



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Título del Proyecto

“Incidencia de fugas en redes de abastecimiento de agua potable en el cantón Tisaleo de la provincia de Tungurahua”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Orna Gamboa Karen Pamela
Zumba Pila Cristian Paul

Tutor:

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez, MSc.

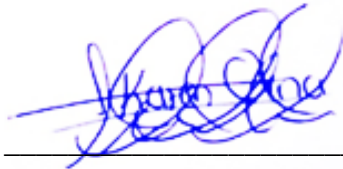
Riobamba, Ecuador, 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

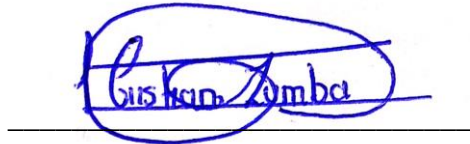
Nosotros, Orna Gamboa Karen Pamela con cédula de ciudadanía 1803990736, y Zumba Pila Cristian Paul con cédula de ciudadanía 0550667703, autores del trabajo de investigación titulado: Incidencia de fugas en redes de abastecimiento de agua potable en el cantón Tisaleo de la provincia de Tungurahua, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos 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 nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 17 días del mes de mayo de 2023.



Orna Gamboa Karen Pamela
C.I: 1803990736



Zumba Pila Cristian Paul
C.I: 0550667703

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez, MSc.** catedrática adscrita a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **INCIDENCIA DE FUGAS EN REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN TISALEO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**, bajo la autoría de Karen Pamela Orna Gamboa y Cristian Paul Zumba Pila; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 17 días del mes de mayo de 2023.



Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez, MSc.

C.I: 0604004945

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 REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN TISALEO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**” presentado por **Orna Gamboa Karen Pamela** con cédula de ciudadanía **1803990736**, y **Zumba Pila Cristian Paul** con cédula de ciudadanía **0550667703**, bajo la tutoría de la Ing./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 a los 17 días del mes de mayo de 2023.

Ing./Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Firma

Ing./Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Firma

Ing./Mgs. Dennys Gregorio Sarango Ochoa
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE
GRADO**



Firma

CERTIFICADO ANTI PLAGIO



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **KAREN PAMELA ORNA GAMBOA** con CC: **1803990736** y **CRISTIAN PAUL ZUMBA PILA** con CC: **0550667703**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL** Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**INCIDENCIA DE FUGAS EN REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN TISALEO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**", cumple con el **3 %**, 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, 17 de mayo de 2023

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez, MSc.

TUTOR

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a toda mi familia y a Dios por ponerlos en mi camino, a mi Sr. padre Segundo Manuel Zumba Baldías y a mi Sra. madre: Blanca Alicia Pila Ante, por ser los principales cimientos para la construcción de mi vida profesional, sentando en mi las bases de responsabilidad y deseos de superación, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, por sus consejos y cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida, por tener excelentes momentos compartidos tanto en mi preparación profesional como en lo familiar y como no por ser ese aliento que me motivan a seguir cosechando grandes éxitos día a día.

Así mismo a mis hermanas: Margoth Zumba Pila y Alexandra Zumba Pila, por todos aquellos momentos bonitos y divertidos que pasamos a lo largo de todo este proceso, por el amor que me han ofrecido y la calidez de la familia a la cual amo.

Finalmente lo dedico a la persona que más quise, en particular a mi Tía: Sonia Margoth Pila Ante, quien ya no está presente en este mundo, pero me enseñó a batallar ante las adversidades que se presenten a lo largo de mi vida, por todo lo mencionado solo me queda decir que a todos los llevaré grabados para siempre en la memoria de mi futuro profesional.

Cristian Paul Zumba Pila

DEDICATORIA

El resultado del presente trabajo titulación lo dedico con todo mi corazón y estima principalmente a Dios quien me ha dado fortaleza y ha sido mi guía para llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y demostrarme su apoyo incondicional sin importan nuestras diferencias de opinión. A mi padre que, a pesar de nuestra distancia física, siempre ha tenido las palabras correctas de aliento para no rendirme en el camino. A mi abuelita Blanca, quien ha sido como una madre para mí, desde mi niñez, me ha enseñado a ser quien soy y cómo afrontar las adversidades de la vida. A mi hermano mayor, por ser el mejor ejemplo que Dios me pudo dar, sentó en mí las bases de responsabilidad y deseo de superación, en el tengo el espejo en el cual me quiero reflejar, pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlo cada día más. A mi hermano menor, quien ha sido mi cómplice y me siento afortunada de tenerlo.

A mis amigos Angelito y Ximena quienes de una u otra manera son participes de este logro, por formar parte de los buenos y malos momentos a lo largo de mi carrera universitaria.

Finalmente lo dedico a mi amuleto de la buena suerte, mi compañera fiel durante todas las noches de desvelo, que nada más bastaba verla dormida para no sentirme sola y estudiar a gusto, mi Dalilita.

Karen Pamela Orna Gamboa

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento a toda la familia, en especial a nuestros padres, por estar siempre pendientes y ser los promotores de nuestros sueños, por cada día confiar y creer en nosotros y en nuestras expectativas, cabe recalcar que este trabajo es también fruto del reconocimiento y el apoyo incondicional que nos han dado durante este tiempo, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

En segundo lugar, agradecemos de todo corazón a nuestra tutora de Tesis MsC. María Gabriela Zuñiga Rodríguez, por la dedicación y apoyo que nos ha brindado al desarrollo de este trabajo de investigación, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas.

Asimismo, agradecemos al Ing. Marco Ordoñez coordinador de la carrera de Mantenimiento Industrial, quien nos facilitó el caudalímetro ultrasónico, equipo fundamental para la medición de caudales, obteniendo datos esenciales e importantes para el correcto desarrollo del presente trabajo.

De igual forma damos el agradecimiento inmenso a la Universidad Nacional de Chimborazo por permitir formarnos en sus instalaciones y a todos los docentes de la notable carrera de Ingeniería Civil, quienes nos dedicaron tiempo para poder transmitir sus conocimientos y experiencias durante todo este proceso de formación profesional, además por la confianza ofrecida desde que llegamos a esta facultad.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tisaleo que, a través del departamento de Agua Potable a cargo del Ing. Santiago Guamán Quispe, nos supieron brindar su atención y nos facilitaron información valiosa para el avance del presente trabajo de investigación.

Solo nos queda decirles a todos, muchas gracias.

Cristian P. Zumba P. & Karen P. Orna G.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	1
DERECHOS DE AUTORÍA.....	2
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	3
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	4
CERTIFICADO ANTI PLAGIO.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
1.CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Zona de estudio.....	15
1.2 Antecedentes de la investigación.....	20
1.3 Planteamiento del Problema.....	20
1.4 Justificación.....	21
1.5 Objetivos.....	21
1.5.1 General.....	21
1.5.2 Específicos.....	21
2.CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Conceptos generales.....	22
2.1.1 Agua potable.....	22
2.1.2 Captación.....	22
2.1.3 Conducción.....	22
2.1.4 Red de distribución.....	22
2.1.5 Fugas de agua.....	23
2.1.6 Impacto de las fugas de agua.....	23
2.1.7 Clasificación de fugas.....	23
2.1.8 Balance hídrico.....	24
2.1.9 Rango de desempeño.....	25
2.2 Estado del arte.....	26
3.CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	28

3.1	Tipo y diseño de Investigación	28
3.2	Técnicas de recolección de Datos	28
3.3	Población de estudio y tamaño de muestra	28
3.4	Procesamiento y análisis de datos.....	29
3.4.1	Balance hídrico.....	29
3.4.2	Rendimientos hídricos porcentuales	36
3.5	Proceso de obtención de reporte de fugas.....	37
3.6	Recopilación de información en campo.....	37
3.7	Digitación de resultados.....	38
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1	Resultados del balance hídrico técnico general por año.	39
4.2	Resultados del balance hídrico técnico general por redes.	46
4.3	Resultado del rendimiento volumétrico	50
4.4	Resultado del historial de fugas	54
4.4.1	Fugas atendidas por años.	54
4.4.2	Fugas atendidas por sectores.....	55
4.4.3	Comparativo entre el historial de fugas solventadas y porcentaje de agua fugada por años.....	56
4.4.4	Comparativo entre el historial de fugas y el rendimiento volumétrico porcentual por años.....	56
4.5	Resultado del proceso de operación y mantenimiento de fugas	57
4.6	Planteamiento de la propuesta	61
4.7	Discusión.....	62
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones	63
	BIBLIOGRAFÍA	65
	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de captaciones superficiales en el cantón Tisaleo.....	18
Tabla 2. Cuadro de tiempo en segundos	18
Tabla 3. Costo tarifario del agua potable y alcantarillado	19
Tabla 4. Rangos de desempeño a prestadores de servicio	25
Tabla 5. Caudales inyectados en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022	30
Tabla 6. Caudales registrados en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022.....	32
Tabla 7. Caudales incontrolados en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022... 33	
Tabla 8. Caudales incontrolados consumidos en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022	34
Tabla 9. Caudales incontrolados consumidos en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022	35
Tabla 10 Rangos de eficiencia del sistema	37
Tabla 11. Balance hídrico general - Tisaleo 2018 - 2022	39
Tabla 12. Resumen balance hídrico técnico	39
Tabla 13. Resultados anuales del caudal incontrolado y fugado	41
Tabla 14. Índice de agua no contabilizada por año.....	42
Tabla 15. Índice de agua fugada	43
Tabla 16. Costo por volumen diario, mensual y anual.	44
Tabla 17. Costo por volumen diario, mensual y anual.	45
Tabla 18. Balance hídrico por red de distribución.....	47
Tabla 19. Rango de desempeño de las redes.....	50
Tabla 20. Eficiencia hídrica de abastecimiento de agua potable del cantón Tisaleo 2018-2022	50
Tabla 21. Eficiencia hídrica de abastecimiento de agua potable por red - Tisaleo 2018-2022	51
Tabla 22. Resultado de la ficha técnica empleada en campo.....	58
Tabla 23. Resultado de la encuesta técnica empleada a los trabajadores.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio del cantón Tisaleo	15
Figura 2. Captaciones superficiales del cantón Tisaleo.....	16
Figura 3. Cantidad de fugas reportadas por red de abastecimiento 2018-2022.....	17
Figura 4. Escuchando las fugas empleando el método acústico.....	24
Figura 5. Terminología estándar para el balance hídrico de acuerdo a la IWA	24
Figura 6. Balance hídrico de un sistema de distribución de agua.....	25
Figura 7. Equipo de medición de flujo ultrasónico.....	31
Figura 8. Caudal promedio incontrolado 2018-2022.....	40
Figura 9. Comparativo de promedios de caudales incontrolados Qic y Qif 2018-2022	41
Figura 10. Índice de agua no contabilizada 2018- 2022.....	42
Figura 11 Índice de agua fugada 2018- 2022	43
Figura 12. Costo de agua fugada a diario 2018- 2022.....	44
Figura 13. Índice de agua incontrolada y fugada por red 2018- 2022.....	48
Figura 14. Porcentaje de agua no contabilizada en Tisaleo.....	49
Figura 15. Rendimientos globales por cada red de distribución - 2018- 2022.....	52
Figura 16. Porcentaje de rendimiento global de las redes de distribución	53
Figura 17. Historial de fugas atendidas por años - Tisaleo 2018- agosto 2022.....	54
Figura 18. Fugas atendidas por sectores- Tisaleo 2018- agosto 2022	55
Figura 19. Fugas solventadas vs % de agua fugada - Tisaleo 2018- agosto 2022..	56
Figura 20. Fugas atendidas vs rendimiento volumétrico- 2018- agosto 2022.....	57
Figura 21. Etapas para la reparación de un problema de fuga.....	59

