



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO

“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del
cantón Riobamba”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Achache Carrillo Nataly Viviana
Gómez Monar Stalin Andrés

Tutor:

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez MSc.

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **Nataly Viviana Achache Carrillo** con cédula de ciudadanía **0650115520** y **Stalin Andrés Gómez Monar** con cédula de ciudadanía **0202324034**, autores del trabajo de investigación titulado: **“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba”**, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 14 de diciembre de 2022.

Nataly Viviana Achache Carrillo

C.I: 0650115520

Stalin Andrés Gómez Monar

C.I: 0202324034

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba**”, presentado por **Nataly Viviana Achache Carrillo** con cédula de ciudadanía **0650115520** y **Stalin Andrés Gómez Monar** con cédula de ciudadanía **0202324034**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 14 de diciembre de 2022.

Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Firma

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Firma

Mgs. Lidia Jhoanna Gallardo Donoso

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Firma

MSc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

TUTORA



Firma



Nataly Viviana Achache Carrillo

C.I: 0650115520



Stalin Andrés Gómez Monar

C.I: 0202324034

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba**”, presentado por **Nataly Viviana Achache Carrillo** con cédula de ciudadanía **0650115520** y **Stalin Andrés Gómez Monar** con cédula de ciudadanía **0202324034**, bajo la tutoría de MSc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 14 de diciembre del 2022.

Mgs. Andrea Natali Zárate Villacrés

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Lidia Jhoanna Gallardo Donoso

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **ACHACHE CARRILLO NATALY VIVIANA** con CC: **0650115520** y **GÓMEZ MONAR STALIN ANDRÉS** con CC: **0202324034** estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN RIOBAMBA"**, cumple con el 1 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 02 de diciembre de 2022

MSc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez
TUTORA

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios, porque él es el pilar fundamental de mi vida.

A mi familia, especialmente a mis padres Henry y Ligia y a mis hermanos Jordy y Santiago porque siempre estuvieron apoyándome y pusieron toda su confianza en mí.

A mi novio David A. por todo su amor, porque ha estado conmigo en todo momento dispuesto a ayudarme y nunca me ha dejado sola en toda esta etapa universitaria.

A mis angelitos Minino y Chocolate por ser mis fieles amigos y porque siempre estuvieron junto a mí acompañándome en mi escritorio, en mis veladas y sacándome sonrisas.

Y finalmente a mí misma por todo el esfuerzo realizado, por el compromiso de salir adelante y por nunca rendirme a pesar de las dificultades.

Nataly Viviana Achache Carrillo

DEDICATORIA

A mis padres Danilo y Gloria, quienes me formaron con buenos valores y con su ejemplo de lucha y valor siempre estuvieron apoyándome en las buenas y malas para seguir adelante, y así cumplir el objetivo de lograr mi sueño.

A mis hermanos Hernán y Yajaira, mis primos Xavier y Jefferson, quienes estuvieron pendientes con su apoyo y cariño durante mi formación académica.

A mis familiares que siempre me brindaron consejos apoyo y alegrías en todo momento.

Finalmente, a mis compañeros y amigos por apoyarme cuando más los necesité, por la amistad y conocimientos brindados cada día de esta difícil etapa.

Stalin Andrés Gómez Monar

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a Dios por darme la vida, la salud y la sabiduría para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Henry y Ligia por todo su esfuerzo y sacrificio para que nunca me falte nada en todo el transcurso de mi carrera y porque me han inculcado valores y me han convertido en una persona de bien.

A David por sus palabras de ánimo y porque ha estado junto a mí incondicionalmente en las buenas y en las malas.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil por formarme no solo con conocimientos, sino con valores los cuales aplicaré siempre.

De manera muy especial a la Ing. María Gabriela Zúñiga quien como docente, tutora y amiga nos ha guiado de la mejor manera en toda esta etapa de desarrollo del proyecto.

A mis amigos Walter, Jessica, Marco y Santiago por todos los momentos compartidos y porque han sido las mejores personas que he conocido en esta etapa universitaria.

Finalmente, a la empresa pública EP-EMAPAR porque sin el apoyo del personal y de los Ingenieros encargados de cada área no hubiese sido posible desarrollar este proyecto.

Nataly Viviana Achache Carrillo

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme sabiduría y salud para poder de llegar a cumplir mi objetivo, el concluir mis estudios universitarios.

A mis padres quienes, con su esfuerzo, apoyo incondicional, sacrificio y amor permitieron realizar mis estudios universitarios.

A mis hermanos, primos, amigos y compañeros quienes con su apoyo, consejos y motivación me ayudaron para culminar este periodo de estudios universitarios.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, a todos los profesores de la escuela de Ingeniería Civil que me forjaron durante mi formación profesional en especial a la Ing. María Gabriela Zúñiga mi tutora de tesis por sus valiosos consejos y orientaciones, realizadas en el presente trabajo.

Stalin Andrés Gómez Monar

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Antecedentes.....	16
1.1.1. Antecedentes de la zona de estudio	16
1.1.2. Antecedentes de la investigación.....	20
1.2. Planteamiento del problema.....	21
1.3. Justificación	21
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. General.....	22
1.4.2. Específicos.....	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Conceptos generales.....	23
2.1.1. Sistema de agua potable	23
2.1.2. Fugas en la red de distribución	23
2.1.3. Clasificación de fugas.....	23
2.1.4. Factores que inciden en la presencia de fugas	24
2.1.5. Relación entre incidencia de fugas y desarrollo sostenible	24
2.1.6. Método de diagnóstico de fugas	25
2.1.7. Regulación vigente en Ecuador	26
2.2. Estado del arte.....	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	29
3.1. Tipo y diseño de investigación	29
3.2. Recopilación de información	30
3.3. Población de estudio	30
3.4. Procesamiento y análisis de datos.....	31
3.4.1. Balance hídrico técnico	31
2.1.1. Determinación del índice de agua no contabilizada	36
3.4.2. Rendimientos volumétricos porcentuales.....	36
3.5. Proceso de obtención de reporte de fugas.....	38

3.6.	Proceso de recopilación de información de campo.....	38
3.7.	Proceso de digitalización de resultados	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		40
4.1.	Resultados del balance hídrico técnico general	40
4.2.	Resultados del balance hídrico técnico por cada red de distribución	47
4.3.	Resultados de rendimientos volumétricos	49
4.4.	Resultados del historial de fugas.....	51
4.5.	Resultados del proceso de operación y mantenimiento de fugas.....	53
4.6.	Mapas que representan cuantitativamente el problema de pérdidas.....	55
4.7.	Discusión.....	57
4.8.	Planteamiento de propuestas.....	61
4.8.1.	Mejoras para la reducción de pérdidas reales.....	62
4.8.2.	Mejoras para la reducción de pérdidas aparentes	66
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
5.1.	Conclusiones.....	68
5.2.	Recomendaciones	69
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA		70
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....		72

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Fuentes de captación del cantón Riobamba.....	17
Tabla 2. Características de las redes de distribución	19
Tabla 3. Horarios de suministro a cada red del sistema del cantón Riobamba	20
Tabla 4. Niveles de desempeño según el porcentaje de agua no contabilizada establecido por la Regulación 003 de la ARCA	27
Tabla 5. Número de usuarios y categorías a diciembre del 2021	31
Tabla 6. Caudales inyectados a las redes de distribución del cantón Riobamba	32
Tabla 7. Ciclos de facturación en el cantón Riobamba	33
Tabla 8. Consumos mensuales facturados en el año 2021.....	33
Tabla 9. Consumo asignado a los usuarios que no cuentan con micromedición.....	34
Tabla 10. Consumos mensuales no medidos autorizados correspondientes al año 2021 ...	35
Tabla 11. Consumos no medidos autorizados de diciembre 2021 por redes de distribución.....	35
Tabla 12. Calificación de la gestión del abastecimiento en función de los rendimientos ..	38
Tabla 13. Resultados del balance hídrico técnico según Cabrera et al. (1999), correspondientes al promedio mensual de la suma del año 2021	40
Tabla 14. Resultados mensuales del caudal incontrolado y fugado del año 2021	42
Tabla 15. Incidencia económica del volumen de agua incontrolado y fugado.....	45
Tabla 16. Datos para estimación de usuarios a los que se les podría dotar de agua potable con la cantidad de agua fugada.....	46
Tabla 17. Resultados de caudales incontrolados y fugados por cada red de distribución ..	48
Tabla 18. Nivel de desempeño en cada red de distribución según la Regulación 003 de la ARCA	49
Tabla 19. Rendimientos volumétricos de todo el sistema del cantón Riobamba	49
Tabla 20. Rendimientos volumétricos por cada red de distribución del cantón Riobamba	50
Tabla 21. Resultados del proceso de operación y mantenimiento de fugas	53
Tabla 22. Análisis de dotaciones en base al número de usuarios y al caudal inyectado a cada red.....	59
Tabla 23. Comparación entre el caudal inyectado vs el caudal requerido en base al número de usuarios por cada red de distribución	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del cantón Riobamba	16
Figura 2. Ubicación de las redes de distribución del cantón Riobamba.....	18
Figura 3. Balance hídrico técnico	26
Figura 4. Metodología Propuesta	29
Figura 5. Caudales inyectados por redes de distribución	32
Figura 6. Caudales registrados mensualmente-año 2021	34
Figura 7. Modelo de ficha para recopilación de información de campo	39
Figura 8. Caudales mensuales obtenidos a partir del balance hídrico	40
Figura 9. Comparación entre caudales incontrolados y fugados	41
Figura 10. Índice de agua no contabilizada mensualmente durante el año 2021	43
Figura 11. Resultado porcentual del agua fugada mensualmente durante el año 2021	44
Figura 12. Representación de costos diarios de agua potable-año 2021	45
Figura 13. Agua no contabilizada y fugada por cada red de distribución	48
Figura 14. Rendimientos globales por cada red de distribución	50
Figura 15. Resultados de reporte de fugas de gran magnitud entre los años 2020 y 2021.	52
Figura 16. Rendimientos volumétricos vs Fugas atendidas en el año 2021	52
Figura 17. Incidencia de agua no contabilizada por cada red de distribución.....	55
Figura 18. Rendimiento volumétrico global por cada red de distribución	56
Figura 19. Registro de presiones en cada red de distribución del cantón Riobamba.....	57
Figura 20. Análisis del consumo del cantón Riobamba	58
Figura 21. Consumo promedio semestral ponderado CPC/ps.....	59
Figura 22. Comparación entre el caudal inyectado y el número de usuarios por cada red	60
Figura 23. Comparación entre caudales inyectados vs caudales requeridos por cada red .	63
Figura 24. Esquema de un sistema SCADA.....	64
Figura 25. Propuestas de mejora para la reducción de pérdidas reales (fugas)	66
Figura 26. Propuestas de mejora para la reducción de pérdidas aparentes (comerciales)..	67

RESUMEN

Uno de los problemas más frecuentes con el que se enfrentan las empresas prestadoras del servicio de agua potable es la pérdida por fugas en la red de distribución. En el cantón Riobamba a diario se tienen que atender fugas por diversas causas, lo cual genera un gasto económico a la entidad encargada que es la EP-EMAPAR, ya que es agua tratada que se está desperdiciando. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo analizar la incidencia de fugas en las redes de abastecimiento del cantón Riobamba con el fin de determinar la cantidad que representan mediante el cálculo de balances hídricos, y conocer sus principales causas mediante visitas técnicas. Para ello, se aplicó un método cuantitativo con el procesamiento de datos de volúmenes inyectados y facturados, y cualitativo con inspecciones in situ para conocer las características de las fugas y su proceso de reparación. Como resultado se obtuvo que el porcentaje de agua incontrolada en toda la red del cantón es del 39% incluyendo pérdidas reales y aparentes, calificando a la gestión del abastecimiento en general como “REGULAR”. Además, se obtuvo que la mayor incidencia de agua incontrolada se presenta en cuatro de las nueve redes existentes en el cantón con porcentajes superiores al 35% las cuales fueron Recreo, Saboya, Piscín y El Carmen. Con el diagnóstico realizado se proponen diversas estrategias de mejora para la reducción de pérdidas a corto y a largo plazo enfocadas especialmente en la gestión técnica y comercial de la empresa.

Palabras claves: agua potable, balance hídrico, fugas, agua incontrolada, gestión.

ABSTRACT

One of the most frequent problems faced by water companies is to overcome several losses due to leaks in the distribution system. In Riobamba, different causes provoke daily leaks, which incurs financial costs for the organization in charge which is called EP-EMAPAR, since treated water is running out. For this reason, the present study aims to analyze the incidence of leaks in the supply sytem in Riobamba canton to calculate the amount they represent and identify their primary causes through technical site visits. To achieve this, a quantitative method with the data processing of injected and invoiced volumes, and a qualitative method with on-site inspections to know the characteristics of the leaks and their repair process were applied. As an outcome, it was concluded that the proportion of uncontrolled water in the entire canton system is 39%, including both real and apparent losses, classifying overall supply management as "REGULAR". Additionally, it was discovered that most of the uncontrolled flooding occurred in four of the eight currently operating systems in the canton, which were Recreo, Saboya, Piscín, and El Carmen. Numerous improvement strategies are suggested with the completed diagnosis for reducing short- and long-term losses that are specifically focused on the company's technical and commercial management.

Keywords: drinking water, water balance, leaks, uncontrolled water, management.

Reviewed by:



Lic. Mishell Salao Espinoza
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0650151566

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes de la zona de estudio

Riobamba es la capital de la provincia de Chimborazo, ubicada en el centro del país, en la Cordillera de los Andes a 2 754 msnm como se observa en la Figura 1. El área aproximada es de 990 km² con una población total de 225 741 habitantes, concentrándose en la zona urbana 146 324 habitantes y en la zona rural 79 417 habitantes según el último censo nacional. (INEC, 2010)



Figura 1. Ubicación del cantón Riobamba

Fuente. (INEC, 2010)

Con respecto a la prestación del servicio de agua potable, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EP-EMAPAR) es la entidad encargada de administrar el recurso al cantón. Según la información del área de Tecnologías de Información de la EP-EMAPAR se reportó que a diciembre del año 2021 existieron un total de 45 656 usuarios registrados en las diversas categorías entre residencial, comercial, industrial y otros.

El abastecimiento a cada uno de los usuarios se realiza gracias a las captaciones superficiales (vertientes) y pozos profundos de los cuales se extrae el recurso líquido. Las fuentes de agua que actualmente están en funcionamiento se detalla en la Tabla 1:

Tabla 1.*Fuentes de captación del cantón Riobamba*

Captación convencional (Superficial)		
Captación	Ubicación	Caudal (l/s)
San Pablo	Guano-Sector San Pablo	260.00
Captación Subterránea (Pozos Profundos)		
Captación	Ubicación	Caudal (l/s)
Pozo 1		40.00
Pozo 2		42.70
Pozo 3		00.00
Pozo 4	Guano-sector Llío	75.00
Pozo 5		75.00
Pozo 6		70.00
Pozo 7		27.00
Huerta	Sector Ricpamba	28.00
Servidores	Av. Milton Reyes y Av. 11 de Noviembre	40.00
Las Hierbas	Junto a la reserva la Saboya	32.30
Las Abras	Sector las Abras	13.90
San Gabriel	San Antonio del Aeropuerto	13.00
Los Ángeles	Sector plaza de las hierbas	15.00
José Lazcano	Cdla. José Lazcano	11.00
Piscín	San Francisco de Piscín	14.00
21 de Abril	Cdla. 21 de abril	26.00
24 de Mayo	Cdla. 24 de mayo	13.00
Yaruquíes	Junto al estadio de Yaruquíes	20.00
Maldonado	Riobamba san Antonio del Aeropuerto	13.80

Nota. El caudal corresponde al promedio mensual medido en el año 2021 por el personal de operaciones de la empresa EP-EMAPAR y los datos fueron tomados del Informe Ejecutivo del año 2021 realizado por la Jefatura de Agua Potable

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

Para el transporte de agua cruda desde las captaciones existen 3 líneas de conducción construidas en acero y denominadas como: San Pablo-Aireadores, Llío-Aireadores y Maldonado-Aireadores. De éstas, San Pablo se encarga de transportar el agua captada de la vertiente superficial que lleva el mismo nombre y las otras dos líneas transportan el agua de los pozos subterráneos por tuberías de 300 mm de diámetro hacia la planta de tratamiento, en donde se sigue el proceso de potabilización. Posteriormente para el transporte de agua tratada existen líneas de conducción en tubería de hierro dúctil y PVC de 300 mm y 350 mm de diámetro, las cuales permiten que el agua vaya desde la planta de tratamiento hasta cada una de las reservas.

En cuanto a la distribución de agua potable actualmente en el cantón Riobamba se abastece a los usuarios mediante nueve redes de distribución que son: Tratamiento, San José

de Tapi, El Carmen, El Recreo, Saboya, San Martín de Veranillo, Maldonado, Piscín y Yaruquies como se detalla en la Figura 2. Cada red cuenta con uno o más depósitos de regulación independiente, garantizando el abastecimiento a cada sector del cantón.



Figura 2. Ubicación de las redes de distribución del cantón Riobamba
Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

En la Tabla 2 se detalla la información de cada una de las redes de agua potable con sus principales características como áreas de cobertura, longitudes de tubería, reservas de las que se alimenta con su ubicación y respectivos volúmenes:

Tabla 2.*Características de las redes de distribución*

Red de distribución	Área de la red (Ha)	Longitud de tubería (km)	Volumen de reserva (m3)	Ubicación de la reserva
Tratamiento	168,24	46,47	1000	Barrio Langos, sector Aireadores
			100	Barrio Santa Anita
San José de Tapi	306,46	76,23	2000	Barrio Prados del Norte
El Recreo	191,51	55,18	500	Barrio Primero de Mayo
			500	
			500	
El Carmen	611,61	101,68	1500	Urbanización Ciudad Balboa
			2000	
Saboya	907,25	172,30	1000	Sector La Saboya Civil
			1000	
			1000	
			2000	
			2000	
Yaruquies	458,05	30,49	200	Barrio Mirador de Yaruquies
			1000	Barrio Mirador de Yaruquies
Piscín	646,85	49,58	2000	Barrio Piscín
Maldonado	621,34	126,88	2500	Colegio Maldonado
			2500	Norte, vía a Guano
San Martín de Veranillo	944,64	145,82	2000	Junto al estadio de San Martín de Veranillo
			2000	

Nota. Estos datos fueron tomados del Informe Ejecutivo del año 2021 realizado por la Jefatura de Agua Potable

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

Con respecto a las tuberías de conducción que salen de los tanques de reserva hacia las distintas conexiones domiciliarias varían sus diámetros dependiendo de las necesidades, desde 63 mm, 90 mm, 110 mm, 250 mm en las tuberías de distribución y en las acometidas domiciliarias de 1/2"; el material que predomina es PVC de acuerdo a los cambios que se ejecutaron con la construcción del Plan Maestro en el año 2011.

La cobertura del servicio es del 96.13% según el informe emitido por el ARCA (2020) y el suministro actual es continuo en 4 de las 9 redes de distribución, mientras que para las demás redes el servicio es en diferentes horarios como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3.*Horarios de suministro a cada red del sistema del cantón Riobamba*

Red	Horario de servicio
Tratamiento, Carmen, Piscín, Yaruquíes	24:00
Tapi	16:00 (de 5 am a 9 pm)
Recreo, Saboya, Veranillo, Maldonado	12:00 (tres horarios)

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

Para brindar un servicio de calidad al cantón, la EP-EMAPAR cuenta con diversas áreas que atienden los requerimientos de los usuarios, entre las que se encuentra la Dirección de Gestión Técnica, la cual cuenta con personal encargado de la operación y mantenimiento de todo el sistema de agua potable del cantón; además dentro del mismo se encuentra la Jefatura de Control de Pérdidas cuyo objetivo es implementar programas de reducción y control de agua no contabilizada ya que uno de los inconvenientes que afecta al servicio es que en cada una de las nueve redes de distribución a diario se presentan fugas de agua potable por distintas causas, lo cual ocasiona pérdidas económicas a la entidad encargada ya que es agua tratada que se está desperdiciando.

1.1.2. Antecedentes de la investigación

Por más eficiente que sea un sistema de agua potable, siempre se van a presentar pérdidas en su distribución, el cual es uno de los problemas más frecuentes con el que se enfrentan las empresas de agua potable (Campaña & Ortega, 2016). Esto ocurre a nivel mundial, afectando principalmente la calidad de vida de los usuarios y del ambiente por un mal aprovechamiento de los recursos hídricos, ocasionando también pérdidas económicas considerables.

Según García y Benavides (2019) en la actualidad se estima que un 85% de la población tiene acceso a un servicio adecuado de agua potable; sin embargo en un estudio realizado por Ziegler et al. (2009) establece que en los países en desarrollo y de economía emergente, entre el 40% y el 80% del agua incorporada a las redes de abastecimiento no es registrada o facturada debido a pérdidas por fugas o tomas clandestinas. Por consiguiente, estas pérdidas traen consecuencias financieras ya que los fondos se gastan en aumentar la producción de agua para compensar las pérdidas, cuando lo que se debería realizar es invertir en el mantenimiento y control de las infraestructuras ya existentes gestionando los recursos necesarios para su intervención.

Como parte del trabajo realizado en el 2011 por la EP-EMAPAR, se inició la primera fase de construcción del plan maestro de agua potable con la finalidad de mejorar el servicio y reducir el porcentaje de pérdidas del sistema pues en aquella época el porcentaje de agua no contabilizada se encontraba alrededor del 62%, sin embargo en el año 2015 con los cambios realizados se seguían reportando porcentajes altos con un 53.75% de pérdidas siendo las principales causas el estado de la tubería, conexiones clandestinas, deficiencia en los micromedidores y falta de un catastro de usuarios actualizado. (EP-EMAPAR, 2021)

Es por ello que la presente investigación está encaminada a analizar cómo influye la presencia de fugas en el funcionamiento de la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba, mediante un diagnóstico del estado actual del sistema y el análisis de datos proporcionados por la EP-EMAPAR desde enero a diciembre del año 2021, con el objetivo de determinar la cantidad de agua incontrolada y sus principales causas mediante visitas técnicas para finalmente proponer mejoras y soluciones para un mejor abastecimiento de agua y un mayor aprovechamiento por parte de los usuarios.

1.2. Planteamiento del problema

Al ser el agua un recurso hídrico limitado al que no todos tienen acceso se debería contar con políticas institucionales enfocadas a la reducción de pérdidas en un sistema. En el caso de Ecuador, según el boletín estadístico emitido por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) en el año 2020 se obtuvo en promedio de todos los cantones una tasa de agua no contabilizada del 47.69% y en la ciudad de Riobamba en un 43.07%, lo que significa que existen deficiencias en el servicio de agua potable que se ofrece a los usuarios en las diferentes localidades de nuestro país (ARCA, 2020).

Por ello, el presente estudio gira entorno a la siguiente interrogante ¿Cuáles son las zonas que actualmente presentan mayor cantidad de pérdidas y fugas en las redes de distribución del cantón Riobamba y cómo se podría gestionar las mismas? Al realizar el diagnóstico del sistema actual se pretende identificar una parte de los problemas existentes y definir estrategias para que se logre brindar un mejor servicio a los usuarios.

1.3. Justificación

Las fugas deberían ser tratadas con la misión de conseguir un consumo sostenible del agua y mitigar los impactos que generan en el ámbito económico, social, ambiental e incluso político de un cantón, sobre todo porque en la mayoría de ocasiones no se aplican mantenimientos preventivos, sino que se espera que las fugas sean visibles, de gran magnitud y que el agua aflore a la superficie para ser reparadas, o a su vez se presta atención únicamente cuando existen reportes o denuncias por parte de la ciudadanía aplicando en la mayoría de casos mantenimientos correctivos. Además, ante fugas de gran magnitud los procesos de reparación requieren de excavaciones que generan contrariedades como la suspensión temporal del servicio de agua potable en la red, el cierre de vías, molestias a la ciudadanía y contaminación al medio ambiente.

En los estudios desarrollados por Fuentes et al. (2011) y Benavides (2018) concuerdan con que las fugas o escapes físicos de agua potable no se pueden eliminar o evitar por completo de los sistemas de abastecimiento por lo que siempre existirá un volumen mínimo de pérdidas reales inevitables y otro volumen de pérdidas potencialmente recuperables, por lo que es necesario implementar acciones permanentes encaminadas a reducir en lo posible la cantidad de fugas existentes y evitar a futuro la presencia de nuevas fugas.

De ahí la importancia del presente estudio que permitirá conocer el estado actual del sistema del cantón Riobamba y analizar porqué se presentan pérdidas en las redes de distribución y qué cantidad representan ya que al ser agua que pasa por procesos de tratamiento para su potabilización, genera un gasto económico al cantón y a la entidad encargada como tal.

Los resultados obtenidos y el cumplimiento de los objetivos propuestos beneficiarán al sector analizado y a la entidad competente ya que permitirá definir estrategias para que se pueda abastecer de agua potable a una mayor cantidad de población y con una mejor calidad; además que se pueda optimizar los procesos de operación y mantenimiento de las redes del sistema.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Analizar de la incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba.

