costo-beneficio [33].

Los principales objetivos del control de presión se pueden resumir de la siguiente manera:

- Reducir las pérdidas por fugas existentes y futuras;
- Reduciendo la frecuencia de las ráfagas;
- Reducir la presión a los clientes;
- Reducir las variaciones de presión a los clientes.

Aunque la gestión de la presión se muestra muy ventajosa, se debe tener una especial atención en su aplicación, ya que una mala gestión de la presión provoca algunas limitaciones entre las cuales: la pérdida de la facturación; el llenado deficiente de los depósitos en períodos nocturnos; la falta de presión en edificios altos; y el mal funcionamiento de válvulas reductoras de presión [32].

Los procedimientos más utilizados para efectuar la gestión de la presión en las redes públicas de distribución de agua son: i) a través de la optimización del funcionamiento de estaciones de elevación con grupos de elevación con velocidad variable; ii) recurrir a la división de la red en función de las condiciones topográficas; y iii) a través de la instalación de dispositivos reductores de presión. Aunque los tres métodos pueden ser utilizados en conjunto, el primer método depende de la existencia de estaciones de bombeo ligadas directamente a la red, el segundo método se aplica sobre todo cuando la reducción de la presión se va a realizar de manera permanente o por un largo periodo de tiempo, y el último método tiene la ventaja de que puede ser implementado en cualquier zona de la red de distribución de agua y permitir ajustar la presión aguas abajo del consumo efectivo, de manera permanente o a lo largo del tiempo [17].

4.4.1 Zona de presión

Las zonas de presión corresponden a las zonas de la red de distribución de agua destinadas a impedir que las presiones sobrepasen los límites recomendados y/o preestablecidos. Se observa, entonces, que una red de distribución de agua puede dividirse en varias zonas de presión para atender las condiciones técnicas a ser satisfechas, como por ejemplo la creación de niveles de presión cuando el desnivel topográfico es muy acentuado, permitiendo de esta forma limitar la presión en cada una de las zonas creadas. Los patrones de presión se pueden definir mediante la utilización de depósitos intermedios (elevados o apoyados) o mediante la instalación de válvulas reductoras de presión [16].

4.4.2 Dispositivos para reducción de la presión

La ventaja de la instalación de Válvulas Reductoras de Presión (VRP) es que puede ser implementado en cualquier zona de la red de distribución de agua y permitir ajustar la presión de servicio, frente a los tipos de consumos practicados, de manera permanente o a lo largo del tiempo. Los criterios para la selección de VRPs son los siguientes:

- costo;
- idoneidad para la instalación de telemetría;
- idoneidad para sistemas de control;
- facilidad de mantenimiento;
- fiabilidad;
- disponibilidad;
- rango operacional (flujo y presiones);
- estabilidad de salida de presión;
- velocidad de reacción a los cambios de flujo.

La reducción en la frecuencia de ráfaga solo se logra si la presión permanece baja. Por lo tanto, la estabilidad de la salida de presión y la velocidad de reacción a los cambios de flujo podrían ser importantes.

Los diseños básicos de VRP se dividen en cuatro categorías:

- diafragma de resorte;
- accionado por pistón;
- operada por diafragma;

- elemento flexible.

De estos, los VRPs de elementos flexibles y operados por diafragma son los diseños más comunes para la reducción de presión. Las válvulas de diafragma accionadas por resorte se pueden considerar donde las variaciones diurnas en la presión y el flujo de entrada son pequeñas. La mayoría de las válvulas de diafragma pueden equiparse con una variedad de sistemas de control.

A continuación se indican los tipos de válvulas reductoras de presión que se encuentran en el mercado y pueden ser utilizadas para gestionar la presión:

- ✓ *VRP con presión a la salida fija* - Recomendada cuando la fluctuación de consumo o presión a lo largo del tiempo en una zona de medición y control no es significativa. En este caso, la fijación del valor de la presión a la entrada de un sector puede ser ventajosa, aunque no permita garantizar el máximo beneficio posible durante la hora de menor consumo.
- ✓ *VRP con presión a la salida modulada por tiempo* - Se aconseja cuando la fluctuación del consumo o presión, a lo largo del tiempo, son significativas y regulares. Se utilizan principalmente para controlar la presión a la baja durante el período nocturno, donde generalmente las presiones de servicio son más altas y los consumos reducidos, esto se comparan con las presiones y consumos durante el período diurno. Se presentan como desventajas el hecho de que no es posible dar respuesta a eventuales solicitudes del sistema (consumos elevados no previstos, combate a incendios, entre otros), y, aún, eventuales problemas de cavitación o choque hidráulico cuando no se toman precauciones en cuanto al valor máximo admisible para el valor de la pérdida de carga localizada producida por la válvula.
- ✓ *VRP con presión a la salida modulada por caudal* - Se aplica sobre todo cuando existe, o sea previsible, una gran fluctuación del consumo o presión a lo largo del tiempo, causada por el cambio en el perfil de consumos (por ejemplo, debido a la estacionalidad y población flotante o variación del tipo de uso). En este caso, como la actuación de la VRP ocurre en función de la solicitud de la red (consumo), debe estar asociada siempre a un medidor de caudal.
- ✓ *VRP con presión a la salida modulada por presión en el punto crítico* - Como en la situación anterior, también el control de la VRP está relacionado con las solicitudes en el sistema. Sin embargo, en lugar de considerar el caudal a la entrada de la zona de medición, éste depende de la presión requerida en varios puntos de la red, entre los cuales el punto

crítico. Por punto crítico se entiende la zona del sistema donde será más difícil garantizar la presión mínima de funcionamiento durante las horas de mayor consumo (hospitales, escuelas, industrias, marcos de incendio, punto más alejado y/o más alto de la red, entre otros). Puede existir más de un punto crítico en el sistema, sin embargo, para un instante dado sólo uno se considera el más desfavorable. En estas circunstancias, la actuación de la VRP es sistemáticamente o periódicamente controlada por telemetría, vía radio, o teléfono de red fija o móvil, en función de la presión comprobada en el punto crítico, con el objetivo de ajustar la presión al valor de referencia deseado.

4.4.3 Metodologías de BABE e FAVAD

La evaluación de la pérdida de agua en sistemas de distribución de agua es bastante compleja porque está influenciada por una serie de factores, que incluyen: presión operativa del sistema; frecuencia de ráfagas; velocidad y calidad de reparación; edad de las tuberías y accesorios; calidad de construcción; características del suelo; y tráfico y movimientos de tierra. Cualquier iniciativa dirigida a controlar las pérdidas requiere el conocimiento de los componentes del sistema y cómo están interrelacionados.

Se realizó un estudio en el Reino Unido que duró casi 4 años e involucró a expertos de las principales compañías de agua del país, lo que condujo a la especificación de la terminología y la recomendación de procedimientos más apropiados para medir y estimar cada componente y consumo de pérdida. Este estudio se puede encontrar en nueve informes llamados, *Managing Leakage Reports*. A medida que se publicaba la serie *Managing Leakage Reports*, surgieron nuevos conceptos empíricos para evaluar la relación entre las pérdidas y la presión en la noche, junto con los procedimientos para estimar los beneficios de la gestión de la presión. En este contexto, las metodologías propuestas por Lambert y May son muy importantes. Lambert (1994) primero evaluó los diversos parámetros que influyen en las pérdidas reales y luego presentó una metodología conocida como *Bursts and Background Estimates* (BABE). El concepto BABE se usa para definir el límite superior y límite inferior de las pérdidas reales a una presión dada para un flujo de referencia específico. May (1994) presentó el concepto de *Fixed and Variable Area Discharges* (FAVAD) aplicadas a redes reales a través del uso de una función de potencia que define la relación presión/fuga.

Estos conceptos pueden ser aplicados para evaluar la relación entre presión/caudal, al nivel de la tubería o de un sector de la red, así como para establecer procedimientos y

varios indicadores de desempeño que permiten a la gestión y exploración de los sistemas de abastecimiento de agua de forma más eficiente y eficaz. La figura 27 ilustra esta metodología.

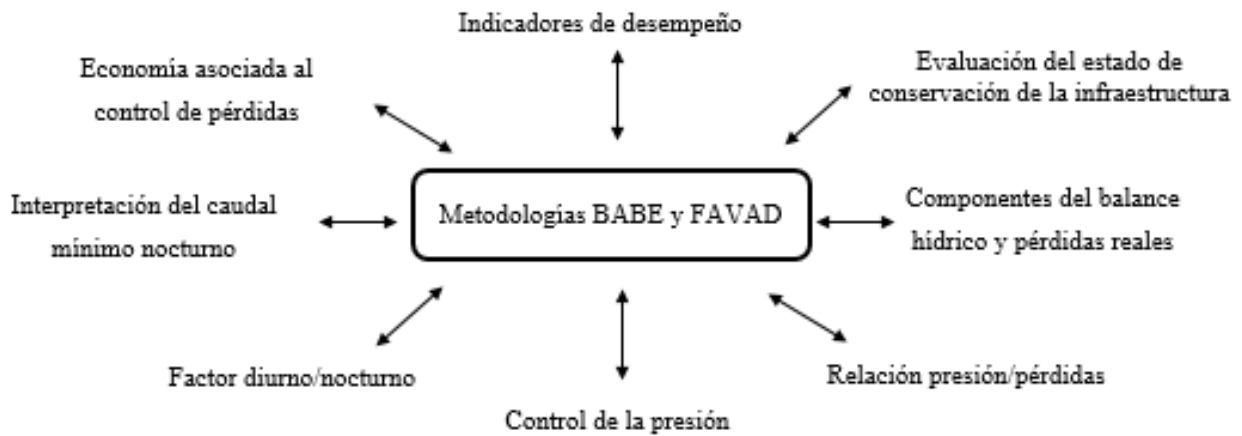


Figura 27. Metodología BABE y FAVAD. Adaptado de Gomes [17]

Las metodologías BABE y FAVAD fueron la base de varios modelos destinados a ayudar al manejo y control de las pérdidas de agua [40], [41], [42], [43], [44]. Aunque la fuga se produce en la red de distribución y en las conexiones de servicio, suponiendo que la fuga es una parte del flujo total del nodo, si la presión se reduce de P_0 a P_1 , la descarga de las fugas existentes cambia de QL_0 a QL_1 . La extensión de ese cambio depende del exponente $N1$ [45], [46], tal como se indica en la Ec. 5. El exponente de esa función ($N1$), que expresa la relación presión/fuga, puede tomar valores desde 0,5 (tuberías no muy sensibles a la fluctuación de presión, como tubos de acero u otras tuberías rígidas) hasta 2,5 (para tuberías altamente sensibles a la fluctuación de presión, como tubos de PVC u otras tuberías flexibles) - ver sesión 2.6.2.

$$QL \text{ varia con } P^{N1}: \frac{QL_1}{QL_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad \text{Ec. 5}$$

De manera similar, el consumo dependiente de la presión cambia de QC_0 a QC_1 , y el alcance de ese cambio depende del exponente $N2$, que expresa la relación presión/consumo (aplicado únicamente al consumo dependiente de la presión). Con respecto al consumo antes de la reducción de presión (QC_0), se debe tener en cuenta que una parte de ella puede asumirse como independiente de la presión (por ejemplo, descarga de inodoros, tanques de techo, lavadoras, lavavajillas) y el resto como dependiente de la presión (por ejemplo, uso de la ducha, lavado de manos, riego de jardines). Si bien el consumo independiente de la

presión ($QC_{indep,0}$) no se ve afectado por la fluctuación de presión (que solo influye en el tiempo mientras se produce el consumo hasta que se alcanza el volumen preestablecido), el exceso de presión (la cantidad sin afectar la duración del consumo) aumenta el consumo dependiente de la presión ($QC_{dep,0}$), lo que afecta el consumo total después de la reducción de la presión (QC_1). Como resultado, la generalización de la Ec.5 conduce a la Ec.6, donde QT_1 es el flujo de salida total del nodo después de la reducción de presión [44]:

$$QT \text{ varia con } P^N: QT_1$$

$$QT = QL_0 \times \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} + QC_{dep,0} \times \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N2} + QC_{indep,0} \quad \text{Ec. 6}$$

Algunos estudios de referencia concluyeron que para N1 un valor de 1,0 generalmente será razonable (combinación de fugas de área fija y variable). Suponiendo que el consumo dependiente de la presión varía con la presión de acuerdo con una relación de raíz cuadrada, el valor de N2 debe tomarse como 0,5 [45], [40], [41], [47], [44].

4.5 Sistemas SCADA

El objetivo principal de un Sistema de Telemetría y Telecontrol de una Empresa es monitorear y controlar de manera centralizada las estaciones remotas ubicadas a lo largo de los sistemas de distribución de agua. El Sistema de Telemetría y Telecontrol tendrá a cargo las siguientes funciones [36]:

- Optimizar la producción de las plantas de tratamiento;
- Mejorar el equilibrio en la distribución del agua entre los diferentes tanques que pertenecen al mismo sistema;
- Controlar los niveles de los tanques para la eliminación de desbordes;
- Monitorear el caudal y presión del agua distribuida a los sectores y sub-sectores en la red;
- Mejorar la seguridad y eficiencia en la operación de los sistemas de distribución;
- Controlar la calidad del agua distribuida.

Cabe recalcar que disponer de un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) permite:

- Tomar de decisiones en tiempo real, desde el Centros de Control;
- Mejorar en el uso de la modelación hidráulica;

- Mantener un modelo actualizado y calibrado del sistema, basado en la información disponible de la red a través del SIG y aquella generada en campo y adquirida por el SCADA.

4.5.1 Características generales del sistema SCADA

El diseño conceptual del Sistema SCADA está basado en 4 componentes principales:

- Control centralizado con posibilidad de duplicar funciones y atribuciones a centros de control periféricos;
- Sistema de comunicaciones;
- Control local de las Estaciones Remotas a través de Programmable Logic Controllers (PLC);
- Instrumentación de campo y actuadores.

La figura 28 muestra la jerarquía de los componentes antes mencionados.

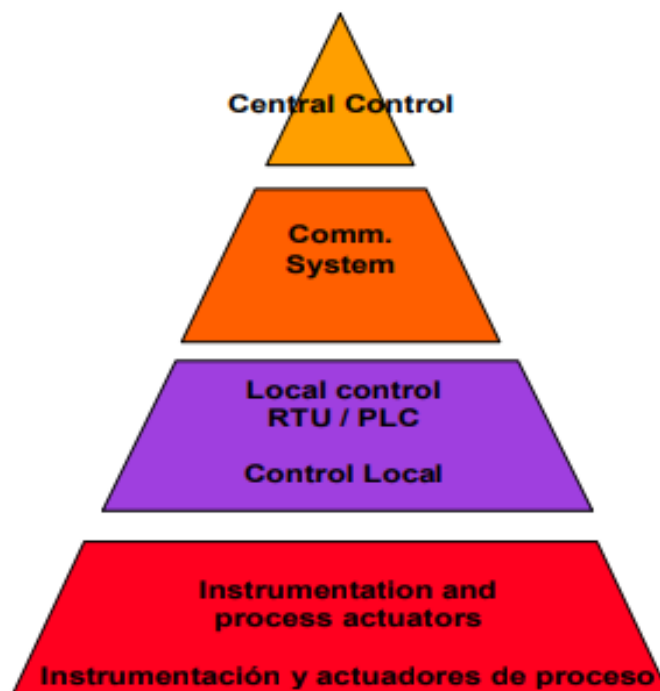


Figura 28. Componentes de un Sistema SCADA [36]

La filosofía general SCADA, basado en el esquema ilustrado en la figura 24 , consiste en que la distribución del agua potable es un “proceso continuo” y que por lo tanto debe ser asegurada la independencia de los cuatro elementos indicados: es decir que si por ejemplo

falla el sistema de comunicaciones por cualquier motivo, el proceso deberá seguir funcionando por el tiempo necesario a reparar la falla y deberá ser posible efectuar los controles oportunos a través de otros medios [36].

Muchas empresas de agua han integrado la captura de datos ZMC en sus sistemas SCADA. Esto proporciona la facilidad de captura de datos y la disponibilidad de datos de flujo adicionales para ayudar en la resolución de problemas de red. Este enfoque ha demostrado ser particularmente efectivo cuando se implementa junto con un sofisticado paquete de análisis que proporciona al profesional especializado en fugas una guía para los ZMC que requieren un trabajo de localización de fugas.