RESUMEN

A nivel nacional se estima un volumen de agua no contabilizada del 48.4%, valor correspondiente a la pérdida de agua que sale de las redes de distribución hasta llegar a los hogares para su respectivo consumo y facturación (ARCA, 2021). Como uno de los objetivos planteados en esta investigación se pretende analizar este indicador, haciendo énfasis en la cantidad de agua fugada en el cantón Tisaleo, determinando su influencia en las redes de distribución, así como sus causas. Se aplica una metodología mixta, de tipo cualitativo y cuantitativo. La investigación se basa en la recopilación de datos facilitados por el municipio, encuestas aplicadas a los operadores de sistema, ficha técnica de operación y mantenimiento y el cálculo del balance hídrico propuesto por Cabrera (1999). El balance hídrico técnico ayudará a determinar el nivel de agua no contabilizada y fugada en cada una de las redes como también el rendimiento hídrico porcentual que se tiene de cada una de ellas. Como resultado se obtuvo que el porcentaje de agua no contabilizada en todo el cantón es del 35,88% del cual el 30.88% corresponde a fugas, alcanzando, un calificativo de “medio” según el ARCA. De las inspecciones realizadas en campo se verificó la eficiencia con la que se trabaja ante el comunicado de los usuarios del sistema por fugas suscitadas en la red de distribución y por último se plantea una propuesta de mejora para reducir los volúmenes de pérdidas de agua y mejorar el rendimiento de las redes.

Palabras claves: agua potable, fugas, redes de distribución, caudales, balance hídrico.

ABSTRACT

At the national level, the volume of unaccounted-for water is estimated at 48.4%, which corresponds to the loss of water that leaves the distribution networks until it reaches households for their respective consumption and billing (ARCA, 2021). One of the objectives of this research is to analyze this indicator, emphasizing the amount of water leakage in the canton of Tisaleo, determining its influence on the distribution networks, as well as its causes. A mixed qualitative and quantitative methodology is applied. The research is based on the collection of data provided by the municipality, surveys applied to system operators, technical operation and maintenance sheet and the calculation of the water balance proposed by Cabrera (1999). The technical water balance will help determine the level of unaccounted-for and leakage water in each of the networks as well as the percentage water yield of each network. As a result, the percentage of unaccounted-for water in the entire canton is 35.88%, of which 30.88% corresponds to leaks, reaching a qualification of "medium" according to the ARCA. From the inspections carried out in the field, the efficiency with which the system is working was verified in view of the report from the users of the system due to leaks in the distribution network and, finally, a proposal for improvement was made to reduce the volume of water losses and improve the performance of the networks.

Key words: drinking water, leaks, distribution networks, flow rates, water balance.



Reviewed by:

Lic. Sandra Abarca Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0601921505

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Zona de estudio

Tisaleo, cantón perteneciente a la provincia de Tungurahua, cuenta con una superficie de 60 km², limitando en el norte con el cantón Ambato y en el sur oriente con los cantones Mocha y Cevallos. Su división en parroquias comprende la matriz que es Tisaleo y Quinchicoto como parroquia rural. (GAD TISALEO, 2022)

Figura 1.

Zona de estudio del cantón Tisaleo



Fuente: (CONSORCIO P&AL TISALEO, 2016)

Elaborado por: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Su población abarca un rango de 12137 habitantes según último censo del año 2010, representando el 2.4% de su provincia. En el área rural su principal fuente económica es la agricultura. Los hogares se encuentran conformados por gente joven y con un promedio de 7 personas por familia. (INEC, 2010)

En el registro constitucional del Ecuador, publicado el 20 de octubre del año 2008, en sus artículos 13, 313 y 318 establece al agua como patrimonio nacional estratégico, de

dominio público y duradero. Uso de vital importancia tanto para la naturaleza y los seres que en ella habitan. Por otra parte, se destina al Estado como ente regulador de este servicio, encargado de administrar, controlar y regular el acceso al agua a sus habitantes. (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2018)

A nivel cantonal la cobertura por servicio de agua potable es del 66.96%, solventada por vertientes y ríos provenientes del volcán Carihuayrazo. Luego de ser conducida a los 14 tanques de reserva y haber tenido su proceso de desinfección, es distribuida a las 19 redes del cantón para su posterior consumo. (ver figura 2)

Actualmente no existe referencia alguna de la vida útil de las redes. Las redes desprendidas de los tanques de almacenamiento se dirigen hacia el norte en forma descendente de acuerdo a la topografía lo que ocasiona que la presión en las partes más bajas de las redes aumente incrementando el riesgo de fugas debido a las sobrepresiones.

Según el GAD la existencia de conexiones clandestinas influye a que se dé un alto porcentaje en pérdida de agua. Por otra parte, las tuberías de ciertos sectores tienen un mayor diámetro lo cual disminuye las pérdidas de carga produciendo más sobrepresiones.

Las redes de distribución están divididas por sectores. En el GAD de Tisaleo no existen planos de las redes. En este estudio se empleó las letras del alfabeto en cada uno de los tanques y se destinó una numeración a cada sistema de distribución así: H2. H le identifica al tanque de almacenamiento y el número a la red 2 que sale de ese tanque (Figura 3).

Tisaleo no cuenta con captaciones subterráneas, solo dispone de captaciones superficiales, tales como: 1) Cocha Elada, 2) Cielo Abierto, 3) Minas de Molina; y, 4) Chaparral. El ramal denominado Chaparral en específico es captado de forma individual, su proceso de conducción es directamente hacia la planta de cloración, omitiendo las plantas de tratamiento, sedimentación y pre filtro.

Figura 2.

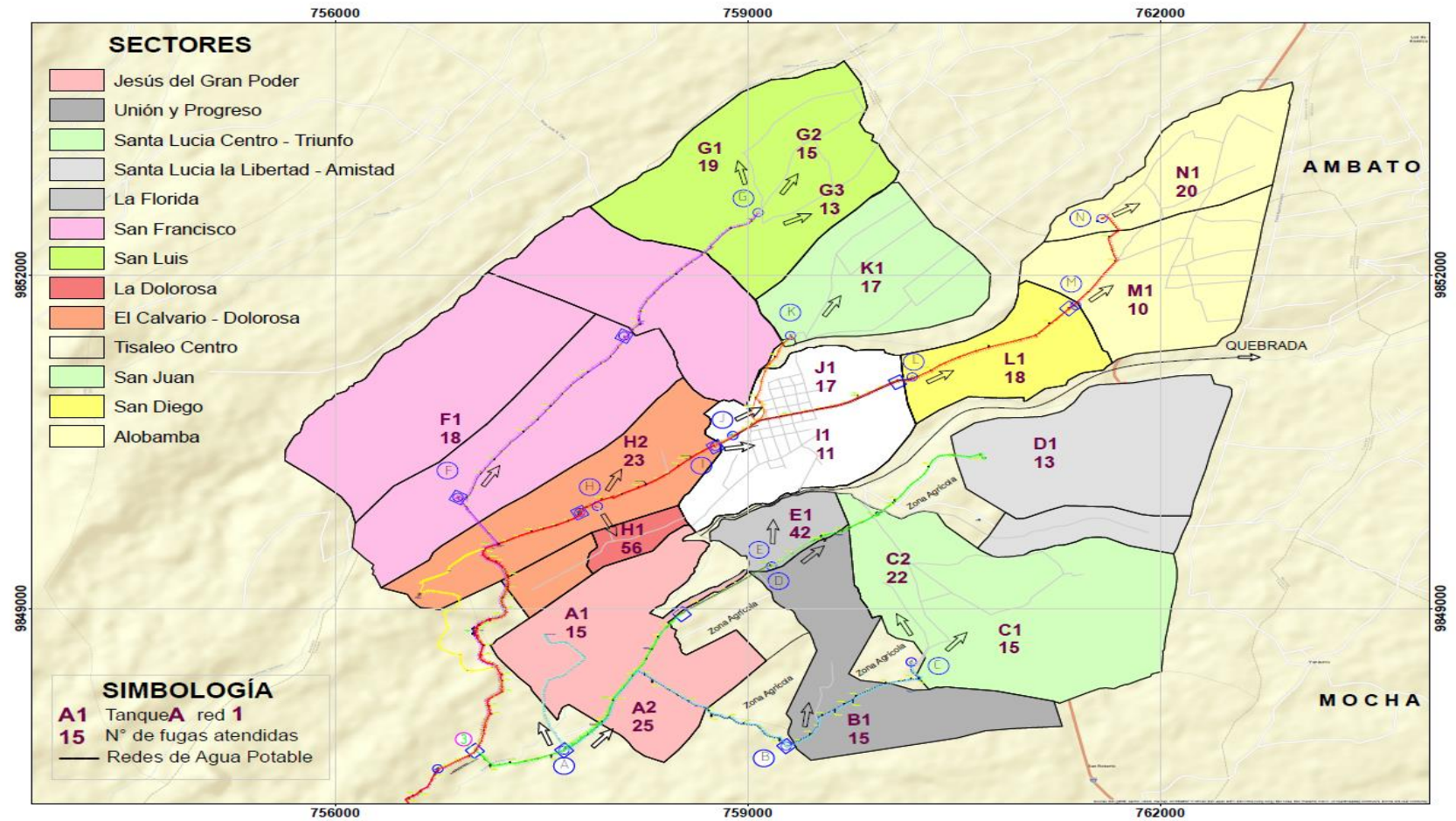
Captaciones superficiales del cantón Tisaleo



Fuente: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Figura 3.