1.4.2. Específicos

- Reconocer las zonas que presentan mayor cantidad de fugas en el cantón Riobamba de acuerdo a los datos proporcionados por la EP-EMAPAR.
- Identificar mediante inspecciones el proceso de operación y mantenimiento con el que se atiende un problema de fuga de agua en las distintas redes del cantón.
- Usar sistemas de información geográfica en complemento con el plano de la red de distribución de agua potable del cantón Riobamba para identificar cuantitativamente las zonas afectadas por el problema en análisis.
- Determinar en base a los resultados obtenidos la relevancia del problema y discutir las posibles causas del mismo.
- Plantear propuestas para evitar el incremento de fugas de agua potable en la red de distribución del cantón Riobamba.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos generales

2.1.1. Sistema de agua potable

El abastecimiento de agua potable a una población es posible gracias a un correcto funcionamiento del sistema y de su infraestructura, el cual se compone de elementos como: tuberías, bombas, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento y otros que permiten la adquisición del recurso desde la fuente hídrica, su almacenamiento, potabilización y por último su distribución. (Alvarado, 2016)

Para la adquisición del recurso, la captación debe realizarse con cuidado, protegiendo el sitio de aforamiento de posibles contaminaciones y destinando un área de protección cerrada. Estas fuentes pueden ser subterráneas o superficiales. El agua superficial se la capta mediante tomas mientras que el agua subterránea se recolecta por medio de pozos. (C. Romero, 2009)

Una vez captada el agua se le da un tratamiento adecuado para su respectiva conducción y distribución a la población. El agua puede ser distribuida mediante gravedad o por bombeo dependiendo la topografía del lugar ya que la distribución por gravedad es posible solo cuando la fuente de suministro está localizada en un nivel superior al de la ciudad. Esta es la técnica más aconsejable, siempre que haya una red de distribución que transporte el agua del tanque de almacenamiento a las redes principales y de estas se derivan a redes secundarias para luego abastecer las conexiones domiciliarias. (Alvarado, 2016)

2.1.2. Fugas en la red de distribución

Una fuga es una salida descontrolada de agua en cualquier punto de los elementos de un sistema de distribución como consecuencia de la pérdida de estanqueidad de la red (Medina & Benavides, 2009). Generalmente las fugas inciden en el abastecimiento de agua potable porque se pueden presentar en cualquier parte del sistema, razón por la cual en ocasiones son difíciles de detectar, por lo que es necesario el uso de equipos técnicos. (Huancahuari & Montero, 2018)

2.1.3. Clasificación de fugas

De acuerdo con Ziegler et al. (2009) las fugas se pueden clasificar de la siguiente forma:

Fugas visibles: hacen referencia a todas aquellas fugas que debido a su naturaleza pueden ser identificadas rápidamente en la superficie sin requerir de equipos especiales.

Fugas no visibles u ocultas: generalmente no presentan efectos que puedan ser apreciados fácilmente, por lo que es necesario determinar su presencia mediante un análisis de tendencias en el comportamiento del consumo de agua.

Fugas de fondo: son muy pequeñas y ocurren por filtración o goteo de uniones y válvulas o accesorios no herméticos. Son muy difíciles de detectar y para su reparación es necesario reemplazar la parte defectuosa.

2.1.4. Factores que inciden en la presencia de fugas

Uno de los principales factores que provoca las fugas es la calidad de materiales y accesorios ya que este parámetro influye en la vida útil de los elementos que forman parte del sistema. Además, al requerir constantemente reparaciones el mantenimiento se vuelve más frecuente lo cual implica mayor desperdicio de agua. (Ojeda, 2012)

Por otro lado, las altas presiones también inciden en la presencia de fugas ya que en un sistema de distribución la presión máxima permitida es de 50 m.c.a., por lo que presiones que excedan este valor aumentan el consumo y producen daños en los elementos y accesorios del sistema. (CPE INEN 5, 1992)

La edad de las tuberías es otro de los factores que provoca roturas y por consiguiente fugas, ya que conforme más antiguas son las tuberías, mayor será la cantidad de fugas y generalmente esto ocurre en conjunto con la corrosión interna y externa que va apareciendo con el tiempo. (Romero, 2013)

El efecto del tráfico también incide en ciertas ocasiones sobre todo en tuberías antiguas ubicadas bajo superficies no diseñadas para aceptar las cargas y en tuberías nuevas cuando no son instaladas a la profundidad recomendada por la normativa, por lo que las tuberías son muy susceptibles a fracturarse, especialmente aquéllas con uniones rígidas. (Romero, 2013)

De acuerdo con el Manual de Manejo de Fugas emitido por la OMS, existen cuatro factores que influyen en la presencia de fugas dentro de los sistemas de agua potable de las empresas de agua. Según Farley (2001) estos factores son:

- Falta de políticas de control de fugas.
- La disponibilidad de agua, de recursos financieros y de personal especializado.
- Las condiciones de la infraestructura y estrategias de renovación.
- La actitud institucional con respecto a las normativas, regulaciones y políticas.

2.1.5. Relación entre incidencia de fugas y desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es uno de los temas más controversiales a tomar en cuenta hoy en día debido a que para mantener un equilibrio se debe usar adecuadamente los recursos para satisfacer necesidades de la sociedad actual sin comprometer las necesidades de futuras generaciones. (Ziegler et al., 2009). En cuanto a las fugas en los sistemas de agua potable son un claro obstáculo de sostenibilidad generando los siguientes impactos:

Impactos económicos: costos de explotación de mayor cantidad de agua, costos de tratamiento y potabilización, costos de reparación de tuberías dañadas.

Impactos técnicos: problemas en el funcionamiento de todo el sistema ya que, al presentarse fugas, las redes de distribución no pueden operar continuamente.

Impactos sociales: las fugas afectan directamente a los usuarios por fallas en el suministro, suspensiones temporales y también riesgos a la salud que se dan a causa de infiltración de contaminantes por medio de las roturas presentes en las tuberías.

Impactos ambientales: al requerir mayor producción de agua, se requiere explotar más recursos y fuentes de captación, lo que significa que cada vez se disponga de menos agua al ser un recurso no renovable.

Estos aspectos demuestran que las pérdidas de agua perjudican en todos los aspectos que forman parte de un sistema de suministro de agua sostenible, por lo que las empresas requieren de un marco político y financiero que reduzca la cantidad de pérdidas por medio de regulaciones, incentivos, gestión y fijación de metas.

2.1.6. Método de diagnóstico de fugas

Antes de escoger un método que permita cuantificar las pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento es necesario entender que la cantidad de agua que se pierde por fugas es prácticamente imposible de conocer con exactitud ya que inclusive en sistemas automatizados y controlados solamente se puede tener una aproximación de la realidad existente. Es por ello que previo a desarrollar estrategias de reducción de pérdidas se debe realizar un diagnóstico del por qué se están presentando las mismas y en dónde específicamente, de modo que puedan ser cuantificadas. Son varias metodologías que se utilizan para analizar y evaluar el comportamiento hidráulico de la red de manera que se pueda disminuir el volumen fugado, sin embargo, uno de los más utilizados es el diagnóstico mediante balances hídricos:

Diagnóstico mediante balances hídricos

Un balance hídrico tiene como objetivo conocer con exactitud los diversos niveles y destinos del agua inyectada en un sistema, de manera que se pueda evaluar la eficiencia del mismo a través de rendimientos volumétricos porcentuales, los cuales miden el nivel y el volumen de agua perdida. (Medina & Benavides, 2009)

Existen algunos métodos de realizar el cálculo del balance hídrico, como el formulado en el año 2000 por el IWA (International Water Association) o el propuesto por Cabrera et al. (1999) denominado balance hídrico técnico o “Auditoría volumétrica del abastecimiento urbano”. A pesar de que ambas propuestas son similares, la segunda formulada por Cabrera et al. (1999) se centra exclusivamente en la red de distribución sin contemplar las pérdidas que pueden presentarse antes como en los depósitos, plantas potabilizadoras, etc.

A continuación, en la Figura 3 se detallan los componentes que intervienen en el balance hídrico técnico:

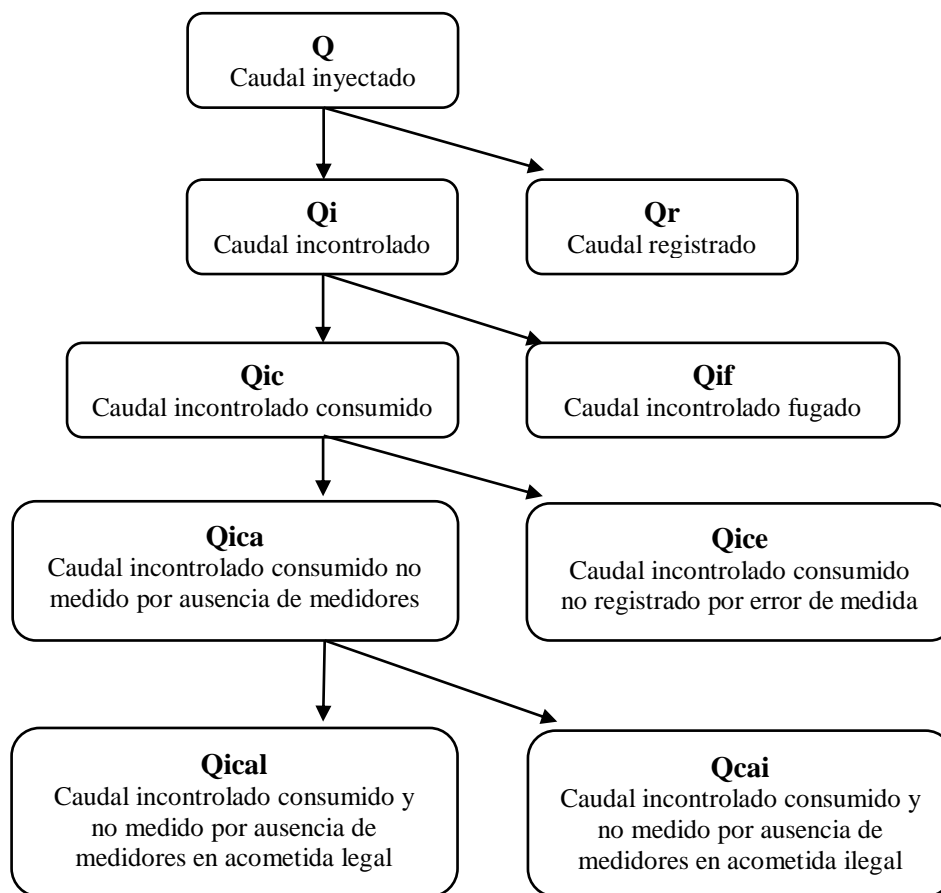


Figura 3. Balance hídrico técnico

Fuente. (Cabrera et al., 1999)

2.1.7. Regulación vigente en Ecuador

La Agencia de Regulación y Control de Agua (ARCA) desde el 2014 es la entidad encargada de recolectar la información de la prestación del servicio de agua potable de todos los cantones del Ecuador y tiene como competencia la regulación y control de la gestión de los recursos hídricos. Por ello, la entidad emite anualmente boletines estadísticos con el objetivo de evaluar a las empresas mediante indicadores, entre los que se encuentra el indicador de “Agua no contabilizada”, el cual permite conocer el porcentaje de volumen de agua tratada que se pierde desde que ésta sale de la red de distribución hasta que llega a los consumidores del servicio y se factura. El resultado se obtiene a través del volumen de agua distribuida a la red y del volumen total facturado y sugiere que mientras menor sea el valor mejor será su desempeño. En este sentido existen tres categorías que representan el porcentaje de agua no contabilizada las cuales indican el nivel de desempeño de cada cantón según la Regulación 003 definida por el (ARCA, 2018), como se detalla en la Tabla 4:

Tabla 4.

Niveles de desempeño según el porcentaje de agua no contabilizada establecido por la Regulación 003 de la ARCA

Rango I – Alto ANC ≤ 30%	La gestión del servicio y el estado de la infraestructura se encuentran dentro de niveles aceptables de desempeño, con un menor grado de intervención
Rango II – Medio 30 < ANC ≤ 45%	La gestión del servicio y el estado de la infraestructura no se encuentran dentro de niveles aceptables de desempeño y se debe considerar en estado de alerta con un grado de intervención moderado
Rango III – Bajo ANC > 45%	La gestión del servicio y el estado de la infraestructura se encuentran dentro de niveles inaceptables de desempeño, por lo que se considera en estado de emergencia con un alto grado de intervención

Fuente. (ARCA, 2018)

2.2. Estado del arte

Las pérdidas de agua potable son un problema muy común en la mayoría de cantones del Ecuador, teniendo registros de que en varios sectores en los últimos años no se ha llevado a cabo un control y correcta reducción de pérdidas.

Según La Agencia de Regulación y Control de Agua (ARCA) a nivel nacional en el año 2020 obtuvieron como resultado en el indicador de “Agua no contabilizada” un promedio nacional de 47.69%, el cual está por encima del rango establecido para poder garantizar una sostenibilidad en la prestación del servicio. Además, del total de 221 GADM existentes en el país únicamente 10 cantones presentaron un desempeño calificado como “alto” con un porcentaje adecuado de pérdidas. Los demás se encuentran en una categoría “media” como es el caso del cantón Riobamba, y “baja” en otros cantones, por lo que es necesario implementar acciones en la mayor parte del país.

A continuación, se detallan algunas publicaciones relevantes acerca de proyectos desarrollados para el óptimo control de fugas en diferentes casos de estudio:

Rosero (2019) desarrolló un estudio del agua potable no contabilizada en el cantón Pangua, provincia de Cotopaxi mediante levantamiento de información técnica y comercial y de mediciones de caudales producidos y facturados con lo que obtuvo como resultado un 67.90% de agua no contabilizada para el cantón siendo la causa principal el material de las tuberías ya que al ser de hierro y haber cumplido su vida útil presentaban fisuras, además también se identificaron fugas en las acometidas domiciliarias, por lo cual propuso la elaboración de un programa de control de pérdidas y el aumento de cobertura de micromedición ya que el 20% de usuarios registrados en el cantón no poseían micromedidores.

Cedeño et al. (2021) elaboraron un plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en el cantón Portoviejo debido al alto porcentaje de agua no contabilizada, la cual representaba un 71.24% del volumen total con una eficiencia de apenas el 28.76% teniendo un desempeño bajo, en donde las pérdidas reales representaba la mayor pérdida de agua potable con un 44.47% es decir pérdidas por fugas, por lo que para su reducción plantea estrategias de gestión como la instalación de medidores, sectorización hidráulica, implementación de un sistema de presiones, renovación de la infraestructura y fortalecimiento de normativas para evitar consumos no autorizados. Con la implementación de estas acciones en un plan se pretende que en 5 años se reduzca el agua no contabilizada a un 32.85% de acuerdo a las proyecciones realizadas en su estudio.

Campana & Ortega (2016) evaluaron el estado de la red de distribución de agua potable del cantón Rumiñahui con el fin de determinar pérdidas y fugas, aplicando la recopilación de datos obtenidos de los medidores y la realización de aforos con los que se determinaron los distintos caudales de conducción, distribución, desborde; esto con la finalidad de obtener el volumen de agua producido comparado con el volumen facturado, para establecer un factor de pérdidas y de fugas. Como resultado de obtuvo que el porcentaje de pérdidas fue del 33%, del cual el 9.17% representa a pérdidas por rebose y el 23.83% corresponde a pérdidas por fugas.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El método aplicado en la presente investigación tiene enfoque mixto, tanto cuantitativo como cualitativo dado que la parte cuantitativa se desarrolló con la recolección y análisis de datos para el cálculo de balances hídricos y rendimientos volumétricos que determinaron la cantidad de agua incontrolada y fugada, mientras que la parte cualitativa se ejecutó mediante la recopilación de información de campo con el uso de fichas que permitieron conocer las características y causas principales de las fugas. Además, se aplicó un diseño de investigación no experimental debido a que se observaron las situaciones ya existentes en su estado natural tal y como se muestra para después poder analizarlas. (Hernández et al., 2014)

El tipo de investigación fue correlacional ya que permitió determinar cómo se comporta un fenómeno en relación a otros sucesos o variables y en nuestro estudio se analizó la relación existente entre varios factores que pueden incidir en la presencia de fugas. (Borja, 2012)

En la Figura 4 se detalla la metodología que se llevó a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente estudio:

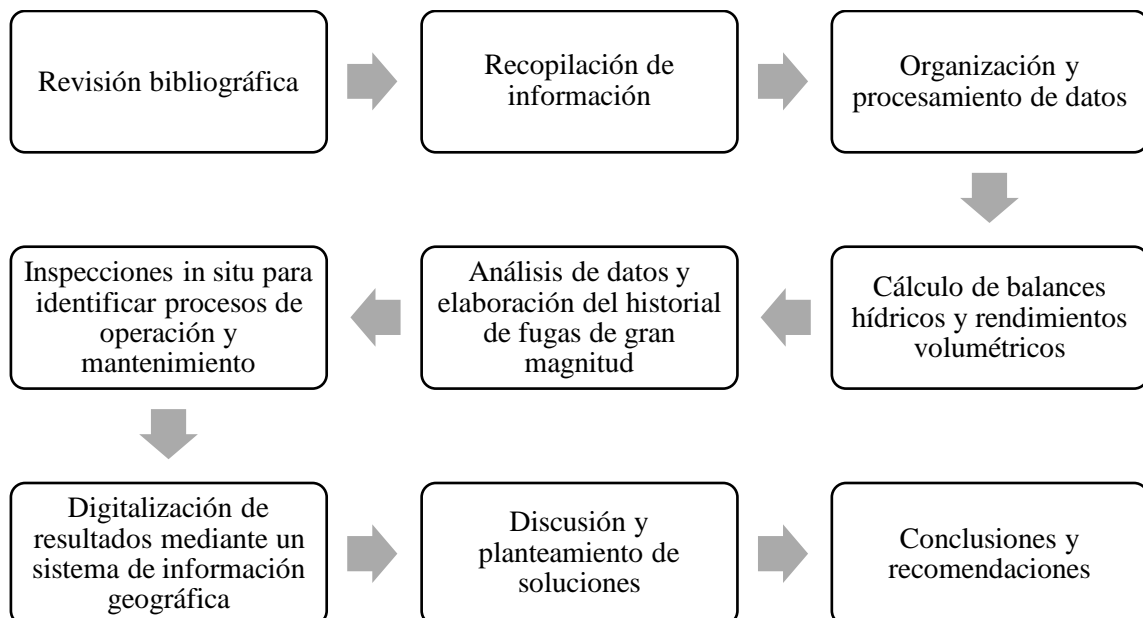


Figura 4. Metodología Propuesta
Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

Como primer paso se llevó a cabo una revisión bibliográfica con la finalidad de tener mayor conocimiento del tema de estudio y hasta dónde se ha llegado a nivel local e internacional. Para ello se recurrió a fuentes digitales como repositorios de Universidades, bibliotecas virtuales, Google Académico, Scopus, entre otros; posteriormente se realizó la recopilación de información necesaria y mediante hojas de cálculo en el software Microsoft Excel se elaboraron los cálculos de balances hídricos y rendimientos volumétricos. Después,

se realizaron visitas de campo para verificar cómo se atienden las fugas y se representaron los resultados mediante sistemas de información geográfica para finalmente proponer mejoras que eviten o reduzcan la cantidad de agua incontrolada y de fugas existentes.

3.2. Recopilación de información

Para el desarrollo del presente estudio fue de vital importancia el apoyo de la entidad encargada del control de agua potable del cantón en análisis que en este caso es la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EP-EMAPAR. Para ello, mediante un oficio como de evidencia en el apartado de ANEXOS (Ver Anexo 1), se solicitó la siguiente información de oficina y campo relacionada a la prestación del servicio:

- Planos del sistema de agua potable
- Datos de volúmenes inyectados al sistema general y a cada red de distribución
- Reporte mensual de volúmenes facturados por usuario
- Estadísticas de agua no contabilizada
- Reglamentos, manuales, informes y documentos con información relevante al tema

La Información fue entregada por correo electrónico mediante el Memorando EP-EMAPAR-GG-2022-00222-OF suscrito por Gerencia General de la empresa como se evidencia en el apartado de ANEXOS (Ver Anexo 2).

3.3. Población de estudio

La población de estudio corresponde a todas las personas registradas como usuarios/clientes de la empresa pública de prestación del servicio de agua potable del cantón Riobamba. Para ello se tomó en cuenta el registro de información proporcionada por parte del área de Tecnologías de Información de la EP-EMAPAR, el cual indica que a diciembre del año 2021 existieron un total de 45 656 usuarios registrados de las diversas categorías como se indica en la Tabla 5. Para el presente estudio fueron analizados todos los datos de los registros de consumo mensual de enero a diciembre del año 2021 de cada uno de los usuarios.

Tabla 5.*Número de usuarios y categorías a diciembre del 2021*

Categoría	Subcategoría	N° de usuarios por subcategoría	N° de usuarios total	Porcentaje que representa
Residencial	Residencial normal	30 732	40 460	88.62 %
	Residencial directo	1 434		
	Residencial exonerado	275		
	Discapacidad	470		
	Tercera edad	7 549		
Comercial	Comercial	4 044	4 099	8.98 %
	Comercial directo	55		
Industrial	Industrial	975	991	2.17 %
	Industrial directo	17		
Otros	Oficial A	4	106	0.23 %
	Tanqueros	5		
	Solo alcantarillado	97		
		Total	45 656	100 %

Nota. El número de usuarios fue proporcionado por parte del Área de Tecnologías de la Información de la EP-EMAPAR.

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

3.4. Procesamiento y análisis de datos

3.4.1. Balance hídrico técnico

Para el cálculo de los balances hídricos se procesaron los datos proporcionados por la EP-EMAPAR desde enero a diciembre del año 2021. Su análisis se efectuó para determinar la relación existente entre el agua inyectada y el agua facturada en períodos mensuales y anuales siguiendo la ecuación (1) según Cabrera et al. (1999):

$$Q = Q_r + Q_i \quad (1)$$

Donde:

- Q= caudal inyectado (m³/mes)
- Q_r=caudal registrado (m³/mes)
- Q_i=caudal incontrolado (m³/mes)

A continuación, se describe cada uno de los parámetros que intervinieron en el cálculo del balance hídrico:

3.4.1.1. Procesamiento de volúmenes inyectados (Q)

La EP-EMAPAR realiza la medición del volumen de agua inyectado únicamente en tres de las nueve redes de distribución, las cuales son Tratamiento, El Carmen y Yaruquies, con la ayuda de caudalímetros electrónicos portátiles a la salida de los tanques de reserva.

En las seis redes restantes no es posible una medición constante debido que no existe macromedición a la salida de cada depósito de reserva y tampoco se puede medir con caudalímetros portátiles ya que no se cuenta con cámaras de válvulas, razón por la cual para medir los caudales inyectados sería necesario realizar excavaciones y tener un tramo visible de tubería para colocar el caudalímetro.

Es por ello que los datos presentan cierto grado de incertidumbre ya que únicamente fueron proporcionados los valores medidos por el personal técnico en un estudio desarrollado hace tiempo atrás y se asumió que esos caudales fueron constantes a lo largo del año 2021, con lo que resulta que el volumen de agua total inyectado a las diferentes redes de enero a diciembre del 2021 fue de 1'787 723.28 m³ como se detalla en la Tabla 6:

Tabla 6.

Caudales inyectados a las redes de distribución del cantón Riobamba

Red	N° usuarios	Q inyectado (l/s)	Q inyectado (m ³ /mes)
Tratamiento	823	9.60	25 228.80
Tapi	3 913	48.30	126 932.40
Recreo	2 396	55.69	146 353.32
Carmen	6 059	91.67	240 908.76
Saboya	12 119	227.92	598 973.76
Veranillo	5 516	78.31	205 798.68
Maldonado	9 706	109.90	288 817.20
Piscín	2 715	44.84	117 839.52
Yaruquíes	1 500	14.03	36 870.84
Total	44 747	680.26	1'787 723.28

Nota. Los caudales inyectados fueron entregados por parte de la Dirección de Gestión de Operaciones de la EP- EMAPAR y corresponden a valores medidos a inicios del año 2022 en las redes Tratamiento, Carmen y Yaruquíes, mientras que para las demás seis redes corresponden a valores medidos en un estudio desarrollado tiempo atrás.