4.6 Modelación y simulación hidráulica

La modelación y simulación hidráulica provienen de la evolución de las tecnologías a lo largo del último siglo, en la concepción y operación de sistemas de distribución de agua. La disponibilidad de modelos sofisticados y accesibles permite que hoy en día sea posible entregar el agua captada de la fuente a los clientes de forma confiable, eficiente y segura [32].

Un modelo matemático de simulación hidráulica tiene por objeto describir el comportamiento hidráulico de ese sistema frente a un determinado escenario que se pretende estudiar. Las ecuaciones que describen ese comportamiento hidráulico se basan en leyes fundamentales de la mecánica de fluidos que rigen el movimiento bajo presión en las tuberías (leyes de conservación de la masa y la energía), evidenciando los aspectos considerados relevantes y despreciando los demás, de forma que permita comprender mejor el funcionamiento del sistema [17].

De acuerdo con la finalidad del modelo, pueden ser realizados dos tipos de simulación hidráulica: Simulación estática y simulación dinámica (figura 29).

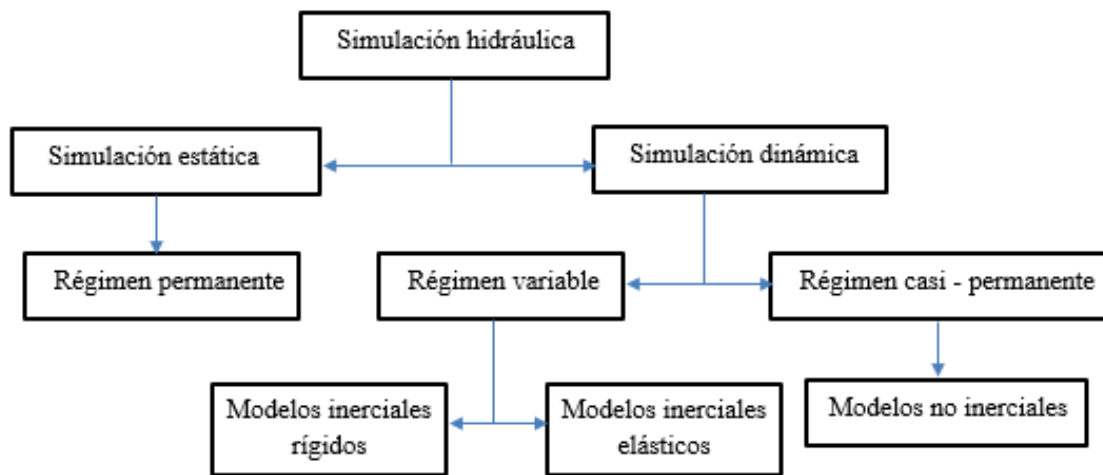


Figura 29. Modelos de simulación hidráulica. Adatado de Gomes [17]

La simulación estática se procesa cuando la simulación es efectuada para un determinado instante. Este tipo de análisis puede ser útil para determinar el efecto a corto plazo de un caudal de incendio. La simulación en periodo prolongado o dinámico, ocurre cuando se efectúa una simulación secuencial, que traduce los acontecimientos en varios instantes durante el periodo de simulación. Este tipo de análisis permite al proyectista modelar las condiciones de operación de los tanques reservorios, regular las presiones en todo el sistema en respuesta a la búsqueda de las estrategias de control automático formulado por el modelador, localización de fugas, entre otros [37], [38].

Los modelos de simulación hidráulica se realizan normalmente cuando no es práctico que el sistema real sea directamente sometido a experimentación o con la finalidad de evaluar un sistema antes de ser realmente construido. Además para situaciones en que la calidad del agua es un problema, ya que examinar directamente el sistema puede ser dispendioso y un riesgo para la salud [37].

4.6.1 Construcción y calibración de modelos de simulación hidráulica

La construcción de un modelo matemático de simulación hidráulica de una red de distribución de agua se realiza a partir del catastro de la red, que contiene todos los componentes del sistema y las características físicas de esos componentes [39], [37]. La metodología propuesta consiste en una primera etapa en identificar el problema, los elementos que componen el sistema y las interacciones entre los componentes. En una segunda etapa, escoger el tipo de modelo más apropiado, atendiendo a los objetivos del

estudio y en la etapa siguiente, desarrollar e implementar las técnicas computacionales más adecuadas para resolver el problema. Por último, efectuar la calibración del modelo de manera que los parámetros obtenidos a partir de la simulación hidráulica corresponden a los mismos valores medidos in situ [32].

En un sistema de abastecimiento de agua potable, ya sea pequeño, mediano o extenso, el número de tuberías y accesorios puede sobrepasar los millares, por lo que la complejidad de la modelación matemática de esas redes puede ser substancialmente reducida tomando en consideración algunos de los siguientes criterios:

- Modelación conjunta de elementos dispuestos en serie/ paralelo;
- Eliminación de tuberías de diámetro reducido;
- Despreciar los ramales de conexiones domiciliarias;
- Modelación conjunta de nudos, que se encuentren relativamente próximos;
- Distribución de consumos por los nudos del modelo en función de áreas de influencia y/o densidad de ramales.

Para efectos de comprensión, los “nudos” representan la unión entre dos o más segmentos, el caudal afluente/efluente al sistema y los puntos donde se pretenda conocer un determinado parámetro (presión, consumo y parámetros de calidad del agua. Los “segmentos” representan las tuberías y elementos accesorios existentes entre pares de nudos adyacentes, permaneciendo sus características constantes a lo largo de toda la extensión.

La calibración de un modelo de simulación hidráulica se caracteriza por ser un proceso iterativo basado en la comparación entre variables de estado⁵ medidas en determinados puntos de la red de distribución de agua seleccionados bajo criterio, y los respectivos valores calculados a partir de la simulación del comportamiento hidráulico de la red [17].

Según Gomes [17], existen tres tipos de modelos usados para la calibración de los modelos de simulación hidráulica de los parámetros de calidad del agua:

- ✓ *Modelos de procedimiento iterativo* - Estos algoritmos se basan en procedimientos de ensayo y error donde los parámetros desconocidos en el modelo se actualizan a cada paso de cálculo, utilizando ecuaciones analíticas para ajustar estos parámetros.

⁵ Las variables de estado corresponden al nivel de agua, caudal, presión y parámetros de calidad del agua.

- ✓ *Modelos explícitos* - En estos algoritmos los componentes de cálculo del equilibrio hidráulico de la red se obtienen a través de la resolución analítica del sistema de ecuaciones no lineales, siendo que el ajuste de cada parámetro del modelo depende de las magnitudes observadas a lo largo de la red para un determinado escenario de consumo.
- ✓ *Modelos implícitos* - Estos algoritmos consisten en la utilización de una función objetivo, donde ésta será minimizada de forma implícita, permitiendo de esta forma determinar los errores (o variables desconocidas) a través de la comparación entre los valores calculados y medidos in situ.

Como se describe anteriormente, cuando se trata de sistemas existentes, hay la necesidad de comparar los resultados obtenidos en el modelo, y aproximarlos tanto como sea posible de los valores registrados in situ. Para ello es necesario realizar una campaña de mediciones específicas para la calibración del modelo, como por ejemplo la medición de la presión, el caudal o mediante pruebas en la red [32].

La medición de la presión puede efectuarse con equipos fijos o portátiles instalados en marcos de agua, bocas de incendio y bocas de riego. Se trata de un procedimiento muy importante, ya que permite la monitorización del comportamiento hidráulico del sistema [39]. La medición de caudales en un sistema de distribución de agua se efectúa a través de caudalímetros de diversos tipos, siendo éstos colocados a la entrada / salida de depósitos, a la entrada / salida de zonas de medición y control, en estaciones elevadoras y en las ramales de conexión [39]. Cuando se pretende obtener estimaciones para ciertos parámetros del sistema de distribución de agua se aplica un conjunto de prácticas de aplicación caso a caso, para la construcción y calibración de modelos de simulación hidráulica, por ejemplo: i) pruebas de pérdida de cargas; ii) pruebas de rendimiento de la bomba; y iii) pruebas de calidad del agua [39], [37].

A continuación se indica en resumen el procedimiento a seguir para la calibración de los modelos de simulación hidráulica:

Paso 1: elección del modelo matemático de simulación hidráulica más adecuado al tipo de estudio que se pretende realizar;

Paso 2: estimación inicial de los diversos parámetros a calibrar (en particular, el coeficiente de rugosidad y la distribución espacial de los consumos);

Paso 3: análisis/ comparación de los valores calculados/ observados y evaluación de la precisión del modelo, frente a los valores inicialmente estimados;

Paso 4: identificación de errores groseros en términos de modelización de los diversos componentes físicos de la red y de la distribución espacial de los consumos;

Paso 5: análisis de sensibilidad del modelo; y

Paso 6: comprobar los parámetros del modelo, proceso que está asociado generalmente a pequeños ajustes de los coeficientes de rugosidad, y eventualmente de la distribución espacial de los consumos.

4.6.2 Importancia de los modelos de simulación hidráulica en la localización de fugas

Las fugas no reportadas son una de las principales causas de pérdidas de agua en las redes de distribución de agua y son difíciles de localizar, particularmente en tuberías de plástico, diámetros grandes y condiciones de baja presión. La ubicación de estas fugas consume mucho tiempo y requiere recursos humanos especializados, utilizando equipos acústicos sofisticados y costosos [46]. El uso de herramientas de modelado y optimización, respaldadas por mediciones de flujo y presión, se muestran como una alternativa desafiante al procedimiento tradicional en la detección de fugas no reportadas en Zonas de Medición y Control (ZMC) de un sistema de distribución de agua potable. Para reducir las consecuencias asociadas con una fuga es deseable determinar rápidamente si una fuga está presente (detección) e identificar su ubicación aproximada (localización).

Actualmente, varios países de Europa, interesados en la reducción del volumen de pérdidas de agua, se encuentran desarrollando estudios teórico – prácticos para localizar de manera más precisa la ubicación de las fugas no reportadas en la red de distribución de agua, con el fin de reducir los esfuerzos en campo asociados a este fin, lo que se traduce en disminución de costos económicos, problemas técnicos y sociales, daños ambientales y dificultades para garantizar la seguridad de la calidad del agua.

Ribeiro *et al.* [47], en su estudio “*Locating unreported leaks with modelling tools and pressure monitoring: a case study*”, presentan una metodología para la detección y localización de las tuberías con fugas más probables en redes de distribución de agua, basada en la utilización de dos herramientas: una herramienta de modelado para simular el comportamiento hidráulico del sistema de distribución de agua (bajo diferentes escenarios

de fugas) y una herramienta de optimización para identificar las ubicaciones y estimar los flujos de las fugas. La herramienta de modelado necesita los datos de la red de distribución de agua (topología, características de los activos, elevaciones y demandas). La calibración del modelo (rugosidad de la tubería y demanda del nodo) es una etapa crítica independientemente del propósito final del modelo. También necesita un monitoreo continuo del flujo y nivel de agua en los tanques para producir un modelo preciso. La herramienta de optimización requiere los resultados de la herramienta de modelado y las mediciones de presión en algunos nodos estratégicos de la red de distribución de agua [47].

Debido a las limitaciones locales, pocas ubicaciones pueden estar equipadas con sensores de presión. El monitoreo continuo del flujo de los tanques permite la identificación del Flujo Mínimo Nocturno (MNF por sus siglas en inglés). La monitorización continua de la presión del nodo permite la asociación de la presión en los nodos monitorizados en ese período. Durante el período de MNF el consumo es mínimo, la presión a lo largo de la red de distribución de agua está cerca de su valor máximo y los flujos de fuga también están cerca de su máximo. Durante el período MNF es común suponer que el flujo se debe totalmente a fugas no informadas. Este flujo se divide en una cierta cantidad de posibles fugas que se asignan a algunas tuberías. La metodología utiliza un modelo hidráulico de estado estacionario que relaciona las presiones de los nodos y el flujo de las tuberías usando ecuaciones de energía y continuidad y las leyes de resistencia en las tuberías para simular el comportamiento hidráulico del sistema de distribución de agua.

La experiencia previa en la aplicación de esta metodología muestra que la mayoría de las veces las tuberías identificadas tienen una fuga y en ocasiones se encuentran junto a las tuberías con fugas. Luego de analizar los resultados de la metodología, se puede planificar la intervención humana en el campo con equipos especializados y personal capacitado. El esfuerzo de intervención de campo se centrará en tuberías específicas, y esto puede ser una gran contribución para aumentar la eficiencia del control activo de fugas.

Como conclusión en la aplicación de este método los autores indican que la metodología produjo soluciones bastante precisas, identificando correctamente las tuberías con fugas más probables en la red de distribución de agua, lo que supone una contribución significativa para aumentar la eficiencia de las actividades de control de fugas. Por lo tanto, las tuberías destacadas por la metodología son idealmente buenos elementos para iniciar la búsqueda de fugas con equipos acústicos. La principal desventaja de la metodología es su dependencia del modelo de simulación hidráulica, que tiene que ser muy preciso [47].

Otro estudio realizado por Boatwright *et al.*, “*Optimal sensor placement and leak/burst localization in a water distribution system using spatially-constrained inverse-distance weighted interpolation*”, destaca la importancia de la adecuada colocación de los sensores para maximizar el rendimiento en la localización de fugas en una ZMC. La novedosa metodología combinada de ubicación del sensor: localización de fugas busca determinar la ubicación aproximada de una nueva fuga en una ZMC analizando los datos de varios sensores de presión instalados. Una vez que se ha seleccionado el número deseado de sensores, la metodología utiliza un Algoritmo Evolutivo Multi Objetivo (MOEA por sus siglas en inglés) para calcular la ubicación óptima de los sensores de presión en la ZMC. Esto se logra mediante el modelado hidráulico de fugas en todos los nodos en la ZMC y la evaluación (utilizando una función objetivo sc-IDW6) del rendimiento de localización de cada configuración de sensores para cada modelo de fuga. Una vez que se ha determinado la configuración óptima del sensor, la técnica sc-IDW6 se usa nuevamente para calcular la ubicación aproximada de una nueva fuga en una ZMC (una vez que se ha identificado o se sospecha una fuga) [48].

La novedosa metodología combinada de ubicación del sensor de fuga puede por lo tanto permitir una reducción significativa en el área de búsqueda de fugas y, por lo tanto, el tiempo necesario para que los equipos de campo encuentren una fuga en una ZMC. Esto ofrece la posibilidad de mejorar el servicio al cliente y aumentar la eficiencia operativa al minimizar las consecuencias negativas de las fugas.

Visto de esta manera, la creación de un modelo de simulación hidráulica de la red de distribución de agua es determinante al momento de realizar el control activo de pérdidas en la red, pues entre otros aspectos permite a la empresa de agua reducir el volumen de pérdidas reales de agua con un menor esfuerzo en el trabajo de campo para localizar fugas.

⁶ La técnica de localización de fugas sc-IDW6 analiza las señales de presión entrante y estima los residuales de presión para todos los nodos en la ZMC basado en los calculados para cada uno de los sensores instalados. El umbral de sc-IDW se usa para determinar qué nodos contienen la ubicación probable de la fuga, que luego puede pasarse a los equipos de campo para su posterior investigación.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

*Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*

Conclusiones

Capítulo 5

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

5. Capítulo 5: Conclusiones

5.1 Principales conclusiones acerca de la evaluación del desempeño del sistema de distribución de agua

Considerando las repercusiones del consumo de agua dentro del ciclo del agua, se hace evidente la necesidad de cambiar los actuales modelos de gestión donde el único objetivo es asegurar el suministro por otros que promuevan una gestión del agua más consciente y tenga en cuenta que, a mayor suministro, mayor carga de residuales; es decir, un sistema que permita que el agua desde su captación hasta su devolución al medio, en el ciclo al que llamamos urbano consiga que todas sus partes funcionen complementariamente y con el objetivo de prestar un servicio de excelencia al cliente final y la preservación del medio ambiente.