Cantidad de fugas reportadas por red de abastecimiento 2018-2022



Fuente: (CONSORCIO P&AL TISALEO, 2016)

Elaborado por: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

La siguiente tabla muestra la determinación de caudales en litros por segundo, medidos en campo el 14 de octubre del año 2022 por medio de un aforo volumétrico

Tabla 1.

Cuadro de captaciones superficiales en el cantón Tisaleo

CAUDALES CAPTACIONES (SUPERFICIALES)			
CHAPARRAL	COCHA ELADA	CIELO ABIERTO	MINAS DE MOLINA
l/s	l/s	l/s	l/s
6,41	6,41	6,97	7,87

Fuente: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

No se conoce con certeza a cuáles tanques de almacenamiento (14) abastece cada una de estas 4 captaciones. Si se conoce las redes (19) que salen de cada tanque.

La fórmula a emplear para el cálculo es:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q: caudal (l/s)

V: volumen (litros)

T: tiempo (en segundos)

Tabla 2.

Cuadro de tiempo en segundos

TIEMPOS (S)			
CHAPARRAL	COCHA ELADA	CIELO ABIERTO	MINAS DE MOLINA
3,02	3,39	2,97	2,54
3,71	3,09	2,94	2,60
2,75	2,82	2,94	2,49
2,99	3,19	2,62	
3,12	3,12	2,87	2,54

Nota: Gestión realizada en campo mediante el método volumétrico por balde, con capacidad de 20 litros, en una toma de tiempo de a 3 a 5 veces para mayor precisión.

Fuente: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Las tarifas por el servicio de agua potable están divididas en: categoría doméstica, comercial, industrial o pública, tal como se muestra en la tabla 3. (Registro Oficial Cantón Tisaleo, 2018)

Tabla 3.

Costo tarifario del agua potable y alcantarillado

CATEGORIA DOMESTICA O RESIDENCIAL		
Consumo Mensual (m3)	Tarifa Básica (USDS)	Tarifa Adicional por (m3) en exceso
00-10	3,70	0,00
11-20		0,40
21-30		0,44
31-40		0,50
41-50		0,58
51 en adelante		0,68
CATEGORIA COMERCIAL		
Consumo Mensual (m3)	Tarifa Básica (USDS)	Tarifa Adicional por (m3) en exceso
00-10	7,40	0,00
11-20		0,77
21-30		0,81
31-40		0,87
41-50		0,95
51 en adelante		1,05
CATEGORIA INDUSTRIAL		
Consumo Mensual (m3)	Tarifa Básica (USDS)	Tarifa Adicional por (m3) en exceso
00-10	14,80	0,00
11-20		1,51
21-30		1,55
31-40		1,61
41-50		1,69
51 en adelante		1,79
CATEGORIA OFICIAL		
Consumo Mensual (m3)	Tarifa Básica (USDS)	Tarifa Adicional por (m3) en exceso
00-10	1,85	0,00
11-20		0,22
21-30		0,26
31-40		0,32
41-50		0,40
51 en adelante		0,50

Fuente: Unidad de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Tisaleo.

Elaborado por: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

1.2 Antecedentes de la investigación

A pesar de que se cuenta con un sistema de agua potable viable, las pérdidas en fugas siempre van a estar presentes, pero es responsabilidad de la entidad competente hacer que este desgaste sea mínimo (Campaña & Ortega , 2016).

Según el ARCA (2021) en el último boletín estadístico de agua potable y saneamiento menciona que el 78.8% de la población cuenta con el servicio de agua potable en el país, con una disponibilidad del servicio sin cortes del 91.01%. Es decir, se cuenta con el servicio en un promedio de 22 horas al día, a un costo intermedio de 0.94 dólares por metro cúbico. Por agua no contabilizada en el país se tiene un porcentaje del 48.4% el cual se obtuvo de las medidas de volumen de agua destinada a la red y volumen total facturado. (ARCA, 2021)

A nivel de provincia, Tungurahua, cuenta con un nivel de respuesta ante problemas reportados por usuarios del 99.68% y con una continuidad del servicio del 91.03% en la región. El costo promedio por metro cúbico de agua es de 0.94 dólares, con una pérdida en fugas del 48.55% siendo San Pedro de Pelileo y Santiago de Píllaro los sectores con mayor problema. (ARCA, 2021)

Tisaleo se encuentra como uno de los cantones con desempeño medio en cuanto a la gestión realizada por el GAD. En lo que respecta a la continuidad del servicio, la disponibilidad reflejada es de un 98%. Su costo por metro cúbico es de \$1.32 siendo este el valor más alto a manejar dentro de la provincia y en cuanto a pérdidas por agua no contabilizada el 29.43% (ARCA, 2021).

1.3 Planteamiento del Problema

A pesar de que los caudales existentes en la zona satisfacen más de la mitad de demanda actual del servicio, existe una brecha de inconformidad por parte de los usuarios con respecto al servicio de agua potable recibido. Los comerciantes indican que los daños en las tuberías internas terminan ocasionando malestar en los consumidores por charcos de agua suscitados en el sector.

De acuerdo a los autores Achache & Gómez (2022) estas falencias podrían derivarse en la utilización de materiales de baja calidad, avería de tuberías antiguas que se encuentran a falta de mantenimiento, el deterioro de la infraestructura, falta de compromiso por parte de las empresas contratadas, falta de supervisión en la obra o presiones elevadas en la red de distribución.

Es por lo que ante la presente problemática surge la siguiente interrogante ¿Cuáles son los sectores que presentan mayor cantidad en pérdidas y fugas de agua en redes de distribución del cantón Tisaleo y cómo se podría dar solución a las mismas? Una vez obtenido los resultados se pretende aportar con estrategias de ayuda, encaminadas a brindar una mejoría en el cantón.

1.4 Justificación

¿Cuán importante es tener en cuenta la dotación del servicio brindado a la población tanto en calidad como en cantidad?, es por eso que el presente estudio ayudará a determinar el estado actual en el que se encuentra la red de distribución del cantón Tisaleo.

Los resultados que se obtengan previo a la ejecución de los objetivos planteados, como los sectores más afectados por fugas, permitirá plantear soluciones de mejora a beneficio del cantón y a la entidad competente. Si se gestiona adecuadamente estas fugas representarán un ahorro económico el cual podría ser usado para otros fines. Estas acciones de mejora estarían encaminadas a contrarrestar el volumen existente por pérdidas y evitar a futuro nuevas fugas de agua, siendo su beneficio visible, a corto y largo plazo.

Por último, se puede mencionar que este estudio aportará teóricamente a investigaciones futuras, ya sea de la misma universidad o entidades que manejen líneas de investigación enfocadas a mitigar este tipo de hallazgos.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Analizar el suceso de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Tisaleo de la provincia de Tungurahua.

1.5.2 Específicos

- Recolectar datos de volúmenes inyectados y consumos históricos del sistema de abastecimiento de agua potable del año 2018 hasta el 2022.
- Identificar los sectores de distribución de la red y realizar un balance hídrico para determinar cuantitativamente la cantidad de agua potable fugada.
- Reconocer las zonas donde existe la mayor cantidad de fugas de agua en la matriz del cantón Tisaleo e identificarlas en un sistema de información geográfica.
- Mencionar en base a los resultados obtenidos sus posibles causas y plantear soluciones de mejora a la misma.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Agua potable

El agua es considerada potable cuando es idónea para el consumo humano y no presenta riesgo alguno para la salud, para ello se debe tener en cuenta características principales como: olor, color o sabor extraño (Alcora, 2022).

Según Yaule Chaglla (2011) el agua potable para ser considerada apta para el consumo humano previamente debe pasar por una serie de procedimientos, en el cual no debe contener organismos que puedan provocar enfermedades o daños perjudiciales para la salud.

2.1.2 Captación

Por medio de la captación se da la recolección y depósito de agua según su fuente, la cual después de pasar por un previo proceso de tratamiento, es distribuida a la población para su posterior consumo.

De acuerdo con el autor Moreta Capuz (2022) la captación puede darse a través de las siguientes fuentes:

- **Aguas superficiales:** que están por encima de la superficie del planeta como ríos, arroyos o lagos.
- **Aguas subterráneas:** que están por debajo de la tierra y es necesario realizar una excavación u orificio para su extracción. Puede darse en acuíferos o pozos profundos. Este tipo de aguas tiene una ventaja en particular a las aguas superficiales y es que al ser ocultas, no necesita más que cloro para proceder a su uso.