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

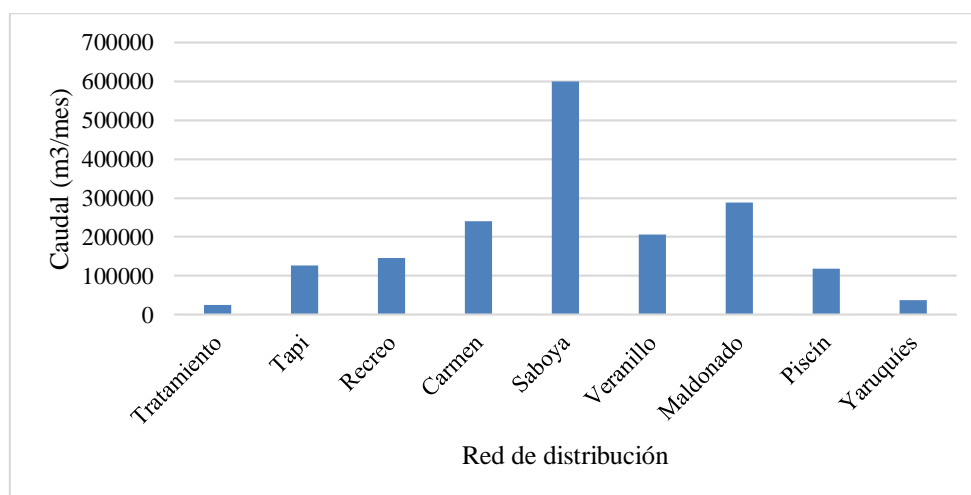


Figura 5. Caudales inyectados por redes de distribución

Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

3.4.1.2. Procesamiento de volúmenes registrados (Qr)

Los registros de volúmenes facturados se reportan mensualmente mediante la toma de lecturas en los micromedidores que posee cada usuario. Para ello el personal de la EP-EMAPAR registra los consumos en metros cúbicos y por ciclos como se detalla en la Tabla 7, además su facturación depende de la categoría a la cual pertenezca el usuario:

Tabla 7.

Ciclos de facturación en el cantón Riobamba

Día de facturación	Red de distribución
7 de cada mes	Tapi, Tratamiento, Recreo, Carmen
14 de cada mes	Saboya
21 de cada mes	Veranillo, Maldonado, Piscín
28 de cada mes	Yaruquies, Ciclo 1, Ciclo 2

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

Para poder ejecutar un análisis global y a su vez uno detallado de cada red de distribución se obtuvo la base de datos de los volúmenes consumidos mensualmente por cada usuario de enero a diciembre del 2021 indistintamente de la categoría a la que pertenezcan sean estos residenciales, comerciales, industriales u otro, representando un total de 542 240 datos, los cuales fueron procesados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel clasificándolos por meses como se detalla en la Tabla 8. Cabe recalcar que estos datos corresponden a consumos facturados sin corregir debido a que pudo haber ciertas anomalías durante el proceso de registro de información por parte de la empresa como errores de lectura o inexactitud de los medidores, lo cual genera cierto porcentaje de variación o error en los datos entregados.

Tabla 8.

Consumos mensuales facturados en el año 2021

Mes	N° usuarios	Q registrado (l/s)	Q registrado (m3/mes)
Enero	44 724	392.17	1'050 390
Febrero	44 767	481.01	1'163 656
Marzo	44 897	372.02	996 431
Abril	45 064	436.58	1'131 613
Mayo	45 075	407.48	1'091 397
Junio	45 167	409.37	1'061 091
Julio	45 317	409.54	1'096 917
Agosto	45 262	422.68	1'132 115
Septiembre	45 341	404.68	1'048 920
Octubre	45 386	401.99	1'076 691
Noviembre	45 583	442.28	1'146 379
Diciembre	45 656	415.94	1'114 050
Qmed		416.31	1'092 470.83

Nota. El número de usuarios y los consumos fueron proporcionados por cada usuario por parte del Área de Tecnologías de la Información de la EP-EMAPAR.

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

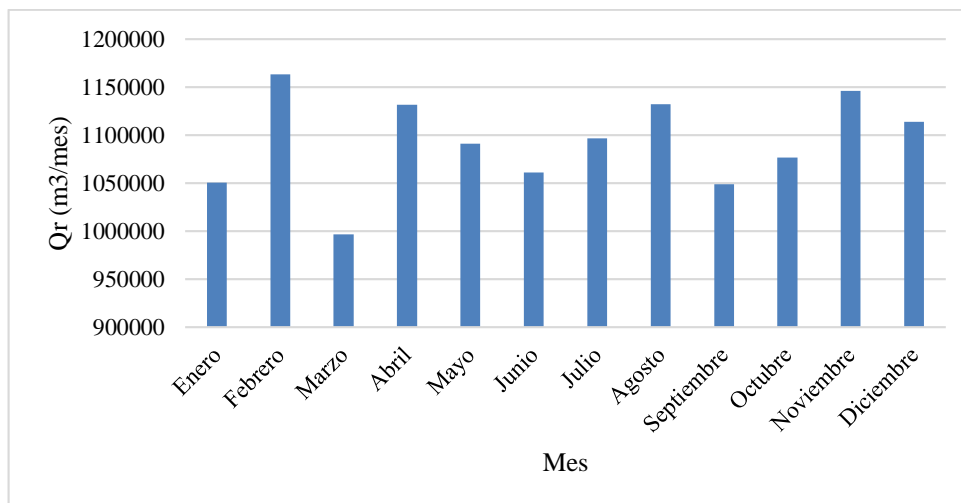


Figura 6. Caudales registrados mensualmente-año 2021

Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

Los consumos mensuales facturados en el año 2021 se detallan clasificados por cada una de las nueve redes de distribución en el apartado de ANEXOS (Ver Anexo 3).

3.4.1.3. Procesamiento de consumos no medidos autorizados por ausencia de contadores (Qica)

En cada una de las redes de distribución existe un porcentaje de usuarios que no cuentan con micromedición debido a que los contadores fueron retirados por diversas causas. En estos casos la EP-EMAPAR estima un volumen de agua consumido en relación a los valores promedios de consumo mensual por cada micromedidor del resto del sistema según lo definido en su reglamento técnico, y ese consumo la empresa incorpora en su base de datos para la respectiva facturación de acuerdo a su categoría como detalla en la Tabla 9:

Tabla 9.

Consumo asignado a los usuarios que no cuentan con micromedición

Categoría	Consumo mensual estimado (m3)
Residencial	42
Comercial	60
Industrial	100

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

A estos usuarios sin medidor la entidad la considera como “categoría directa” la cual es autorizada por la dirección comercial de manera provisional.

En nuestro estudio para el cálculo de balances hídricos esta categoría fue considerada como “agua consumida y no medida por ausencia de contadores” (Qica), ya que a pesar de que es facturada por la empresa, no se sabe exactamente la cantidad de consumo que

representa. En la Tabla 10 se resume mensualmente el número de usuarios y el consumo que corresponde a esta categoría:

Tabla 10.

Consumos mensuales no medidos autorizados correspondientes al año 2021

Mes	N° usuarios	Qica (l/s)	Qica (m3/mes)
Enero	980	16.24	43 504
Febrero	958	17.63	42 651
Marzo	912	15.02	40 220
Abril	928	15.80	40 950
Mayo	974	16.14	43 232
Junio	1041	17.76	46 024
Julio	1124	18.45	49 419
Agosto	1094	18.01	48 242
Septiembre	1041	17.67	45 788
Octubre	1100	18.10	48 480
Noviembre	1072	18.22	47 214
Diciembre	1097	18.00	48 224

Nota. El número de usuarios y los consumos fueron proporcionados por cada usuario por parte del Área de Tecnologías de la Información de la EP-EMAPAR.

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

También se obtuvo los registros de consumos estimados mensualmente por cada red de distribución de enero a diciembre del año 2021 (Ver Anexo 4), sin embargo, en la Tabla 11 se detalla los datos únicamente de diciembre:

Tabla 11.

Consumos no medidos autorizados de diciembre 2021 por redes de distribución

Red	N° usuarios	Qica (l/s)	Qica (m3/mes)
Tratamiento	17	0.27	732
Tapi	157	2.60	6 960
Recreo	51	0.83	2 236
Carmen	251	4.06	10 884
Saboya	193	3.21	8 598
Veranillo	138	2.30	6 168
Maldonado	168	2.74	7 334
Piscín	81	1.33	3 572
Yaruquies	38	0.60	1 614

Nota. El número de usuarios y los consumos fueron proporcionados por cada usuario por parte del Área de Tecnologías de la Información de la EP-EMAPAR.

Fuente. (EP-EMAPAR, 2021)

3.4.1.4. Procesamiento de volúmenes consumidos y no registrados por error de medida (Qice)

Según Cabrera et al. (1999), el caudal consumido y no registrado debido a un error de medida en los micromedidores no puede ser despreciado y debería incluirse dentro del cálculo del balance hídrico ya que podría llegar a alcanzar valores significativos.

Con la información de las lecturas por usuario se obtuvo que en promedio cada mes 6 835 medidores instalados reportan un consumo de 0 m³. Puede ser por diversas causas, ya sea que en verdad no se consuma agua porque se trate de viviendas deshabitadas o por deficiencias en los medidores, por ejemplo: medidor dañado o al revés, casas con medidores al interior, lecturas menores que las anteriores, etc, reportando un consumo de 0 m³ y facturados con una tarifa básica. Estos medidores que no registran lectura representan un 15% de todo el catastro de usuarios del cantón. Dentro de esta categoría que reportan 0 m³ se tiene un registro de usuarios que posiblemente consumen agua, pero no se conoce exactamente su ubicación. A estos usuarios la empresa los categoriza como una red particular denominada “Red 98”, que a diciembre del 2021 incluía un total de 908 usuarios. Por recomendación de la empresa estos usuarios no fueron considerados en el estudio ya que actualmente están siendo dados de baja.

De acuerdo a Cabrera et al. (1999) para sistemas de abastecimiento bien gestionados se admite un subcontaje del 4% al 5% del volumen inyectado, en nuestro caso se asumió un subcontaje del 5%.

2.1.1. Determinación del índice de agua no contabilizada

El índice de agua no contabilizada representa en porcentaje las pérdidas técnicas y comerciales. Para su cálculo se utilizó la ecuación (2):

$$IANC (\%) = \frac{VP - VF}{VP} * 100 \quad (2)$$

Donde:

- Vp= volumen de agua producida (m³)
- VF= volumen de agua facturada (m³)

3.4.2. Rendimientos volumétricos porcentuales

Los rendimientos volumétricos son indicadores porcentuales que permiten caracterizar la eficiencia hídrica de un sistema de agua potable. A continuación, se describen las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los diferentes indicadores propuestos por Cabrera et al. (1999):

- Rendimiento global del sistema: representa la relación entre el caudal registrado y el caudal inyectado. Este indicador considera tanto el rendimiento del sistema como el de su medición.

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q} \quad (3)$$

Donde:

η_s = rendimiento global del sistema

Q_r = caudal registrado (m³/mes)

Q = caudal inyectado (m³/mes)

- Rendimiento de la red: representa la relación entre el caudal consumido por los usuarios y el caudal inyectado. Este indicador cuantifica el estado físico y el modo de operación.

$$\eta_r = \frac{Q_s}{Q} = \frac{Q_r + Q_{ic}}{Q} \quad (4)$$

Donde:

η_r = rendimiento de la red

Q_r = caudal registrado (m³/mes)

Q_{ic} = caudal incontrolado consumido (m³/mes)

$Q_s = Q_r + Q_{ic}$ (m³/mes)

- Rendimiento de la medición: representa la relación entre el caudal registrado y el caudal consumido por los usuarios. Este indicador determina hasta qué nivel se registra el caudal suministrado al total de usuarios.

$$\eta_g = \frac{Q_r}{Q_s} \quad (5)$$

Donde:

η_g = rendimiento de la medición

Q_r = caudal registrado (m³/mes)

$Q_s = Q_r + Q_{ic}$ (m³/mes)

Los cálculos de los rendimientos porcentuales permiten atribuir cierta calificación a la gestión de la red a partir del resultado obtenido en el rendimiento global, como se indica en la Tabla 12 propuesta por Cabrera et al. (1999):

Tabla 12.*Calificación de la gestión del abastecimiento en función de los rendimientos*

Rango	Calificación
$\eta_s > 0.9$	Excelente
$0.8 < \eta_s < 0.9$	Muy bueno
$0.7 < \eta_s < 0.8$	Bueno
$0.6 < \eta_s < 0.7$	Regular
$0.5 < \eta_s < 0.6$	Malo
$0.5 < \eta_s$	Inaceptable

Fuente. (Cabrerá et al., 1999)

Para el presente estudio se calculó el rendimiento de manera general y por cada una de las redes con lo cual se determinó la eficiencia hídrica y en donde existen déficit en base a su valoración.

3.5. Proceso de obtención de reporte de fugas

Para realizar una comparativa de las redes que presentan mayores reportes de fugas diariamente era necesario solicitar un historial de órdenes atendidas, sin embargo, esta información no fue proporcionada por la empresa debido a que manejan únicamente órdenes de trabajo. Es por ello que se optó por realizar un historial de fugas de gran magnitud tomando en cuenta información publicada en las páginas oficiales de la empresa ya que la EP-EMAPAR notifica constantemente la presencia de fugas con la finalidad de informar que el servicio será suspendido en el lapso de tiempo que tome la reparación para que los ciudadanos tomen las respectivas precauciones. Como parte de este estudio se ha recopilado la información de publicaciones y anuncios realizados en los años 2020 y 2021 considerando que corresponden únicamente a fugas de gran magnitud.

En total para el año 2020 se recopiló información de 120 fugas y para el año 2021 un registro de 86 fugas. Los datos fueron ordenados en una matriz en donde constaba la información principal de cada fuga como la fecha, la red a la que pertenece y las principales causas.

3.6. Proceso de recopilación de información de campo

El objetivo de esta actividad consistió en identificar mediante inspecciones y visitas técnicas el proceso de operación y mantenimiento con el que se atienden las fugas y las causas que ocasionan las mismas. Para ello se contó con el apoyo del personal de operación de la EP-EMAPAR y se ejecutó un registro de visitas técnicas durante un lapso de 8 días en la jornada laboral de la institución de 7:00 am a 15:00 pm, para lo cual se elaboró un formato de ficha técnica que incluye el lugar en donde se produce la fuga, la red a la que pertenece, las causas por las que se produjo y las principales características de su mantenimiento como se detalla en la Figura 7:

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN PARA EL CONTROL DE FUGAS			
Fecha:		Ubicación:	
Nombre de la red de distribución que pertenece:		Coordenadas:	
Tipo de fuga:			
Causas:			
Tipo de reparación:			
Materiales utilizados:			
Tipo de mantenimiento:			
Tiempo de reparación:			
Observaciones:			
Anexos:			

Figura 7. Modelo de ficha para recopilación de información de campo

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

3.7. Proceso de digitalización de resultados

La digitalización y representación de resultados se realizó mediante un sistema de información geográfica. Con los valores calculados de los balances hídricos y rendimientos volumétricos se pudo identificar cuantitativamente las zonas más afectadas por problemas de agua incontrolada que incluye todo tipo de pérdidas. Para representar visualmente dichos resultados se complementó con mapas elaborados en el software ARCGIS en donde se muestran mediante escalas de colores toda la información de cada red.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del balance hídrico técnico general

En este apartado se detallan los resultados obtenidos del balance hídrico técnico de manera general y por cada una de las nueve redes de distribución. Cabe recalcar que estos balances fueron realizados con valores entregados por la institución encargada del abastecimiento de agua en el cantón Riobamba.

Los resultados están en base a los caudales medios inyectados y facturados en el año 2021 como se detalla en la Tabla 13:

Tabla 13.

Resultados del balance hídrico técnico según Cabrera et al. (1999), correspondientes al promedio mensual de la suma del año 2021

Resultado del balance hídrico (año 2021)		
Descripción	m3/mes	l/s
Caudal inyectado (Q)	1'787 723.28	680.26
Caudal registrado (Qr)	1'092 470.83	416.31
Caudal incontrolado (Qi)	695 252.45	263.95
Caudal incontrolado consumido (Qic)	134 715.16	51.27
Caudal fugado (Qif)	560 537.28	212.68

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

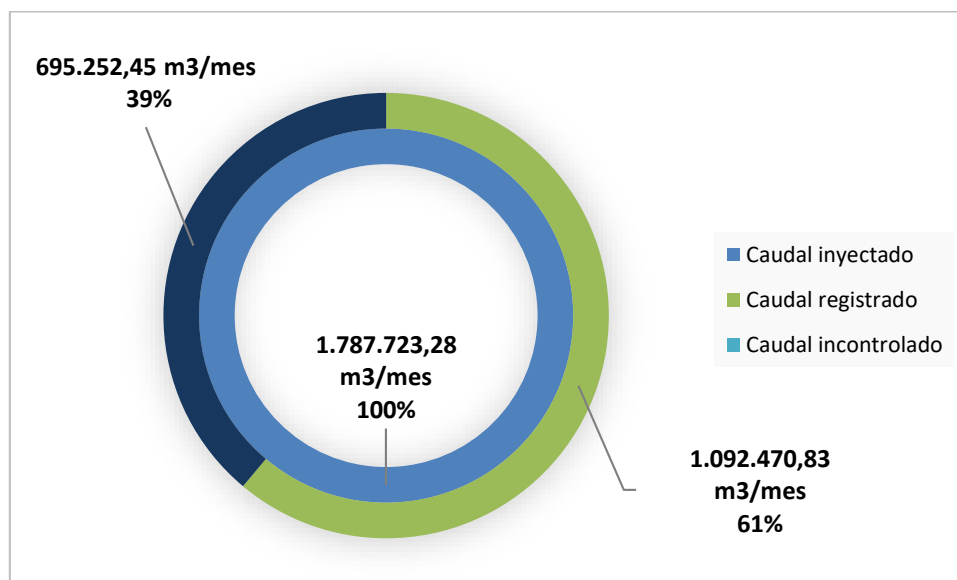


Figura 8. Caudales mensuales obtenidos a partir del balance hídrico

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Como se muestra en la Figura 8 se obtuvo como resultado para el año 2021 un promedio de 695 252.45 m3 de agua incontrolada que se pierde cada mes, lo que representa el 39% del volumen total inyectado en las redes del cantón Riobamba. Al tratarse de agua

incontrolada no se tiene un conocimiento de su uso o destino final, por lo que puede incluir tanto caudales consumidos no medidos como caudales perdidos, es decir fugas reales.

Este problema de agua no contabilizada incide en la eficiencia con que cuenta la EP-EMAPAR ya que de acuerdo al artículo 20 de la Regulación 003 de la ARCA (2018) con el 39% de agua no contabilizada, el nivel de desempeño es calificado como “medio”, lo cual significa que la gestión del servicio y el estado de la infraestructura no se encuentra dentro de los niveles aceptables de desempeño, por lo que se debe considerar en estado de alerta con un grado de intervención moderado.

Además según lo estipulado en el artículo 31 de la Regulación 006 de la ARCA (2017) este indicador no debería exceder el 35% ya que un porcentaje superior representa ineficiencia en la gestión del abastecimiento de agua potable y en ese caso los prestadores del servicio deberán incorporar dentro de sus planes de mejora programas y proyectos de reducción.

Por otro lado, si al caudal incontrolado se le resta un 3% que equivale al consumo estimado por los usuarios que carecen de micromedición y un 5% que corresponde al consumo por error de medida en los contadores se obtiene un caudal incontrolado fugado de 560 537.28 m³/mes, el cual representa un 31% como se observa en la Figura 9:

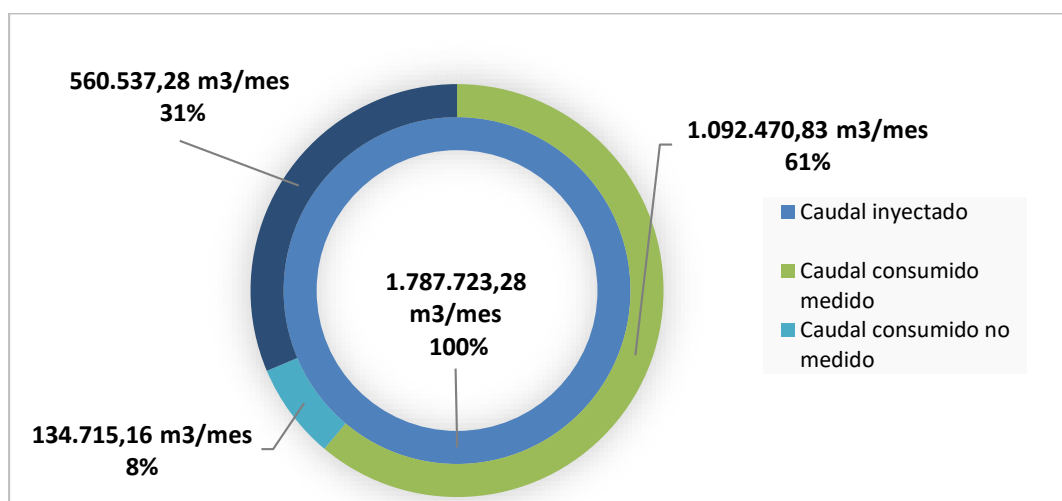


Figura 9. Comparación entre caudales incontrolados y fugados
Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

Se realizó el mismo análisis mensualmente para el año 2021 en donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 14.*Resultados mensuales del caudal incontrolado y fugado del año 2021*

Mes	Caudal incontrolado Qi (m3/mes)	Agua no contabilizada %	Caudal fugado Qif (m3/mes)	Agua fugada %
Enero	771 618.38	42.35%	637 013.96	34.96%
Febrero	482 028.99	29.29%	357 093.74	21.70%
Marzo	825 577.38	45.31%	694 256.96	38.10%
Abril	631 620.92	35.82%	502 509.22	28.50%
Mayo	730 611.38	40.10%	596 278.96	32.73%
Junio	702 142.92	39.82%	567 957.22	32.21%
Julio	725 091.38	39.80%	584 571.96	32.08%
Agosto	689 893.38	37.86%	550 550.96	30.22%
Septiembre	714 313.92	40.51%	580 364.22	32.91%
Octubre	745 317.38	40.91%	605 736.96	33.25%
Noviembre	616 854.92	34.98%	481 479.22	27.31%
Diciembre	707 958.38	38.86%	568 633.96	31.21%

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

En el año 2021 el porcentaje más alto de agua incontrolada (incluyendo el agua no medida más la fugada) fue de 45.31% en el mes de marzo con 825 577.38 m³ lo cual equivale a 308.24 l/s de pérdida, y el menor porcentaje fue de 29.29% en el mes de febrero con 482 028.99 m³ que equivale 199.25 l/s de pérdida. Este resultado se representa en la Figura 10:

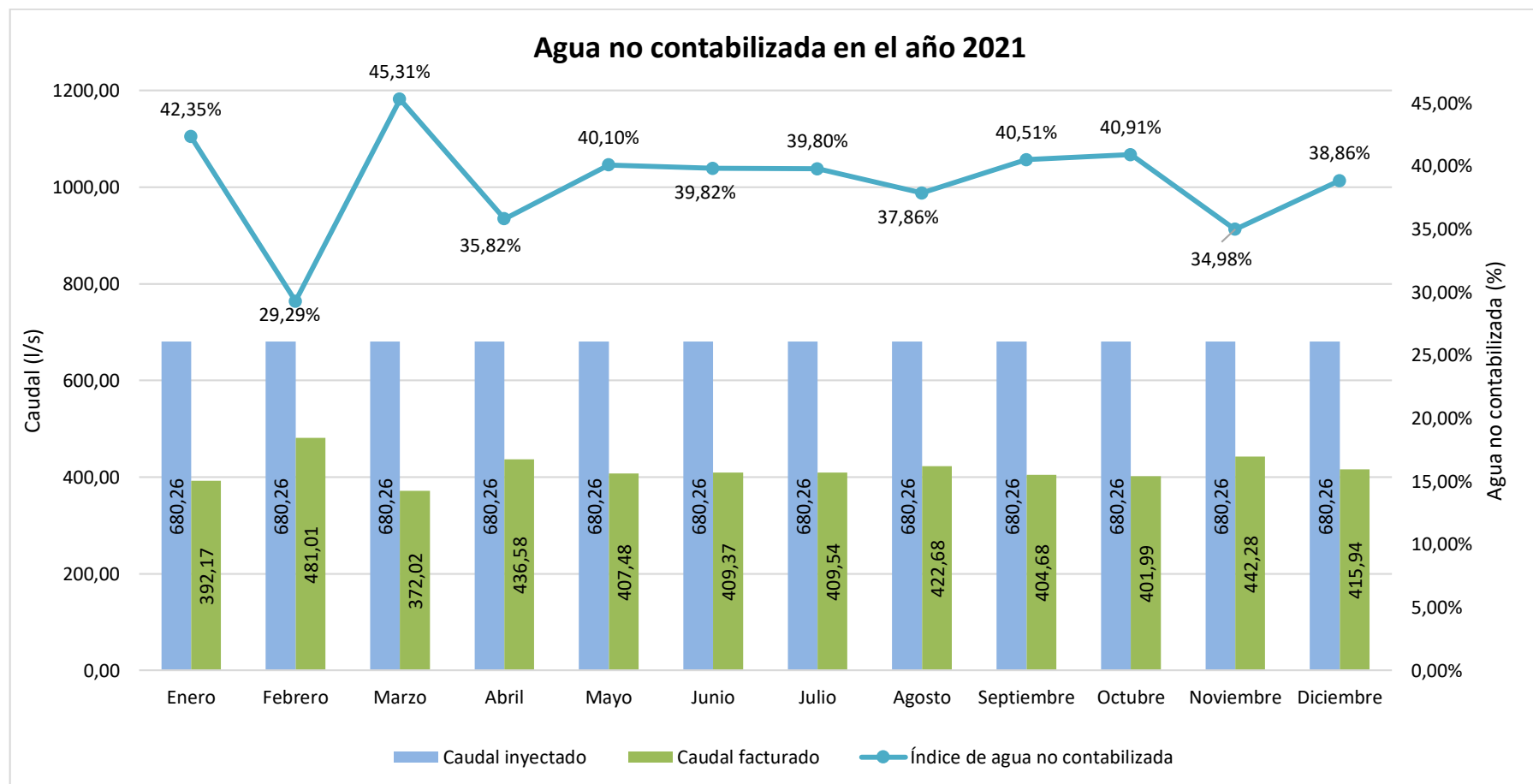


Figura 10. Índice de agua no contabilizada mensualmente durante el año 2021

Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

De igual manera, si del total de agua incontrolada mensualmente se resta el volumen consumido no medido se obtiene que la mayor cantidad de agua fugada se dio en marzo con un 38.10 % y la menor en febrero con un 21.70 % como se detalla en la Figura 11:

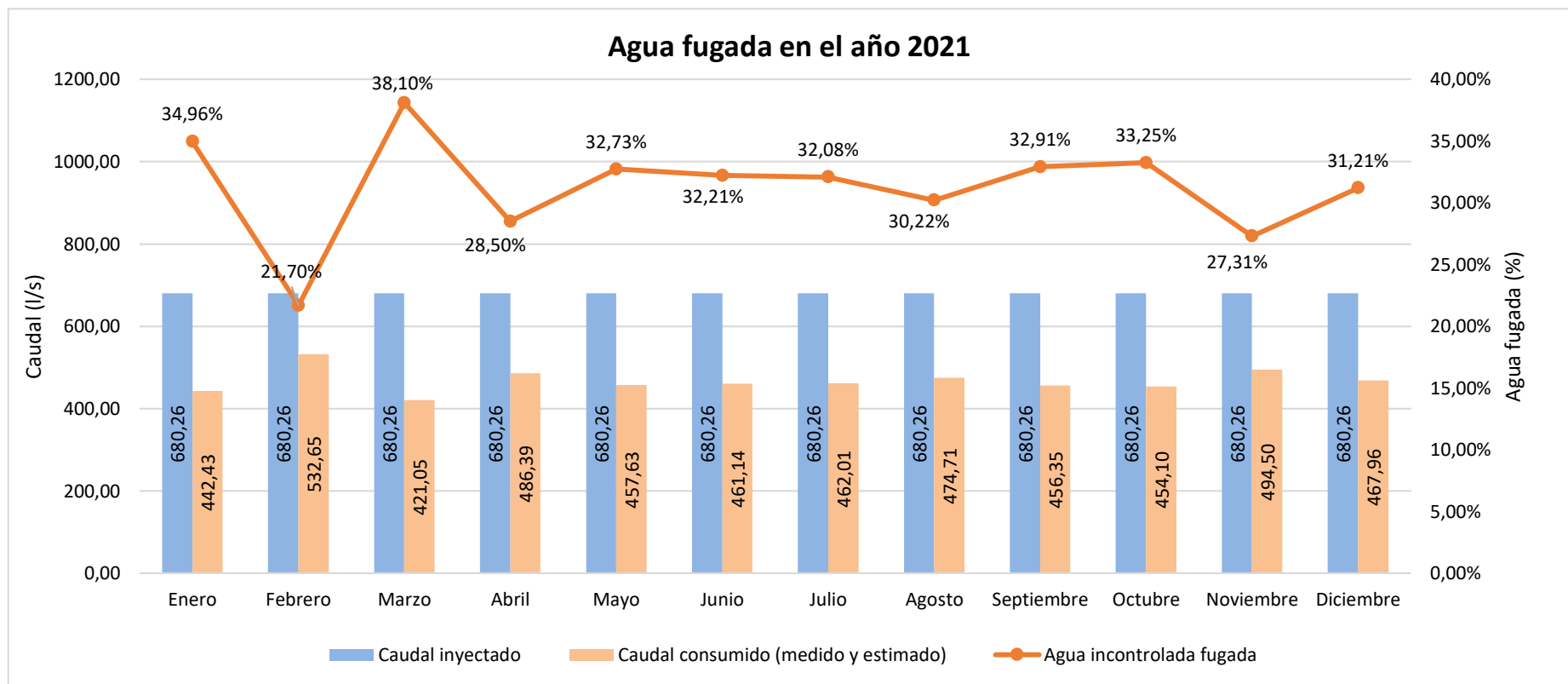


Figura 11. Resultado porcentual del agua fugada mensualmente durante el año 2021

Fuente. Achache & Gómez (2022)

Al obtener como resultado un porcentaje de agua fugada del 31% en todo el sistema de distribución del cantón Riobamba es necesario analizar la incidencia que tiene en cuanto al aspecto económico ya que, al ser agua tratada, no solo representa un desperdicio del recurso, sino también una pérdida económica. Para este análisis se asigna el precio unitario de 0.49 \$/m³ ya que es la tarifa base que asigna la empresa a sus usuarios según el pliego tarifario vigente, aunque este valor varía según la categoría.

A continuación, se detalla la incidencia económica según la cantidad de agua incontrolada y fugada diariamente, mensualmente y anualmente:

Tabla 15.

Incidencia económica del volumen de agua incontrolado y fugado

Registro de volúmenes			Costos	
Volumen inyectado	59 590.78	m ³ /día	29 199.48	\$/día
	1'787 723.28	m ³ /mes	875 984.41	\$/mes
	21'452 679.36	m ³ /año	10'511 812.89	\$/año
Volumen registrado (medido)	36 415.69	m ³ /día	17 843.69	\$/día
	1'092 470.83	m ³ /mes	535 310.71	\$/mes
	13109650	m ³ /año	6'423 728.50	\$/año
Volumen consumido no medido	4 490.51	m ³ /día	2 200.35	\$/día
	134 715.16	m ³ /mes	66 010.43	\$/mes
	1'616 581.97	m ³ /año	792 125.16	\$/año
Volumen fugado	18 684.58	m ³ /día	9 155.44	\$/día
	560 537.28	m ³ /mes	274 663.27	\$/mes
	6'726 447.39	m ³ /año	3'295 959.22	\$/año

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Como se detalla en la Tabla 15 con la cantidad de agua fugada se estima que en el año 2021 diariamente se dejó de facturar 18 684.58 m³ que por consiguiente trae una pérdida económica de \$ 9 155.44 dólares diarios. En la Figura 12 se describen los costos diarios de agua potable del año 2021 con su respectivo porcentaje:

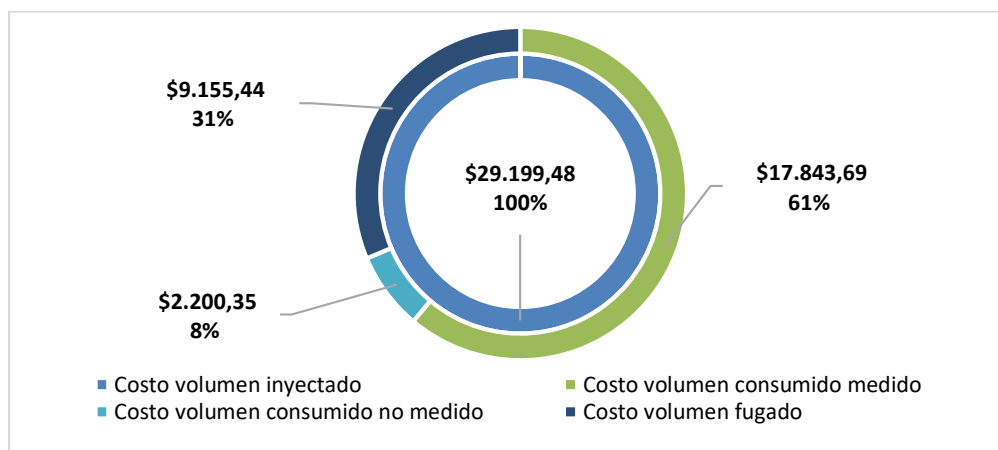


Figura 12. Representación de costos diarios de agua potable-año 2021

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Al tener una incidencia económica alta a causa de fugas en el cantón, se puede hacer una estimación de a cuántas personas se podría dotar del servicio si esta cantidad de agua fuera recuperada. Para ello se consideran los siguientes parámetros:

Tabla 16.

Datos para estimación de usuarios a los que se les podría dotar de agua potable con la cantidad de agua fugada

Descripción	Dato	Fuente
Volumen fugado diariamente	18684580 l/día	Achache & Gómez (2022)
Dotación del cantón Riobamba	214.11 lt/hab/día	Arellano et al. (2018)
Número de habitantes por vivienda	4.49 habitantes	Izurieta et al. (2022)

Si se divide el volumen diario fugado para la dotación, y a su vez ese resultado se divide para el número de habitantes por vivienda se obtiene el número de usuarios a los cuáles se podría abastecer del servicio si se controlara el problema de pérdidas:

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = \frac{18684580 \frac{l}{día}}{214.11 \frac{l}{hab * día}}$$

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = 87\ 266$$

$$N^{\circ} \text{ usuarios} = \frac{89\ 830 \text{ hab.}}{4.49 \text{ hab. por vivienda}}$$

$$N^{\circ} \text{ usuarios} = 19\ 436$$

Como se puede observar, con el caudal fugado se puede abastecer a 19 436 nuevos usuarios con la instalación de sus respectivas acometidas, el cual es un valor alto considerando que en el cantón en estudio existen un total de 45 656 usuarios.

Pero este análisis no sería el ideal porque resulta difícil pensar que un sistema de agua potable tenga un 0% de pérdidas de agua, ya que inclusive en países desarrollados y con sistemas en excelentes condiciones de operación y mantenimiento se presentan estas problemáticas, aunque en una medida proporcional a las acciones efectuadas para aplacar el problema (Cedeño et al., 2021).

En un estudio realizado por Kingdom et al. (2006) se estableció que para países desarrollados el porcentaje de agua no contabilizada está alrededor del 15%, y en países de vías de desarrollo alrededor del 35%, lo cual también coincide con lo recomendado por la ARCA.

Por ello, suponiendo que el abastecimiento de Riobamba pase de tener un nivel “medio” de desempeño a tener un nivel “alto” debería tener como máximo un 30% de agua no contabilizada y como el 8% correspondía a pérdidas comerciales, entonces con un 22% de agua fugada que equivale a 13 109.97 m³/día se debería analizar a cuántas personas se podría dotar del servicio:

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = \frac{13\ 109\ 970 \frac{l}{día}}{214.11 \frac{l}{hab * día}}$$

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = 61\ 230$$

$$N^{\circ} \text{ usuarios} = \frac{61\ 230 \text{ hab.}}{4.49 \text{ hab. por vivienda}}$$

$$N^{\circ} \text{ usuarios} = 13\ 637$$

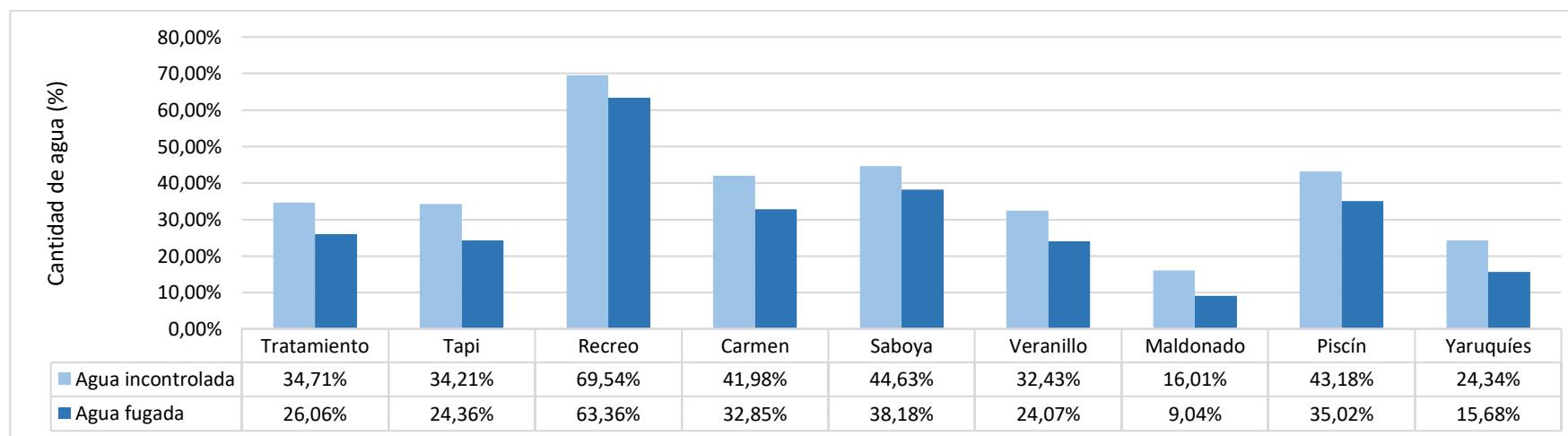
Entonces con un porcentaje aceptado de fugas se podría dotar a 13 637 nuevos usuarios.

4.2. Resultados del balance hídrico técnico por cada red de distribución

Una vez realizado el análisis para todo el sistema del cantón Riobamba, se realizó el mismo procedimiento para cada una de las redes con la finalidad de encontrar en qué zonas se presenta la mayor incidencia de fugas, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 17:

Tabla 17.*Resultados de caudales incontrolados y fugados por cada red de distribución*

Red	Q incontrolado		IANC	Q fugado		Agua fugada
	(m3/mes)	(l/s)	%	(m3/mes)	(l/s)	%
Tratamiento	8 765.22	3.33	34.71%	6 583.78	2.50	26.06%
Tapi	43 583.40	16.52	34.21%	31 080.61	11.77	24.36%
Recreo	101 841.99	38.73	69.54%	92 795.99	35.29	63.36%
Carmen	101 320.34	38.48	41.98%	79 325.82	30.12	32.85%
Saboya	267 819.18	101.72	44.63%	229 192.41	87.02	38.18%
Veranillo	66 968.10	25.40	32.43%	49 756.66	18.85	24.07%
Maldonado	46 577.76	17.59	16.01%	26 333.11	9.93	9.04%
Piscín	50 974.94	19.36	43.18%	41 365.29	15.70	35.02%
Yaruquies	8 987.59	3.41	24.34%	5 795.55	2.20	15.68%

Fuente. (Achache & Gómez,2022)**Figura 13.** *Agua no contabilizada y fugada por cada red de distribución**Fuente. (Achache & Gómez,2022)*

Como se muestra en la Figura 13 las redes que presentan mayor incidencia de agua incontrolada con respecto al volumen de agua inyectada a cada una son: Recreo con 69.54%, Saboya con 44.63%, Piscín con 43.18% y el Carmen con 41.98%. Si de igual forma se compara con lo establecido en la Regulación 003 de la ARCA se asigna el siguiente desempeño a cada una de las redes:

Tabla 18.

Nivel de desempeño en cada red de distribución según la Regulación 003 de la ARCA

Nivel de desempeño	Red de distribución
Rango I – Nivel Alto	Maldonado, Yaruquies
Rango II – Nivel Medio	Tratamiento, Tapi, El Carmen, Saboya, Veranillo, Piscín
Rango III – Nivel bajo	El Recreo

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Con este resultado se establece que según la regulación de nuestro país dos de las nueve redes de distribución del cantón Riobamba se encuentran dentro de niveles aceptables de desempeño, por otro lado, seis redes se encuentran fuera de los niveles aceptables de desempeño y una red que es El Recreo tiene un nivel inaceptable de desempeño lo cual es muy grave y es necesario analizar en particular las causas de su bajo nivel, las cuales serán analizadas posteriormente en el apartado 4.7.

4.3. Resultados de rendimientos volumétricos

Una vez obtenidos los balances hídricos en base a los valores inyectados y facturados se realizó también el cálculo de los rendimientos volumétricos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19.

Rendimientos volumétricos de todo el sistema del cantón Riobamba

Resultado de rendimientos porcentuales - año 2021	
Rendimiento global η_s	61.11 %
Rendimiento de la red η_r	68.65 %
Rendimiento de la medición η_g	89.02 %

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Como se observa en la Tabla 19, se obtuvo como resultado un rendimiento global de 61.11% para todo el sistema de distribución del cantón Riobamba, el cual es calificado como “REGULAR” en cuanto a su gestión de abastecimiento según la bibliografía (Cabrera et al.,1999). El mismo análisis se realizó por cada una de las redes obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 20.

Rendimientos volumétricos por cada red de distribución del cantón Riobamba

Red	Rendimiento global	Rendimiento de la red	Rendimiento de la medición	Calificación
Tratamiento	65.26%	73,90%	88,30%	Regular
Tapi	65.66%	75,51%	86,96%	Regular
Recreo	30.41%	36,59%	83,11%	Inaceptable
Carmen	57.94%	67,07%	86,39%	Malo
Saboya	55.29%	61,74%	89,55%	Malo
Veranillo	67.46%	75,82%	88,97%	Regular
Maldonado	83.96%	90,93%	92,33%	Muy bueno
Piscín	56.74%	64,90%	87,43%	Malo
Yaruquies	75.62%	84,28%	89,73%	Bueno

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

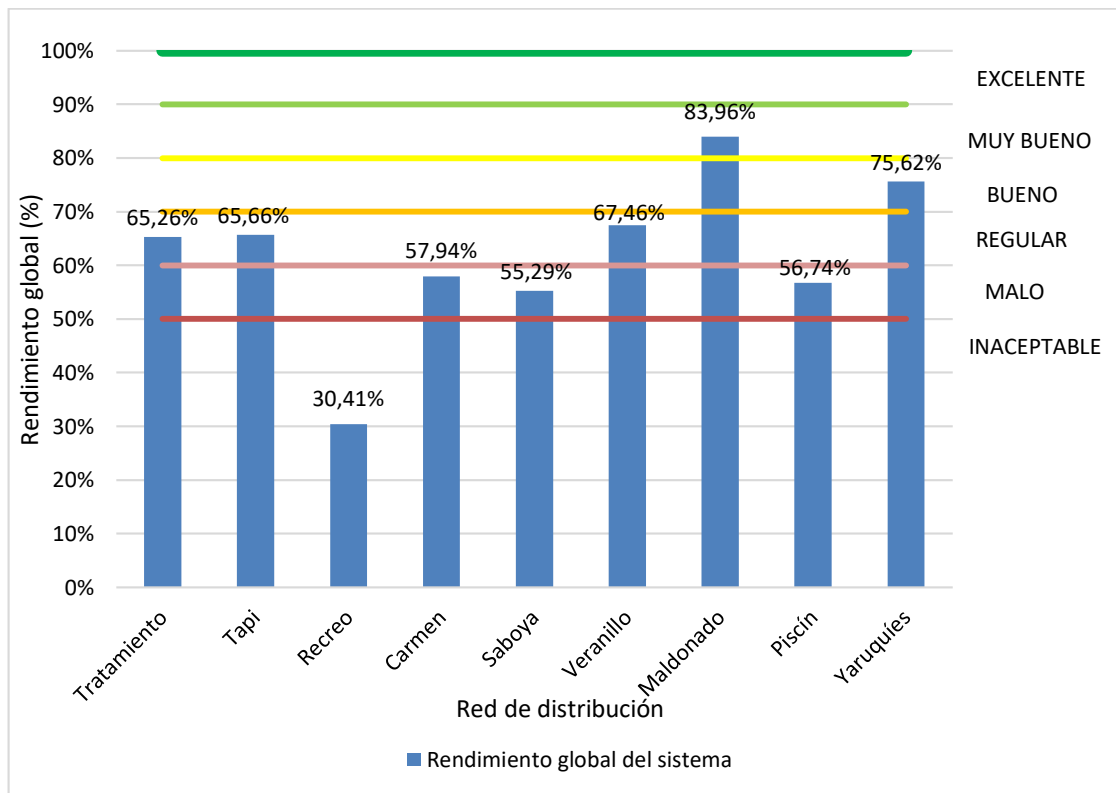


Figura 14. Rendimientos globales por cada red de distribución

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Como se muestra en la Figura 14, se obtuvo que el rendimiento en la red El Recreo es “inaceptable”; en las redes El Carmen, Saboya y Piscín es “malo”; en las redes Tratamiento, Tapi y Veranillo es “regular”, en Yaruquies es “bueno” y en Maldonado es “muy bueno”. Cabe recalcar que la calificación se asigna según el porcentaje obtenido en el rendimiento global, el cual resulta del registro de volúmenes que forman parte de los balances hídricos. En este contexto Cabrera et al. (1999) recalca que este indicador determina cómo se

encuentra funcionando la red en cuanto a su estado integral mas no a su estado físico, lo cual no presupone que un rendimiento sea bueno o malo.

4.4. Resultados del historial de fugas

Con respecto a los resultados obtenidos con la recopilación de información de fugas de gran magnitud en el año 2020 se reportó mayor incidencia en las redes Maldonado con un 29.17% y Saboya con un 24.17%. De igual manera, en el año 2021 las redes que reportaron mayor cantidad de fugas de gran magnitud fueron Maldonado con 26.74% y Saboya con un 17.44%, como se muestra en la Figura 16.

Hay que considerar que al ser un reporte publicado en páginas digitales de la empresa no se tiene un registro exacto ya que únicamente son publicadas las fugas de gravedad, por lo cual para hacer esta estimación lo más recomendable sería tener un registro del total de fugas reportadas diariamente, incluyendo todo tipo y sus causas. Sin embargo, con los datos obtenidos coincide que las redes que ha reportado mayor cantidad de fugas en el año 2020 y 2021 son Maldonado y Saboya, las cuales están entre las más grandes del cantón y también entre las más antiguas.

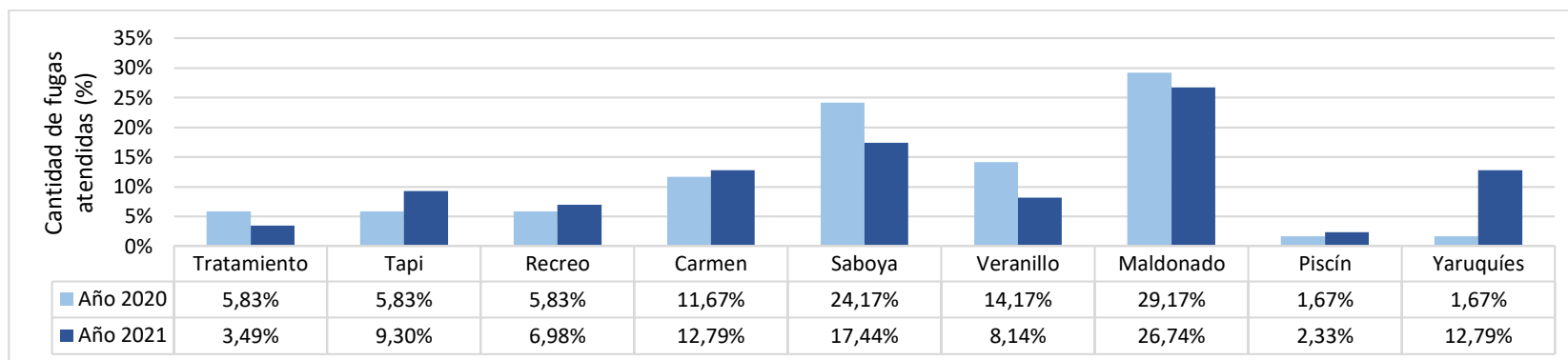


Figura 15. Resultados de reporte de fugas de gran magnitud entre los años 2020 y 2021

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Al realizar una comparación entre la cantidad de fugas reportadas y los rendimientos volumétricos obtenidos en el apartado 4.3 se obtiene el siguiente resultado:

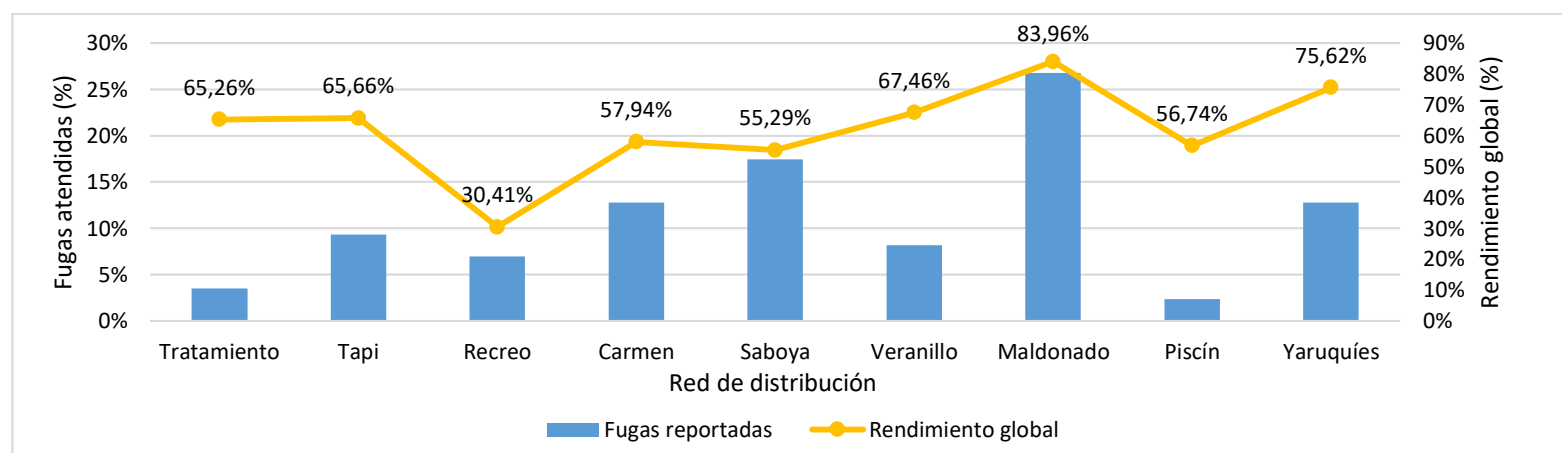


Figura 16. Rendimientos volumétricos vs Fugas atendidas en el año 2021

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Como se puede observar en la Figura 16 en la red Maldonado y Recreo existe relación entre el rendimiento global del sistema y la cantidad de fugas atendidas, con lo que se puede decir que la red Maldonado al ser atendida de manera frecuente tiene relación con la menor cantidad de agua incontrolada obtenida en el balance hídrico, y de igual manera ocurre con la red El Recreo al tener un menor reporte de fugas atendidas presenta mayor cantidad de agua incontrolada en los cálculos. Sin embargo, no sucede así en las demás redes por lo que no sería un indicador que permita relacionar los rendimientos con el reporte de fugas.