Tomando en cuenta este aspecto, en el presente trabajo de investigación se abordaron dos temas de gran importancia para los prestadores de servicio de agua potable. Por un lado el concepto de benchmarking que permite hacer una radiografía del desempeño interno de la empresa, compararlo con otras entidades de igual clase y adoptar si es el caso, las mejores prácticas para fortalecer su gestión. El segundo tema que se aborda es la elaboración de un sistema de indicadores de desempeño que permita conocer el nivel de eficiencia y eficacia de la institución para caracterizar, evaluar la calidad y medir la gestión de la prestación de los servicios de agua potable. En este contexto, en el capítulo 3 se realizó el cálculo del balance hídrico con el objeto de cuantificar el volumen de cada una de las componentes de consumo del sistema Troya para evaluar el desempeño de la entidad gestora en cuanto al control del consumo de agua no facturada. El periodo de análisis considerado va desde el año 2013 a 2017, tiempo en el cual se indica la evolución de los volúmenes de consumo del sistema en estudio. Así, del total de agua que ingresa al sistema Troya en 2017, el 52,33% es agua facturada, mientras que el 47,67% corresponde al agua no facturada; es decir, existe un porcentaje elevado para el volumen de agua no facturada, pudiendo deberse a varias causas como: menor control sobre los consumos, incremento en los errores de lectura de los contadores, incremento del número de conexiones clandestinas o cambio de los patrones de consumo de la población abastecida por el sistema Troya. Además, siendo el balance hídrico un indicador de carácter internacional se ubicó al porcentaje de agua no facturada (pérdidas comerciales) dentro de los rangos que ofrece el sistema de indicadores de desempeño de

Portugal en su guía técnica ya que en la regulación para Ecuador no existe un valor óptimo con que pueda compararse este indicador; así, se puede entender que la calidad del servicio es insatisfactoria en este indicador por poseer un porcentaje de 47,67% de agua no facturada en 2017. Las recomendaciones internacionales apuntan a que el porcentaje de agua no facturada no debe exceder el 20%.

Para evaluar el desempeño de la empresa relacionado con el control de las pérdidas de agua, se realizó el cálculo del Índice Infraestructural de Fugas (IIF), basándose en la relación entre el valor de las pérdidas reales y el valor de las pérdidas reales mínimas. El resultado del indicador indica que la empresa posee un nivel adecuado en materia de gestión de fugas del sistema en estudio. Al medir el IIF se espera que los sistemas bien gestionados tengan valores bajos (alrededor de 1,0), mientras que los sistemas con deficiencias en la gestión de infraestructura y otros componentes, presentan valores más altos. En el caso de EMAPA, el IIF es igual a 1,59 – que según la matriz de objetivos de pérdidas reales del WBI se traduce en una adecuada gestión del sistema y no requiere intervención específica. La utilización de este indicador permite que la empresa, no solo evalúe y compare rápidamente su desempeño utilizando un estándar internacional, sino que también pueda interpretar las acciones apropiadas para reducir las fugas en los sistemas de distribución de agua.

Los indicadores de desempeño nacionales establecidos por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) permiten caracterizar, evaluar la calidad y medir la gestión de los sistemas de abastecimiento público de agua. En el presente trabajo se consideran únicamente los indicadores de calidad del servicio, puesto que ellos permiten medir, hacer seguimiento y evaluar las condiciones de coberturas, personal e insumos utilizados en la prestación de los servicios de agua potable dentro de la respectiva área de cobertura del servicio, además que estos indicadores están relacionados con el porcentaje de agua no facturada. En primer lugar, de los parámetros analizados se verifica que dos de ellos (Cobertura de micromedición de agua potable y Eficiencia del sistema de micromedición) alcanzan los valores óptimos establecidos en la regulación nacional. Los demás parámetros no poseen un valor óptimo en la regulación para su análisis. Sin embargo y como se establece en la regulación nacional, con los valores de los parámetros se obtienen los resultados de los indicadores de desempeño para la calidad del servicio ($EUAP$, NCA_B , NCA_{FQ}). Como se indica en el capítulo 3, la Eficiencia en el Uso de Agua Potable ($EUAP$), no se encuentra dentro de niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera en estado de alerta con un grado de intervención moderado; por otro lado el Nivel de conformidad en análisis

bacteriológicos para agua potable (NCA_B) y el Nivel de conformidad en análisis físico – químico para agua potable (NCA_{FQ}) se encuentran dentro de los niveles aceptables de desempeño y su gestión se considera aceptable con un menor grado de intervención de acuerdo a la regulación nacional.

Una vez analizado el sistema de distribución Troya se puede sugerir la necesidad del registro de la red de distribución y la caracterización del modo de funcionamiento global del sistema. El presente trabajo plantea varias técnicas para gestionar de mejor manera los sistemas de agua potable, con el fin de reducir los porcentajes de agua no facturada, el índice de pérdidas reales y aparentes y optimizar la calidad del servicio brindado por la empresa. Una de las técnicas propuestas es gestionar la presión sectorizando la red de distribución de agua, este método permitirá tener un mayor control sobre las presiones de servicio y por lo tanto sobre el número de roturas en las tuberías. El análisis de cada subsistema ayuda a la empresa a definir prioridades de intervención de las infraestructuras hidráulicas o de inversión económica. Un programa de reducción y control de pérdidas por parte de la empresa permitirá el manejo eficiente del volumen de agua suministrado y entregado a los usuarios de los sistemas de abastecimiento a costos compatibles con los beneficios obtenidos. Cada procedimiento puede aplicarse aisladamente, pero, en general, los mejores resultados surgen cuando existe una combinación entre los varios procedimientos indicados.

5.2 Procedimientos para mejorar el rendimiento de la entidad gestora

La planificación estratégica de una entidad gestora deberá incorporar las opciones de política ambiental, considerando de forma integrada aspectos ambientales, sociales, técnicos y económicos. En estos, los aspectos asociados al uso del agua deberán ser explícitamente considerados, definiendo objetivos a implementar en el corto, mediano y largo plazo, sosteniendo las opciones con un análisis previo de las condiciones de funcionamiento de los servicios y de los principales problemas y desafíos que se plantean. En particular, en el sector del abastecimiento de agua, las entidades gestoras pueden aportar una contribución de gran importancia para la aplicación del uso eficiente del agua.

Las medidas identificadas a nivel de los sistemas públicos para la gestión de los sistemas de distribución de agua descritas en el presente trabajo, cuya aplicación debe ser esencialmente promovida por las entidades gestoras, pueden situarse dentro de los tópicos

que a continuación se detallan. Generalmente, estas medidas se integran en la gestión de la demanda, pues permiten actuar sobre los consumos y en la reducción de las pérdidas.

De manera general estas medidas permiten a las entidades gestoras promover el uso eficiente de sus recursos y garantizar la calidad del servicio que prestan:

- Optimización de procedimientos y oportunidades para el uso eficiente del agua
- Reducción de presiones en el sistema público de abastecimiento
- Reducción de pérdidas de agua en el sistema público de abastecimiento

En la tabla 28 se indica un resumen de cada una de las medidas.

MEDIDA	DESCRIPCIÓN
Optimización de procedimientos y oportunidades para el uso eficiente del agua	Esta medida consiste en la aplicación de un programa específico de optimización del uso del agua en la entidad gestora, presentando como objetivos principales la reducción de los consumos de agua, los consumos de energía y los correspondientes volúmenes de aguas residuales generadas. Las intervenciones que deben realizarse en el marco de este programa se dirigen, en particular, a la adecuación de procedimientos para reducir el consumo de agua, el uso de equipos y dispositivos más eficientes y la adopción de sistemas de recirculación y / o la reutilización de las aguas de calidad inferior.
Reducción de presiones en el sistema público de abastecimiento	La presión en un sistema de distribución es reconocidamente un factor determinante para el caudal total de pérdidas, para los consumos y para la tasa de roturas en conductos. Esta medida consiste en la gestión activa de la presión en los sistemas de distribución, lo que pasa por aspectos no sólo de concepción del sistema, sino también de operación corriente. El control de la presión debe permitir garantizar permanentemente presiones por encima de los mínimos reglamentarios, pero evitar valores excesivos e innecesarios.
Reducción de pérdidas de agua en el sistema público de abastecimiento	Las pérdidas de agua constituyen una de las principales fuentes de ineficiencia de las entidades gestoras de abastecimiento de agua. Esta medida consiste en la definición e implementación de una estrategia activa de control de pérdidas por las empresas de agua. Se aplica a sistemas públicos de abastecimiento de agua, incluyendo captación, elevación, tratamiento, conducción, almacenamiento y (especialmente) distribución. Se trata de una medida con interés no sólo en la lógica del uso eficiente del agua, sino también en la lógica puramente económica de las entidades gestoras.

Tabla 28. Medidas para el uso eficiente del agua en el sector urbano

Conforme a la situación de la empresa de agua en estudio cuyo porcentaje de agua no facturada se encuentra sobre el 40% para el año 2017, es necesario adoptar ciertas medidas que permitan optimizar el uso eficiente de los volúmenes agua que manejan para potenciar la calidad de sus servicios. Estas medidas deben traducirse en beneficios claros y directos procedentes de las reducciones del consumo de agua de abastecimiento y de los volúmenes de aguas residuales que se deben descargar, lo que resulta en ahorros económicos que, en algunos casos, pueden tener importantes repercusiones.

A continuación se esquematiza un programa de optimización en la utilización del agua que puede ser aplicado por la empresa. El programa considera el elevado porcentaje de agua no facturada determinado en el balance hídrico del año 2017 y plantea la aplicación de medidas de gestión del sistema de abastecimiento de agua potable con el fin de reducir este volumen (figura 30).

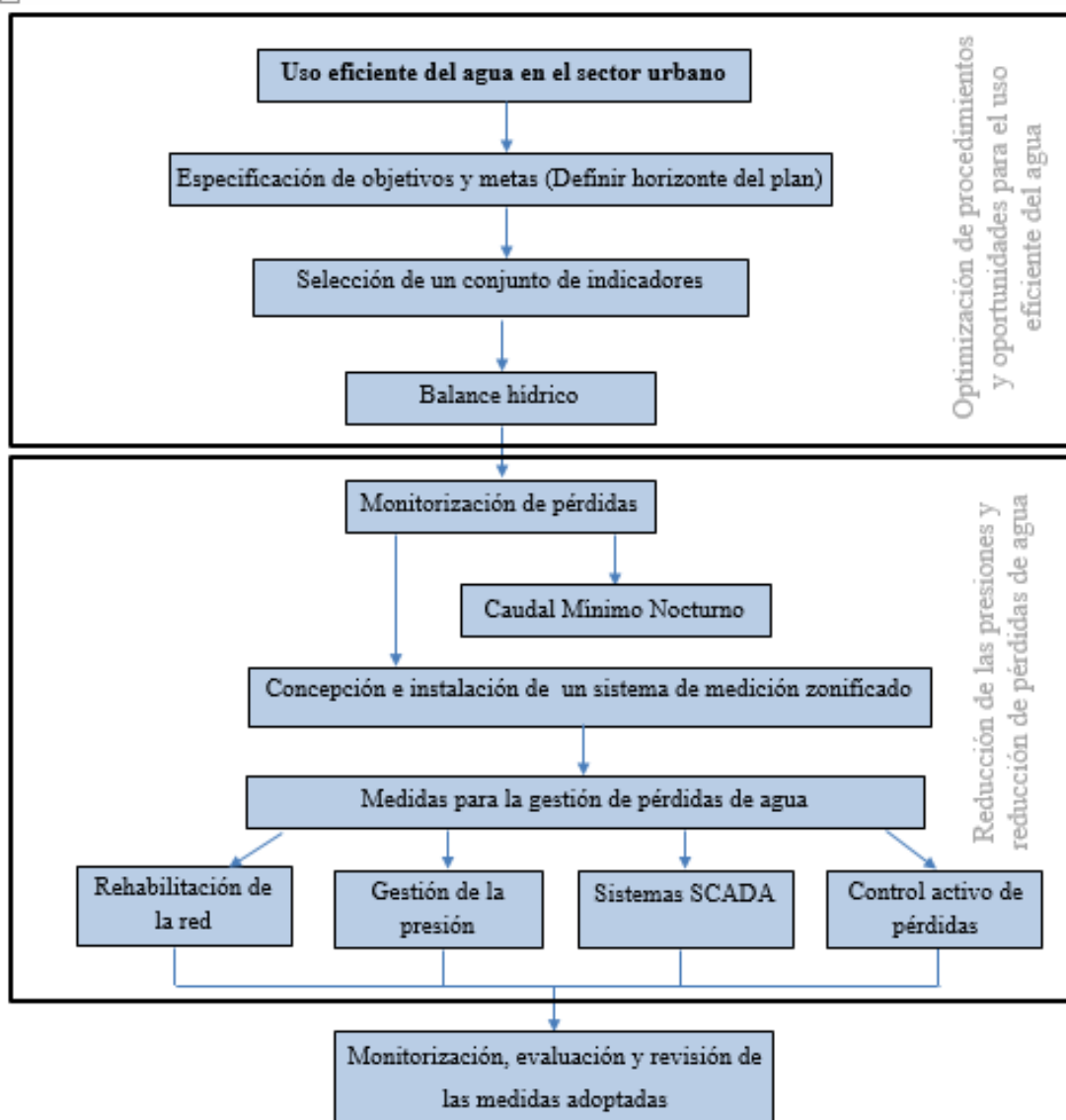


Figura 30. Esquema para la gestión del sistema de agua potable del caso de estudio

A continuación (tabla 29) se muestra una síntesis de la viabilidad de aplicar este esquema en el caso de estudio.

Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial reducción en los consumos de agua, del volumen de aguas residuales generadas, de los consumos energéticos, reducción de volumen de agua no facturada, reducción de la presión. • Imagen de alta eco-eficiencia o de rendimiento ambiental adecuado.
Limitaciones o inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> • En términos económicos estas medidas puede implicar la realización de una inversión significativa. • Las modificaciones introducidas con la aplicación de estas medidas pueden originar, en una primera fase, algunas dificultades funcionales resultantes de cambios en el nivel operativo de los sistemas.
Dificultad de aplicación	Es elevada, pues implica inversión económica tanto para aplicar las medidas como para capacitar al personal que operará el nuevo sistema.

Tabla 29. Síntesis de la viabilidad de la aplicación de medidas para el uso eficiente del agua

*Análisis de las pérdidas de agua en el sistema de
abastecimiento: Caso de estudio EP-EMAPA-A*

Bibliografía

Capítulo 6

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

6. Capítulo 6: Bibliografía

- [1] Naciones Unidas, «La situación demográfica en el mundo 2014,» Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Naciones Unidas, New York, 2014.
- [2] Naciones Unidas, «3er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua en un mundo en constante cambio,» UNESCO, 2010.
- [3] Naciones Unidas, «Agua para todos. Agua para la vida. Resumen,» UNESCO, París, 2003.
- [4] Ijjasz, «Día Mundial del Agua: América Latina a la cabeza en gestión hídrica aunque persisten desigualdades en el acceso,» Banco Mundial, 2013.
- [5] CAF - Banco de Desarrollo de América Latina, «América Latina: más inversiones para tener servicios de agua de calidad,» CAF - Banco de Desarrollo de América Latina, 2016.
- [6] Banco Mundial, «América Latina: ¿Por qué las empresas de agua y saneamiento intentan ahorrar energía?,» Banco Mundial, 2013.
- [7] SENAGUA, «Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento,» Secretaría del Agua, Quito - Ecuador, 2016.
- [8] M. López de Asiain Alberich , A. Ehrenfried y P. Pérez del Real , «EL CICLO URBANO DEL AGUA - Un nuevo modelo de sistema integral de gestión,» Eddea Arquitectura y Urbanismo S.L., Sevilla, 2007.
- [9] M. Rodríguez , «El ciclo urbano del agua,» 2011. [En línea]. Available: http://www.sdeurope.org/wp-content/uploads/downloads/2010/11/Rehabilitaci%C3%B3n-Urbana-Eficiente_Caso-de-Canillas_IJH.pdf.