2.1.3 Conducción

Es el medio por el cual se traslada el agua desde la parte donde se encuentra la captación hasta los tanques de almacenamiento. Las líneas deben ser de fácil inspección por lo que deben de estar en línea paralela, caso contrario se deberá construir un camino de acceso lo que hará que se corrijan daños a futuro como averías por fuga de manera inmediata. (SIAPA, 2014)

2.1.4 Red de distribución

La tubería por donde se transporta el agua está subdividida por líneas, donde las principales se encargan de llevar el agua a los distintos distritos de la localidad

transportándolas en grandes cantidades y las secundarias donde por medio de la toma de agua en líneas principales, es llevada al consumidor. (Alvarado, 2016)

2.1.5 Fugas de agua

Son aquellas que inevitablemente no pueden ser controladas y que se deben a raíz de un daño o fisura ocasionada en la tubería, por desgaste del material utilizado o presión. En el momento en que esto ocurre, la población se ve afectada por un incremento en la factura de pago, humedad en la vía pública, baja presión en los sistemas de abastecimiento, entre otros. (Kuroda , 2022)

Las fugas grandes no necesariamente inducen a tener grandes pérdidas de agua. Una vez detectadas, tienen la ventaja de ser reparadas inmediatamente a diferencia de las fisuras pequeñas que, al no ser ubicadas con precisión, pueden perdurar años en ese estado, a menos que se haga uso de un hidrófono. (Lahlou, 2017)

2.1.6 Impacto de las fugas de agua

El Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (2011) menciona el impacto recibido por el daño de fugas de agua en el país:

- **Impacto económico:** Altos costos ante la reparación de las tuberías dañadas donde implica que se den posibles daños en la estructura ya existente.
- **Impacto técnico:** Las fugas conllevan a una reducción de cobertura para la demanda de agua tanto que puede ocasionar paralización del sistema.
- **Impacto social:** La población se vería afectada por la baja presión de agua en los hogares, sin mencionar los daños perjudiciales para la salud al estar expuestas a la infiltración de aguas residuales.
- **Impacto ecológico:** Al tratar de reponer las pérdidas de agua con un aumento en las extracciones, implica que también se dé una emisión del dióxido de carbono.

2.1.7 Clasificación de fugas

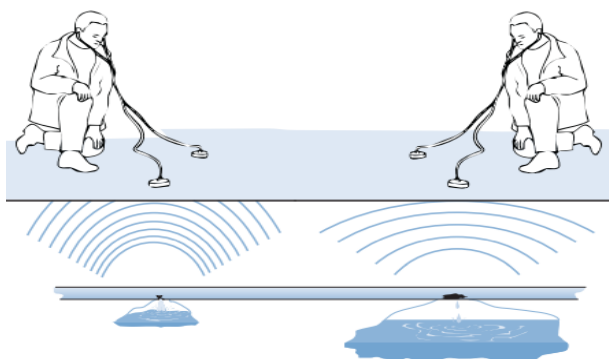
Entre las principales fugas tenemos las siguientes:

- **Fugas Visibles:** Son aquellas que aparecen por encima del pavimento y pueden ser detectada de manera rápida para su reparación.
- **Fugas No Visibles:** Se define como aquellas fugas que no son fáciles de detectar a simple vista, por lo que es necesario recurrir a uso de equipos técnicos de nueva generación.

A mayor fisura interna, menor es el ruido que se emite.

Figura 4.

Escuchando las fugas empleando el método acústico.



Fuente: (Lahlou, 2017)

2.1.8 Balance hídrico

Realizar un balance hídrico, es el inicio para la paralización de pérdidas de agua.

La Asociación Internacional del agua (IWA) en el año 2000 publicó un documento con los componentes que se deben calcular y analizar sobre un determinado periodo. Varios países y empresas de agua han hecho uso de este formulado en la actualidad y han sugerido seguir esta terminología.

Figura 5.

Terminología estándar para el balance hídrico de acuerdo a la IWA

Volumen de entrada al sistema Q1	Consumo autorizado QA	Consumo autorizado facturado QAF	Agua facturada exportada Consumo facturado medido	Agua facturada	
		Consumo autorizado no facturado QANF	Consumo facturado no medido		
	Pérdidas de agua QP	Pérdidas aparentes QPA	Consumo no facturado medido	Consumo no facturado no medido	Agua no facturada
			Consumo no autorizado	Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos	
		Pérdidas reales QPR	Fugas en las tuberías de aducción y distribución	Fugas y reboses en tanques almacenamiento	
			Fugas en conexiones de servicios hasta el punto de medidor del cliente		

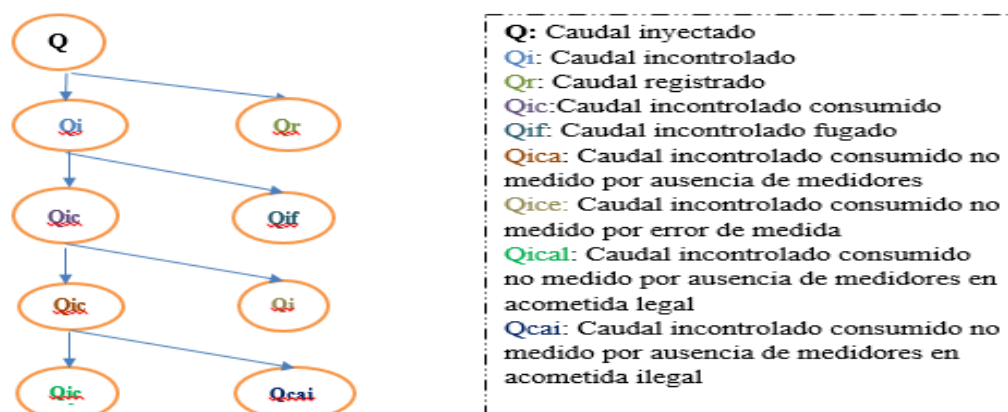
Fuente: (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania, 2011)

Cabrera (1999) en su teoría de balance hídrico, se centra específicamente en las redes de distribución; anexando las pérdidas de agua en aducciones, depósitos y plantas potabilizadoras, sugiriendo que estas se manejen por separado.

El autor plantea el siguiente esquema de balance hídrico como referencia:

Figura 6.

Balance hídrico de un sistema de distribución de agua



Fuente: (Cabrera, 1999)

2.1.9 Rango de desempeño

Es una escala de valoración empleada para medir o juzgar una determinada característica. El ARCA por su parte emplea la metodología Aquarating, donde mediante una tabla de rango por desempeño, mide el nivel de eficiencia de los prestadores de servicios.

Tabla 4.

Rangos de desempeño a prestadores de servicio

RANGO DE DESEMPEÑO	
Rango I – Alto $4.8 \% \leq \text{ANC} \leq 30\%$	En el Rango alto se encuentra aquellos que sus valores reflejan estar por debajo del 30% por lo que la gestión de servicio y estado de infraestructura son aceptables y no necesitan mayor grado de intervención.
Rango II – Medio $30 \% < \text{ANC} \leq 45\%$	En el Rango medio se encuentran aquellos prestadores que sus valores reflejan estar entre un rango de 45% y 30%. La gestión que desempeñan y nivel de infraestructura es considerado intermedio por lo que necesitan un grado de intervención moderado.
Rango III – Bajo $\text{ANC} \geq 45\%$	En el Rango bajo se encuentran aquellos que sus valores superan el 45% por lo que la gestión de servicio e infraestructura son considerados inaceptables. Aquí es necesario un grado de intervención alto como señal de emergencia.

Nota: mientras más bajo sea el valor del indicador de agua no contabilizada (ANC), mejor es el nivel de eficiencia de los prestadores de servicio público.

Fuente: (ARCA, 2021)

2.2 Estado del arte

La Ley de recursos hídricos y aprovechamiento del agua (2015) menciona que:

ART 8: La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua.

En este ítem se abordan investigaciones similares al tema de titulación, las cuales aportan a tener un enfoque más claro de la variable objeto de estudio, tal como plantea:

García & Benavides (2019), en su artículo titulado: “Adjustment value of water leakage index in infrastructure” donde indica que a nivel mundial existen grandes volúmenes de agua que cada día que no son contabilizadas debido a fugas. Según la Agencia de Regulación del Agua del Ecuador (ARCA) existe un 46% de líquido potable no facturado en el país, conllevando a pérdidas económicas que se convierten en competencia importante de los gobiernos autónomos descentralizados. Por esta situación considera importante tener en cuenta factores que están involucrados en el cálculo del índice de fuga estructural como: distancia de red, número de acometidas, extensión de acometidas y presión promedio, que podrían ayudar a generar modelos matemáticos para el control de fugas en redes. (García & Benavides, 2019)

Por su parte, Colchado Jiménez (2018) en su tesis titulada: “Incidencia del agua producida y no facturada en el distrito de Monsefú –Epsel S.A.”, plantea como objetivo principal identificar las causas que conllevan a tener un alto porcentaje de agua no facturada en el Distrito de Monsefú de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque de Perú (EPSEL S.A) y a su vez plantea estrategias encaminadas a resolver esta problemática. El autor expresa que, el reducir el volumen de agua no facturada influye en una mejoría en la calidad de servicio del ámbito social, como en la gestión de la entidad que está a cargo. Sugiere que cuando se realicen los trabajos de sectorización es necesario realizar un rastreo de consumo a los usuarios para determinar la dimensión de las fugas, como desperdicios y malos hábitos de consumo.

De acuerdo con lo que expresan Molina, Quesada, Calle, Ortiz, & Orellana (2018) en el artículo científico “Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca” para reducir el consumo de agua potable en la zona, proponen aplicar cuatro criterios de control, sin intención de crear afectación en la calidad de vida de los que en ella habitan. Estos métodos se basan en estrategias como el análisis del registro histórico para la detección de fugas, implementación de dispositivos ahorradores afuera de las acometidas, empleo del agua de la lluvia como uso en ciertas necesidades de los hogares, reutilización de aguas residuales etc, con el fin de obtener un ahorro de al menos el 20% en consumo.