4.5. Resultados del proceso de operación y mantenimiento de fugas

Debido a la gran extensión del sistema de distribución del cantón Riobamba la EP-EMAPAR ha distribuido equipos de trabajo de acuerdo a las necesidades de cada red o sector, por lo que para nuestro estudio la autorización otorgada para las visitas de campo fue con 2 cuadrillas encargadas de las redes Maldonado, San Martín de Veranillo y Piscín.

Con un total de 12 fugas observadas durante un lapso de 8 días se elaboró una matriz de los parámetros evaluados como de detalla en ANEXOS (Ver Anexo 6) y se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la operación y mantenimiento:

Tabla 21.

Resultados del proceso de operación y mantenimiento de fugas

Parámetro analizado	Resultados
Tipo de fugas atendidas	-Fugas en tubería de PVC de 63 mm, 110 mm y 250 mm -Fugas en acometidas domiciliarias antiguas de polietileno -Fugas en la red antigua de asbesto cemento
Causas principales	-Tubería reutilizada que no soporta la presión -Tubería antigua tanto en las conexiones domiciliarias como en la red de distribución -Trabajos particulares
Tiempos de reparación	- 3 horas en tuberías de PVC - 2 horas en fugas que ocurrieron en acometidas domiciliarias - 4 a 5 horas en tuberías de grandes diámetros de PVC y asbesto cemento
Tipo de mantenimiento	El 100 % de mantenimiento es pasivo
Proceso de reparación	-Cambio del tramo roto en tuberías de PVC mediante juntas gibault -Corte de las acometidas domiciliarias para posteriormente instalar tubería nueva de PVC de 1/2' -Taponamiento de tuberías de asbesto cemento para que ya no transporten agua

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

A continuación, se describen los resultados de la Tabla 21:

Tipo de fugas atendidas:

Como se detalla en la Tabla 20 de las 12 fugas atendidas: 6 correspondieron a fugas en las tuberías de distribución de PVC de diversos diámetros que iban desde los 63 mm, 110 mm hasta los 250 mm tratándose ya de tuberías principales; 3 fugas se dieron por roturas en las acometidas domiciliarias antiguas de polietileno y las 3 restantes en tuberías de asbesto cemento que hasta la actualidad existen y siguen transportando agua a pesar de que ya no forman parte del sistema actual.

Causas principales de las fugas atendidas:

En cuanto a las causas de las 12 fugas atendidas se encontró que: 3 se dieron a causa de tuberías de polietileno (manguera) en las acometidas domiciliarias antiguas; 4 se presentaron a causa de tubería reutilizada, esto se refiere a que en el cambio de tuberías realizado años atrás en la ejecución del Plan Maestro, algunos tramos de tubería de PVC no fueron cambiados; 3 fugas se dieron a causa de tubería de asbesto cemento que hasta la actualidad existe en ciertas zonas sobre todo en las redes antiguas; y finalmente las 2 restantes correspondieron a fugas atendidas a causa de trabajos particulares, es decir fugas ocasionadas por maquinaria que se encontraba realizando trabajos de alcantarillado o reasfaltado de calles provocando la rotura de tuberías.

Tiempo de reparación:

El tiempo de reparación tuvo una variación de 2 a 5 horas dependiendo de la dimensión y gravedad del problema, en donde del total se constató que: las fugas fueron atendidas en 3 horas correspondieron a aquellas que se dan en tuberías de PVC en la red de distribución; por otro lado las fugas atendidas en un lapso de 2 horas fueron aquellas que ocurrieron en las acometidas de los domicilios ya que debido a su baja complejidad de reparación el tiempo igualmente fue corto; y las fugas reparadas en 4 y 5 horas fueron a causa de la complejidad de las fisuras ya que correspondieron a fugas que se presentaron en tuberías de grandes diámetros de PVC y de asbesto cemento, para lo cual se requirió de maquinaria y equipos adicionales como cortadora de asfalto y bombas para eliminar el agua.

Tipo de mantenimiento:

El 100% de mantenimiento que realiza la empresa es de tipo pasivo, es decir cuando existe una notificación o denuncia de agua fugada por parte de la ciudadanía. En ese caso el técnico encargado envía una cuadrilla en un tiempo no mayor a 48 horas una vez generada la orden de trabajo correspondiente, lo cual en ocasiones resulta complejo debido a la falta de disponibilidad de equipos y herramientas en buen funcionamiento y también debido a la gran cantidad de reportes y denuncias que se tiene que atender diariamente que no solo corresponden a fugas sino también a instalaciones de acometidas, cambio de medidores, corte del servicio por falta de pago de los clientes, etc.

Proceso de reparación:

El proceso de reparación depende del tipo de fuga que se presenta ya que en tuberías de PVC lo que generalmente se realiza es sustituir el tramo dañado y colocar uno nuevo mediante juntas gibault o uniones mecánicas. Por otro lado, en el caso de fugas en acometidas antiguas se corta el servicio al usuario para que la manguera sea retirada y se coloque tubería PVC de 1/2". Y en el caso de tuberías de asbesto cemento se coloca tapones mecánicos según el diámetro de la tubería para que el servicio sea suspendido definitivamente porque esas tuberías ya no forman parte del sistema actual.

4.6. Mapas que representan cuantitativamente el problema de pérdidas

La Figura 17 representa la incidencia de agua no contabilizada para cada red de distribución de menor a mayor porcentaje según la escala de colores, siendo rojo las redes que presentan un porcentaje de agua no contabilizada mayor al 45% estipulado en el reglamento y corresponde a la red El Recreo; amarillo las redes que presentan un porcentaje entre el 30% al 45% y corresponde a las redes Tratamiento, Tapi, El Carmen, Saboya, Veranillo y Piscín; y verde las redes que presentan una cantidad inferior al 30% siendo Yaruquies y Maldonado.

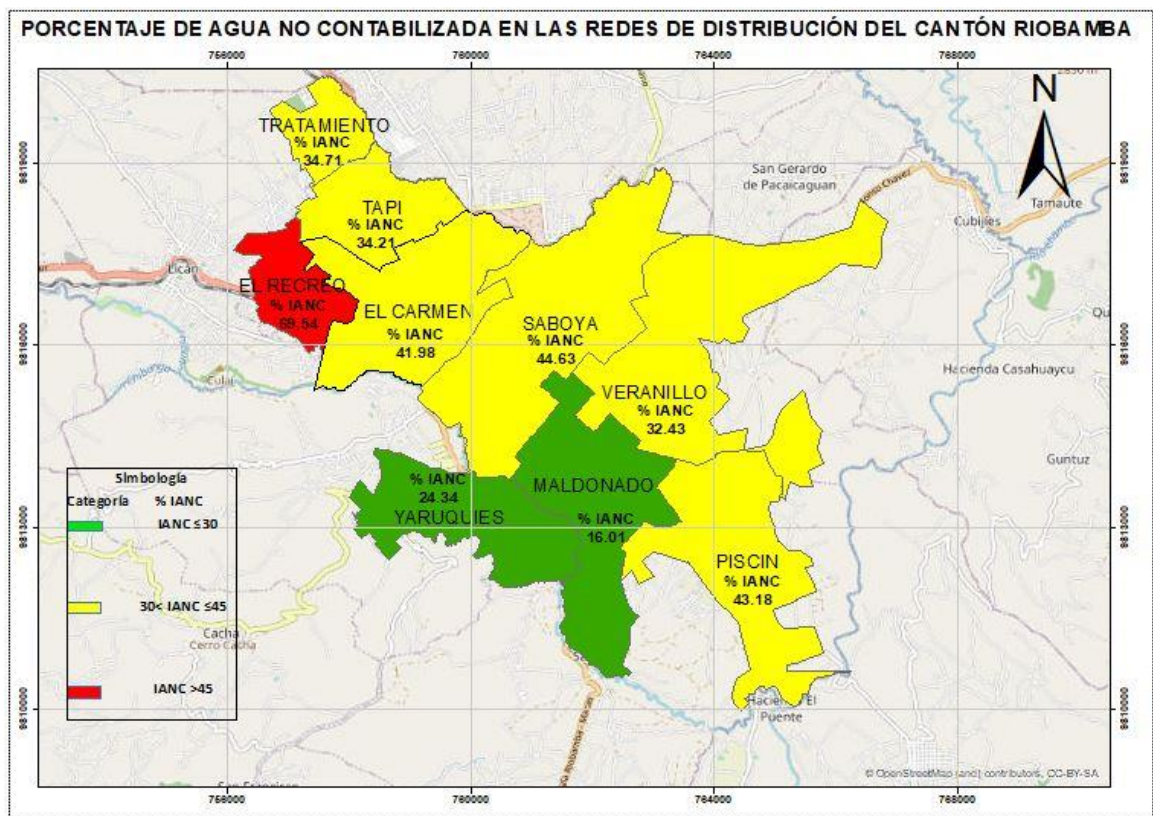


Figura 17. Incidencia de agua no contabilizada por cada red de distribución

Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

De igual forma la Figura 18 representa a escala de colores el rendimiento global que posee cada red siendo rojo un rendimiento “inaceptable” y corresponde a la red Recreo;

naranja “muy malo” y corresponde a las redes El Carmen; Saboya y Piscín; amarillo “regular” y corresponde a las redes Tratamiento, Tapi y Veranillo y verde a “bueno” y “muy bueno” correspondiente a Yaruquies y Maldonado respectivamente.

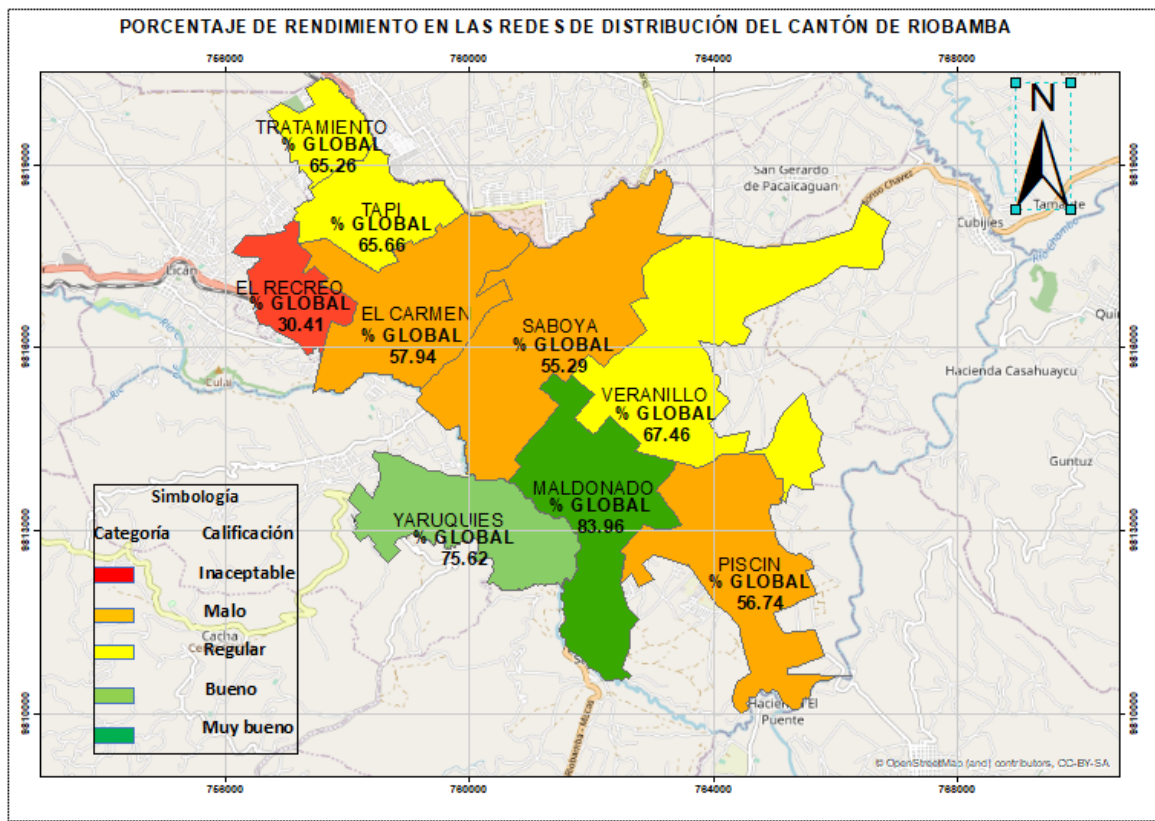


Figura 18. Rendimiento volumétrico global por cada red de distribución

Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

Adicionalmente, en la Figura 19, se detalla un registro de presiones tomadas in situ desde noviembre del 2021 a marzo del 2022 por el personal técnico de la EP-EMAPAR para cada una de las redes de distribución. La información de las presiones se obtuvo tomando sitios de muestreo para lo cual se escogieron puntos estratégicos en los sectores más accesibles de cada red, además los datos entregados corresponden a presiones tomadas en horas valle (8:00 am - 11:00 am) ya que la diferencia con las presiones en horas pico es mínima.

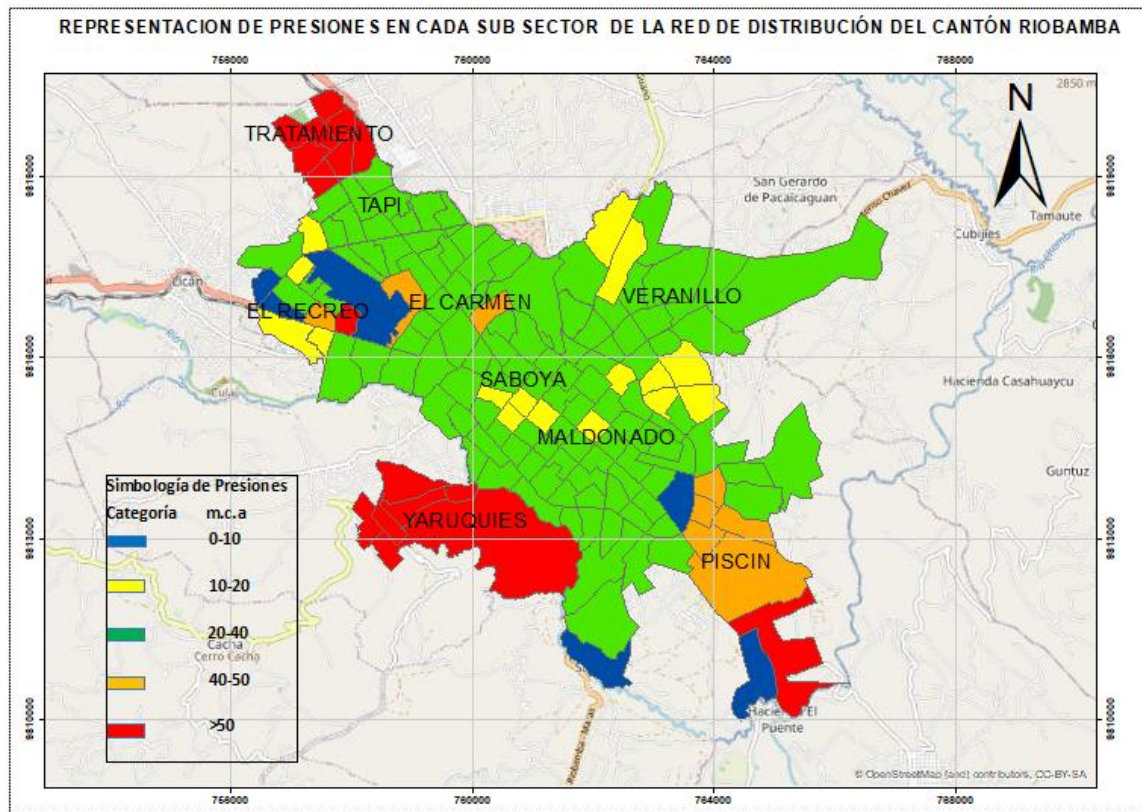


Figura 19. Registro de presiones en cada red de distribución del cantón Riobamba
Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

La escala de color azul representa presiones inferiores a los 10 mca, presentes en sectores de las redes El Carmen, Piscín, Maldonado y El Recreo, lo cual no es permitido ya que la norma establece una presión mínima de 10 mca en los puntos más desfavorables de la red debido a que presiones inferiores pueden ocasionar un funcionamiento deficiente del sistema de distribución de agua potable. (CPE INEN 5, 1992)

Por otro lado, la escala de color rojo representa presiones superiores a 50 mca que es el límite máximo establecido en la normativa nacional CPE INEN 5 (1992) y están presentes especialmente en sectores de las redes Tratamiento, Piscín y Yaruquies, lo cual aumenta el volumen de fugas en la red de distribución y en el interior de los domicilios.

El análisis de presiones se realizó para verificar si existe relación entre las presiones altas obtenidas en ciertas redes y la cantidad de agua fugada en las mismas, corroborando que en las redes Yaruquies y Tratamiento no existe relación ya que su porcentaje de agua incontrolada es inferior al recomendado por el reglamento, pero son las redes que mayor problema de presiones altas presentan, mientras que en Piscín la presión sí podría ser una de las causas del alto porcentaje de agua fugada.

4.7. Discusión

Una vez realizados los cálculos, las visitas de campo y los historiales de fugas se llegó a determinar que los resultados obtenidos presentan ciertas inconsistencias, puesto que con los balances hídricos se obtuvo que las redes que presentan mayor cantidad de fugas son:

Recreo, Carmen, Saboya y Piscín, mientras que con el historial de reportes atendidos en el año 2020 y 2021 se obtuvo que la mayor incidencia de fugas se dio en las redes Saboya y Maldonado. Estas inconsistencias pueden deberse a las siguientes causas:

- **Ausencia de macromedición a la salida de los tanques de reserva:** según Ziegler et al. (2009) una desventaja de obtener resultados cuantitativos mediante un balance hídrico es que el procedimiento está sujeto a errores e incertidumbre ya que mientras más bajo es el registro de medición más bajo será el nivel de exactitud. Esta es una gran desventaja en la presente investigación ya que al no contar con un registro real mes a mes de volúmenes inyectados se asumió que los datos proporcionados por la empresa son constantes a lo largo del año.
- **Medidores sin registro de lectura y usuarios que carecen de medidor:** esta es otra de las causas por lo cual los resultados no reflejan la realidad de la cantidad de agua fugada. Realizando un análisis de los datos proporcionados por la empresa a diciembre del año 2021 existió un registro de 45 656 usuarios de los cuales 37 521 disponían de micromedidores que registraron consumo, 7 038 usuarios contaban con medidores que reportaban 0 m³ y 1 097 usuarios no disponían de medidor y su consumo es estimado, lo cual provoca subcontaje y obviamente imposibilita un registro volumétrico real.

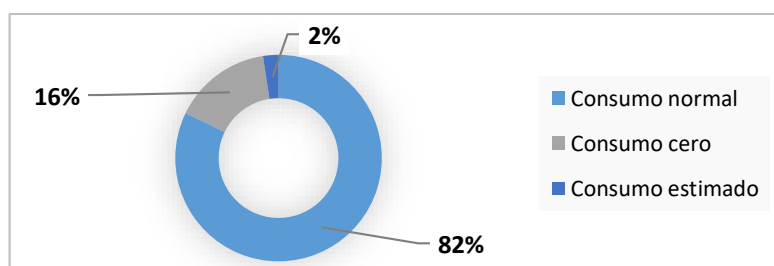


Figura 20. Análisis del consumo del cantón Riobamba

Fuente. (Achache & Gómez, 2022)

Como se muestra en la Figura 20, del total de datos utilizados para el presente estudio 8 135 fueron estimados dentro de los cálculos de los balances hídricos representando un 18% del total de datos de volúmenes consumidos por los usuarios, por lo que se establece que es otra de las causas de las inconsistencias en los resultados ya que estos valores fueron interpretados dentro de los balances hídricos como valores consumidos no medidos ya sea por ausencia de contadores o por errores de lectura.

- **Interconexión entre redes:** esta información proporcionada por la EP-EMAPAR destaca que existe interconexión entre el sistema actual y el sistema antiguo, y al no existir un registro exacto del caudal inyectado a cada red posiblemente ciertos usuarios estén tomando el servicio de una red diferente a la que están registrados. El problema radica en que no se sabe a profundidad qué redes están interconectadas y en dónde específicamente, lo cual es un grave problema y es la razón por la que en el presente estudio no se puede hablar de fugas como tal, sino de agua incontrolada que incluye tanto el agua consumida no medida y el agua fugada, sobre todo en El Recreo que presentó un alto porcentaje de agua no contabilizada.

- **Dotaciones altas:** en base a los caudales inyectados proporcionados por la empresa, se realizó un análisis de dotaciones, con lo que se logró determinar en base al número de usuarios que la dotación es elevada en algunas redes como se muestra en la Tabla 22:

Tabla 22.

Análisis de dotaciones en base al número de usuarios y al caudal inyectado a cada red

Red	Usuarios	Q inyectado (l/s)	Dotación (l/hab/día)
Tratamiento	823	9.60	224.46
Tapi	3 913	48.30	237.52
Recreo	2 396	55.69	447.26
Carmen	6 059	91.67	291.13
Saboya	12 119	227.92	361.90
Veranillo	5 516	78.31	273.19
Maldonado	9 706	109.90	217.88
Piscín	2 715	44.84	317.81
Yaruquies	1 500	14.03	179.98

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Considerando el número de usuarios de cada red y tomando como dato un número de habitantes por conexión de 4.49 Izurieta et al. (2022), se puede notar que la dotación a cada red es una de las causas que incide en la cantidad de agua incontrolada sobre todo en las redes Recreo, Saboya y Piscín en donde la dotación supera los 300 l/hab/día, cuando según un estudio realizado por la EP-EMAPAR para que el sistema funcione eficientemente y atienda a la población de diseño la dotación debe ser de 208 lt/hab/día, comparándolo también con un estudio realizado por Arellano et al. (2018) en el cual se establece que para el cantón Riobamba el consumo promedio semestral ponderado (CPC/ps) es de 214.11 lt/hab/día, como se muestra en la Figura 21:

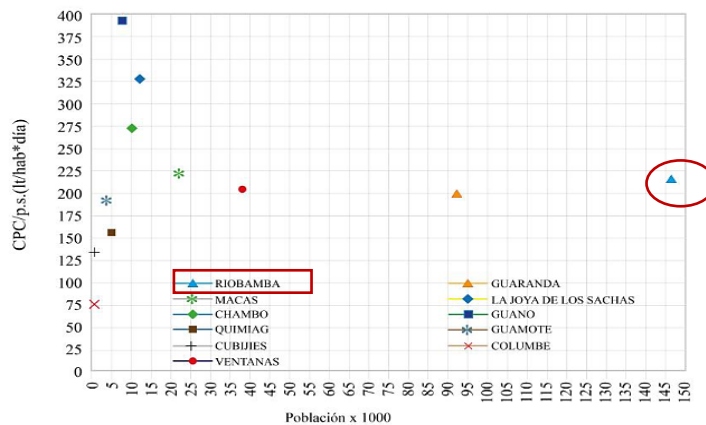


Figura 21. Consumo promedio semestral ponderado CPC/ps

Fuente. (Arellano et al., 2018)

Adicionalmente realizando una comparativa entre el número de usuarios y el caudal inyectado en la Figura 22 se observa que cuanto más grande es el número de usuarios en una red mayor es el caudal inyectado, a excepción de la red El Recreo en donde el caudal inyectado es muy elevado a comparación de las redes Piscin y Tapi con respecto al número de usuarios, lo cual es otra de las posibles causas de la alta cantidad de agua incontrolada en esta red y sea una de las redes que está interconectada con otras en cuanto al suministro y manejo de caudales.