- [10] CEPT University, «A Review of PERFORMANCE BENCHMARKING - Urban Water Supply and Sanitation,» PERFORMANCE ASSESSMENT SYSTEMS (PAS) - CEPT University, Gujarat, India, 2013.
- [11] EWURA, «PERFORMANCE BENCHMARKING GUIDELINES FOR WATER SUPPLY AND SANITATION AUTHORITIES,» Energy and Water Utilities Regulatory Authority, 2014.
- [12] E. Cabrera, P. Dane, S. Haskins y H. Theuretzbacher-Fritz, «Benchmarking para servicios de agua: Guiando a los prestadores de servicios hacia la excelencia,» Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia - España, 2014.
- [13] República del Ecuador, Constitución de la República del Ecuador, Montecristi: República del Ecuador, 2008.
- [14] H. Solís y J. Villarroel, «Caracterización de los Modelos de Gestión de agua y saneamiento en 16 municipios de 5 provincias en Ecuador,» PROTOS y sus aliados CEDIR, CEFODI, SENDAS, 2015.
- [15] LNEC y ERSAR, GUIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS PRESTADOS AOS UTILIZADORES, Série GUIAS TÉCNICOS 22, Portugal: Laboratório de Engenharia civil y Entidade Reguladora dos servicios de Águas e Resíduos, 2017.
- [16] J. M. Figueiredo, Construção de um sistema de indicadores de desempenho para empresas de abastecimento público de água para consumo, Porto: Universidade do Porto, 2012.
- [17] R. Gomes, MODELAÇÃO MATEMÁTICA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO E EXPLORAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA, Coimbra: Universidade de Coimbra, 2011.
- [18] A. Lambert y W. Hirner, «The Blue Pages. Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures,» International Water Association (IWA), 2000.

- [19] H. Alegre, W. Hirner, J. Baptista y R. Parena, Guia Técnico 1: Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Manual de Boas Práticas da IWA., Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2004.
- [20] R. Liemberger y R. Mckenzie, «Accuracy limitations of the ILI - Is it an appropriate indicator for developing countries?,» de *In Leakage 2005, Specialized Conference Proceedings, IWA, Canada, 2005.*
- [21] A. Lambert, T. Brown, M. Takizawa y D. Weimer, «A review of performance indicators for real losses from water supply systems,» *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, vol. 48, nº 6, pp. 227-237, 1999.
- [22] A. Lambert y R. McKenzie, «Practical experience in using the infrastructure leakage index,» de *IWA Conference in Leakage Management*, November, 2002.
- [23] D. Pearson, «Testing the UARL and ILI approach using a large UK Data Set,» de *IWA Conference in Leakage Management*, Cyprus, 2002.
- [24] M. Tabesh, A. Asadiyani y R. Burrows, «An integrated model to evaluate losses in water distribution systems,» *Water Resources Management*, vol. 23, pp. 477-492.
- [25] J. Thornton y A. Lambert, «Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships,» de *In Leakage 2005, Specialized Conference Proceedings, IWA, Halifax (Canada), 2005.*
- [26] R. Liemberger, K. Brothers, A. Lambert, R. McKenzie, A. Rizzo y T. Waldron, «Water Loss Performance Indicators».
- [27] F. Martinez , J. Ferrer, V. Bou Soler y J. Cortés, «Sistema de Indicadores para la Gestión de Redes de Agua Potable,» Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (España), 2007.

- [28] International Water Association, «The blue pages, the IWA information source on drinking water issues,» IWA, 200.
- [29] Agencia de Regulación y Control del Agua, «REGULACIÓN Nro. DIR-ARCA-RG-003-2016,» Quito, 2016.
- [30] GADM Ambato, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Ambato,» GADM Ambato, Ambato, 2016.
- [31] EP-EMAPA-A, «EP- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato,» Icono Sistemas, 2018. [En línea]. Available: <http://www.emapa.gob.ec/portal/informacion-corporativa/quienes-somos/nuestra-historia/>.
- [32] D. Fortes Monteiro, «Avaliação da qualidade do serviço prestado no abastecimento público de água na cidade de Porto Novo, Cabo Verde,» Dissertação Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas, IPL, Leiria, 2017.
- [33] H. Alegre, S. Coelho, M. Almeida y P. Vieira, «Guia Técnico 3: Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição,» Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), Instituto da Água (INAG) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2005.
- [34] M. Pereira, «Implementação e Monitorização de uma Zona de Medição e Controlo no Sistema de Abastecimento de Matosinhos,» Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2012.
- [35] M. Farley, «Leakage management and control. A BEST PRACTICE TRAINING MANUAL,» World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2001.
- [36] R. Rosero Castillo, «SCADA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO,» Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento , Quito.

- [37] N. Trifunovic, «Introduction to Urban Water Distribution. Taylor & Francis/Balkema,» Leiden, 2008.
- [38] A. I. S. Olaia, «Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água através de Modelação Hidráulica,» Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [39] S. T. Teixeira, D. Loureiro y H. Alegre, «Modelação E Análise De Sistemas De Abastecimento De Água,» Série Guias Técnicos no 4., 2006.
- [40] R. Mckenzie y S. Langenhoven, «PRESMAC User Guide,» South Africa Water Research Commission, WRC TT 152/01, 2001.
- [41] M. Fantozzi y A. Lambert, «Including the effects of pressure management in calculations of short-run economic leakage levels,» de *Water Loss 2007, Specialized Conference Proceedings, IWA*, Bucharest (Romania), 2007.
- [42] H. Awad, Z. Kapelan y D. Savic, «Analysis of pressure management economics in water distribution systems,» de *Proceedings of the 10th Annual Water Distribution Systems Analysis Conference (WDSA2008)*, South Africa: Kruger National Park, 2008.
- [43] O. Giustolisi, Z. Kapelan y D. Savic, «Extended period simulation analysis considering valve shutdowns,» *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 6, nº 134, pp. 527-537, 2008.
- [44] R. Gomes, A. Sá Marques y J. Suouza, «Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems,» *Urban Water Journal*, vol. 8, nº 2, pp. 65-77, 2011.
- [45] A. Lambert, «What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems?,» de *System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management, Specialized Conference Proceedings, IWA*, Brno (Czech Republic), 2000.
- [46] M. Farley y S. Trow, «Losses in Water Distribution Networks,» IWA Publishing, UK, 2003.

- [47] O. Giustolisi, D. Savic y Z. Kapelan, «Pressuredriven demand and leakage simulation for water distribution networks,» *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 5, nº 134, pp. 626-635, 2008b.
- [48] R. Gomes, «Material de apoyo para clases,» Departamento de Ingeniería civil - IPL, Leiria, 2016.

Anexos

Anexo 1: Indicadores y parámetros del servicio de agua potable y/o saneamiento de Ecuador

Agencia de Regulación y Control del Agua		INDICADORES Y PARÁMETROS DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y/O SANEAMIENTO					
Tipo de indicador	Código	Nombre	Descripción	Unidad	Parámetros		Ecuación o fórmula del indicador
					Descripción	Unidad	
ESTRUCTURA DEL SERVICIO	CSAP	Cobertura del servicio de agua potable	Permite determinar el porcentaje de cobertura en la prestación del servicio de agua potable en relación al Área de Cobertura del Servicio (ACS) definida por el prestador.	%	VSAP= Cantidad total de viviendas existentes dentro del área de cobertura del servicio que cuentan con el servicio de agua potable provisto por el prestador	N°	$CSAP = \frac{VSAP}{VAS} * 100$
	CSAL	Cobertura del servicio de alcantarillado	Permite determinar el porcentaje de cobertura en la prestación del servicio de alcantarillado en relación al Área de Cobertura del Servicio (ACS) definida por el prestador.	%	VAS= Cantidad total de viviendas existentes dentro del área de cobertura del servicio dentro de la jurisdicción del prestador	N°	
	ETC _{AP}	Empleados totales por conexión de agua potable	Permite evaluar el número de empleados directos que tiene vinculados el prestador del servicio de agua potable por cada 1000 conexiones durante el período de evaluación.	N° empleados / N° conexiones	TPE= Cantidad total del personal (de nómina o contrato, de contratistas) empleado para las actividades propias de los servicios de agua potable del prestador	Empleados	$ETC_{AP} = \frac{TPE}{NC_{AP}} * 1000$
	FAC	Fuentes autorizadas para el uso de agua para consumo humano respecto de las fuentes totales	Permite determinar el grado de otorgamiento de autorizaciones de uso de las fuentes de agua (superficiales o subterráneas) de las cuales el prestador hace uso para proveer del recurso a la población servida.	%	FAA= Número total de fuentes (superficiales o subterráneas) que cuentan con una concesión o autorización de uso otorgada por parte de la Autoridad Única del Agua	N°	
	CMAP	Cobertura de micromedición de agua potable	Permite establecer el grado de cobertura de medidores instalados (micromedidores) en las conexiones activas dentro del Área de Cobertura de Servicio de agua potable para el período evaluado.	%	NCMI _{AP} = Total de conexiones de agua potable que cuentan con un medidor instalado (esté funcionando o no) en cada domicilio	Conexión	$CMAP = \frac{NCMI_{AP}}{NC_{AP}} * 100$
	EMAP	Eficiencia del sistema de micromedición	Permite establecer el grado de cobertura real de micromedición, definida a partir del número de medidores (micromedidores) funcionando en conexiones activas dentro del Área de Cobertura de Servicio de agua potable para el período evaluado.	%	NCMO _{AP} = Total de conexiones de agua potable que cuentan con un medidor instalado y operativo, en cada domicilio	Conexión	
	MOP ₀₋₅	Medidores menores a 5 años de edad respecto del total de medidores	Permite establecer el grado de cobertura de micromedidores que se encuentran operando menos de cinco años dentro del Área de Cobertura de Servicio de agua potable para el período evaluado.	%	NMO ₀₋₅ = Total de micromedidores que se encuentran operando menos de 5 años	N°	$MOP_{0-5} = \frac{NMQ_{0-5}}{NCMI_{AP}} * 100$
	MOP ₅₊	Medidores mayores a 5 años de edad respecto del total de medidores	Permite establecer el grado de cobertura de micromedidores que se encuentran operando más de cinco años dentro del Área de Cobertura de Servicio de agua potable para el período evaluado.	%	NMO ₅₊ = Total de micromedidores que se encuentran operando más de 5 años	N°	
	IAS	Incidencia del agua subterránea en el agua extraída	Permite determinar el porcentaje de participación de las aguas subterráneas captadas para el sistema de abastecimiento de agua potable durante el período de evaluación	%	VC _{sub} = Volumen de agua subterránea captada para el sistema de abastecimiento de agua potable durante el período	m³	$IAS = \frac{VC_{sub}}{VTC} * 100$
	IAC	Incidencia del agua cruda importada en el agua cruda total que ingresa al sistema	Permite determinar el porcentaje de participación del agua cruda importada para los sistemas de abastecimiento de agua potable durante el período de evaluación	%	VTC= Volumen total de agua captada (superficial y/o subterránea) y/o importada (cruda) para el sistema de abastecimiento de agua potable durante el período informado.	m³	
IAP	Incidencia del agua potable importada en el agua total que ingresa al sistema	Permite determinar el porcentaje de participación del agua potable importada para los sistemas de abastecimiento de agua potable durante el período de evaluación	%	VAI= Volumen total de agua ("en bloque") cruda, importada o comprada a otros proveedores durante el período reportado	m³	$IAP = \frac{VAI_P}{VAIS} * 100$	
EPAC	Eficiencia de potabilización de agua cruda	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua cruda captada desde cuerpos superficiales y/o subterráneos que se distribuye desde el tratamiento a la red de agua potable, durante el período de evaluación.	%	VTD= Volumen de agua tratada (que requiere un proceso mínimo de tratamiento, ej.: desinfección con cloro) distribuida a la red, desde los sistemas de tratamiento operados por el prestador.	m³		
ANC	Agua potable no contabilizada en la red	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua tratada que se pierde desde que ésta sale a la red de distribución del sistema hasta que llega a los consumidores del servicio y se factura, durante el período de evaluación.	%	VTF= Volumen total facturado de agua (medido, estimado y facturado a otros prestadores) en el período reportado.	m³	$ANC = \frac{(VTD - VTF)}{VTD} * 100$	
EUAP	Eficiencia en el uso de agua potable	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua cruda captada (incluye el volumen de agua cruda importada y el agua potable importada) desde cuerpos superficiales y/o subterráneos que se factura al llegar a los consumidores como agua potable.	%	VAIS= Volumen total de agua cruda captada (superficial y/o subterránea) y/o importada (cruda y/o potable) para el sistema de abastecimiento de agua potable durante el período informado.	m³		
ECA	Eficiencia de la capacidad de almacenamiento de agua potable según la norma vigente	Permite determinar la capacidad de almacenamiento en el sistema de agua potable en términos de cumplimiento de la norma que reglamenta el volumen que se debe utilizar de acuerdo a la población atendida por el prestador, durante el período de evaluación.	%	AAP= Sumatoria de los volúmenes de los tanques de almacenamiento o de reserva de todo el sistema de distribución de agua potable	m³	$ECA = \frac{AAP}{AAP_{INEN}} * 100$	
IEAP	Índice de exportación de agua potable	Permite determinar el porcentaje del volumen de agua exportado desde el sistema de abastecimiento de agua potable a otro prestador de servicios, proveedor o distribuidor, durante el período de evaluación	%	VAE= Volumen de agua ("en bloque") exportada o vendida desde el sistema de abastecimiento de agua potable, a otro distribuidor, prestador o proveedor	m³		
IEAT	Índice de exportación de agua a través de tanqueros	Permite determinar el porcentaje del volumen de agua que se vende a tanqueros de terceros, desde el sistema de abastecimiento de agua potable durante el período de evaluación	%	VVT= Volumen de agua que se vende a tanqueros de terceros, desde el sistema de abastecimiento de agua del prestador	m³	$IEAT = \frac{VVT}{VTD} * 100$	
IVFE	Índice de volumen facturado estimado	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua tratada que se factura sin medición, durante el período de evaluación.	%	VFD= Volumen de agua facturada estimado (sin lectura de micromedición). Incluye el volumen por uso doméstico, comercial, industrial, otros y, en bloque	m³		
IVF _{OP}	Índice de volumen facturado a otros proveedores	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua tratada que se factura por concepto de venta de agua a otros prestadores, durante el período de evaluación.	%	VTF= Volumen total facturado de agua (medido, estimado y facturado a otros prestadores) en el período reportado.	m³	$IVF_{OP} = \frac{VFOP}{VTF} * 100$	
CANF	Consumo autorizado no facturado	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua tratada que no se factura frente al total de agua distribuida a la red durante el período de evaluación.	%	VNF= Volumen de agua que se entrega a consumidores autorizados a los cuales no se factura (ej.: bomberos, parques, iglesias...)	m³		
VPR	Volumen de pérdidas de agua potable por Km de red	Permite establecer el volumen promedio de agua no contabilizada que se perdió por cada Km de red de distribución, durante el período de evaluación.	m³/ Km	VTD= Volumen de agua tratada (que requiere un proceso mínimo de tratamiento, ej.: desinfección con cloro) distribuida a la red, desde los sistemas de tratamiento operados por el prestador.	m³	$VPR = \frac{(VTD - VTF)}{LRD}$	
VAPC	Volumen de agua potabilizada por conexión	Permite determinar el volumen promedio de agua consumida por conexión residencial (doméstica) del servicio agua potable durante el período de evaluación	m³/N° conexiones	VTF= Volumen total facturado de agua (medido, estimado y facturado a otros prestadores) en el período reportado.	m³		
COAA	Relación de conexiones de alcantarillado respecto de las conexiones de agua potable	Permite determinar el nivel de cobertura de las conexiones de alcantarillado frente a las conexiones en el sistema de abastecimiento de agua potable.	%	NCALC= Total de conexiones que vierten sus descargas a la red de alcantarillado, mediante una conexión domiciliaria.	Conexión	$COAA = \frac{NC_{ALC}}{NC_{AP}} * 100$	
CUIA	Relación de cuentas de alcantarillado respecto de las cuentas de agua potable	Permite determinar el nivel de cobertura de las cuentas de alcantarillado frente a las cuentas en el sistema de abastecimiento de agua potable.	%	NCAP= Total de conexiones de agua potable dentro del Área de Cobertura del Servicio en el período reportado	Conexión		
CFSA	Relación de conexiones a fosas sépticas respecto al total de conexiones de alcantarillado	Permite determinar el nivel de cobertura de las conexiones a fosas sépticas frente a las conexiones a la red de alcantarillado del sistema.	%	CAL= Cantidad de cuentas a las que se les factura alcantarillado (incluye las cuentas que también reciben conjuntamente el servicio de agua potable).	Cuenta	$CFSA = \frac{NC_{FS}}{NC_{ALC}} * 100$	
CAT _{AR}	Uso de la capacidad actual de tratamiento de aguas residuales	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua residual que se puede tratar de acuerdo a las capacidades actuales de las plantas de tratamiento del sistema, durante el período de evaluación.	%	CAP= Cantidad de cuentas a las que se les factura agua potable (incluye las cuentas que también reciben conjuntamente el servicio de alcantarillado)	Cuenta		
VET	Volumen de agua distribuido tratado efectivamente en la disposición final	Permite establecer el porcentaje de volumen de agua potable distribuido que se trató efectivamente como agua residual en la disposición final de estas aguas, durante el período de evaluación.	%	NCFS= Total de conexiones que vierten sus aguas residuales a una fosa séptica.	Conexión	$CAT_{AR} = \frac{VARV}{CTAR} * 100$	
CS	Continuidad del servicio de agua potable	Permite determinar la continuidad de la prestación del servicio de agua potable en relación a la cantidad de horas diarias en que el servicio fue interrumpido por cortes programados o no programados, durante el período de evaluación.	%	NCALC= Total de conexiones que vierten sus aguas residuales a la red de alcantarillado, mediante una conexión domiciliaria.	Conexión		
DRT	Densidad de reclamos totales	Permite evaluar el nivel de peticiones, quejas o reclamos interpuestas por los consumidores del servicio de agua potable por aspectos comerciales u operativos (calidad del servicio, continuidad, cobranza, registro en la base comercial, medición de consumos, etc.), durante el período de evaluación.	N° PQRs / N° cuentas	VARV= Volumen de agua residual vertida o descargada con tratamiento (primario y/o secundario) durante el período reportado	m³	$DRT = \frac{PQR}{CAP}$	
				CTAR= Capacidad de tratamiento instalada en plantas de tratamiento de aguas residuales	m³		
				VARV= Volumen de agua residual vertida o descargada con tratamiento (primario y/o secundario) durante el período reportado	m³	$CS = \frac{DSAP}{24} * 100$	
				VTD= Volumen de agua tratada (que requiere un proceso mínimo de tratamiento, ej.: desinfección con cloro) distribuida a la red, desde los sistemas de tratamiento operados por el prestador.	m³		
				DSAP= Número de horas de servicio de agua potable por día, provisto a la mayoría de la población	horas		
				PQR= Total de peticiones, quejas y reclamos al prestador de servicios en el mes por todo concepto.	N°		
				CAP= Cantidad de cuentas a las que se les factura agua potable (incluye las cuentas que también reciben conjuntamente el servicio de alcantarillado).	Cuenta		