Es pertinente analizar el estudio desarrollado por Rodríguez, Delgado, Mora, & Carreño (2022) donde abordan el tema “Localización de fugas en redes de distribución de agua mediante optimización con Harmony Search”. En su estudio señalan como consecuencia de las fugas, el desperdicio de recurso vital para el ser humano, a más de generar una gran afectación de manera física y global en los tanques de agua por lo que proponen como uso de herramienta un programa de cómputo basado en la técnica evolutiva Harmony Search, con la intención de localizar las fugas no visibles de una manera ágil y rápida, a más de mejorar la eficiencia física de las redes.

Achache y Gómez (2022) en su tesis “Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba” plantearon estrategias para reducir el 39% de agua incontrolada; su estudio se realizó mediante la aplicación de métodos cuantitativos como el análisis del balance hídrico empleado por Cabrera y cualitativos como inspecciones realizadas en el sitio. La propuesta realizada está enfocada a la gestión técnica y comercial de la empresa donde entra ellas sugerían la implementación de nueva tecnología para el monitoreo de todas sus redes; esta inversión realizada ayudaría a controlar de una manera más ágil y eficiente todas las fugas.

Por otra parte, Oleas y Jaramillo (2022) en el proyecto “Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chambo y Guano” también hicieron uso de una metodología mixta, donde comprendía en realizar un estudio en campo para la inspección, recopilación y medición de datos; y un estudio cuantitativo como la elaboración del balance hídrico. Lo último permitiría conocer el porcentaje de agua fugada, redes con mayor afectación dentro del sistema y rendimiento porcentual de las redes; los resultados reflejaron ser el 50.79% de caudal incontrolado del cantón Guano y el 75.75% del cantón Chambo. Como recomendación propusieron dar seguimiento a las redes realizando el balance hídrico por periodos definidos para en lo posterior realizar propuestas de mejora para el sistema, realizar capacitación al personal involucrado y culminar con una toma de evaluación de conocimientos; acudir al lugar del sitio donde suscite la fuga de manera rápida y eficaz para poder disminuir las pérdidas y plantear metas a corto y largo plazo con el fin de alcanzar los objetivos propuestos de mejora.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y diseño de Investigación

El enfoque presentado en esta investigación es mixto de tipo cualitativo – cuantitativo.

Cualitativa porque su búsqueda bibliográfica se empleó desde la base de datos científicos Scopus y ProQuest, disponibles en la biblioteca virtual de la Universidad Nacional de Chimborazo. Además de la información documental proporcionada por parte del municipio del cantón Tisaleo, como planos de red, informe técnico de mantenimiento, volúmenes inyectados a la red de abastecimiento y volúmenes facturados en los últimos cuatro años (planillas).

Es cuantitativa, debido a que realiza el cálculo de balances hídricos y rendimientos volumétricos que determinaron el nivel de agua fugada en el sector, adjuntando su respectivo análisis estadístico con la finalidad de mejorar la gestión del sistema de red de distribución de agua potable.

El nivel es correlacional ya que su cometido fue hallar explicaciones mediante el estudio de relación entre variables.

3.2 Técnicas de recolección de Datos

Como técnica se consideró el cuestionario realizado a 5 trabajadores pertenecientes al municipio del cantón, dicha técnica se empleó con la intención de recibir información directa por parte de los trabajadores acerca de la frecuencia con la que realizan las reparaciones de fugas, el motivo de la reparación, tipo de material usado, número de personas que intervienen y el tiempo destinado. Se empleó una ficha aplicada en campo por un lapso de 4 semanas, en días hábiles, con la intención de palpar las zonas con mayor afectación en esos días, conocer el motivo de llamado y los costos que estas reparaciones implican.

Además, se analizaron otros informes significativos relacionados con la antigüedad de fuga en años anteriores. Desde el área de gestión se obtuvieron una serie de archivos correspondiente a planos del sistema de agua potable, expedientes técnicos, cifras de volúmenes de agua inyectada, facturada, entre otros.

3.3 Población de estudio y tamaño de muestra

La población corresponde a todos los usuarios pertenecientes a las redes de distribución del cantón Tisaleo. Se tomó en cuenta la información brindada por el municipio donde indica que para diciembre del año 2021 las personas que contaban con el servicio de agua potable eran 2542 (ver tabla de anexos).

3.4 Procesamiento y análisis de datos

3.4.1 Balance hídrico

Con el fin de analizar la pérdida de agua existente en la zona, se tomó como referencia el balance hídrico propuesto por Cabrera (1999) la cual está conformada por los siguientes componentes:

Caudal inyectado “Q”: Volumen de agua inyectado en los tanques de las zonas de distribución.

Caudal registrado “Qr”: Volumen de agua registrada y facturada, que se obtiene por medio de los medidores ubicados en las afueras de los hogares de los usuarios.

Caudal incontrolado “Qi”: Volumen no medido con destino anónimo, el cual no es recaudado por parte del ente encargado.

$$Q_i = Q - Q_r \quad (2)$$

Caudal incontrolado consumido “Qic”: Volumen que es consumido, pero no registrado y por consiguiente no recaudado.

Según Cabrera (1999) para que un sistema de abastecimiento se considere bien gestionado, se admite un subcorte del 4% y 5% del volumen inyectado. En este caso se emplea un subcorte del 5% para el respectivo cálculo.

$$Q_{ic} = 0,05 * Q_r \quad (3)$$

Caudal incontrolado fugado “Qif”: Volumen de agua que se pierde producido por fugas en el sistema.

$$Q_{if} = Q - (Q_r + Q_{ic}) \quad (4)$$

Los datos fueron facilitados por el GAD municipal proporcionando los valores para el cálculo del balance hídrico correspondiente al periodo 2018-2022.

3.4.1.1 Caudal inyectado “Q”

Tabla 5.

Caudales inyectados en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022

N°	REDES	Total red l/s	Total m3 2018	Total red l/s	Total m3 2019	Total red l/s	Total m3 2020	Total red l/s	Total m3 2021	Total red l/s	Total m3 2022
1	A1	4,14	10886,23	4,14	10886,23	4,14	10916,05	4,14	10886,23	2,76	7247,54
2	A2	22,78	59877,40	22,78	59877,40	22,78	60041,45	22,78	59877,40	15,19	39863,59
3	B1	8,73	22939,29	8,73	22939,29	8,73	23002,13	8,73	22939,29	5,82	15271,91
4	C1	21,61	56799,49	21,61	56799,49	21,61	56955,10	21,61	56799,49	14,41	37814,45
5	C2	4,34	11400,26	4,34	11400,26	4,34	11431,50	4,34	11400,26	2,89	7589,76
6	D1	9,02	23715,07	9,02	23715,07	9,02	23780,04	9,02	23715,07	6,02	15788,39
7	E1	1,95	5124,60	1,95	5124,60	1,95	5138,64	1,95	5124,60	1,30	3411,72
8	F1	6,29	16531,17	6,29	16531,17	6,29	16576,46	6,29	16531,17	4,19	11005,68
9	G1	6,05	15897,30	6,05	15897,30	6,05	15940,85	6,05	15897,30	4,03	10583,68
10	G2	7,38	19400,95	7,38	19400,95	7,38	19454,10	7,38	19400,95	4,92	12916,25
11	G3	12,64	33213,72	12,64	33213,72	12,64	33304,71	12,64	33213,72	8,43	22112,14
12	H1	0,75	1971,00	0,75	1971,00	0,75	1976,40	0,75	1971,00	0,50	1312,20
13	H2	6,37	16751,92	6,37	16751,92	6,37	16797,82	6,37	16751,92	4,25	11152,65
14	I1	14,40	37843,20	14,40	37843,20	14,40	37946,88	14,40	37843,20	9,60	25194,24
15	J1	34,99	91958,98	34,99	91958,98	34,99	92210,92	34,99	91958,98	23,33	61222,00
16	K1	24,00	63072,00	24,00	63072,00	24,00	63244,80	24,00	63072,00	16,00	41990,40
17	L1	24,99	65661,11	24,99	65661,11	24,99	65841,00	24,99	65661,11	16,66	43714,11
18	M1	31,14	81835,92	31,14	81835,92	31,14	82060,13	31,14	81835,92	20,76	54482,54
19	N1	19,20	50457,60	19,20	50457,60	19,20	50595,84	19,20	50457,60	12,80	33592,32
TOTAL		260,78	685.337,20	260,78	685.337,20	260,78	687.214,83	260,78	685.337,20	173,86	456.265,59

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Para la obtención del registro de los caudales inyectados, se implementó en campo el uso del equipo de flujo ultrasónico, tomándose como referencia el valor más repetitivo. Anteriormente los operadores obtenían los volúmenes por medio de macro medidores, que eran colocados en las cajas de salida de cada uno de los tanques. Actualmente se encuentran dañados, por lo que los valores fueron tomados mediante el método de aforo volumétrico, en las captaciones y planta prefiltros.

La tabla 5 muestra una estimación del volumen inyectado a las redes de distribución en el periodo 2018 – 2022, donde se puede observar que, en el año 2020 al ser un año bisiesto, se tiene el registro más alto dentro del periodo de estudio con un aproximado de 687214,83 m³. Para el año 2018, 2019 y 2021 el volumen inyectado se asume que es constante con un total de 685337,20 m³, debido a la inexistencia de este dato para la realización del balance hídrico.

Figura 7.

Equipo de medición de flujo ultrasónico



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

3.4.1.2 Caudal registrado “Qr”

Tras la toma de registro de los micromedidores por parte del personal encargado, la facturación mensual es realizada los 20 días de cada mes. La valoración es en metros cúbicos teniendo en cuenta la categoría perteneciente de cada usuario.

La tabla 6 muestra, el total de volumen facturado por cada red de distribución en cada uno de los años. El cálculo se detalla en forma general, siendo el año 2020 el que mayor registro refleja siendo de 452998,50 m³.

Las redes que aportan mayor cantidad de agua registrada en ese año son la red M1 y la red J1, redes que en el trayecto de los años podemos observar que son las que más destacan en registro a comparación a otras.