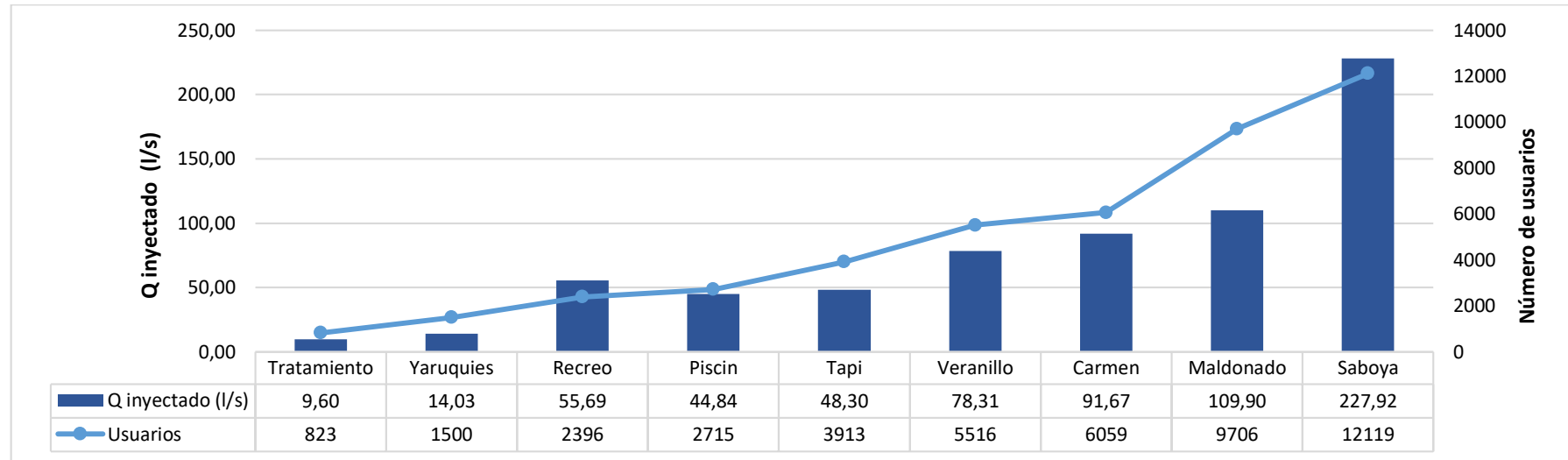


Figura 22. Comparación entre el caudal inyectado y el número de usuarios por cada red

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Todas estas inconsistencias mencionadas son algunos factores presentados sobre todo en los datos utilizados para obtener los resultados cuantitativos mediante los balances hídricos.

Por otro lado, con respecto a los resultados cualitativos obtenidos mediante las visitas de campo se pudo determinar que la mayor incidencia de fugas se da por la edad de la tubería. Con respecto a ello, Ojeda (2012) establece que una de las causas que puede influir en la presencia de fugas en cualquier sector es la antigüedad de las instalaciones, y como pudimos constatar en las redes Maldonado, San Martín de Veranillo y Piscín la mayor parte de fugas atendidas ocurrieron a causa de tuberías antiguas de polietileno, tuberías reutilizadas de PVC y tuberías asbesto cemento, las cuales al no soportar la presión generada por el sistema se presentan roturas.

En cuanto a la calidad de reparación con la que se atiende una fuga se pudo constatar que existe deficiencia en el mantenimiento y reparación por falta de una planificación adecuada, lo cual ocurre por las siguientes causas:

- **Control de fugas pasivo:** Ziegler et al. (2009) manifiestan que esta estrategia se aplica principalmente en empresas que no tienen una gestión adecuada, por lo que las pérdidas generalmente son altas debido a que no se hacen esfuerzos para ubicar y reparar fugas de fondo, lo cual es evidente en el presente estudio ya que la empresa realiza la reparación de fugas únicamente cuando son visibles y evidencian desperdicio de agua en la superficie, por lo que la cantidad de pérdidas es considerable y mucho más cuando la fuga no es atendida en un tiempo prudente.
- **Falta de equipos suficientes y en buen estado:** en ocasiones no se puede reparar una fuga inmediatamente por falta de maquinaria y equipo suficiente ya que los existentes no abastecen a todas las cuadrillas que trabajan en cada red. Por ejemplo, en fugas de gran magnitud necesariamente se requiere de maquinaria especial para facilitar el trabajo como retroexcavadora y cortadora de pavimento, pero estos equipos solo están disponibles ciertos días a la semana para cada cuadrilla, por lo que en ocasiones se tiene que esperar más de 48 horas de generada la orden de trabajo. Además, el personal trabaja con equipo que ya no se encuentra en buen estado como las bombas que se utilizan para extraer el agua, razón por la cual a veces optan por trabajar aun cuando el agua genera mucha presión lo cual dificulta la reparación por parte del personal.
- **Tiempos extensos de reparación:** esta es otra de las causas para que el proceso no sea tan ágil y se tome mucho tiempo ya que se tiene que esperar que el servicio de agua sea suspendido desde el tanque de reserva, el cual es un grave problema porque se tiene que cortar el servicio a toda la red y no únicamente a la zona en donde se presentó la fuga. Eso se debe a que no existe sectorización hidráulica que minimice los trabajos de reparación en algún punto de la red sin afectar a los demás usuarios de la misma.

4.8. Planteamiento de propuestas

Con el alto índice de agua no contabilizada y de agua fugada reportado a nivel de todo el sistema de distribución del cantón Riobamba es necesario implementar acciones enfocadas a reducir la cantidad de pérdidas y mejorar la calidad del control de fugas, es por ello que a

continuación se proponen medidas preventivas y correctivas destinadas a mejorar en cierta manera el sistema:

4.8.1. Mejoras para la reducción de pérdidas reales

Según Cabrera et al. (1999) para que un estudio sea factible y los datos permitan conocer el estado real de los diferentes sectores y redirigir las estrategias de actuación a donde sea más necesario es recomendable que un sistema se gestione con un nivel de profesionalidad, por lo cual se requiere:

- Para conocer el caudal inyectado, caudalímetros en los puntos de inyección de agua a la red.
- Para determinar el volumen consumido, todos los usuarios deberían disponer de contadores.
- Tener operativo un modelo matemático de la red.
- Medidores de caudal y presión en los puntos más representativos de las redes.
- Base de datos de los abonados y características de los contadores (tipo, antigüedad y curva característica) así como los datos de sus consumos.

Es por ello que para tener un monitoreo de las redes de distribución es necesario que la EP-EMAPAR ejecute acciones encaminadas a focalizar las zonas de mayor incidencia de fugas con las siguientes acciones:

- **Macromedición:** es necesario contar con un sistema de macromedición a la salida de los tanques de reserva para conocer la cantidad de agua inyectada a cada red de distribución y que su registro sea constante con el objetivo de que los balances hídricos y cualquier otro método de control de fugas represente la realidad del sistema y se pueda focalizar en las zonas que realmente presentan mayores problemas de pérdidas.
- **Disminución de dotación per cápita a cada red de distribución:** analizando la problemática por cada red se determinó que la dotación entregada supera la requerida en algunas redes, este análisis fue realizado en base al número de usuarios de cada sector, considerando los siguientes datos:

Dotación neta: 214.11 l/hab/día según Arellano et al. (2018)

Hab/conexión: 4.49 según Izurieta et al. (2022)

Tabla 23.

Comparación entre el caudal inyectado vs el caudal requerido en base al número de usuarios por cada red de distribución

Red	Usuarios	Q inyectado actualmente (l/s)	Q requerido (l/s)
Tratamiento	823	9.60	9.16
Yaruquies	1 500	14.03	16.69
Recreo	2 396	55.69	26.66
Piscín	2 715	44.84	30.21
Tapi	3 913	48.30	43.54
Veranillo	5 516	78.31	61.38
Carmen	6 059	91.67	67.42
Maldonado	9 706	109.90	108.00
Saboya	12 119	227.92	134.85

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

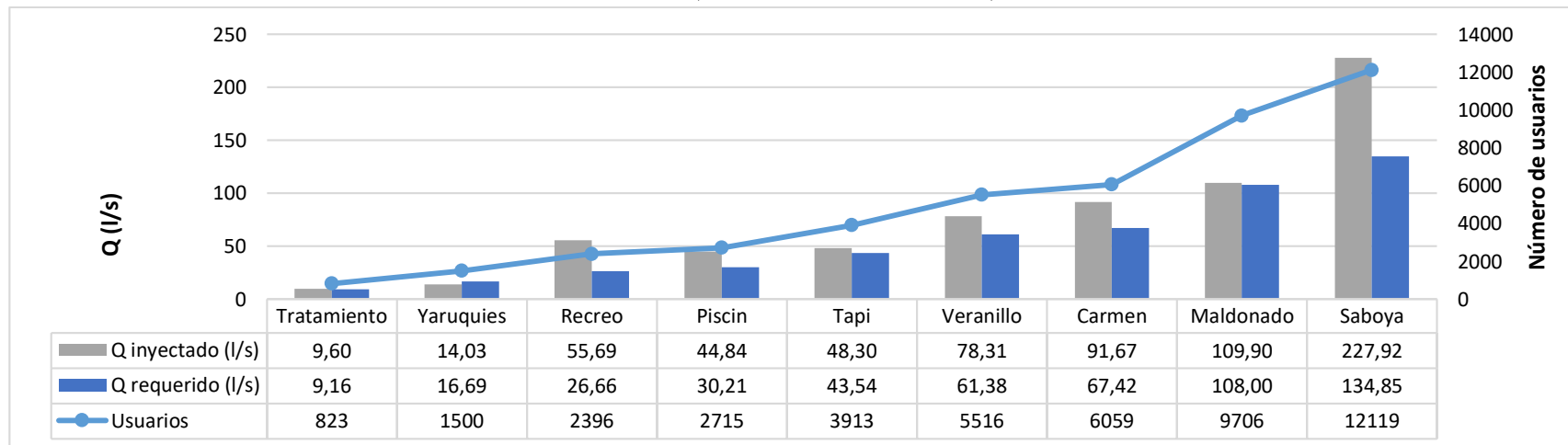


Figura 23. *Comparación entre caudales inyectados vs caudales requeridos por cada red*

Fuente. (Achache & Gómez,2022)

Cabe recalcar que para asignar una dotación real a cada red se debería contar con un catastro de usuarios con las características, hábitos y comportamientos de consumo de los usuarios para que no exista deficiencia en la prestación del servicio.

- **Sectorización hidráulica:** el objetivo de sectorizar las redes es identificar las necesidades de cada zona para lograr un comportamiento hidráulico adecuado y entregar un servicio de calidad (Ojeda, 2012). La sectorización también ayuda a minimizar los efectos que causan los trabajos de reparación y mantenimiento en algún punto de la red ya que al contar con zonas más reducidas se puede aislar hidráulicamente el sector mediante la instalación de válvulas que conformen circuitos más reducidos con la finalidad de en caso de que se requiera controlar una fuga, se pueda aislar solo ese subsector y se pueda seguir brindando servicio a los demás usuarios de la red. Para ello es sumamente importante contar con un modelo matemático que represente el comportamiento de la red lo más cercano posible a la realidad. Esta propuesta también ayudará para realizar un estudio de presiones que en la presente investigación no se realizó por falta de datos reales en el modelo matemático.
- **Implementación de programas de control activo de fugas:** se propone implementar esta estrategia con el objetivo de ayudar a detectar posibles problemas de fugas que estén ocultas a través de métodos acústicos con lo que se reducirá el volumen de agua perdido, para ello se debería contar con personal técnico capacitado y especializado en la detección de fugas, así también con la adquisición de equipos técnicos para ejecutar la localización de fugas no visibles y sobre todo considerar una inversión económica representativa.
- **Implementación de nueva tecnología en el sistema de monitoreo de redes:** en el cantón Riobamba a pesar de que existe un departamento de control de pérdidas se debería plantear la idea de implementar nuevas metodologías que controlen de forma más eficiente las fugas y una idea es el sistema tecnológico SCADA. Según Aleaga (2010) un sistema SCADA (supervisory, control and data acquisition) es un conjunto de componentes de hardware y software que permiten la supervisión y control de sistemas de agua potable de forma local y remota.

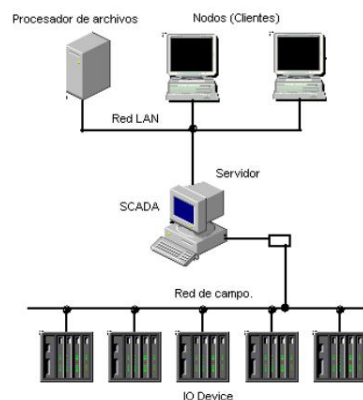


Figura 24. Esquema de un sistema SCADA
Fuente. (Aleaga, 2010)

Entre las principales funciones y ventajas del sistema están:

- Monitoreo, recopilación y procesamiento de datos en tiempo real
- Interacción con dispositivos de campo y estaciones de control a través de la interfaz hombre-máquina (HMI)
- Control de procesos
- Almacenamiento de información (capacidad de registro de datos con fines históricos)

Cabe recalcar que al ser una propuesta tecnológica requerirá de una alta inversión económica, sin embargo, la eficiencia mejoraría considerablemente ya que en un estudio realizado por Aleaga (2010) se determinó que con la implementación de esta tecnología se puede detectar fugas y permitir un ahorro de pérdidas hasta un margen del 50% del total generado sin gestión lo que significa una disminución de la mitad, además que ahorrará costos operativos y se puede obtener mejores tiempos de respuesta a situaciones de emergencia, mejorando la calidad de servicio a los clientes.

Por otro lado, con las fugas ya existentes a diario también es importante proponer mejoras en cuando a la infraestructura existente, con lo cual se tienen algunas propuestas:

- **Rehabilitación y sustitución de tuberías:** según Ojeda (2012) rehabilitar tuberías implica realizar un cambio en aquellos tramos en donde se presentan fugas, sin embargo es la sustitución de las tuberías la que evitará la aparición de nuevas fugas a largo plazo. Para la rehabilitación y sustitución la EP-EMAPAR debe tomar en cuenta los tiempos de reparación los cuales pueden reducirse fijando metas de desempeño respecto al tipo de fuga a reparar, sea una fuga en tuberías principales, fuga en acometidas, o fugas en válvulas y accesorios.
- **Otorgar herramientas de calidad al personal de operación y mantenimiento de fugas:** según Ziegler et al. (2009) los tiempos de fugas largos generan grandes cantidades de pérdidas de agua incluso en fugas relativamente pequeñas, por ello es necesario renovar la maquinaria y el equipo que se utiliza en la reparación de fugas, puesto que los existentes han cumplido su vida útil y la falta o deficiencia de alguno de estos ocasiona retrasos en la atención de fugas.
- **Elaboración de reporte de fugas:** el personal de la empresa debería llevar un registro diario de fugas con el objetivo de dimensionar el problema de cada uno, ya que esto permitirá obtener datos que generalmente no son reportados en las órdenes de trabajo y que son de vital importancia para el desarrollo y mejoramiento de técnicas de control. Por ello lo más recomendable sería llevar un cronograma en donde conste las fugas que se van a atender cada día, los equipos, materiales y herramientas necesarias para así evitar improvisaciones al momento de reparar las fugas. Esto también ayudará a atender mayor cantidad de órdenes al día y tener mayor eficiencia por parte del personal. Para ello se necesita contar con el apoyo de todos los departamentos involucrados en el control de fugas y que todo esté bien documentado.

A continuación, en la Figura 25 se resumen las acciones recomendadas para una reducción de fugas:

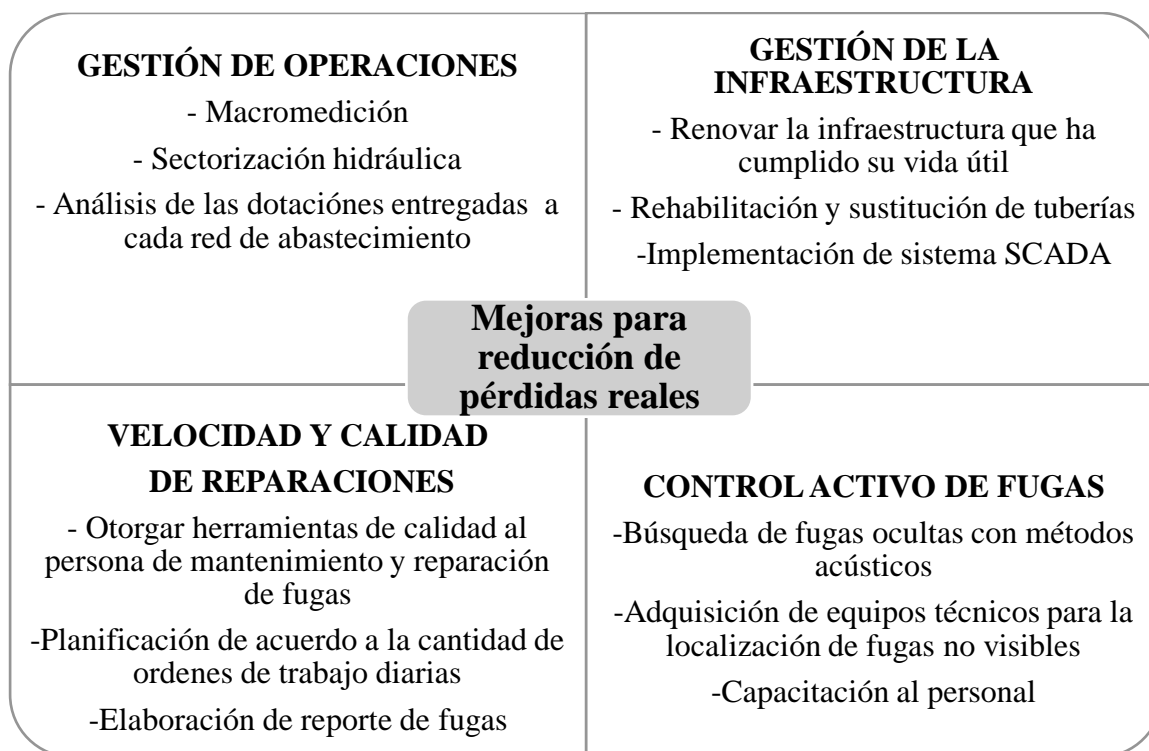


Figura 25. Propuestas de mejora para la reducción de pérdidas reales (fugas)

Fuente. Achache & Gómez (2022)

4.8.2. Mejoras para la reducción de pérdidas aparentes

- **Micromedición:** Ziegler et al. (2009) recomienda que para obtener resultados reales no se debe simplemente asignar cifras de consumo a los usuarios que carecen de contadores porque las tarifas medidas usualmente crean comportamientos de consumos diferentes mes a mes, por lo tanto se recomienda instalar micromedidores para todas las cuentas que en la actualidad son consideradas como categoría directa.
- **Actualización de catastros de clientes (usuarios):** según ARCA (2020) el hecho de contar con un catastro actualizado es imprescindible debido a que las características de los consumidores pueden variar y modificarse con el tiempo, por lo que el contar con un registro de información completo y actualizado contribuirá al mejoramiento de toma de decisiones referente a: estrategias de mejoramiento, focalización y ahorro de recursos. En el sistema del cantón Riobamba esta propuesta además de conocer las características de los usuarios también permitirá identificar posibles conexiones clandestinas y usuarios que la EP-EMAPAR los categoriza como “Red 98” que son aquellos que no se conoce exactamente su ubicación.
- **Revisión de medidores y toma real de lecturas:** la toma de consumos reales por cada usuario en conjunto con la instalación de macromedidores a la salida de los

tanques permitirá obtener dotaciones reales y se conocerá la cantidad exacta de agua que se requiere en cada red.

A continuación, en la Figura 26 se resumen las acciones recomendadas para una reducción de fugas:

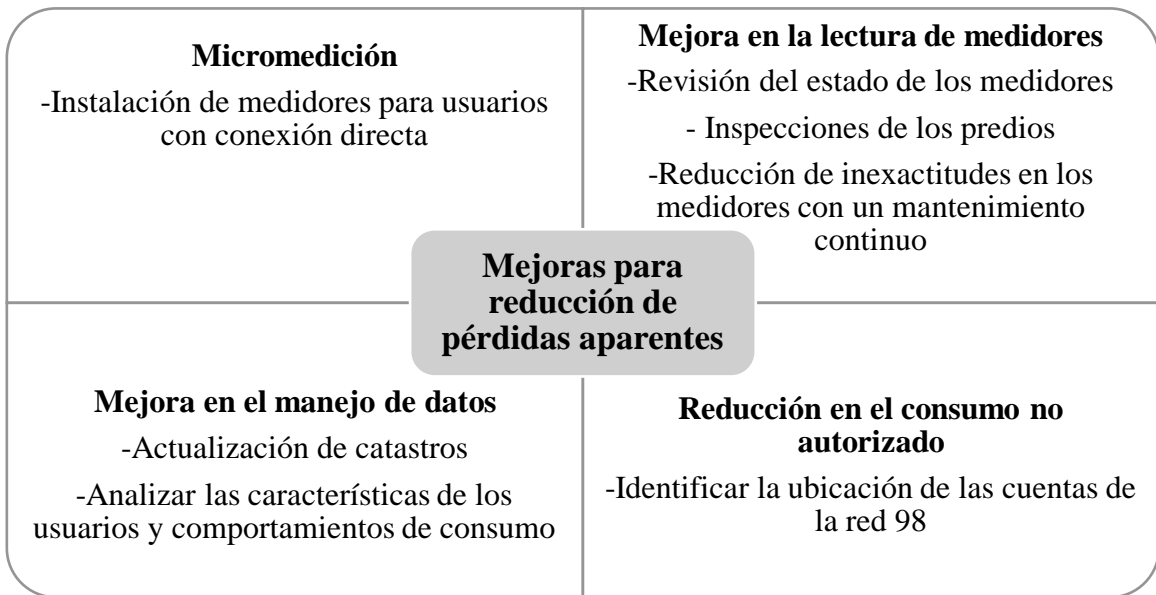


Figura 26. Propuestas de mejora para la reducción de pérdidas aparentes (comerciales)

Fuente. Achache & Gómez (2022)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Para el cantón Riobamba se obtuvo un porcentaje de agua no contabilizada del 39% incluyendo pérdidas reales y aparentes, el cual supera el límite definido por el reglamento de la ARCA, además el rendimiento del sistema en general fue calificado como “regular” y un nivel de desempeño “medio” por lo que se establece que existe ineficiencia en cuanto a la gestión de abastecimiento de agua potable y se debe considerar un grado de intervención moderado en el mismo.

Del total de agua no contabilizada el 8% corresponde a pérdidas aparentes mientras que el 31% a pérdidas reales, es decir por fugas, lo cual equivale a 6'726 447.39 m³/año en el 2021 y representando económicamente una pérdida de \$ 3'295 959 anuales para la institución. Con el caudal fugado se podría abastecer a 13 637 nuevos usuarios con la instalación de sus respectivas acometidas.

Cuantitativamente la mayor incidencia de agua no contabilizada se da en cuatro de las nueve redes del cantón, siendo estas: Recreo con 101 841.99 m³/mes que equivale a un 69.54%; Saboya con 267 819.18 m³/mes que equivale a 44.63%; Piscín con 50 974.94 m³/mes que equivale a 43.18%; y El Carmen con 101 320.34 m³/mes que equivale a 41.98%, mientras que con el reporte de fugas de gran magnitud se constató que la mayor incidencia de fugas en el año 2020 y 2021 se dieron en las redes Maldonado y Saboya.

El sistema de distribución del cantón Riobamba carece de macromedición a la salida de los tanques que alimentan a cada una de las nueve redes y tampoco es posible una medición constante con caudalímetros portátiles, lo cual es una desventaja al obtener resultados mediante balances hídricos. Además, al existir interconexión entre las redes del sistema actual con el sistema antiguo no se sabe exactamente si son independientes en cuanto al manejo y distribución de caudales por lo tanto no se puede hablar de pérdidas físicas como tal sino netamente de agua incontrolada que no se tiene un conocimiento exacto de su uso o destino final.

En cuanto al proceso de operación y mantenimiento existe deficiencia por falta de una planificación adecuada ya que se constató que los tiempos de reparación son altos debido a la falta de maquinaria y herramientas suficientes y en buen estado para cada cuadrilla. Además, la empresa realiza un control de fugas pasivo, es decir atiende una fuga únicamente cuando es visible lo que hace que la cantidad de agua perdida sea considerable y más aún cuando la fuga no es atendida en un tiempo prudente.

Al no contar con un registro histórico de reporte de fugas y debido a la extensión del sistema se desconoce cierta información a fondo, sin embargo en base a los datos tomados in situ y a los antecedentes se pudo determinar que la mayor incidencia de fugas se da a causa de tuberías reutilizadas de PVC, tuberías de asbesto cemento de la red antigua, y acometidas domiciliarias de polietileno; esto ocurre sobre todo en las redes antiguas Saboya

y Maldonado, mientras que en las redes Tratamiento y Piscín una de las causas sería las elevadas presiones que existe en algunos sectores, superando los límites que señala la normativa.