CALIDAD	ST _{PQR}	Eficiencia en la solución a tiempo de las PQR	Permite establecer el porcentaje de las PQRs que el prestador del servicio atendió y solucionó dentro del período límite de 15 días, durante el período de evaluación.	%	PQR _{SOL} = PQRs recibidas y solucionadas dentro del tiempo límite de 15 días, en el mes i. PQR= Total de peticiones, quejas y reclamos al prestador de servicios en el mes por todo concepto.	N° N°	$ST_{PQR} = \frac{PQR_{SOL}}{PQR} * 100$
	CCAP	Cobertura de control de calidad en análisis bacteriológicos para agua potable	Permite determinar la calidad de la prestación del servicio de agua potable en términos de cumplimiento de la norma que reglamenta la cantidad de análisis bacteriológicos que exige la NORMA INEN 1108 quinta revisión, con respecto a la población atendida.	%	CAR _{AP} = Cantidad total de análisis microbiológicos realizados por el prestador durante el período reportado CAN _{AP} = Cantidad total de análisis microbiológicos exigidos por la normativa vigente en el período reportado (Norma INEN 1108)	N° N°	$CCAP = \frac{CAR_{AP}}{CAN_{AP}} * 100$
	NCA _B	Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable	Permite determinar la calidad de la prestación del servicio de agua potable en términos de cumplimiento de la norma que reglamenta las características y parámetros bacteriológicos de potabilización del agua, en observancia del cumplimiento a la norma del indicador "Cobertura de control de calidad en análisis bacteriológicos de agua potable".	%	CAC _{AP} = Cantidad total de análisis microbiológicos realizados y cuyo resultado cumple en conformidad con la normativa aplicable. CAR _{AP} = Cantidad total de análisis microbiológicos realizados por el prestador durante el período reportado	N° N°	$NCA_B = \frac{CAC_{AP}}{CAR_{AP}} * 100$
	NCA _Q	Nivel de conformidad en análisis físico-químicos para agua potable	Permite determinar la calidad de la prestación del servicio de agua potable en términos de cumplimiento de la norma que reglamenta las características y parámetros de potabilización del agua, durante el período de evaluación.	%	PCM _{AP} = Número total de parámetros físico-químicos i conformes de la muestra de calidad agua potable tomada durante el período. (De cada muestra tomada se deberá generar un número de parámetros conformes, de acuerdo al cumplimiento de la NORMA INEN 1108) PEM _{AP} = Número total de parámetros físico-químicos i evaluados en la muestra de calidad de agua potable tomada durante el período. (De cada muestra tomada se deberá determinar un número total de parámetros determinados) NM _{AP} = Número de muestras de calidad de agua potable n tomadas durante el período para análisis de características Físico-Químicas del agua potable. m = Número de meses m en los que se realizaron los análisis de las muestras de agua potable para análisis físico-químicos	N° N° N° N°	$NCA_Q = \frac{1}{m} * \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum_{j=1}^n PCM_{jAP}}{NM_{jAP}} \right) * 100$
	NCAR	Nivel de conformidad de los análisis realizados en aguas residuales	Permite determinar la calidad de la prestación del servicio de alcantarillado en términos de cumplimiento de la norma que reglamenta las características y parámetros del agua residual descargada a los cuerpos hídricos, durante el período de evaluación.	%	PCM _{ALC} = Número total de parámetros conformes de la muestra de aguas residuales tomada durante el período. (De cada muestra tomada se deberá generar un número de parámetros conformes, de acuerdo al cumplimiento del Acuerdo Ministerial N° 097-A expedido por el Ministerio del Ambiente) PEM _{ALC} = Número total de parámetros evaluados en la muestra de aguas residuales tomada durante el período. (De cada muestra tomada se deberá determinar un número total de parámetros determinados) NM _{ALC} = Número de muestras de aguas residuales n tomadas durante el período. r = Número de meses r en los que se realizaron los análisis de las muestras de aguas residuales	N° N° N°	$NCAR_r = \frac{1}{r} * \sum_{i=1}^r \left(\frac{\sum_{j=1}^n PCM_{jC}}{NM_{jLC}} \right) * 100$
APOYO A LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS COMUNITARIOS DE A&S (APLICA SÓLO PARA PRESTADORES PÚBLICOS)	AEJ	Cobertura de juntas de agua potable que cuentan con apoyo económico	Permite establecer el grado de cobertura, dentro de la jurisdicción del cantón, de las Juntas Administradoras de Agua Potable que cuentan con el apoyo económico del GAD.	%	JAP _{AE} = Cantidad de juntas de agua en (los) cantón/es, localidad/es, o áreas de servicio de agua potable que cuentan con apoyo económico del GAD JAP= Cantidad de juntas de agua potable y/o alcantarillado existentes en las localidad/es, o áreas de servicio bajo responsabilidad del GAD	N° N°	$AEJ = \frac{JAP_{AE}}{JAP} * 100$
	ATJ	Cobertura de juntas de agua potable que cuentan con apoyo técnico	Permite establecer el grado de cobertura, dentro de la jurisdicción del cantón, de las Juntas Administradoras de Agua Potable que cuentan con el apoyo técnico del GAD.	%	JAP _{AT} = Cantidad de juntas de agua en (los) cantón/es, localidad/es, o áreas de servicio de agua potable que cuentan con apoyo técnico del GAD JAP= Cantidad de juntas de agua potable y/o alcantarillado existentes en las localidad/es, o áreas de servicio bajo responsabilidad del GAD	N° N°	$ATJ = \frac{JAP_{AT}}{JAP} * 100$
	LJG	Legalización de JAAPs dentro de la jurisdicción del GAD	Permite establecer el grado de cobertura, dentro de la jurisdicción del cantón, de las Juntas Administradoras de Agua Potable que cuentan con el apoyo técnico del GAD.	%	JAPL= Cantidad de juntas de agua en (los) cantón/es, localidad/es, o áreas de servicio del GAD que cuentan con un documento de legalización y reconocimiento legal por parte de la Autoridad Única del Agua JAP= Cantidad de juntas de agua potable y/o alcantarillado existentes en las localidad/es, o áreas de servicio bajo responsabilidad del GAD	N° N°	$LJG = \frac{JAPL}{JAP} * 100$
ECONÓMICO - FINANCIEROS	IR	Índice de recaudación	Permite evaluar el comportamiento de la recaudación, la calidad del proceso de facturación y la efectividad de la cobranza por parte del prestador de los servicios durante el período de evaluación.	%	REF= Monto total efectivamente recibido (por cualquier medio de pago) durante el período por servicios de agua potable y alcantarillado. FTS= Monto total de la facturación en el período, por los servicios de agua potable (incluyendo agua exportada) y alcantarillado (incluyendo aguas residuales importadas)	USD USD	$IR = \frac{REF}{FTS} * 100$
	COC	Costos operativos totales por cuenta	Permite determinar el valor que representa los costos operativos totales por cada cuenta.	USD/N° cuentas	COP= Costos de operación incluyendo: producción y mantenimiento para la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado CAP= Cantidad de cuentas a las que se les factura agua potable (incluye las cuentas que también reciben conjuntamente el servicio de alcantarillado)	USD Cuenta	$COC = \frac{COP}{CAP}$
	CAC	Costos de administración y comercialización por cuenta	Permite determinar el valor que representa los costos de administración y comercialización totales por cada cuenta.	USD/N° cuentas	CGA= Costos relacionados a: arrendamientos, sueldos, salarios, gastos generales (no incluye costos operativos) y costos de comercialización (ventas) CAP= Cantidad de cuentas a las que se les factura agua potable (incluye las cuentas que también reciben conjuntamente el servicio de alcantarillado)	USD Cuenta	$CAC = \frac{CGA}{CAP}$
	FCAP	Facturación por conexiones de agua potable	Permite determinar el valor promedio del cobro mensual realizado por conexión del servicio público de agua potable durante el período de evaluación	USD/N° conexiones	FAP= Monto total mensual de la facturación por servicios de agua potable, incluyendo la facturación por agua exportada NC _{AP} = Total de conexiones de agua potable dentro del Área de Cobertura del Servicio en el período reportado	USD Conexión	$FCAP = \frac{FAP}{NC_{AP}}$
	FCAL	Facturación por conexiones de alcantarillado	Permite determinar el valor promedio del cobro mensual realizado por conexión del servicio público de alcantarillado durante el período de evaluación	USD/N° conexiones	FALC= Monto total mensual de la facturación por servicios de alcantarillado, incluyendo la facturación por transportes y conducción de aguas residuales importadas. NC _{ALC} = Total de conexiones que vierten sus descargas a la red de alcantarillado, mediante una conexión domiciliaria.	USD Conexión	$FCAL = \frac{FALC}{NC_{ALC}}$
	IL	Índice de liquidez	Permite establecer al final del período i la capacidad del prestador para dar cumplimiento al pago de las obligaciones de corto plazo adquiridas.	%	AC = Activo corriente. Valor de los bienes o de los activos del prestador que son susceptibles de convertirse en dinero en efectivo a corto plazo, es decir, en un lapso no superior a doce meses a partir de la fecha de cierre del ejercicio contable. PC= Pasivo corriente. Valor corriente de las obligaciones adquiridas por el prestador, cuya cancelación debe hacerse en un lapso no superior a doce meses a partir de la fecha del cierre del ejercicio contable.	USD USD	$IL = \frac{AC}{PC} * 100$
	CCO	Coefficiente de cobertura de Costos Operativos (CCO)	Permite evaluar al final del período, la capacidad del prestador para cubrir sus costos ligados a la operación y mantenimiento del servicio, a partir de sus ingresos por facturación	%	COP= Costos de operación incluyendo: producción y mantenimiento para la prestación de los servicios de agua potable y alcantarillado FTS= Monto total de la facturación en el período, por los servicios de agua potable (incluyendo agua exportada) y alcantarillado (incluyendo aguas residuales importadas)	USD USD	$CCO = \frac{COP}{FTS} * 100$
	CUAP	Costo unitario del m3 de Agua Potable comercializada	Permite determinar el valor promedio del costo de cada m3 de agua potable comercializado (facturado), durante el período de evaluación.	USD/m3	ET= Egresos Totales o Costos Totales de la prestación del servicio de agua potable y/o saneamiento. Incluye costos operativos, costos generales de administración, comercialización (ventas). VTF= Volumen total facturado de agua (medido, estimado y facturado a otros prestadores) en el período reportado.	USD m³	$CUAP = \frac{ET}{VTF}$
	ERC	Eficiencia en la recuperación de cartera	Permite determinar el porcentaje de lo que se recauda efectivamente en el período evaluado por concepto de ingresos de cartera vencida en relación al monto total de la cartera acumulada del período anterior.	%	ICV= Total de efectivo recibido en el período informado por pagos del saldo pendiente de cobro del período anterior al informado CV= Saldo pendiente de cobro del período anterior (cartera vencida)	USD USD	$ERC = \frac{ICV}{CV} * 100$
	MO	Morosidad	Permite evaluar el nivel de cuentas por cobrar por concepto de la cobranza realizada por parte del prestador de los servicios públicos durante el período de evaluación.	%	FPC= Monto total de la facturación pendiente de cobro en el período, por los servicios de agua potable (incluyendo agua exportada) y alcantarillado (incluyendo aguas residuales importadas) FTS= Monto total de la facturación en el período, por los servicios de agua potable (incluyendo agua exportada) y alcantarillado (incluyendo aguas residuales importadas)	USD USD	$MO = \frac{FPC}{FTS} * 100$
	EIT	Egresos totales respecto de los ingresos totales	Permite evaluar el nivel de eficiencia financiera del prestador del servicio al final del período informado para cubrir sus costos y gastos de administración, operación, mantenimiento y comercialización a partir de los ingresos totales percibidos por los servicios.	%	ET= Egresos Totales o Costos Totales de la prestación del servicio de agua potable y/o saneamiento. Incluye costos operativos y costos generales de administración y comercialización (ventas). ITS= Monto de ingresos efectivamente recibidos (por cualquier medio de pago) durante el año por servicios de agua y alcantarillado + Otros ingresos durante el año (Cartera, Créditos, transferencias, subsidios, donaciones, etc., relacionados con el servicio de agua y alcantarillado)	USD USD	$EIT = \frac{ET}{ITS} * 100$
	IAE	Incidencia de los aportes externos	Permite determinar el porcentaje de los ingresos recibidos por aportes externos respecto de los ingresos totales	%	ING _{AE} = Monto total de ingresos por transferencias de aportes externos para el período (de Créditos, GADs; ONGs; otros) ITS= Monto de ingresos efectivamente recibidos (por cualquier medio de pago) durante el año por servicios de agua y alcantarillado + Otros ingresos durante el año (Cartera, Créditos, transferencias, subsidios, donaciones, etc., relacionados con el servicio)	USD USD	$IAE = \frac{ING_{AE}}{ITS} * 100$
	EURE	Eficiencia en la utilización de recursos externos	Permite evaluar el nivel de cumplimiento en la ejecución de las inversiones proyectadas en los sistemas de agua potable y saneamiento, durante el período de evaluación.	%	INV _{AE} = Monto total de inversión ejecutada con aportes externos en el período ING _{AE} = Monto total de ingresos por transferencias de aportes externos para el período (de Créditos, GADs; ONGs; otros)	USD USD	$EURE = \frac{INV_{AE}}{ING_{AE}} * 100$
CICF	Cumplimiento de la inversión ejecutada en conservación de fuentes	Permite evaluar el nivel de cumplimiento en la ejecución de las inversiones proyectadas en la conservación de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, durante el período de evaluación.	%	IECF= Monto total de inversión ejecutada en conservación de fuentes de abastecimiento de agua, en el período. IPCF= Monto total de inversión planificada en conservación de fuentes de abastecimiento de agua, en el período.	USD USD	$CICF = \frac{IECF}{IPCF} * 100$	