Tabla 6.*Caudales registrados en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022*

Nº	REDES	Total m3 2018	Total red l/s	Total m3 2019	Total red l/s	Total m3 2020	Total red l/s	Total m3 2021	Total red l/s	Total m3 2022	Total red l/s
1	A1	5874,00	2,24	7042,50	2,68	7254,50	2,76	7879,00	3,00	4788,00	1,83
2	A2	31886,00	12,17	37708,50	14,37	37545,50	14,27	33266,00	12,70	23495,00	8,99
3	B1	13477,00	5,13	15163,00	5,77	15291,50	5,81	15060,00	5,74	10414,00	3,98
4	C1	32493,00	12,38	38786,50	14,76	37753,00	14,32	36237,00	13,81	25852,00	9,89
5	C2	6094,00	2,32	6907,00	2,63	6853,50	2,60	7073,00	2,70	4386,00	1,68
6	D1	10877,00	4,15	15693,00	5,97	16402,00	6,22	19237,00	7,33	11991,00	4,58
7	E1	2504,00	0,95	2629,00	1,00	2659,00	1,01	2623,00	1,00	2052,00	0,78
8	F1	9842,00	3,75	9859,50	3,75	9824,50	3,73	10384,00	3,97	6968,00	2,67
9	G1	7544,00	2,87	10191,50	3,87	10602,00	4,03	9685,00	3,70	6377,00	2,44
10	G2	11272,00	4,29	12936,00	4,92	12901,00	4,89	12707,00	4,85	8540,00	3,27
11	G3	23999,00	9,13	22246,50	8,47	22173,50	8,42	22397,00	8,54	14471,00	5,52
12	H1	418,00	0,16	628,00	0,24	680,00	0,26	883,00	0,34	855,00	0,33
13	H2	7762,00	2,96	10167,00	3,87	12604,00	4,78	9288,00	3,54	6226,00	2,38
14	I1	23620,00	8,99	29129,00	11,07	28424,50	10,78	27727,00	10,58	19426,00	7,42
15	J1	65594,00	25,00	54156,50	20,62	55879,00	21,21	51611,00	19,68	40189,00	15,34
16	K1	38210,00	14,54	45381,00	17,26	44813,50	17,00	28047,00	10,70	26288,00	10,04
17	L1	31087,00	11,87	40061,50	15,23	38031,50	14,42	51669,00	19,71	27499,00	10,50
18	M1	51512,01	19,59	63858,00	24,30	63594,00	24,13	60667,00	23,14	42878,00	16,38
19	N1	31476,00	12,00	29907,00	11,37	29712,00	11,27	27622,00	10,53	21573,00	8,25
TOTAL		405541,01	154,49	452451,00	172,15	452998,50	171,90	434062,00	165,53	304268,00	116,26

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

3.4.1.3 Caudal incontrolado (Qi)

La tabla 7 muestra el volumen de agua en m3 como pérdida al no ser facturada y sin conocimiento alguno de su destino. El año 2018 detalla mayor registro en pérdidas siendo este de 279796,19 m3.

Tabla 7.

Caudales incontrolados en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022

N°	REDES	Total m3 2018	Total red l/s	Total m3 2019	Total red l/s	Total m3 2020	Total red l/s	Total m3 2021	Total red l/s	Total m3 2022	Total red l/s
1	A1	5012,23	1,90	3.843,73	1,46	3661,55	1,39	3007,23	1,14	2459,54	0,93
2	A2	27991,40	10,62	22.168,90	8,42	22495,95	8,52	26611,40	10,08	16368,59	6,20
3	B1	9462,29	3,59	7.776,29	2,95	7.710,63	2,92	7879,29	2,99	4857,91	1,84
4	C1	24306,49	9,23	18.012,99	6,85	19202,10	7,29	20562,49	7,81	11962,45	4,52
5	C2	5306,26	2,02	4.493,26	1,71	4578,00	1,74	4327,26	1,64	3203,76	1,21
6	D1	12838,07	4,88	8.022,07	3,06	7378,04	2,80	4478,07	1,70	3797,39	1,43
7	E1	2620,60	1,00	2.495,60	0,95	2479,64	0,94	2501,60	0,95	1359,72	0,52
8	F1	6689,17	2,54	6.671,67	2,54	6751,96	2,56	6147,17	2,32	4037,68	1,53
9	G1	8353,30	3,18	5.705,80	2,17	5338,85	2,02	6212,30	2,35	4206,68	1,59
10	G2	8128,95	3,09	6.464,95	2,46	6553,10	2,49	6693,95	2,54	4376,25	1,65
11	G3	9214,72	3,51	10.967,22	4,17	11131,21	4,22	10816,72	4,10	7641,14	2,91
12	H1	1553,00	0,59	1.343,00	0,51	1296,40	0,49	1088,00	0,41	457,20	0,17
13	H2	8989,92	3,42	6.584,92	2,51	4193,82	1,59	7463,92	2,83	4926,65	1,87
14	I1	14223,20	5,41	8.714,20	3,33	9522,38	3,62	10116,20	3,82	5768,24	2,18
15	J1	26364,98	9,99	37.802,48	14,37	36331,92	13,79	40347,98	15,31	21033,00	7,99
16	K1	24862,00	9,46	17.691,00	6,74	18431,30	7,00	35025,00	13,30	15702,40	5,96
17	L1	34574,11	13,12	25.599,61	9,75	27809,50	10,56	13992,11	5,28	16215,11	6,16
18	M1	30323,91	11,55	17.977,92	6,84	18466,13	7,01	21168,92	8,00	11604,54	4,38
19	N1	18981,60	7,20	20.550,60	7,83	20883,84	7,93	22835,60	8,67	12019,32	4,55
N°	TOTAL	279.796,19	106,30	232.886,20	88,64	234.216,33	88,88	251.275,20	95,25	151.997,59	57,59

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

3.4.1.4 Caudal incontrolado consumido (Qic)

La tabla 8 expone la cantidad de agua consumida pero no facturada por el departamento de agua potable, en las 19 zonas del cantón. En el año 2020 se visualiza mayor registro siendo este de 34360,74 m³, a diferencia de los demás años donde su valor se mantuvo constante.

Tabla 8.

Caudales incontrolados consumidos en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022

N°	REDES	Total m ³ 2018	Total red l/s	Total m ³ 2019	Total red l/s	Total m ³ 2020	Total red l/s	Total m ³ 2021	Total red l/s	Total m ³ 2022	Total red l/s
1	A1	544,31	0,21	544,31	0,21	545,80	0,21	544,31	0,21	362,38	0,14
2	A2	2993,87	1,14	2.993,87	1,14	3.002,07	1,14	2.993,87	1,14	1993,18	0,76
3	B1	1146,96	0,44	1.146,96	0,44	1.150,11	0,44	1.146,96	0,44	763,60	0,29
4	C1	2839,97	1,08	2.839,97	1,08	2.847,76	1,08	2.839,97	1,08	1890,72	0,72
5	C2	570,01	0,22	570,01	0,22	571,57	0,22	570,01	0,22	379,49	0,14
6	D1	1185,75	0,45	1.185,75	0,45	1.189,00	0,45	1.185,75	0,45	789,42	0,30
7	E1	256,23	0,10	256,23	0,10	256,93	0,10	256,23	0,10	170,59	0,07
8	F1	826,56	0,31	826,56	0,31	828,82	0,31	826,56	0,31	550,28	0,21
9	G1	794,86	0,30	794,86	0,30	797,04	0,30	794,86	0,30	529,18	0,20
10	G2	970,05	0,37	970,05	0,37	972,71	0,37	970,05	0,37	645,81	0,25
11	G3	1660,69	0,63	1.660,69	0,63	1.665,24	0,63	1.660,69	0,63	1105,61	0,42
12	H1	98,55	0,04	98,55	0,04	98,82	0,04	98,55	0,04	65,61	0,03
13	H2	837,60	0,32	837,60	0,32	839,89	0,32	837,60	0,32	557,63	0,21
14	I1	1892,16	0,72	1.892,16	0,72	1.897,34	0,72	1.892,16	0,72	1259,71	0,48
15	J1	4597,95	1,75	4.597,95	1,75	4.610,55	1,75	4.597,95	1,75	3061,10	1,17
16	K1	3153,60	1,20	3.153,60	1,20	3.162,24	1,20	3.153,60	1,20	2099,52	0,80
17	L1	3283,06	1,25	3.283,06	1,25	3.292,05	1,25	3.283,06	1,25	2185,71	0,83
18	M1	4091,80	1,56	4.091,80	1,56	4.103,01	1,56	4.091,80	1,56	2724,13	1,04
19	N1	2522,88	0,96	2.522,88	0,96	2.529,79	0,96	2.522,88	0,96	1679,62	0,64
N°	TOTAL	34266,86	13,04	34.266,86	13,04	34.360,74	13,04	34.266,86	13,04	22813,28	8,69

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

3.4.1.5 Caudal incontrolado fugado (Qif)

La tabla 9 representa los valores fugados por fallas inevitables y no corregidas en el sistema. Según los registros estimados por cada red de distribución, el año 2018 es el que más pérdida refleja alcanzando un volumen de 245529,33 m3.

Tabla 9.