Con el diagnóstico realizado se propone que la empresa debe priorizar 3 actividades: en cuanto a la gestión técnica es primordial la instalación de macromedidores; en cuanto a la gestión comercial se debe contar con un control constante del funcionamiento de micromedidores y la instalación a aquellos usuarios con conexión directa; y en cuanto a la gestión de mantenimiento es necesario llevar una mejor planificación en atención de fugas y dotar de equipos suficientes para la atención de una mayor cantidad de órdenes diarias. A largo plazo se propone la implementación de un control activo de fugas y de sistemas tecnológicos que permitan un registro constante y en tiempo real de todo el comportamiento del sistema.

5.2. Recomendaciones

Con las inconsistencias obtenidas en los resultados debido a que ciertos datos fueron estimados se recomienda mejorar el registro de caudales inyectados y entregados ya que no se conoce exactamente el caudal requerido para cada red de acuerdo al número de usuarios.

Se recomienda corroborar los datos del modelo matemático vigente mediante verificaciones de campo, encuestas y mediciones para generar curvas de modulación de demanda horaria y que el modelo se asemeje a la realidad existente ya que esto permitirá conocer con exactitud las zonas que realmente presentan problemas de presiones, velocidades, caudales y pérdidas.

Para estudios similares en otros cantones es recomendable contar con toda la información posible del comportamiento del sistema de agua potable ya que los resultados dependerán de la validez de los datos proporcionados y si no se cuenta con un registro real se puede determinar estrategias inapropiadas de gestión.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aleaga, L. (2010). *Estudio de factibilidad y las bases de diseño del sistema de telemetría y telecontrol para la red de agua potable de la ciudad de Loja* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2532/1/tm4398.pdf>
- Alvarado, C. C. (2016). *Propuesta metodológica para localizar tuberías de distribución de agua potable con mayor probabilidad de presentar fugas no visibles* [Universidad de los Andes]. <http://hdl.handle.net/1992/18205>
- ARCA. (2017). *GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE LA REGULACIÓN Nro. DIR-ARCA-RG-006-2017* (p. 28). <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/REGULACION-Nro.-DIR-ARCA-RG-006-2017.pdf>
- ARCA. (2018). *Publicos De Agua Potable*. 1–11. <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/NORMATIVA-PARA-EVALUACION-DE-LOS-SERVICIOS-PÚBLICOS-DE-AGUA-POTABLE....pdf>
- ARCA. (2020). *AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN EL ECUADOR Agencia de Regulación y Control del Agua BOLETÍN ESTADÍSTICO*. 30–31. http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/12/Boletin-Estadistico-APS_dic21_v02.pdf
- Arellano, A., Bayas, A., Meneses, A., & Castillo, T. (2018). *Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes*. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- Benavides, H. (2018). *El agua no cobrada en sistemas de abastecimiento urbanos*. https://www.researchgate.net/publication/323613171_El_agua_no_cobrada_en_sistemas_de_abastecimiento_urbanos
- Borja, M. (2012). Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros. In *Chiclayo - Perú*. https://www.academia.edu/33692697/Metodología_de_Investigación_Científica_para_ingeniería_Civil
- Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoría de redes de distribución de agua. *Ingeniería Del Agua*, 6(4), 387. <https://doi.org/10.4995/ia.1999.2794>
- Campaña, J., & Ortega, W. (2016). *Evaluación de la red de distribución de agua potable para determinar pérdidas y fugas de la urbanización la colina del cantón Rumiñahui*. Escuela Politécnica Nacional.
- Cedeño, C., Molina, X., & Perero, M. (2021). *Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/dilemas/v8nspe3/2007-7890-dilemas-8-spe3-00054.pdf>
- CPE INEN 5, N. T. E. (1992). *Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5 Parte_9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5_Parte_9-1.pdf)
- EP-EMAPAR. (2021). *Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR)*. 1-41a. <https://www.epemapar.gob.ec/amf.pdf>
- Farley, M. (2001). *Leakage Management and Control*. 1–98. http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_SDE_WSH_01.1_pp1-98.pdf
- Fuentes, O., Palma, A., & Rodríguez, K. (2011). Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos. *Journal of Water Supply Research and Technology - AQUA*, 8. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432011000200012&script=sci_arttext

- García, J. C., & Benavides, H. (2019). *Valor de ajuste del índice de fugas de agua en infraestructura*. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.67230>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Mc Graw Hi). Mexico. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Huancahuari, R., & Montero, M. (2018). Análisis de fugas en redes secundarias para mejorar la red de distribución de agua potable, San Martín de Porres. *Ucv*, 122. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41846>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2010). *Población y Demografía*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Izurieta, C., Arellano, A., & Muñoz, G. (2022). *La demografía y el consumo de agua potable en los estratos socio economicos urbanos*. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/fipcaec.v7i1.552>
- Kingdom, B., Liemberger, R., & Marin, P. (2006). *WATERS UPPLY AND SANITATION SECTOR BOARD DISCUSSION PAPER SERIES The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries How the Private Sector Can Help : A Look at Performance-Based Service Contr.* 8.
- Medina, G. M., & Benavides, H. M. (2009). *Política para el control activo de fugas*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Oertlé, E., & et al. (2012). *Guidelines for water loss reduction | Summary*. z. <https://www.bivica.org/files/agua-perdidas.pdf>
- Ojeda, M. (2012). *Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de Ciudad Universitaria de la UNAM [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA]*. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2407/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, C. (2009). *OPTIMIZACION DE LA RED N° 2 DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Romero, M. (2013). *Problemas en redes de abastecimiento de agua potable*. Tesis de Titulación). Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2013/mayo/0694817/0694817.pdf>
- Rosero, C. D. (2019). *AGUA POTABLE NO CONTABILIZADA EN EL CANTÓN PANGUA Y PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS [Universidad de las Fuerzas Armadas]*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15834>
- Ziegler, D., Sorg, F., Fallis, P., & Hübschen, K. (2009). *Guidelines for water loss reduction*. <https://www.bivica.org/files/agua-perdidas.pdf>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo I. Solicitud escrita entregada en la empresa EP-EMAPAR para petición de información.



DIRECCIÓN ACADÉMICA
V. RECTORIA ACADÉMICA



Riobamba, 07 de febrero del 2022

Mgs
Marcelo Calvopiña
GERENTE GENERAL DE LA EP-EMAPAR
Presente. -

A: <i>Dependencia</i>			
INFORMAR	<input type="checkbox"/>	ATENDER	<input checked="" type="checkbox"/>
OFICIAR	<input type="checkbox"/>	AUTORIZADO	<input type="checkbox"/>
ARCHIVAR	<input type="checkbox"/>	Fecha:	<i>07/02/22</i>

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarle cordialmente y desearle éxitos en su labor y a la vez presentar a los estudiantes **Nataly Viviana Achache Carrillo** con CI 0650115520 y **Stalin Andrés Gómez Monar** con CI 0202324034 quienes están cursando el último semestre de la carrera de **Ingeniería Civil** y han planteado el tema de tesis titulado: **"Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba"**, el cual ya se encuentra aprobado por las autoridades competentes.

Por lo antes mencionado me permito solicitarle de la manera más comedida se sirva autorizar a quien corresponda se nos otorgue la siguiente información que será útil para el desarrollo del proyecto de investigación:

- Planos del sistema de agua potable del cantón Riobamba en formato DWG.
- Modelo matemático de la red.
- Volumen de agua total que se suministra a las redes de distribución.
- Volúmenes de consumo mensuales medidos y facturados desde el año 2018 hasta la presente fecha.
- Valores correspondientes de recaudación de los últimos 4 años.
- Expedientes técnicos de operación y mantenimiento de las redes de distribución.
- Estadísticas de agua no facturada.

Una vez que se entregue el proyecto de titulación por parte de los estudiantes, la información será entregada a su institución, la misma que servirá para dar atención al volumen de agua fugada en las redes de distribución de la ciudad y se logre contribuir de alguna manera la mejora de la gestión del abastecimiento.

Página 1 de 3



Anexo 2. Memorando suscrito por la Gerencia de la EP-EMAPAR entregado en conjunto con la información solicitada



EP-EMAPAR-GG-2022-00222-OF
Tramite Nro. 449133
Riobamba, 19 de Abril de 2022

Ingeniera
María Zúñiga
DOCENTE Y TUTOR DE INVESTIGACIÓN UNACH
Ciudad.

De mi consideración:

Reciba un cordial y atento saludo de la Empresa Pública Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Riobamba. En atención al oficio s/n remitido por la Ing. María Gabriela Zúñiga R. DOCENTE Y TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, en el que solicitan información que servirán para la elaboración de tesis "La incidencia de fugas en la res de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba". Con base al Memorando Nro. EP-EMAPAR-DGO-2022-00132-M suscrito por la Dirección de Gestión de Operaciones me permito informarle que la información solicitada se les ha hecho llegar de manera detallada a los estudiantes mediante la plataforma Dropbox.

Particular que comunico para fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado
digitalmente
por:
MARCELO
ENRIQUE
CALVOPINIA
SIGCHAY
2022-04-
19T09:14:19-
05:00

MGS. MARCELO ENRIQUE CALVOPINIA SIGCHAY
GERENTE GENERAL DE LA EP-EMAPAR

Elaborado por CALVOPINIAM

1 / 1

Anexo 3. Consumos mensuales facturados en el año 2021 clasificados por redes de distribución

Meses	Consumo por redes (m3/mes)								
	Tratamiento	Tapi	Recreo	Carmen	Saboya	Veranillo	Maldonado	Piscín	Yaruquíes
Enero	16 206	80 996	41 647	136 939	325 192	123 226	236 045	59 033	31 106
Febrero	16 613	92 345	47 408	147 181	355 291	145 395	263 528	70 202	25 693
Marzo	15 469	79 008	40 517	130 631	302 394	120 820	225 749	58 457	23 386
Abril	16 479	88 514	43 283	147 726	328 456	147 505	260 686	68 276	30 688
Mayo	15 477	83 707	44 092	137 711	321 276	140 797	255 282	65 143	27 870
Junio	15 461	82 081	44 451	130 528	326 453	153 662	212 467	66 849	29 139
Julio	22 291	82 123	45 125	139 365	318 482	147 707	246 847	67 304	27 673
Agosto	16 933	83 484	50 122	145 067	343 773	142 702	254 501	68 084	27 449
Septiembre	15 480	81 291	44 902	137 383	312 149	128 965	233 598	67 332	27 820
Octubre	16 095	79 167	43 558	141 157	337 428	133 316	233 564	66 226	26 180
Noviembre	15 763	85 382	45 909	145 190	359 562	140 903	258 647	67 281	27 742
Diciembre	15 296	82 090	43 122	136 183	343 399	140 969	244 950	78 188	29 853

Fuente. (EP-EMAPAR,2021)

Anexo 4. Consumos mensuales de conexiones directas en el año 2021 clasificados por redes de distribución

Meses	Consumo por redes (m3/mes)								
	Tratamiento	Tapi	Recreo	Carmen	Saboya	Veranillo	Maldonado	Piscín	Yaruquíes
Enero	1 092	5 992	1 092	8 226	8 782	7 562	4 958	4 126	1 362
Febrero	966	5 682	1 008	8 108	9 855	7 250	4 302	3 790	1 378
Marzo	882	5 656	1 278	7 582	8 198	7 252	3 992	3 892	1 278
Abril	924	4 926	840	7 194	8 880	7 772	4 244	4 430	1 488
Mayo	816	5 656	1 540	10 290	8 610	6 914	4 382	3 520	1 294
Junio	834	6 034	1 566	11 004	8 994	6 898	5 512	3 636	1 336
Julio	816	6 036	1 986	11 473	8 970	6 814	8 332	3 546	1 236
Agosto	858	6 556	2 196	11 148	8 678	6 352	7 378	3 588	1 320
Septiembre	816	6 456	2 112	10 938	8 376	6 478	5 830	3 420	1 278
Octubre	858	6 960	2 422	11 988	7 976	7 412	5 746	3 588	1 446
Noviembre	1 446	6 960	2 464	10 554	8 220	6 186	6 686	3 504	1 152
Diciembre	732	6 960	2 236	10 884	8 598	6 168	7 334	3 572	1 614

Fuente. (EP-EMAPAR,2021)

Anexo 5. Cálculo de balances hídricos y rendimientos volumétricos de cada una de las redes de distribución

RED TRATAMIENTO	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif			
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	9,60	25712,64	16206	6,05	1092	0,41	1285,632	0,48	18584	6,94	9506,64	3,55	7129,01	2,66	36,97%	27,73%
Febrero	9,60	23224,32	16613	6,87	966	0,40	1161,216	0,48	18740	7,75	6611,32	2,73	4484,10	1,85	28,47%	19,31%
Marzo	9,60	25712,64	15469	5,78	882	0,33	1285,632	0,48	17637	6,58	10243,64	3,82	8076,01	3,02	39,84%	31,41%
Abril	9,60	24883,20	16479	6,36	924	0,36	1244,16	0,48	18647	7,19	8404,20	3,24	6236,04	2,41	33,77%	25,06%
Mayo	9,60	25712,64	15477	5,78	816	0,30	1285,632	0,48	17579	6,56	10235,64	3,82	8134,01	3,04	39,81%	31,63%
Junio	9,60	24883,20	15461	5,96	834	0,32	1244,16	0,48	17539	6,77	9422,20	3,64	7344,04	2,83	37,87%	29,51%
Julio	9,60	25712,64	22291	8,32	816	0,30	1285,632	0,48	24393	9,11	3421,64	1,28	1320,01	0,49	13,31%	5,13%
Agosto	9,60	25712,64	16933	6,32	858	0,32	1285,632	0,48	19077	7,12	8779,64	3,28	6636,01	2,48	34,15%	25,81%
Septiembre	9,60	24883,20	15480	5,97	816	0,31	1244,16	0,48	17540	6,77	9403,20	3,63	7343,04	2,83	37,79%	29,51%
Octubre	9,60	25712,64	16095	6,01	858	0,32	1285,632	0,48	18239	6,81	9617,64	3,59	7474,01	2,79	37,40%	29,07%
Noviembre	9,60	24883,20	15763	6,08	1446	0,56	1244,16	0,48	18453	7,12	9120,20	3,52	6430,04	2,48	36,65%	25,84%
Diciembre	9,60	25712,64	15296	5,71	732	0,27	1285,632	0,48	17314	6,46	10416,64	3,89	8399,01	3,14	40,51%	32,66%
Total 2021	115,20	302745,60	197563	75,21	11040	4,21	15137,28	5,76	223740	85,18	105182,60	39,99	79005,32	30,02	34,71%	26,06%
Promedios	9,60	25228,80	16463,58	6,27	920	0,35	1261,44	0,48	18645,02	7,10	8765,22	3,33	6583,78	2,50	34,71%	26,06%

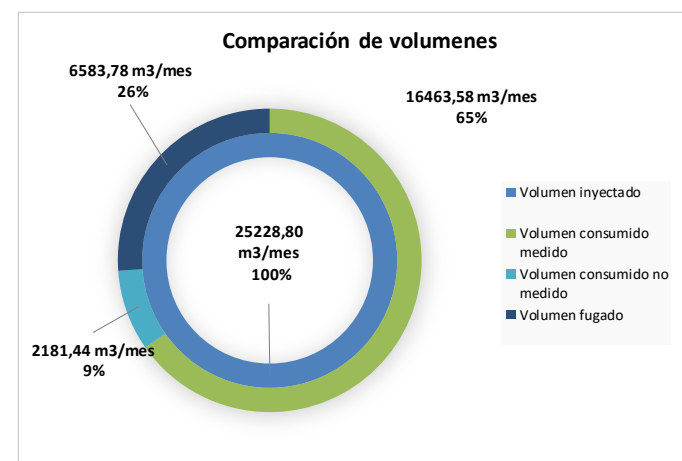
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

		Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	9,60	25228,80	115,20	302745,60
Caudal registrado	Qr (l/s)	6,27	16463,58	75,21	197563
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	3,33	8765,22	39,99	105182,60
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	0,83	2181,44	9,97	26177,28
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	2,50	6583,78	30,02	79005,32

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	65,26%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	73,90%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	88,30%

Calificación: **REGULAR**



RED SAN JOSÉ DE TAPI	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif		%	%
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	48,30	129366,72	80996	30,24	5992	2,24	6468,336	2,42	93456	34,89	48370,72	18,06	35910,38	13,41	37,39%	27,76%
Febrero	48,30	116847,36	92345	38,17	5682	2,35	5842,368	2,42	103869	42,94	24502,36	10,13	12977,99	5,36	20,97%	11,11%
Marzo	48,30	129366,72	79008	29,50	5656	2,11	6468,336	2,42	91132	34,02	50358,72	18,80	38234,38	14,28	38,93%	29,56%
Abril	48,30	125193,60	88514	34,15	4926	1,90	6259,68	2,42	99700	38,46	36679,60	14,15	25493,92	9,84	29,30%	20,36%
Mayo	48,30	129366,72	83707	31,25	5656	2,11	6468,336	2,42	95831	35,78	45659,72	17,05	33535,38	12,52	35,29%	25,92%
Junio	48,30	125193,60	82081	31,67	6034	2,33	6259,68	2,42	94375	36,41	43112,60	16,63	30818,92	11,89	34,44%	24,62%
Julio	48,30	129366,72	82123	30,66	6036	2,25	6468,336	2,42	94627	35,33	47243,72	17,64	34739,38	12,97	36,52%	26,85%
Agosto	48,30	129366,72	83484	31,17	6556	2,45	6468,336	2,42	96508	36,03	45882,72	17,13	32858,38	12,27	35,47%	25,40%
Septiembre	48,30	125193,60	81291	31,36	6456	2,49	6259,68	2,42	94007	36,27	43902,60	16,94	31186,92	12,03	35,07%	24,91%
Octubre	48,30	129366,72	79167	29,56	6960	2,60	6468,336	2,42	92595	34,57	50199,72	18,74	36771,38	13,73	38,80%	28,42%
Noviembre	48,30	125193,60	85382	32,94	6960	2,69	6259,68	2,42	98602	38,04	39811,60	15,36	26591,92	10,26	31,80%	21,24%
Diciembre	48,30	129366,72	82090	30,65	6960	2,60	6468,336	2,42	95518	35,66	47276,72	17,65	33848,38	12,64	36,54%	26,16%
Total 2021	579,60	1523188,80	1000188	381,32	73874	28,11	76159,44	28,98	1150221	438,41	523000,80	198,28	372967,36	141,19	34,21%	24,36%
Promedios	48,30	126932,40	83349,00	31,78	6156	2,34	6346,62	2,42	95851,79	36,53	43583,40	16,52	31080,61	11,77	34,21%	24,36%

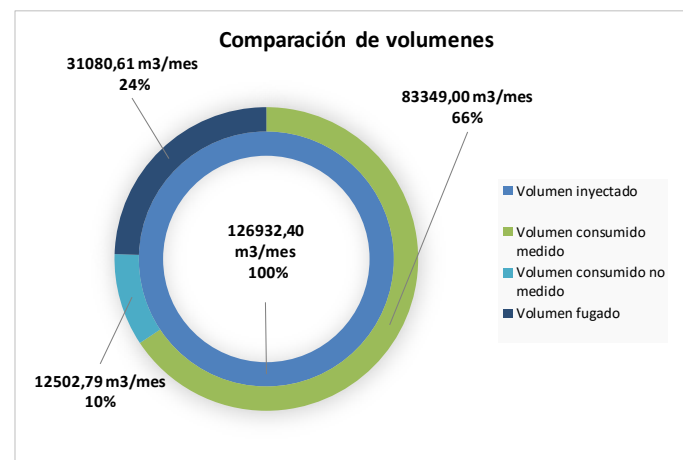
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

		Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	48,30	126932,40	579,60	1523188,80
Caudal registrado	Qr (l/s)	31,78	83349,00	381,32	1000188
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	16,52	43583,40	198,28	523000,80
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	4,76	12502,79	57,09	150033,44
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	11,77	31080,61	141,19	372967,36

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	65,66%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	75,51%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	86,96%

Calificación: **REGULAR**



RED EL RECREO	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif		%	%
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	55,69	149160,10	41647	15,55	1092	0,41	7458,0048	2,78	50197	18,74	107513,10	40,14	98963,09	36,95	72,08%	66,35%
Febrero	55,69	134725,25	47408	19,60	1008	0,42	6736,2624	2,78	55152	22,80	87317,25	36,09	79572,99	32,89	64,81%	59,06%
Marzo	55,69	149160,10	40517	15,13	1278	0,48	7458,0048	2,78	49253	18,39	108643,10	40,56	99907,09	37,30	72,84%	66,98%
Abril	55,69	144348,48	43283	16,70	840	0,32	7217,424	2,78	51340	19,81	101065,48	38,99	93008,06	35,88	70,01%	64,43%
Mayo	55,69	149160,10	44092	16,46	1540	0,57	7458,0048	2,78	53090	19,82	105068,10	39,23	96070,09	35,87	70,44%	64,41%
Junio	55,69	144348,48	44451	17,15	1566	0,60	7217,424	2,78	53234	20,54	99897,48	38,54	91114,06	35,15	69,21%	63,12%
Julio	55,69	149160,10	45125	16,85	1986	0,74	7458,0048	2,78	54569	20,37	104035,10	38,84	94591,09	35,32	69,75%	63,42%
Agosto	55,69	149160,10	50122	18,71	2196	0,82	7458,0048	2,78	59776	22,32	99038,10	36,98	89384,09	33,37	66,40%	59,92%
Septiembre	55,69	144348,48	44902	17,32	2112	0,81	7217,424	2,78	54231	20,92	99446,48	38,37	90117,06	34,77	68,89%	62,43%
Octubre	55,69	149160,10	43558	16,26	2422	0,90	7458,0048	2,78	53438	19,95	105602,10	39,43	95722,09	35,74	70,80%	64,17%
Noviembre	55,69	144348,48	45909	17,71	2464	0,95	7217,424	2,78	55590	21,45	98439,48	37,98	88758,06	34,24	68,20%	61,49%
Diciembre	55,69	149160,10	43122	16,10	2236	0,83	7458,0048	2,78	52816	19,72	106038,10	39,59	96344,09	35,97	71,09%	64,59%
Total 2021	668,28	1756239,84	534136	203,54	20740	7,87	87811,99	33,41	642688	244,83	1222103,84	464,74	1113551,85	423,45	69,54%	63,36%
Promedios	55,69	146353,32	44511,33	16,96	1728	0,66	7317,67	2,78	53557,33	20,40	101841,99	38,73	92795,99	35,29	69,54%	63,36%

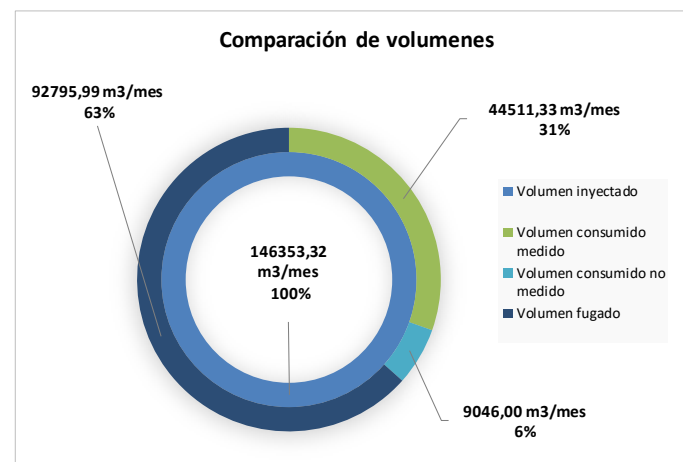
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

	Q (l/s)	Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	55,69	146353,32	668,28	1756239,84
Caudal registrado	Qr (l/s)	16,96	44511,33	203,54	534136
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	38,73	101841,99	464,74	1222103,84
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	3,44	9046,00	41,28	108551,99
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	35,29	92795,99	423,45	1113551,85

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	30,41%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	36,59%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	83,11%