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Anexo 2: Regulación No. DIR-ARCA-RG-003-2016



REGULACIÓN Nro. DIR-ARCA-RG-003-2016

El Directorio de la Agencia de Regulación y Control del Agua

CONSIDERANDO:

- Que,** el artículo 12 de la Constitución de la República del Ecuador, establece al agua como un derecho humano, fundamental e irrenunciable, constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida;
- Que,** el artículo 52 de la Constitución de la República del Ecuador, establece que las personas tienen derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características;
- Que,** el artículo 66 ibídem, en su numeral 2 reconoce y garantiza a las personas el derecho a una vida digna que asegure entre otros, agua potable y saneamiento ambiental; así mismo en su numeral 25 reconoce y garantiza a las personas el derecho a acceder a bienes y servicios públicos y privados de calidad, con eficiencia, eficacia y buen trato, así como a recibir información adecuada y veraz sobre su contenido y características;
- Que,** por el artículo 313 de la Constitución de la República del Ecuador, el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia; que el agua se considera como parte de los sectores estratégicos que son de decisión y control exclusivo del Estado;
- Que,** el artículo 314 ibídem, consagra que el Estado es responsable entre otros de la provisión de los servicios públicos de agua potable y saneamiento; garantizando que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad;
- Que,** el artículo 318 de la carta magna, define al agua como un patrimonio nacional estratégico de uso público;
- Que,** mediante el Decreto Ejecutivo 310 de 2014 en su artículo 1, se dispone la reorganización de la Secretaría del Agua (Autoridad Única del Agua) y se crea la Agencia de Regulación y Control del Agua, entidad adscrita que pasa a asumir parte de las competencias asignadas a la Secretaría antedicha.
- Que,** el artículo 2 del mismo Decreto, determina que la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA, en adelante), es un organismo técnico administrativo con personalidad jurídica de derecho público, autonomía administrativa, técnica, económica; financiera y patrimonio propio y con jurisdicción en todo el territorio nacional.
- Que,** el Artículo 3 ibídem, establece la transferencia de las competencias de la Secretaría del Agua a la Agencia de Regulación y Control del Agua; relativas a la regulación y



control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la gestión de la calidad y cantidad del agua en sus fuentes y zonas de recarga, de la calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y de todos los destinos, usos y aprovechamientos económicos del agua;

- Que,** la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUyA, en adelante) en los numerales a), c), g) y l) del artículo 23 establece las siguientes competencias de la Agencia de Regulación y Control del Agua: a) Dictar, establecer y controlar el cumplimiento de las normas técnicas sectoriales y parámetros para regular el nivel técnico de la gestión del agua, de conformidad con las políticas nacionales; c) Recopilar, procesar, administrar y gestionar la información hídrica de carácter técnico y administrativo; g) Regular para estandarizar y optimizar sistemas relacionados a los servicios públicos vinculados al agua; l) Regular y controlar la gestión técnica de todos aquellos servicios públicos básicos vinculados con el agua;
- Que,** el numeral d) del artículo 35 ibídem, establece en el marco de los principios de la gestión de los recursos hídricos, que la prestación del servicio de agua potable deberá regirse por los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad.
- Que,** el artículo 50 de la LORHUyA, relativa a la gestión comunitaria del agua, dicta que el Estado, en sus diferentes niveles de gobierno y de acuerdo con sus competencias, fortalecerá a los prestadores del servicio de agua; sean estos públicos o comunitarios, mediante el apoyo a la gestión técnica, administrativa, ambiental y económica así como a la formación y cualificación permanente de los directivos y usuarios de estos sistemas;
- Que,** el artículo 51 de la LORHUyA, establece que en caso de incumplimiento de la normativa técnica emitida por la Agencia de Regulación y Control del Agua para la prestación del servicio, la junta administradora de agua potable será notificada para que en el plazo establecido se elabore el plan de mejora. El Gobierno Autónomo Descentralizado municipal dará la asistencia técnica para la elaboración de dicho plan y brindará apoyo financiero para su ejecución;
- Que,** el artículo 67 ibídem, establece que los usuarios y consumidores de los servicios vinculados al agua, tienen derecho a acceder de forma equitativa a la distribución y redistribución del agua y a ejercer los derechos de participación ciudadana previstos en la ley;
- Que,** la Disposición Transitoria Quinta de la LORHUyA, dicta que los Gobiernos Autónomos Descentralizados competentes, en materia de provisión de agua y saneamiento, implementarán sistemas adecuados para el abastecimiento de agua potable, de modo que, en el plazo previsto en el Plan Nacional de Desarrollo del Buen Vivir y en la estrategia de erradicación de la pobreza y la desigualdad, quede plenamente garantizado el acceso total de la población al agua potable; para el efecto los Gobiernos Autónomos Descentralizados establecerán en coordinación con la Autoridad Única del Agua una programación de obras y el financiamiento respectivo;



- Que,** el artículo 6 del Reglamento de la LORHUyA, señala que se entiende por subprocesos de la administración del servicio público del agua, al suministro de Agua Potable, Alcantarillado, al Tratamiento de las Aguas Residuales; y que, la iniciativa de la economía popular y solidaria o la iniciativa privada, podrán participar en dichos subprocesos siguiendo los parámetros constitucionales, cuando el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal no tenga las condiciones técnicas o financieras para hacerlo por sí mismo.
- Que,** el Artículo 42 ibídem, establece que la Agencia de Regulación y Control del Agua normará el control periódico del cumplimiento de las actividades de las Juntas Administradoras de Agua Potable que se llevará a cabo de la forma como se indique en dichas regulaciones.
- Que,** el artículo 45 del Reglamento de la LORHUyA, establece que cuando el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal no cuente con las condiciones técnicas o financieras, podrá solicitar a la Autoridad Única del Agua lo siguiente: Formular un plan para ser ejecutado coordinadamente en relación con varios cantones y conseguir así la mejor economía de escala posible en la prestación de los subprocesos, especialmente se podrá realizar esta actuación en relación al subproceso de tratamiento de aguas residuales; o, emitir las directrices así como el mecanismo que deberá el GAD solicitante para la asociación con una empresa de la economía popular y solidaria o una empresa privada para mejorar la economía en la prestación de los subprocesos. El desarrollo de los subprocesos para su ejecución por la parte de la iniciativa de la economía popular y solidaria o de la privada, tendrá un plazo de 10 años que regirá a partir de la entrega del informe final de auditoría. La auditoría será solicitada por la Autoridad Única del Agua.
- Que,** el artículo 47 ibídem, establece que en caso de incumplimiento de la normativa técnica, incluidas las regulaciones mencionadas, la Agencia notificará a la correspondiente Junta Administradora de Agua Potable para que formule un plan de mejora en el plazo que fije la Agencia y lo someta a aprobación de la Secretaría del Agua. La aprobación fijará también los plazos de implementación del plan de mejora.
- Que,** en el artículo precedente se establece también que, la Agencia de Regulación y Control del Agua evaluará periódicamente la implementación del Plan de mejora. En caso de incumplimiento lo comunicará al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal para que éste, o por su delegación el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial correspondiente, intervenga la Junta Administradora hasta que se cumpla el plan de mejora.
- Que,** el artículo 124 del reglamento de la LORHUyA, establece que la Agencia de Regulación y Control del Agua podrá adoptar las medidas de control que correspondan por iniciativa propia o a petición de parte, cuando se haya comprobado el incumplimiento por parte de los GADs a la Ley, su reglamento general y normativa legal vigente. Si luego de haber notificado el hecho y cumplido el plazo otorgado para subsanar la falta, el mismo que puede ser fijado de mutuo acuerdo; subsiste una grave deficiencia en la prestación del servicio, la ARCA aplicará las sanciones correspondientes establecidas en la Ley y en el presente Reglamento;



Que, en sesión del 4 de abril de 2016, el Directorio de la Agencia de Regulación y Control del Agua, resolvió aprobar mediante resolución DIR-ARCA-003-2016, en su artículo 2 la Regulación Nro. DIR-ARCA-RG-003-2016, sobre la normativa técnica para la evaluación y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento en las áreas urbanas y rurales en el territorio Ecuatoriano;

Que por lo expuesto, el Directorio de la Agencia de Regulación y Control del Agua en ejercicio de las atribuciones y competencias constitucionales y legales vigentes, expide la siguiente regulación al tenor de los siguientes artículos:

Regulación Nro. DIR-ARCA-RG-003-2016, denominada "Normativa técnica para la evaluación y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento en las áreas urbanas y rurales en el territorio Ecuatoriano"

CAPÍTULO I DISPOSICIONES PRELIMINARES

ARTÍCULO 1.- Objeto.- La presente Regulación tiene por objeto regular lo relativo a los parámetros e indicadores para la evaluación y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento en el territorio Ecuatoriano; y, establecer la metodología para la elaboración, implementación y evaluación de los Planes de Mejora por parte de los prestadores.

ARTÍCULO 2.- Ámbito de Aplicación.-La presente Regulación se aplica a todos los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento que brinden sus servicios en el territorio nacional.

ARTÍCULO 3.- Principios.- De conformidad con lo establecido en la Constitución, la evaluación del desempeño de la prestación de los servicios públicos y su provisión responderán a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad;

ARTÍCULO 4.- Definiciones.- Para la aplicación de la presente Regulación se tendrán en cuenta las siguientes definiciones, además de las consignadas en la normativa vigente y demás resoluciones relacionadas a la presente:

Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA): Es un organismo de derecho público, de carácter técnico-administrativo adscrito a la Secretaría del Agua, con jurisdicción nacional. Sus competencias son las establecidas en el artículo 23 de la LORHUYA.

Agua Potable: es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar que ésta sea apta para consumo humano, debe estar exenta de organismos capaces de provocar enfermedades, de elementos o sustancias que puedan producir efectos fisiológicos perjudiciales y cumplir los requisitos de calidad establecidos por la Norma Técnica NTE INEN 1108 (revisión vigente) en observancia de lo que dicta el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 023 "Agua potable".



Alcantarillado: conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias.

Área de Cobertura del Servicio (ACSap y ACSsa): el área de cobertura del servicio corresponde al polígono que define el área geográfica dentro de la cual el prestador de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento suministra o puede suministrar dichos servicios de acuerdo con la influencia o la cobertura de la infraestructura existente. Para la delimitación del Área de Cobertura del Servicio de agua potable (ACSap) y el Área de Cobertura del Servicio de saneamiento (ACSsa) se deberá considerar lo determinado en la ordenanza de creación del prestador de servicios para el caso de los Prestadores Públicos, o lo dispuesto en los estatutos de la asamblea de consumidores en el caso de los Prestadores Comunitarios.

Autoevaluación: actividad que desarrollan los prestadores de servicios sobre la base de indicadores que permiten conocer el estado situacional de la prestación de los servicios en un tiempo determinado.

Autoridad Única del Agua: es la Secretaría del Agua, quien dirige el Sistema Nacional Estratégico del Agua. Corresponde a la Secretaría del Agua la rectoría, planificación y gestión de los recursos hídricos, sus competencias son las establecidas en el artículo 18 de la LORHUyA.

Catastro de redes y componentes de agua potable: es un proceso sistemático de revisión, levantamiento en campo, comprobación, depuración, caracterización, sistematización y generación de información relativa a las redes y componentes que hacen parte de la infraestructura hidráulica del sistema de agua potable con fines de actualización de planos e información fundamental para la planeación, la optimización operacional y la gestión técnica del servicio.

Catastro de redes y componentes de alcantarillado: es un proceso sistemático de revisión, levantamiento en campo, comprobación, depuración, caracterización, sistematización y generación de información relativa a las redes y componentes que hacen parte de la infraestructura hidráulica del sistema de saneamiento y alcantarillado pluvial con fines de actualización de planos e información fundamental para la planeación, la optimización operacional y la gestión técnica del servicio.

Catastro de consumidores: es un proceso sistemático de revisión, levantamiento en campo, comprobación, depuración, sistematización y generación de información relativa a los consumidores y conexiones de los servicios de agua potable y alcantarillado con fines de actualización de la base de datos para la gestión técnica, comercial y de servicio al cliente.

Conexión de agua potable: es la toma o derivación desde la red de distribución del servicio de agua potable mediante la cual se realiza el suministro de agua a un inmueble o domicilio.

Conexión de alcantarillado: es la derivación o conexión que permite la descarga de las aguas residuales de un inmueble o domicilio hacia los conductos que conectan al sistema de alcantarillado local.



Consumidor: los consumidores son personas naturales, y/o jurídicas que demandan bienes o servicios relacionados con el agua y que son proporcionados por los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento en cumplimiento de un contrato de prestación de servicios que será regulado por la ARCA.

Domicilio: recinto de alojamiento estructuralmente separado y con entrada independiente (acceso directo desde vías públicas o acceso a través de espacios de uso común de varias viviendas como corredores, patios, etc.), construido, edificado, transformado o dispuesto para ser habitado por una persona o grupo de personas, siempre que al momento de la investigación no sea utilizado con finalidad distinta.

Ficha metodológica: herramienta de evaluación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, que contiene información de parámetros e indicadores característicos de la gestión del prestador, y dentro de la cual se presentan los datos históricos del indicador en estudio así como la interpretación de resultados por parte del mismo prestador.

Indicador: es un valor derivado de parámetros relativos a la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, medidos en un mismo periodo de tiempo, que proporciona información cuantitativa y cualitativa útil para describir, monitorear y evaluar el desempeño de los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.

Junta administradora de agua potable (JAAP): de conformidad con lo establecido en el artículo 43 de la LORHUyA, son organizaciones comunitarias sin fines de lucro, que tienen la finalidad de prestar el servicio público de agua potable; si dichas organizaciones además prestan el servicio de saneamiento se denominan Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento. Para fines de la presente Regulación indistintamente, se denominará Junta administradora de agua potable (JAAP).

Macromedición de caudales: hace referencia a la recolección de los datos relativos a los caudales y volúmenes de agua cruda captada y tratada, distribuida en sistemas de abastecimiento de agua potable mediante dispositivos, equipos, procedimientos y actividades permanentes orientadas a la obtención, procesamiento, análisis y divulgación de estos datos.

Micromedición: hace referencia a la medición de volúmenes de agua consumidos en los domicilios a través de medidores instalados en las conexiones domiciliarias.

Modelación hidráulica: es la reproducción a escala reducida de fenómenos, estados o procesos relevantes del flujo de agua, realizada bajo determinadas leyes físicas, que permitan una aplicación inmediata de los resultados en la solución de problemas para simular el comportamiento del flujo ante diferentes condiciones de operación.

Normativa Técnica: Es toda regulación emitida por la Agencia de Regulación y Control del Agua, que contiene reglas, directrices, características, parámetros, indicadores, criterios, y elementos para el cumplimiento del marco legal vigente en materia de la gestión integral de los recursos hídricos en la prestación de los servicios públicos vinculados al agua.

Plan de Mejora: constituye un Plan de Mejora (PM) las estrategias, los programas, proyectos y acciones planificados con sus respectivos presupuestos, financiación y metas



de corto, mediano y largo plazo, que deberán acometer los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAPs), previa aprobación de la Autoridad Única del Agua (AUA), para mejorar la calidad en la prestación de los servicios públicos básicos e indicadores de desempeño.

Prestador del servicio público de agua potable y/o saneamiento: es toda entidad reconocida por la Ley encargada de administrar operar y mantener los servicios de agua potable y/o saneamiento.

Saneamiento: contempla las actividades de recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración; y, recolección, conducción y disposición final de aguas lluvia.

Servicios públicos básicos: de conformidad con lo establecido en el artículo 37 de la LORHUYA y para efectos de la presente regulación, se consideran servicios públicos básicos los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua.

ARTÍCULO 5.- Clasificación de prestadores de los servicios de agua potable y/o saneamiento.- Para efectos de la presente Regulación los prestadores de los servicios de agua potable y/o saneamiento se clasificarán en:

- Prestadores Públicos: Son los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) quienes prestan los servicios de manera directa y/o a través de empresas que prestan los servicios de agua potable y/o saneamiento en las áreas urbanas y/o rurales.
- Prestadores Comunitarios: Son las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAPs) y/o saneamiento.