Caudales incontrolados consumidos en el cantón Tisaleo, en el periodo 2018-2022

N°	REDES	Total m3 2018	Total red l/s	Total m3 2019	Total red l/s	Total m3 2020	Total red l/s	Total m3 2021	Total red l/s	Total m3 2022	Total red l/s
1	A1	4.467,92	1,70	3.299,42	1,25	3.115,75	1,18	2.462,92	0,93	2.097,17	0,79
2	A2	24.997,53	9,48	19.175,03	7,28	19.493,88	7,38	23.617,53	8,94	14.375,41	5,44
3	B1	8.315,32	3,16	6.629,32	2,52	6.560,53	2,49	6.732,32	2,55	4.094,31	1,55
4	C1	21.466,52	8,15	15.173,02	5,77	16.354,35	6,21	17.722,52	6,73	10.071,73	3,80
5	C2	4.736,25	1,80	3.923,25	1,49	4.006,42	1,52	3.757,25	1,42	2.824,28	1,07
6	D1	11.652,32	4,43	6.836,32	2,61	6.189,04	2,35	3.292,32	1,25	3.007,97	1,13
7	E1	2.364,37	0,90	2.239,37	0,85	2.222,71	0,84	2.245,37	0,86	1.189,13	0,45
8	F1	5.862,61	2,23	5.845,11	2,22	5.923,14	2,24	5.320,61	2,01	3.487,40	1,32
9	G1	7.558,43	2,88	4.910,93	1,87	4.541,81	1,72	5.417,43	2,05	3.677,50	1,39
10	G2	7.158,90	2,72	5.494,90	2,09	5.580,40	2,12	5.723,90	2,17	3.730,43	1,41
11	G3	7.554,03	2,87	9.306,53	3,54	9.465,98	3,59	9.156,03	3,46	6.535,54	2,49
12	H1	1.454,45	0,55	1.244,45	0,47	1.197,58	0,45	989,45	0,38	391,59	0,15
13	H2	8.152,33	3,10	5.747,33	2,19	3.353,92	1,27	6.626,33	2,51	4.369,02	1,66
14	I1	12.331,04	4,69	6.822,04	2,61	7.625,04	2,90	8.224,04	3,10	4.508,53	1,70
15	J1	21.767,03	8,24	33.204,53	12,63	31.721,37	12,04	35.750,03	13,56	17.971,90	6,82
16	K1	21.708,40	8,26	14.537,40	5,54	15.269,05	5,80	31.871,40	12,10	13.602,88	5,16
17	L1	31.291,05	11,87	22.316,55	8,50	24.517,45	9,32	10.709,05	4,03	14.029,40	5,33
18	M1	26.232,11	9,99	13.886,12	5,29	14.363,12	5,46	17.077,12	6,44	8.880,42	3,34
19	N1	16.458,72	6,24	18.027,72	6,87	18.354,05	6,97	20.312,72	7,71	10.339,70	3,91
N°	TOTAL	245.529,33	93,26	198.619,34	75,60	199.855,59	75,84	217.008,34	82,21	129.184,31	48,90

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

3.4.2 Rendimientos hídricos porcentuales

Según Cabrera (1999) para determinar la eficiencia hídrica de un sistema de agua es necesario obtener el porcentaje de los rendimientos volumétricos, por lo que propone emplear las siguientes ecuaciones:

Rendimiento global del sistema: comprende la relación entre, el volumen registrado y el volumen del caudal inyectado.

$$n_s = \frac{Q_r}{Q} \quad (5)$$

Donde:

n_s = Rendimiento global del sistema

Q_r = Caudal registrado

Q = Caudal inyectado

Rendimiento de la red: se determina a través del caudal consumido y el caudal inyectado.

$$n_r = \frac{Q_s}{Q} = \frac{Q_r + Q_{ic}}{Q} \quad (6)$$

Donde:

n_r = Rendimiento de la red

Q_r = Caudal registrado

Q_{ic} = Caudal incontrolado

Q = Caudal inyectado

Caudal suministrado: se determina a través del caudal registrado y el caudal incontrolado.

$$Q_s = Q_r + Q_{ic} \quad (7)$$

Donde:

Q_s = Caudal suministrado

Q_r = Caudal registrado

Q_{ic} =Caudal incontrolado

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del rendimiento global del sistema y del rendimiento por cada una de las redes, la calificación se puede otorgar según el rango al que pertenezca de la siguiente tabla.

Tabla 10

Rangos de eficiencia del sistema

RANGO	CALIFICACIÓN
$n_s > 0.9$	Excelente
$0.8 < n_s < 0.9$	Muy bueno
$0.7 < n_s < 0.8$	Bueno
$0.6 < n_s < 0.7$	Regular
$0.5 < n_s < 0.6$	Malo
$0.5 < n_s$	Inaceptable

Fuente: (Cabrera, 1999)

3.5 Proceso de obtención de reporte de fugas

Se tomó en cuenta información confiable y verídica como las publicaciones emitidas en la página oficial del GAD Municipal de Tisaleo.

Esta página a diario, pauta comunicados de alerta que conllevan a informar a la ciudadanía, sobre las incidencias ocasionadas por daños o suspensión del servicio, haciendo un claro énfasis en el sector afectado y de ser el caso, el horario de interrupción.

Como parte de este estudio, se recopiló valiosa información publicada desde el año 2018 al 2022 concerniente a fugas con mayor índole.

3.6 Recopilación de información en campo

Por medio de las visitas realizadas en la zona de estudio, se pudo observar el proceso de operación y mantenimiento que se lleva a cabo para la identificación y reparación de fugas.

Para ello, en días hábiles se empleó una ficha técnica aplicada en un lapso de un mes, en horario laboral 8:00 am 16:30 pm con datos a solicitar del lugar, fecha, red, tipo de reparación y causas, para recopilar información de los problemas más habituales suscitados en las redes. Además, a través de ello, podemos analizar la gestión por parte del departamento de obras públicas y unidad de agua potable, en la reparación de cada una de las fugas.

3.7 Digitación de resultados

Tomando en cuenta los datos obtenidos previo al estudio realizado, se marcaron las zonas más afectadas por problemas de fugas, haciendo uso del software ARCGIS, donde por medio de una escala colores se fueron marcando los sectores con mayor incidencia de problemas reportados.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del balance hídrico técnico general por año.

El presente capítulo aborda los resultados derivados del balance hídrico general propuesto por Cabrera (1999) correspondiente a las 19 redes del cantón, del periodo 2018 – 2022. Estudio que se pudo realizar gracias a los datos brindados por el GAD municipal.

Tabla 11.

Balance hídrico general - Tisaleo 2018 - 2022

Días	Año	Caudales inyectados	Caudales registrados	Consumido y no registrado por error	Caudal incontrolado	Caudal fugado
		(Q)	(Qr)	(Qic)	(Qi)	Qif)
		m3/año	m3/año	m3/año	m3/año	m3/año
365	2018	685.337,20	405.541,01	34.266,86	279.796,19	245.529,33
365	2019	685.337,20	452.451,00	34.266,86	232.886,20	198.619,34
366	2020	687.214,83	452.998,50	34.360,74	234.216,33	199.855,59
365	2021	685.337,20	434.062,00	34.266,86	251.275,20	217.008,34
243	2022	456.265,59	304.268,00	22.813,28	151.997,59	129.184,31
Total		3 199.492,02	2 049.320,51	159.974,60	1 150.171,51	990.196,91

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

De acuerdo con la recopilación de datos obtenidos en la tabla 11, se muestran los datos acumulados y promedios anuales, pertenecientes a cada uno de los caudales.

Tabla 12.

Resumen balance hídrico técnico

Descripción	Acumulados (anuales)		Promedios anuales	
	l/s	m3/años	l/s	m3/años
Caudal Inyectado Q	1216,99	3.199.492,02	243,40	639.898,40
Caudal registrado Qr	780,33	2.049.320,51	156,07	409.864,10
Caudal incontrolado Qi	436,66	1.150.171,51	87,33	230.034,30
Caudal incontrolado consumido y no registrado Qic	60,85	159.974,60	12,17	31.994,92
Caudal incontrolado fugado Qife	375,81	990.196,91	75,16	198.039,38

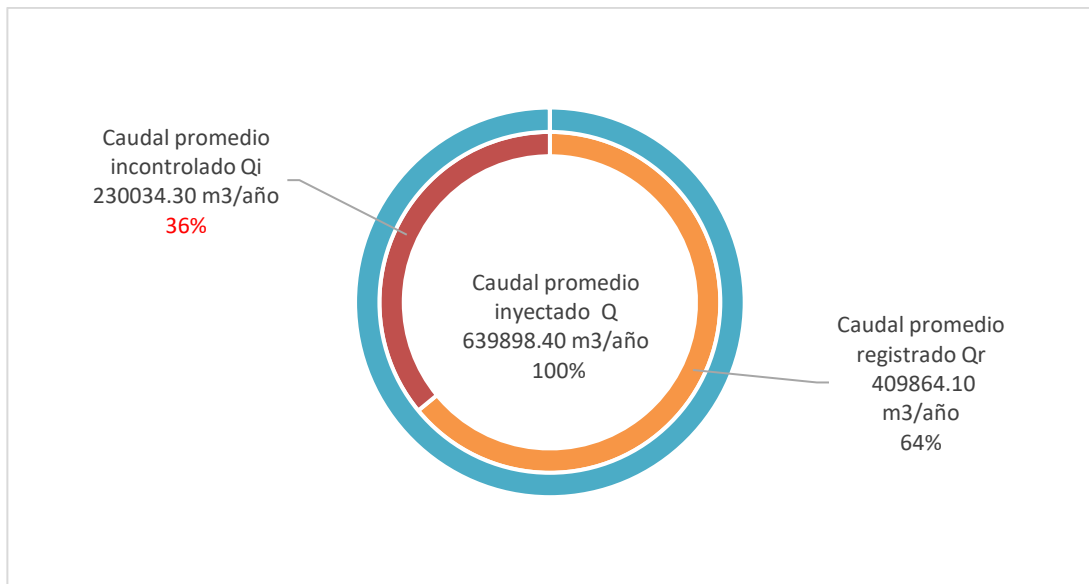
Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

El valor promedio anual de volúmenes inyectados en los depósitos de distribución es de 639898,4 m³. Valor que, al ser restado con el volumen promedio registrado, da como resultado un caudal incontrolado de 230034,3 m³ llegando a representar el 36% de pérdidas, tal como lo muestra la figura 8.

Figura 8.