Calificación: **INACEPTABLE**



RED EL CARMEN	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif			
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	91,67	245528,93	136939	51,13	8226	3,07	12276,45	4,58	157441	58,78	108589,93	40,54	88087,48	32,89	44,23%	35,88%
Febrero	91,67	221768,06	147181	60,84	8108	3,35	11088,40	4,58	166377	68,77	74587,06	30,83	55390,66	22,90	33,63%	24,98%
Marzo	91,67	245528,93	130631	48,77	7582	2,83	12276,45	4,58	150489	56,19	114897,93	42,90	95039,48	35,48	46,80%	38,71%
Abril	91,67	237608,64	147726	56,99	7194	2,78	11880,43	4,58	166800	64,35	89882,64	34,68	70808,21	27,32	37,83%	29,80%
Mayo	91,67	245528,93	137711	51,42	10290	3,84	12276,45	4,58	160277	59,84	107817,93	40,25	85251,48	31,83	43,91%	34,72%
Junio	91,67	237608,64	130528	50,36	11004	4,25	11880,43	4,58	153412	59,19	107080,64	41,31	84196,21	32,48	45,07%	35,43%
Julio	91,67	245528,93	139365	52,03	11473	4,28	12276,45	4,58	163114	60,90	106163,93	39,64	82414,48	30,77	43,24%	33,57%
Agosto	91,67	245528,93	145067	54,16	11148	4,16	12276,45	4,58	168491	62,91	100461,93	37,51	77037,48	28,76	40,92%	31,38%
Septiembre	91,67	237608,64	137383	53,00	10938	4,22	11880,43	4,58	160201	61,81	100225,64	38,67	77407,21	29,86	42,18%	32,58%
Octubre	91,67	245528,93	141157	52,70	11988	4,48	12276,45	4,58	165421	61,76	104371,93	38,97	80107,48	29,91	42,51%	32,63%
Noviembre	91,67	237608,64	145190	56,01	10554	4,07	11880,43	4,58	167624	64,67	92418,64	35,66	69984,21	27,00	38,90%	29,45%
Diciembre	91,67	245528,93	136183	50,84	10884	4,06	12276,45	4,58	159343	59,49	109345,93	40,83	86185,48	32,18	44,53%	35,10%
Total 2021	1100,04	2890905,12	1675061	638,26	119389	45,39	144545,26	55,00	1938995	738,66	1215844,12	461,78	951909,86	361,38	41,98%	32,85%
Promedios	91,67	240908,76	139588,42	53,19	9949	3,78	12045,44	4,58	161582,94	61,55	101320,34	38,48	79325,82	30,12	41,98%	32,85%

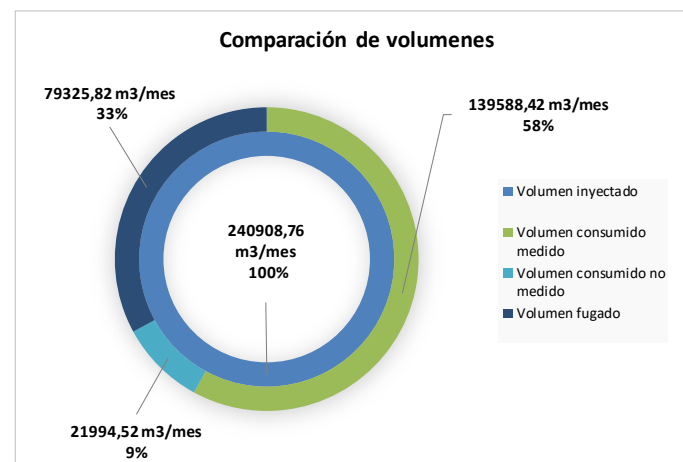
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

	Q (l/s)	Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	91,67	240908,76	1100,04	2890905,12
Caudal registrado	Qr (l/s)	53,19	139588,42	638,26	1675061
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	38,48	101320,34	461,78	1215844,12
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	8,37	21994,52	100,40	263934,26
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	30,12	79325,82	361,38	951909,86

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	57,94%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	67,07%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	86,39%

Calificación: **MALO**



RED SABOYA	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif		%	%
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s		
Enero	227,92	610460,93	325192	121,41	8782	3,28	30523,05	11,40	364497	136,09	285268,93	106,51	245963,88	91,83	46,73%	40,29%
Febrero	227,92	551384,06	355291	146,86	9855	4,07	27569,20	11,40	392715	162,33	196093,06	81,06	158668,86	65,59	35,56%	28,78%
Marzo	227,92	610460,93	302394	112,90	8198	3,06	30523,05	11,40	341115	127,36	308066,93	115,02	269345,88	100,56	50,46%	44,12%
Abril	227,92	590768,64	328456	126,72	8880	3,43	29538,43	11,40	366874	141,54	262312,64	101,20	223894,21	86,38	44,40%	37,90%
Mayo	227,92	610460,93	321276	119,95	8610	3,21	30523,05	11,40	360409	134,56	289184,93	107,97	250051,88	93,36	47,37%	40,96%
Junio	227,92	590768,64	326453	125,95	8994	3,47	29538,43	11,40	364985	140,81	264315,64	101,97	225783,21	87,11	44,74%	38,22%
Julio	227,92	610460,93	318482	118,91	8970	3,35	30523,05	11,40	357975	133,65	291978,93	109,01	252485,88	94,27	47,83%	41,36%
Agosto	227,92	610460,93	343773	128,35	8678	3,24	30523,05	11,40	382974	142,99	266687,93	99,57	227486,88	84,93	43,69%	37,26%
Septiembre	227,92	590768,64	312149	120,43	8376	3,23	29538,43	11,40	350063	135,06	278619,64	107,49	240705,21	92,86	47,16%	40,74%
Octubre	227,92	610460,93	337428	125,98	7976	2,98	30523,05	11,40	375927	140,36	273032,93	101,94	234533,88	87,56	44,73%	38,42%
Noviembre	227,92	590768,64	359562	138,72	8220	3,17	29538,43	11,40	397320	153,29	231206,64	89,20	193448,21	74,63	39,14%	32,75%
Diciembre	227,92	610460,93	343399	128,21	8598	3,21	30523,05	11,40	382520	142,82	267061,93	99,71	227940,88	85,10	43,75%	37,34%
Total 2021	2735,04	7187685,12	3973855	1514,39	104137	39,70	359384,26	136,75	4437376	1690,85	3213830,12	1220,65	2750308,86	1044,19	44,63%	38,18%
Promedios	227,92	598973,76	331154,58	126,20	8678	3,31	29948,69	11,40	369781,35	140,90	267819,18	101,72	229192,41	87,02	44,63%	38,18%

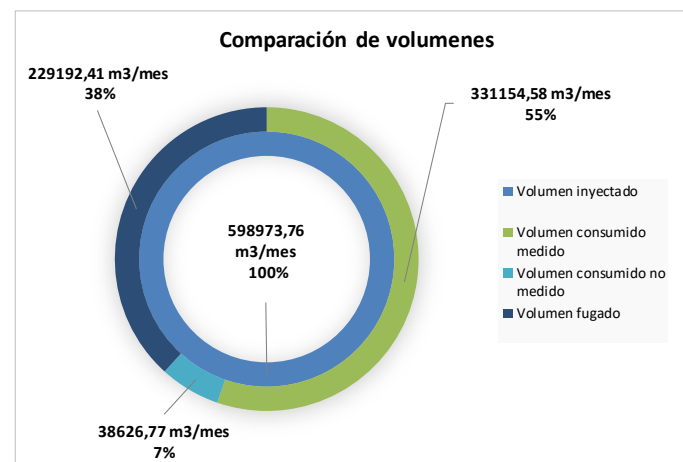
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

	Q (l/s)	Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	227,92	598973,76	2735,04	7187685,12
Caudal registrado	Qr (l/s)	126,20	331154,58	1514,39	3973855
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	101,72	267819,18	1220,65	3213830,12
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	14,70	38626,77	176,46	463521,26
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	87,02	229192,41	1044,19	2750308,86

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	55,29%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	61,74%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	89,55%

Calificación: **MALO**



RED SAN MARTÍN DE VERANILLO	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif		%	%
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	78,31	209745,50	123226	46,01	7562	2,82	10487,28	3,92	141275	52,75	86519,50	32,30	68470,23	25,56	41,25%	32,64%
Febrero	78,31	189447,55	145395	60,10	7250	3,00	9472,38	3,92	162117	67,01	44052,55	18,21	27330,17	11,30	23,25%	14,43%
Marzo	78,31	209745,50	120820	45,11	7252	2,71	10487,28	3,92	138559	51,73	88925,50	33,20	71186,23	26,58	42,40%	33,94%
Abril	78,31	202979,52	147505	56,91	7772	3,00	10148,98	3,92	165426	63,82	55474,52	21,40	37553,54	14,49	27,33%	18,50%
Mayo	78,31	209745,50	140797	52,57	6914	2,58	10487,28	3,92	158198	59,06	68948,50	25,74	51547,23	19,25	32,87%	24,58%
Junio	78,31	202979,52	153662	59,28	6898	2,66	10148,98	3,92	170709	65,86	49317,52	19,03	32270,54	12,45	24,30%	15,90%
Julio	78,31	209745,50	147707	55,15	6814	2,54	10487,28	3,92	165008	61,61	62038,50	23,16	44737,23	16,70	29,58%	21,33%
Agosto	78,31	209745,50	142702	53,28	6352	2,37	10487,28	3,92	159541	59,57	67043,50	25,03	50204,23	18,74	31,96%	23,94%
Septiembre	78,31	202979,52	128965	49,76	6478	2,50	10148,98	3,92	145592	56,17	74014,52	28,55	57387,54	22,14	36,46%	28,27%
Octubre	78,31	209745,50	133316	49,77	7412	2,77	10487,28	3,92	151215	56,46	76429,50	28,54	58530,23	21,85	36,44%	27,91%
Noviembre	78,31	202979,52	140903	54,36	6186	2,39	10148,98	3,92	157238	60,66	62076,52	23,95	45741,54	17,65	30,58%	22,54%
Diciembre	78,31	209745,50	140969	52,63	6168	2,30	10487,28	3,92	157624	58,85	68776,50	25,68	52121,23	19,46	32,79%	24,85%
Total 2021	939,72	2469584,16	1665967	634,92	83058	31,64	123479,21	46,99	1872504	713,55	803617,16	304,80	597079,95	226,17	32,43%	24,07%
Promedios	78,31	205798,68	138830,58	52,91	6922	2,64	10289,93	3,92	156042,02	59,46	66968,10	25,40	49756,66	18,85	32,43%	24,07%

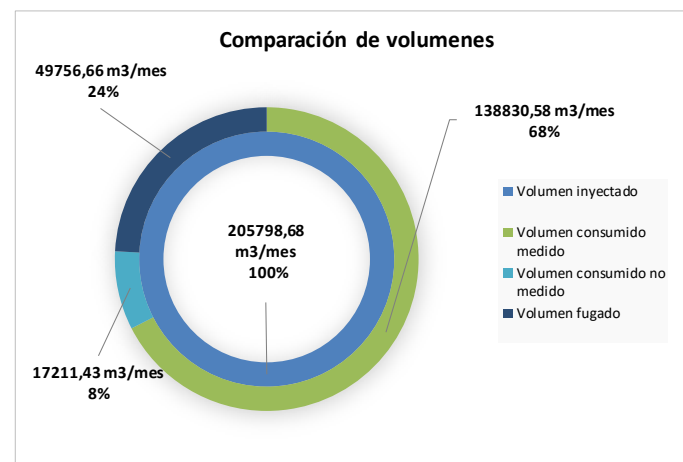
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

		Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	78,31	205798,68	939,72	2469584,16
Caudal registrado	Qr (l/s)	52,91	138830,58	634,92	1665967
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	25,40	66968,10	304,80	803617,16
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	6,55	17211,43	78,63	206537,21
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	18,85	49756,66	226,17	597079,95

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	67,46%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	75,82%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	88,97%

Calificación: **REGULAR**



RED MALDONADO	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif		%	%
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	109,90	294356,16	236045	88,13	4958	1,85	14717,81	5,50	255721	95,48	58311,16	21,77	38635,35	14,42	19,81%	13,13%
Febrero	109,90	284860,80	263528	101,67	4302	1,66	14243,04	5,50	282073	108,82	21332,80	8,23	2787,76	1,08	7,49%	0,98%
Marzo	109,90	294356,16	225749	84,29	3992	1,49	14717,81	5,50	244459	91,27	68607,16	25,61	49897,35	18,63	23,31%	16,95%
Abril	109,90	284860,80	260686	100,57	4244	1,64	14243,04	5,50	279173	107,71	24174,80	9,33	5687,76	2,19	8,49%	2,00%
Mayo	109,90	294356,16	255282	95,31	4382	1,64	14717,81	5,50	274382	102,44	39074,16	14,59	19974,35	7,46	13,27%	6,79%
Junio	109,90	284860,80	212467	81,97	5512	2,13	14243,04	5,50	232222	89,59	72393,80	27,93	52638,76	20,31	25,41%	18,48%
Julio	109,90	294356,16	246847	92,16	8332	3,11	14717,81	5,50	269897	100,77	47509,16	17,74	24459,35	9,13	16,14%	8,31%
Agosto	109,90	294356,16	254501	95,02	7378	2,75	14717,81	5,50	276597	103,27	39855,16	14,88	17759,35	6,63	13,54%	6,03%
Septiembre	109,90	284860,80	233598	90,12	5830	2,25	14243,04	5,50	253671	97,87	51262,80	19,78	31189,76	12,03	18,00%	10,95%
Octubre	109,90	294356,16	233564	87,20	5746	2,15	14717,81	5,50	254028	94,84	60792,16	22,70	40328,35	15,06	20,65%	13,70%
Noviembre	109,90	284860,80	258647	99,79	6686	2,58	14243,04	5,50	279576	107,86	26213,80	10,11	5284,76	2,04	9,20%	1,86%
Diciembre	109,90	294356,16	244950	91,45	7334	2,74	14717,81	5,50	267002	99,69	49406,16	18,45	27354,35	10,21	16,78%	9,29%
Total 2021	1318,80	3484797,12	2925864	1107,69	68696	25,98	174239,86	65,94	3168800	1199,61	558933,12	211,11	315997,26	119,19	16,01%	9,04%
Promedios	109,90	290399,76	243822,00	92,31	5725	2,16	14519,99	5,50	264066,65	99,97	46577,76	17,59	26333,11	9,93	16,01%	9,04%

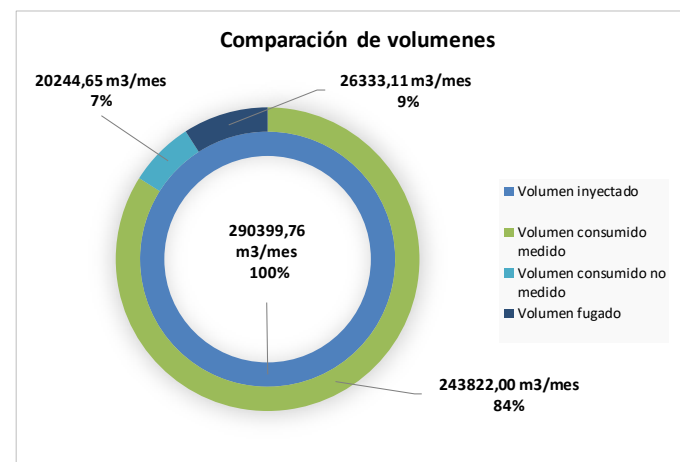
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

	Q (l/s)	Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	109,90	290399,76	1318,80	3484797,12
Caudal registrado	Qr (l/s)	92,31	243822,00	1107,69	2925864
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	17,59	46577,76	211,11	558933,12
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	7,66	20244,65	91,92	242935,86
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	9,93	26333,11	119,19	315997,26

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	83,96%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	90,93%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	92,33%

Calificación: **MUY BUENO**



RED PISCÍN	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif			
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	44,84	120099,46	59033	22,04	4126	1,54	6004,97	2,24	69164	25,82	61066,46	22,80	50935,48	19,02	50,85%	42,41%
Febrero	44,84	108476,93	70202	29,02	3790	1,57	5423,85	2,24	79416	32,83	38274,93	15,82	29061,08	12,01	35,28%	26,79%
Marzo	44,84	120099,46	58457	21,83	3892	1,45	6004,97	2,24	68354	25,52	61642,46	23,01	51745,48	19,32	51,33%	43,09%
Abril	44,84	116225,28	68276	26,34	4430	1,71	5811,26	2,24	78517	30,29	47949,28	18,50	37708,02	14,55	41,26%	32,44%
Mayo	44,84	120099,46	65143	24,32	3520	1,31	6004,97	2,24	74668	27,88	54956,46	20,52	45431,48	16,96	45,76%	37,83%
Junio	44,84	116225,28	66849	25,79	3636	1,40	5811,26	2,24	76296	29,44	49376,28	19,05	39929,02	15,40	42,48%	34,35%
Julio	44,84	120099,46	67304	25,13	3546	1,32	6004,97	2,24	76855	28,69	52795,46	19,71	43244,48	16,15	43,96%	36,01%
Agosto	44,84	120099,46	68084	25,42	3588	1,34	6004,97	2,24	77677	29,00	52015,46	19,42	42422,48	15,84	43,31%	35,32%
Septiembre	44,84	116225,28	67332	25,98	3420	1,32	5811,26	2,24	76563	29,54	48893,28	18,86	39662,02	15,30	42,07%	34,13%
Octubre	44,84	120099,46	66226	24,73	3588	1,34	6004,97	2,24	75819	28,31	53873,46	20,11	44280,48	16,53	44,86%	36,87%
Noviembre	44,84	116225,28	67281	25,96	3504	1,35	5811,26	2,24	76596	29,55	48944,28	18,88	39629,02	15,29	42,11%	34,10%
Diciembre	44,84	120099,46	78188	29,19	3572	1,33	6004,97	2,24	87765	32,77	41911,46	15,65	32334,48	12,07	34,90%	26,92%
Total 2021	538,08	1414074,24	802375	305,74	44612	16,99	70703,71	26,90	917691	349,64	611699,24	232,34	496383,53	188,44	43,18%	35,02%
Promedios	44,84	117839,52	66864,58	25,48	3718	1,42	5891,98	2,24	76474,23	29,14	50974,94	19,36	41365,29	15,70	43,18%	35,02%

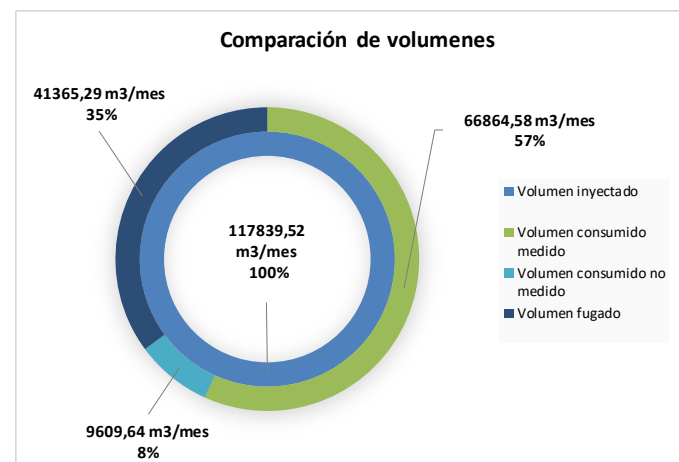
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

	Q (l/s)	Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	44,84	117839,52	538,08	1414074,24
Caudal registrado	Qr (l/s)	25,48	66864,58	305,74	802375
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	19,36	50974,94	232,34	611699,24
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	3,66	9609,64	43,90	115315,71
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	15,70	41365,29	188,44	496383,53

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	56,74%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	64,90%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	87,43%

Calificación: **MALO**



RED YARUQUÍES	Q inyectado		Q facturado medido		Q Consumido no medido por ausencia de medidores		Q consumido no registrado por error de medida		Total consumido		Q incontrolado		Q fugado		% de agua incontrolada	% de agua fugada
	Q		Qr		Qica		Qice		Qr+Qica+Qice		Qi		Qif		%	%
	l/s	m3/mes	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	m3/mes	l/s	%	%
Enero	14,03	37577,95	31106	11,61	1362	0,51	1878,90	0,70	34347	12,82	6471,95	2,42	3231,05	1,21	17,22%	8,60%
Febrero	14,03	33941,38	25693	10,62	1378	0,57	1697,07	0,70	28768	11,89	8248,38	3,41	5173,31	2,14	24,30%	15,24%
Marzo	14,03	37577,95	23386	8,73	1278	0,48	1878,90	0,70	26543	9,91	14191,95	5,30	11035,05	4,12	37,77%	29,37%
Abril	14,03	36365,76	30688	11,84	1488	0,57	1818,29	0,70	33994	13,12	5677,76	2,19	2371,47	0,91	15,61%	6,52%
Mayo	14,03	37577,95	27870	10,41	1294	0,48	1878,90	0,70	31043	11,59	9707,95	3,62	6535,05	2,44	25,83%	17,39%
Junio	14,03	36365,76	29139	11,24	1336	0,52	1818,29	0,70	32293	12,46	7226,76	2,79	4072,47	1,57	19,87%	11,20%
Julio	14,03	37577,95	27673	10,33	1236	0,46	1878,90	0,70	30788	11,49	9904,95	3,70	6790,05	2,54	26,36%	18,07%
Agosto	14,03	37577,95	27449	10,25	1320	0,49	1878,90	0,70	30648	11,44	10128,95	3,78	6930,05	2,59	26,95%	18,44%
Septiembre	14,03	36365,76	27820	10,73	1278	0,49	1818,29	0,70	30916	11,93	8545,76	3,30	5449,47	2,10	23,50%	14,99%
Octubre	14,03	37577,95	26180	9,77	1446	0,54	1878,90	0,70	29505	11,02	11397,95	4,26	8073,05	3,01	30,33%	21,48%
Noviembre	14,03	36365,76	27742	10,70	1152	0,44	1818,29	0,70	30712	11,85	8623,76	3,33	5653,47	2,18	23,71%	15,55%
Diciembre	14,03	37577,95	29853	11,15	1614	0,60	1878,90	0,70	33346	12,45	7724,95	2,88	4232,05	1,58	20,56%	11,26%
Total 2021	168,36	442450,08	334599	127,39	16182	6,16	22122,50	8,42	372904	141,97	107851,08	40,97	69546,58	26,39	24,34%	15,68%
Promedios	14,03	36870,84	27883,25	10,62	1349	0,51	1843,54	0,70	31075,29	11,83	8987,59	3,41	5795,55	2,20	24,34%	15,68%

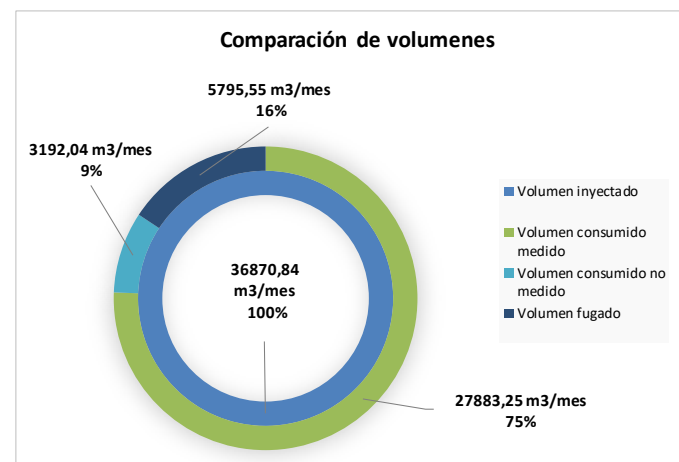
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

	Q (l/s)	Mensual		Anual	
		l/s	m3/mes	l/s	m3/mes
Caudal Inyectado	Q (l/s)	14,03	36870,84	168,36	442450,08
Caudal registrado	Qr (l/s)	10,62	27883,25	127,39	334599
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	3,41	8987,59	40,97	107851,08
Caudal incontrolado consumido no registrado	Qic (l/s)	1,22	3192,04	14,58	38304,50
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	2,20	5795,55	26,39	69546,58

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS

Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	75,62%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	84,28%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	89,73%

Calificación: **BUENO**



Anexo 6. Resultados de las visitas de campo para reconocer los procesos de operación y mantenimiento de fugas

Red	Tipo de fuga	Descripción	Causa	Tiempo de reparación	Tipo de mantenimiento	Proceso de reparación
Maldonado	Fuga en tubería PVC	Rotura en la tubería de distribución 63 mm	Tubería reutilizada	3 horas	correctivo	Cambio del tramo de tubería
Maldonado	Fuga en acometida domiciliaria	Rotura en la acometida domiciliaria	Tubería antigua de polietileno	2 horas	correctivo	Corte de la acometida
Maldonado	Fuga en acometida domiciliaria	Rotura en la acometida domiciliaria	Tubería antigua de polietileno	2 horas	correctivo	Corte de la acometida
Veranillo	Fuga en acometida domiciliaria	Rotura en la acometida domiciliaria	Tubería antigua de polietileno	2 horas	correctivo	Corte de la acometida
Veranillo	Fuga en tubería PVC	Rotura en la tubería de distribución de 250 mm	Trabajos particulares	5 horas	correctivo	Cambio del tramo de tubería
Piscín	Fuga en tubería PVC	Rotura en la tubería de distribución 63 mm	Tubería reutilizada	4 horas	correctivo	Cambio del tramo de tubería
Piscín	Fuga en tubería AC	Rotura en la tubería de asbesto cemento	Tubería de la red antigua	3 horas	correctivo	Taponamiento de la tubería
Piscín	Fuga en tubería PVC	Rotura en la tubería de distribución 63 mm	Tubería reutilizada	3 horas	correctivo	Cambio del tramo de tubería
Maldonado	Fuga en tubería PVC	Rotura en la tubería de distribución 110 mm	Trabajos particulares	3 horas	correctivo	Cambio del tramo de tubería
Maldonado	Fuga en tubería PVC	Rotura en la tubería de distribución 63 mm	Tubería reutilizada	3 horas	correctivo	Cambio del tramo de tubería
Maldonado	Fuga en tubería AC	Rotura en la tubería de asbesto cemento	Tubería de la red antigua	4 horas	correctivo	Taponamiento de la tubería

Anexo 7. Visitas de campo para reconocer los procesos de operación y mantenimiento de fugas