ARTÍCULO 6.- Área de Cobertura de los Servicios (ACSap y ACSsa).- A todo prestador de los servicios le corresponde el polígono correspondiente al área geográfica dentro de la cual suministra o puede suministrar los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.

El ACS en áreas urbanas deberá incorporar como mínimo el área contemplada dentro del perímetro urbano de la municipalidad definido para el distrito metropolitano o la cabecera cantonal de acuerdo con lo establecido en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT); de igual manera, el ACS correspondiente a las cabeceras parroquiales deberá como mínimo incorporar el área contemplada dentro del perímetro de dichas cabeceras de acuerdo con lo establecido en el PDOT. En cualquiera de los casos, el ACS de saneamiento, no podrá ser inferior al ACS de agua potable.

La representación del ACS se deberá realizar a través de un mapa geo – referenciado en el sistema de coordenadas oficial que se encuentre vigente, a escala adecuada y en formato digital, al cual se deberá adjuntar el listado de coordenadas de los puntos que definen el polígono.

CAPÍTULO II OBLIGACIONES

ARTÍCULO 7.- De la Autoridad Única del Agua.- Para efecto de los Planes de Mejora (PM), la Autoridad Única del Agua será la entidad encargada de aprobarlos, así como realizar las modificaciones derivadas de la actualización de los mismos.



ARTÍCULO 8.- De la Agencia de Regulación y Control del Agua.- La ARCA, evaluará la gestión y el desempeño relativo a los aspectos de calidad, operativos, de servicio, administrativos y económicos de los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento a partir de los parámetros e indicadores definidos en la presente Regulación así como de los demás criterios o elementos que considere pertinentes; verificará la consistencia y calidad de la información reportada por los prestadores; requerirá, de ser el caso, a los prestadores de los servicios la formulación de un PM; hará el seguimiento y la evaluación periódica de la implementación de los PM; y, ejecutará las actuaciones que le correspondan en su función de control e impondrá las sanciones pertinentes.

ARTÍCULO 9.- De los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.- Los prestadores de servicios públicos de agua potable y/o saneamiento están obligados a reportar la información de los parámetros e indicadores en la oportunidad y por los medios establecidos por la ARCA como se indica en el artículo 14; a presentar para aprobación de la Autoridad Única del Agua los PM en los términos establecidos en la presente Regulación y a llevar a cabo su ejecución o implementación.

Los PM serán formulados por requerimiento expreso de la ARCA o por iniciativa propia del prestador luego de identificar aspectos a mejorar posterior a su autoevaluación en base a los parámetros e indicadores de la presente Regulación. Estos Planes deben ser presentados y aprobados por la Autoridad Única del Agua. Sus avances deberán ser actualizados al menos anualmente por el prestador quien deberá realizar los ajustes pertinentes para asegurar el cumplimiento del Plan en el horizonte establecido; las modificaciones que surjan del proceso de actualización deberán ser reportadas debidamente justificadas para aprobación de la Autoridad Única del Agua.

Los GADs Municipales deberán asistir a los prestadores comunitarios en: la elaboración de la autoevaluación; y, en la formulación, presentación, y ejecución del Plan de Mejora para lo cual los GADs brindarán el apoyo técnico y financiero.

CAPÍTULO III PARÁMETROS E INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y EL DIAGNÓSTICO DE LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE AGUA POTABLE Y/O SANEAMIENTO

ARTÍCULO 10.- Parámetros.- Son los datos y sus valores obtenidos en función de la información relativa a la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, que serán utilizados para caracterizar, evaluar la calidad y medir la gestión de la prestación de los servicios.

ARTÍCULO 11.- Tipo de indicadores.- Los indicadores para la evaluación del desempeño y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento son los siguientes:

- **Indicadores de estructura del servicio:** corresponden a indicadores que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar las condiciones de coberturas, personal e insumos utilizados en la prestación de los servicios de agua potable y/o saneamiento dentro de la respectiva Área de Cobertura del Servicio.



- **Indicadores operativos:** corresponden a indicadores que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar las condiciones técnicas y de operación de los sistemas de agua potable y/o saneamiento.
- **Indicadores de calidad:** son indicadores de primer orden que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar la calidad de la prestación de los servicios de agua potable y/o saneamiento dentro de la respectiva Área de Cobertura del Servicio.
- **Indicadores de apoyo de los GADs a la prestación comunitaria de los servicios de agua potable y/o saneamiento:** corresponden a indicadores que permiten medir el apoyo técnico y financiero que realizan los GADs a las JAAPs para la mejora en la prestación de los servicios en las áreas rurales.
- **Indicadores económico-financieros:** corresponden a indicadores que permiten medir, hacer seguimiento y evaluar la facturación y cobranza así como la situación económica y financiera de un prestador de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.



Tabla 1 - Indicadores de desempeño para prestadores públicos y comunitarios

Tipo de Indicador	Código	Nombre	Unidad	Valor Óptimo
ESTRUCTURA DEL SERVICIO	CSAP	Cobertura del servicio de agua potable	%	100%
	CSAL	Cobertura del servicio de alcantarillado	%	100%
	ETC ²	Empleados totales por conexión de agua potable	N° Empleados/N° conexiones	-
	FAC	Fuentes autorizadas para el uso de aguas para consumo humano respecto de las fuentes totales	%	100%
	QMAP	Cobertura de micromedición de agua potable	%	100%
	EMAP	Eficiencia del sistema de micromedición	%	100%
	MOP ³	Medidores menores a 5 años de edad respecto del total de medidores	%	-
	MOP ⁴	Medidores mayores a 5 años de edad respecto del total de medidores	%	-
OPERATIVOS	IAS	Incidencia del agua subterránea en el agua extraída	%	-
	IAO	Incidencia del agua cruda importada en el agua total que ingresa al sistema	%	-
	IAP ¹	Incidencia del agua potable importada en el agua total que ingresa al sistema	%	-
	EPAC	Eficiencia de potabilización de agua cruda	%	100%
	ANC	Agua potable no contabilizada en la red	%	0%
	ÉUAP	Eficiencia en el uso de agua potable	%	100%
	ECA	Eficiencia de la capacidad de almacenamiento de agua potable según la norma vigente	%	100%
	JEAP	Índice de exportación de agua potable	%	-
	IEAT	Índice de exportación de agua a través de tanqueros	%	-
	IVFE	Índice de volumen facturado estimado	%	0%
	IVF ⁵	Índice de volumen facturado a otros prestadores	%	-
	CANF	Consumo autorizado no facturado	%	-
	YPR	Volumen de pérdidas de agua potable por Km de red	m ³ / Km	-
	YAPC	Volumen de agua potabilizada por conexión	%	-
	COAA	Relación de conexiones de alcantarillado respecto de las conexiones de agua potable	%	-
	CUAA	Relación de cuentas de alcantarillado respecto de las cuentas de agua potable	%	-
	CFSA	Relación de conexiones a fosas sépticas respecto al total de conexiones de alcantarillado	%	-
CAT ⁶	Uso de la capacidad actual de tratamiento de aguas residuales	%	100%	
VET	Volumen de agua distribuido tratado efectivamente en la disposición final	%	-	
CALIDAD	CS	Continuidad del servicio de agua potable	%	100%
	DRT	Densidad de reclamos totales	N°/N° cuentas	-
	ST ⁷	Eficiencia en la solución a tiempo de las PDR	%	100%
	CCAP	Cobertura de control de calidad en análisis bacteriológicos para agua potable	%	100%
	NCA ⁸	Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable	%	100%
	NCA ⁹	Nivel de conformidad en análisis físico-químicos para agua potable	%	100%
NCA ¹⁰	Nivel de conformidad de los análisis realizados en aguas residuales	%	100%	
APOYO A LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS COMUNITARIOS DE ABS (APLICA SÓLO PARA PRESTADORES PÚBLICOS)	AEJ	Cobertura de juntas de agua potable que cuentan con apoyo económico	%	100%
	ATJ	Cobertura de juntas de agua potable que cuentan con apoyo técnico	%	100%
	LVB	Legalización de JAAPs dentro de la jurisdicción del BAO	%	100%
ECONÓMICO - FINANCIEROS	IR	Índice de recaudación	%	100%
	COC	Costos operativos totales por cuenta	USD/N° cuentas	-
	CAC	Costos de administración y comercialización por cuenta	USD/N° cuentas	-
	FCAP	Facturación por conexiones de agua potable	USD/N° conexiones	-
	FCAL	Facturación por conexiones de alcantarillado	USD/N° conexiones	-
	IL	Índice de liquidez	%	100%
	CCO	Coefficiente de cobertura de Costos Operativos (CCO)	%	-
	CUAP	Costo unitario del m ³ de Agua Potable comercializada	USD/m ³	-
	ERC	Eficiencia en la recuperación de cartera	%	100%
	MO	Morosidad	%	0%
	EIT	Egresos totales respecto de los ingresos totales	%	-
	IAE	Incidencia de los aportes externos	%	-
	EURE	Eficiencia en la utilización de recursos externos	%	100%
	CCF	Cumplimiento de la inversión ejecutada en conservación de fuentes	%	100%



En el Anexo 1 que hace parte integral de la presente Regulación, se realiza la descripción de cada uno de los indicadores así como de sus parámetros.

CAPITULO IV

AUTOEVALUACIÓN DE LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y/O SANEAMIENTO

ARTÍCULO 12.- Herramientas para la autoevaluación del prestador.- Las herramientas que servirán para que los prestadores de los servicios públicos y comunitarios se autoevalúen son los indicadores y fichas metodológicas que se encuentran adjuntas en el Anexo 2 (el mismo que contiene un instructivo, parámetros, indicadores, radar general y las fichas metodológicas). Estas herramientas serán proporcionadas igualmente por la ARCA a través de su página web institucional.

ARTÍCULO 13.- Procedimiento para la autoevaluación de la prestación pública y comunitaria de los servicios.- La autoevaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento la realizarán los prestadores públicos y comunitarios en base a los indicadores descritos en el artículo 11 de la presente Regulación.

Para efectos de la autoevaluación de la prestación de los servicios, los prestadores deberán registrar los datos y valores requeridos como parámetros en las herramientas descritas en el artículo 12 de la presente Regulación, en las cuales se reflejarán y graficarán (tomando como modelo el gráfico establecido en el Anexo 2, hoja de cálculo denominada "Radar General") los valores de los indicadores de la autoevaluación de la prestación de los servicios.

En base a los resultados de la autoevaluación realizada por el prestador se elaborará una memoria técnica en la que se describirán textualmente las brechas existentes entre los valores de los indicadores resultantes de la autoevaluación y los valores óptimos (0% o 100% donde aplique y según el indicador). Además se describirán textualmente las causas de las brechas y las consecuencias de no intervenir en el mejoramiento de las mismas.

Los parámetros e indicadores consagrados en la presente Regulación no constituyen óbice para que la Autoridad Única del Agua o la Agencia de Regulación y Control del Agua en ejercicio de sus funciones, utilicen otro tipo de parámetros e indicadores adicionales para el cabal cumplimiento de sus funciones.

CAPITULO V

REPORTE DE INFORMACIÓN

ARTÍCULO 14.- Reporte de Información.- Los parámetros y los resultados de la autoevaluación correspondientes del año anterior a la expedición de la presente Regulación, deberán ser reportados a la ARCA y a la Autoridad Única del Agua considerando las fechas establecidas en el calendario descrito en el artículo 15 las cuales



han sido determinadas de acuerdo a la localización de los prestadores respecto a la Demarcación Hidrográfica establecida por la Autoridad Única del Agua. La ARCA definirá oportunamente los medios para el reporte de información.

Los parámetros y los resultados de la autoevaluación correspondientes a los años posteriores a la expedición de la presente Regulación, deberán ser reportados a la ARCA en los años subsiguientes entre las semanas del mes descrito en el artículo 15.

La información reportada se considerará como información oficial del prestador para todos los efectos en materia de control, vigilancia, inspección, planeación y regulación. Los prestadores solo podrán solicitar modificación de dicha información mediante petición motivada dirigida a la ARCA y suscrita por el representante legal del prestador. La ARCA evaluará la petición y adoptará las decisiones a que haya lugar.

La información de los parámetros y resultados de la autoevaluación de los Prestadores Comunitarios, deberá ser remitido por éstos a los GADs de las jurisdicciones en donde prestan los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, hasta 15 días antes de la fecha límite establecida en el artículo siguiente para la entrega de información de los GADs. Esta información debe ser sistematizada y reportada conjuntamente con la que debe reportar el GAD a la ARCA relativa a los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.

ARTÍCULO 15.- Calendario para el reporte de información.- El reporte de información correspondiente al año 2016, así como de los años siguientes se deberá hacer de acuerdo al siguiente calendario.

Tabla 2 - Calendario de reporte de información

Servicio	Cantones que pertenecen a la Demarcación Hidrográfica	FECHA INICIO REPORTE DE INFORMACIÓN	FECHA LÍMITE REPORTE DE INFORMACIÓN
Agua potable y/o saneamiento	D.H. Esmeraldas	Primera semana febrero	Primera semana febrero
	D.H. Mira	Primera semana febrero	Primera semana febrero
	D.H. Manabí	Primera semana febrero	Primera semana febrero
	D.H. Guayas	Segunda semana febrero	Segunda semana febrero
	D.H. Napo	Tercera semana febrero	Tercera semana febrero
	D.H. Jubones	Tercera semana febrero	Tercera semana febrero
	D.H. Puyango-Catamayo	Tercera semana febrero	Tercera semana febrero
	D.H. Pastaza	Cuarta semana febrero	Cuarta semana febrero
	D.H. Santiago	Cuarta semana febrero	Cuarta semana febrero



En el Anexo 3 de la presente Regulación se detalla la ubicación de los cantones respecto a la Demarcación Hidrográfica en la que se encuentran localizados.

ARTÍCULO 16.- Información complementaria.- Adicionalmente al reporte de información de los parámetros y resultados de la autoevaluación, el prestador deberá remitir a la Agencia la siguiente información complementaria:

- Datos generales del prestador del servicio, de acuerdo a lo solicitado en el formulario de datos adjunto (Anexo 4);
- Ordenanza de creación del prestador de servicios, para prestadores públicos;
- Personería jurídica otorgada por la Autoridad Única del Agua, para prestadores comunitarios; y,
- Pliego tarifario actualizado.

Esta información se utilizará como base para la descripción del prestador en los informes que genere la ARCA. La información complementaria se entregará de acuerdo a la periodicidad indicada en Artículo 15 de la presente Regulación, sin perjuicio de que la ARCA solicite en cualquier momento información adicional.

CAPÍTULO VI EVALUACIÓN DE LA ARCA A LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS

ARTÍCULO 17.- Indicadores para la evaluación de la prestación de los servicios de agua potable y/o saneamiento.- Los indicadores que considerará la ARCA para la evaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento serán los siguientes:

Tabla 3 – Indicadores de evaluación ARCA

Tipo	Símbolo	Nombre
Operativo	EUAP	Eficiencia en el uso de agua potable
Calidad del servicio	NCA _B	Nivel de conformidad en análisis bacteriológicos para agua potable
	NCA _{FQ}	Nivel de conformidad en análisis físico-químico para agua potable
Económico-Financiero	IR	Índice de recaudación
	EIT	Egresos totales respecto de los ingresos totales

ARTÍCULO 18.- Criterios de calidad para la prestación del servicio.- Los criterios de calidad para la evaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento considerados por la ARCA son los niveles de desempeño que se encuentran en función de los indicadores señalados en el artículo 17 de la presente Regulación.

ARTÍCULO 19.- Metodología para la evaluación del servicio.- La evaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento se realizará en base a los niveles de desempeño de los indicadores, de acuerdo a lo señalado en los artículos 20 al 25 de la presente Regulación.



ARTÍCULO 20.- Niveles de desempeño de los indicadores.- Los diferentes niveles de desempeño de los indicadores descritos en el artículo 17, se determinarán a partir de los rangos establecidos por la ARCA. Estos rangos se denominarán de la siguiente forma:

- **Rango I:** Nivel alto de desempeño.
- **Rango II:** Nivel medio de desempeño.
- **Rango III:** Nivel bajo de desempeño.

ARTÍCULO 21.- Evaluación de Indicadores.- Los indicadores que la ARCA considerará para la evaluación de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento, se evaluarán de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 4 - Límites de los indicadores

Tipo de prestador	Indicador	Niveles de desempeño		
		Rango I	Rango II	Rango III
Público	EUAP	$70\% < EUAP \leq 100\%$	$50\% < EUAP \leq 70\%$	$EUAP \leq 50\%$
	NCA _B	$NCA_B = 100\%$	$75\% \leq NCA_B < 100\%$	$NCA_B < 75\%$
	NCA _{FQ}	$NCA_{FQ} = 100\%$	$75\% \leq NCA_{FQ} < 100\%$	$NCA_{FQ} < 75\%$
	IR	$70\% \leq IR \leq 100\%$	$50\% < IR \leq 70\%$	$IR < 50\%$
	EIT	$EIT < 100\%$	$100\% \leq EIT \leq 125\%$	$EIT > 125\%$
Comunitario	EUAP	$70\% < EUAP \leq 100\%$	$50\% < EUAP \leq 70\%$	$EUAP \leq 50\%$
	NCA _B	$NCA_B = 100\%$	$75\% \leq NCA_B < 100\%$	$NCA_B < 75\%$
	IR	$70\% \leq IR \leq 100\%$	$50\% < IR \leq 70\%$	$IR < 50\%$
	EIT	$EIT < 100\%$	$100\% \leq EIT \leq 125\%$	$EIT > 125\%$

ARTÍCULO 22.- Niveles de desempeño de la gestión del servicio.- Los diferentes niveles de desempeño en la gestión del servicio (técnica, comercial y financiera) se determinarán a partir de la evaluación de los indicadores definidos en el artículo 20. Estos niveles se denominarán de la siguiente forma:

- **Nivel alto.-** La gestión del servicio se encuentra dentro de niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera aceptable con un menor grado de intervención.
- **Nivel medio.-** La gestión del servicio no se encuentra dentro de niveles aceptables de desempeño, dicha gestión se considera en estado de alerta con un grado de intervención moderado.
- **Nivel bajo.-** La gestión del servicio se encuentra dentro de niveles inaceptables de desempeño, dicha gestión se considera en estado de emergencia con un alto grado de intervención.

ARTÍCULO 23.- Evaluación de la gestión técnica de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento (GTS).- La gestión realizada por el prestador en la operatividad y calidad del servicio se evaluará de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:



Tabla 5 - Niveles de desempeño en la gestión técnica del servicio de A&S

Niveles de desempeño			
EUAP	NCA _B	NCA _{FQ}	GTS
III	III	III	BAJO
III	III	II	BAJO
III	III	I	BAJO
III	II	III	BAJO
III	I	III	BAJO
II	III	III	BAJO
II	III	II	BAJO
II	III	I	BAJO
I	III	III	BAJO
I	III	II	BAJO
I	III	I	MEDIO
III	I	I	MEDIO
III	I	II	MEDIO
III	II	I	MEDIO
III	II	II	MEDIO
II	II	II	MEDIO
II	II	III	MEDIO
II	II	I	MEDIO
II	I	II	MEDIO
II	I	III	MEDIO
I	II	II	MEDIO
I	I	III	MEDIO
I	II	III	MEDIO
I	II	I	ALTO
II	I	I	ALTO
I	I	I	ALTO
I	I	II	ALTO

ARTÍCULO 24.- Evaluación de la gestión económica-financiera del servicio (GEFS).-
La gestión realizada por el prestador en el área económica-financiera del servicio se evaluará de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 6 - Niveles de desempeño en la gestión económica-financiera del servicio de A&S

Niveles de desempeño		
IR	EIT	GEFS
III	III	BAJO
III	II	BAJO
III	I	BAJO
II	III	BAJO
I	III	MEDIO
II	II	MEDIO
II	I	ALTO
I	II	ALTO
I	I	ALTO



ARTÍCULO 25.- Evaluación de la prestación del servicio (EA&S).- La evaluación de la prestación del servicio público de agua potable y/o saneamiento se realizará en base a los niveles de desempeño presentados en el artículo 22 de la presente Regulación, considerando los resultados de la evaluación de la gestión técnica y la gestión comercial-financiera del prestador, de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 7 - Niveles de desempeño en la prestación del servicio de A&S

Niveles de Desempeño		
GTS	GCFS	EA&S
Bajo	Medio	BAJO
Bajo	Bajo	BAJO
Bajo	Alto	MEDIO
Medio	Medio	MEDIO
Medio	Bajo	MEDIO
Alto	Alto	ALTO
Alto	Medio	ALTO
Alto	Bajo	ALTO
Medio	Alto	ALTO

ARTÍCULO 26.- Publicación de la evaluación de la prestación del servicio realizada por la ARCA a los prestadores públicos.- Los resultados de la evaluación de la ARCA complementados con los indicadores seleccionados por la Agencia de la autoevaluación del prestador público y de los prestadores comunitarios de su jurisdicción, serán notificados al prestador público, quien en base al formato descrito en el Anexo 5 deberá publicar en un periódico de circulación local en un plazo no mayor a 30 días de la fecha de la notificación de la evaluación. Lo anterior como mecanismo de transparencia y de rendición de cuentas sobre la gestión en la provisión de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento.

Sin perjuicio de lo anterior, la ARCA publicará los resultados de las evaluaciones realizadas en los medios que considere necesario.

ARTÍCULO 27.- Resultados de la autoevaluación y evaluación de la prestación de los servicios.- De acuerdo a los resultados de la autoevaluación realizada por el prestador y la evaluación a la prestación de los servicios realizada por la ARCA, el prestador formulará el Plan de Mejora bajo las condiciones establecidas en el Capítulo VII. Sin perjuicio de lo anterior, la ARCA, podrá realizar de manera directa o a través de agentes contratados por ésta, visitas de control a los prestadores públicos, con el objeto de ratificar los resultados de las evaluaciones del desempeño en la prestación de los servicios en sus jurisdicciones – área urbana y rural- que soporten la necesidad de la formulación de Planes de Mejora para la prestación de los servicios en todo el territorio cantonal.



CAPÍTULO VII CONDICIONES PARA LA ELABORACION E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PLANES DE MEJORA (PM)

ARTÍCULO 28.- Consideraciones para la formulación del PM por parte de los prestadores.- Los prestadores definirán las estrategias, sus objetivos y metas, con los planes, programas, proyectos y actividades, responsables, cronogramas de ejecución, fuentes de financiamiento y metodología de seguimiento, monitoreo (reporte de información) y evaluación que contribuyan a la eficiencia y sostenibilidad de los servicios públicos como se indica en el Anexo 6.

Los GADs podrán considerar la asistencia pública o privada para la formulación, seguimiento, monitoreo, evaluación periódica de los PM y reporte de información a la ARCA y la Autoridad Única del Agua. Igualmente se podrá considerar la participación ciudadana en la formulación de los planes de mejora, considerando la Ley de Participación ciudadana.

Los PM de los prestadores comunitarios deberán ser asistidos por el GAD de la jurisdicción donde presta los servicios. Para la ejecución del Plan de Mejora a los prestadores comunitarios se deberán establecer, coordinadamente entre el GAD donde presta los servicios y la Autoridad Única del Agua, modelos de gestión basados en alianzas público-comunitarias con los GADs.

ARTÍCULO 29.- Características.- Un PM debe ser:

- **Integral:** Debe contemplar aspectos técnicos, legales, financieros, comerciales, administrativos y operativos, gobernables por el prestador
- **Comprensible:** Debe ser elaborado de manera clara y concreta, de tal forma que se entienda su alcance y se facilite su seguimiento y evaluación.
- **Cuantificable:** Sus objetivos y metas deben ser expresados en lo posible en términos de indicadores numéricos, de tal forma que se facilite su registro en el horizonte establecido.
- **Verificable:** La información que sirve de base para la estimación de los indicadores y metas, debe estar fundamentada en hechos comprobables o contar con los soportes correspondientes.
- **Real:** Los objetivos y metas deben formularse de acuerdo con las posibilidades del prestador, de tal manera que sus compromisos puedan ser cumplidos en los plazos previstos.

ARTÍCULO 30.- Ámbito geográfico.- Los compromisos incluidos en el PM deben estar referidos al Área de Cobertura de Servicio.

ARTÍCULO 31.- Horizonte.- Un PM debe cubrir un horizonte de corto, mediano y largo plazo. Las acciones de corto plazo corresponden a aquellas que deben realizarse en un periodo de hasta un (1) año calendario; las de mediano plazo, hasta tres (3) años calendario y las de largo plazo, en un periodo mayor o igual a tres (3) años calendario.

ARTÍCULO 32.- Forma de presentación.- El prestador deberá presentar el PM según la estructura y el alcance indicado en el Capítulo VII de la presente Regulación. Los



documentos que sirvieron de soporte para la elaboración del PM deberán estar a disposición de la Autoridad Única del Agua y la ARCA.

El PM debe contar con la aprobación del máximo órgano directivo del prestador de servicios, y deberá estar suscrito por el representante legal, quién será el responsable de su cumplimiento.

El PM debe incluir en sus anexos los documentos que acrediten compromisos de carácter legal, técnico o financiero que adquieran los GADs Municipales, Entidades u Organismos del Gobierno, con el fin de contribuir a su cumplimiento.

Adicionalmente, los PM deberán ser suscritos por los representantes de los prestadores de servicios conjuntamente con los profesionales responsables de la elaboración del Plan, y adjuntar las respectivas hojas de vida que certifiquen su experiencia. En el caso de que el prestador no cuente con profesionales debidamente certificados para la formulación de dicho Plan, podrán contratar los servicios externos de profesionales que cuenten con la experticia requerida para la elaboración del mismo y/o contar con el apoyo de la EPA en el caso de que sea requerido por parte del GAD.

ARTÍCULO 33.- Plazo de presentación.- Los prestadores de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento deberán formular su primer PM según corresponda en atención a requerimiento previo que formule la ARCA o de oficio por parte del Prestador de Servicios. El prestador tendrá un plazo de hasta tres (3) meses contados a partir de la fecha de requerimiento de la ARCA o de la terminación de la autoevaluación para presentar su respectivo PM.

ARTÍCULO 34.- Acciones o actividades mínimas.- Serán acciones o actividades mínimas que deberán ser consideradas dentro de los PM formulados por los prestadores de los servicios de agua potable y/o saneamiento, las siguientes:

Tabla 8 - Acciones o actividades mínimas en los PM

ITEM	ACTIVIDAD O ACCIÓN	NIVEL DE DETERMINACIÓN	
		Prestadores Públicos	Prestadores Comunitarios
1	Separar la contabilidad de cada uno de los servicios de agua potable y saneamiento y, en consideración a ello de su estructura de costos y gastos.	X	X
2	Cuantificar la estructura de costos del servicio de agua potable y aplicar las tarifas resultantes atendiendo los criterios y metodologías establecidas por la Agencia de Regulación y Control del Agua.	X	X
3	Cuantificar la estructura de costos del servicio de saneamiento y aplicar las tarifas resultantes atendiendo los criterios y metodologías establecidas por la Agencia de Regulación y Control del Agua.	X	X
4	Reportar a los GAD Municipales de su jurisdicción el Área de Cobertura del Servicio (ACS).		X
5	Desarrollar y mantener actualizado el catastro de consumidores y conexiones de los servicios de agua potable y saneamiento.	X	X
6	Desarrollar y mantener actualizado el catastro de redes y componentes del servicio de agua potable.	X	X
7	Desarrollar y mantener actualizado el catastro de redes y componentes del servicio saneamiento.	X	X
8	Realizar un diagnóstico integral de pérdidas de agua cruda y tratada, desde los sitios de captación hasta la entrega en las conexiones domiciliarias y formular a partir del él un programa de reducción y control de pérdidas de agua.	X	X
9	Implementar el programa de micromedición	X	X
10	Implementar el programa de macromedición de caudales y volúmenes	X	X
11	Implementar la modelación hidráulica del sistema de agua potable	X	
12	Implementar la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado	X	

Las acciones anteriormente mencionadas deberán ser consideradas dentro del PM, solamente si el prestador no las ha ejecutado, las ha ejecutado parcialmente o que a pesar de haberlas ejecutado están desactualizadas u obsoletas.

ARTÍCULO 35.- Aprobación de los Planes de Mejora.- Los GADs Municipales para la aprobación de su plan de mejora por parte de la Autoridad Única del Agua deberán incluir los Planes de las JAAPs como requisito para su aprobación. En caso de que el GAD Municipal no pueda presentar todos los planes de Mejora de las JAAPs de su jurisdicción y requiera de la aprobación, para tal efecto deberá presentar justificadamente los motivos que impidieron incluir todos estos Planes de Mejora ante la Autoridad Única del Agua quien emitirá su aceptación u objeciones.

ARTÍCULO 36.- Seguimiento y evaluación.- La ARCA evaluará periódicamente la implementación del Plan de Mejora.

CAPITULO VIII ESTRUCTURA DEL PLAN DE MEJORA

ARTÍCULO 37.- Estructura.- Los prestadores en la elaboración del Plan de Mejora deberán seguir la siguiente estructura:

- Diagnóstico
- Proyecciones
- Acopio de información
- Formulación del plan de mejora
- Sistema de seguimiento interno
- Metodología de evaluación del plan de mejora
- Compromisos del prestador y de las autoridades de instituciones.



ARTÍCULO 38.- Guía metodológica.- Para la elaboración del PM se debe considerar la guía metodológica que forma parte de la presente Regulación y que se adjunta en el Anexo 6.

CAPÍTULO IX RÉGIMEN SANCIONATORIO

ARTÍCULO 39.-Competencia Sancionadora.- El conocimiento, tramitación, resolución y sanción por el incumplimiento a las obligaciones y a las disposiciones contenidas en esta norma técnica, siempre que el acto no constituya delito o contravención, son competencia de la Agencia de Regulación y Control del Agua.

ARTÍCULO 40.- Sanciones.- El incumplimiento a las obligaciones y a las disposiciones descritas en esta normativa técnica será sancionado por la ARCA, proporcionalmente en consideración de la naturaleza y gravedad de la infracción que determine la ARCA en base a un informe técnico que se emita para el efecto sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa que diera lugar y en concordancia con lo dispuesto en el artículo 151 literal c) numeral 5 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

ARTÍCULO 41.- El incumplimiento a la norma técnica constante en la presente Regulación será sancionada con la aplicación de una multa que oscila entre cincuenta y uno a ciento cincuenta salarios básicos unificados del trabajador en general como determina la LORHUyA.



Agencia de
Regulación y
Control del Agua

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

PRIMERA.- Hasta que la Autoridad Única del Agua culmine con la evaluación de las juntas administradoras de agua potable y alcantarillado, de acuerdo a lo establecido en la LORHUyA en su Disposición Transitoria Décimo Primera, la ARCA evaluará y sancionará de ser el caso la prestación de los servicios públicos provistos por organizaciones comunitarias diferentes a Juntas de Agua.

SEGUNDA.- Conforme a lo indicado en la disposición anterior, las organizaciones comunitarias estarán sujetas a cumplir con lo establecido en la presente Regulación, de la misma forma que se encuentran sujetas las JAAP.

TERCERA.- A partir de la vigencia de la presente Regulación, los prestadores de servicios públicos de agua potable y/o saneamiento deberán entregar la información correspondiente al año 2015 desde el 01 hasta el 31 de agosto de 2016, y los prestadores que no han sido controlados por la ARCA en el año 2015 deberán remitir igualmente la información correspondiente al año 2014. Para el efecto, los prestadores deberán enviar la información a la Agencia en el formato del Anexo 2. de la presente Regulación. Esto con el objetivo de que la Agencia realice la evaluación de la prestación de los servicios, la misma que será notificada a los prestadores.

Vigencia.- La presente Regulación rige a partir de la fecha de su suscripción sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial.

Dado en el Distrito Metropolitano de Quito, a los 4 días del mes de abril de 2016.

f).- Ing. Daniel Santos Cevallos, Presidente del Directorio; Angeolina Toral Hidalgo, Miembro del Directorio; Mgs. Oscar Uquillas Otero, Miembro del Directorio; e, Ing. Edwin Gordón Rosero, Secretario del Directorio.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

Ing. Edwin Gordón Rosero
Director Ejecutivo Encargado de la ARCA
Secretario del Directorio