Caudal promedio incontrolado 2018-2022



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

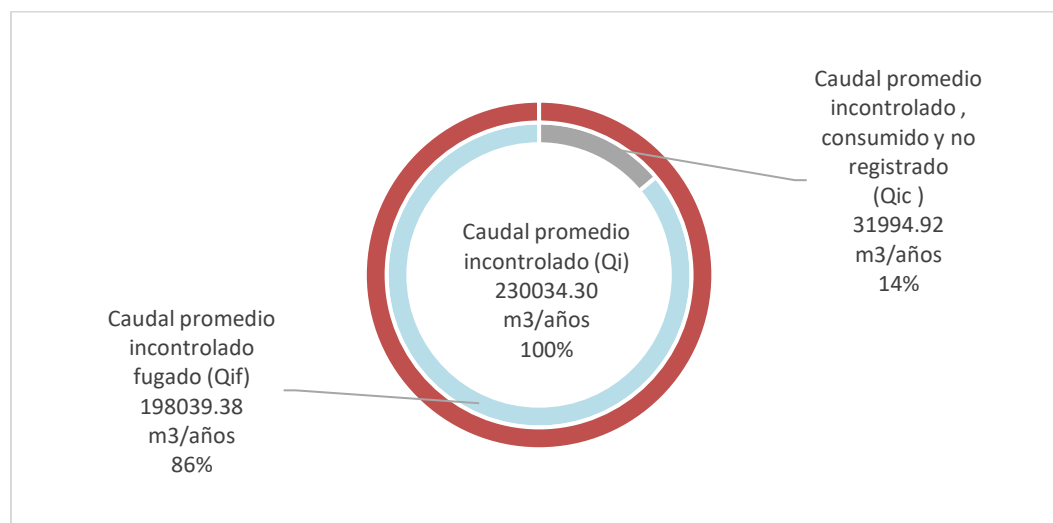
Al ser su denominación agua incontrolada, es decir, que no se tiene registro alguno de su consumo y por consiguiente de su recaudo, recae en un índice negativo que conlleva a pérdidas. Las pérdidas reales como daños físicos en tuberías, o pérdidas aparentes como errores en contabilización y consumo ilícito en acometidas, inciden directamente en este porcentaje. La entidad competente debe procurar que el valor no sobrepase el 45% por lo que repercute en la calificación otorgada por el ARCA. En este caso al ser el 36% su valor se calificaría su gestión con un nivel de desempeño medio y con un grado de intervención moderada.

La figura 9 representa en porcentaje la causa raíz del caudal incontrolado, dando como resultado que el caudal fugado sea el actor principal dentro de esta cifra. El caudal incontrolado, consumido y no registrado representa apenas el 14% a comparación del caudal fugado donde su participación es del 86%.

Es necesario generar estrategias de ayuda, que permitan minimizar este índice, procurando evitar futuros problemas suscitados en el correcto funcionamiento de las redes.

Figura 9.

Comparativo de promedios de caudales incontrolados Q_{ic} y Q_{if} 2018-2022



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

La siguiente tabla muestra un comparativo del caudal incontrolado (Q_i) y el caudal fugado (Q_{if}). Su análisis recae en los 5 años de estudio con valores neto de volumen e índice de participación en porcentaje.

Tabla 13.

Resultados anuales del caudal incontrolado y fugado

Días	Año	Caudal incontrolado		Caudal fugado (Q_{if})	
		(Q_i) m³/año	l/s	m³/año	l/s
365	2018	279.796,19	106,30	245.529,33	93,26
365	2019	232.886,20	88,64	198.619,34	75,60
366	2020	234.216,33	88,88	199.855,59	75,84
365	2021	251.275,20	95,25	217.008,34	82,21
243	2022	151.997,59	57,59	129.184,31	48,90

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

En el año 2018 se evidencia mayor pérdida en sus caudales. Por caudal incontrolado (volumen de agua no registrada) se tiene una cifra de 279796,19 m³ lo que equivale a 106,30 l/s; de ese volumen, 245529,33 m³ corresponde a fugas. El porcentaje más alto por índice de agua no contabilizada (ANC) es del 40.76% en el mismo año. Sin embargo, teniendo en cuenta el porcentaje de participación histórico reflejado, sigue perteneciendo al rango de desempeño “medio” según la tabla de calificación del ARCA.

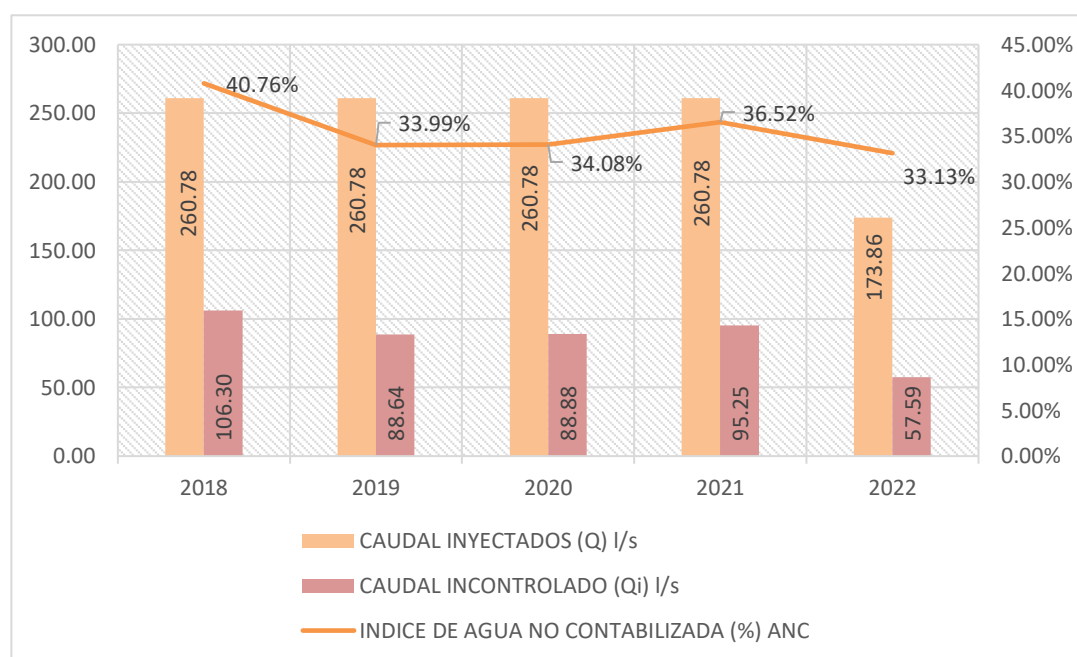
Tabla 14.*Índice de agua no contabilizada por año*

Año	Caudal inyectado (Q)	Caudal incontrolado (Qi)	Índice de agua no contabilizada	Calificación
	l/s	l/s	(%) ANC	
2018	260,78	106,30	40,76%	Medio
2019	260,78	88,64	33,99%	Medio
2020	260,78	88,88	34,08%	Medio
2021	260,78	95,25	36,52%	Medio
2022	173,86	57,59	33,13%	Medio

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Este porcentaje es definido por la relación entre el caudal incontrolado y el caudal inyectado en litros por segundo, como se muestra en la figura 10.

Figura 10.*Índice de agua no contabilizada 2018- 2022*

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

De igual manera, si se relaciona el caudal fugado con el caudal inyectado en litros por segundo obtenemos el índice porcentual en fugas, reflejado en la tabla 15.

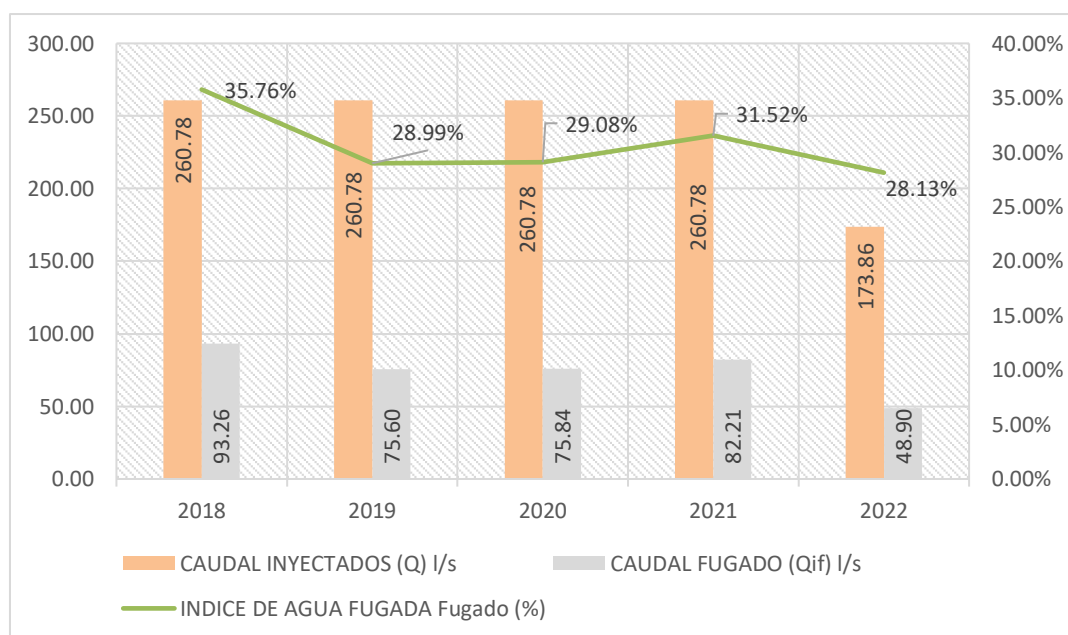
Tabla 15.*Índice de agua fugada*

Año	Caudal inyectado (Q)	Caudal fugado (Qif)	Índice de agua fugada
	l/s	l/s	(%)
2018	260,78	93,26	35,76%
2019	260,78	75,60	28,99%
2020	260,78	75,84	29,08%
2021	260,78	82,21	31,52%
2022	173,86	48,90	28,13%

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Como se puede observar, entre el año 2018 y el año 2019 se tiene una disminución favorable en pérdidas, con una variación del 6.77% en sus cifras. Sin embargo, para el año 2021 este valor se vuelve a incrementar en un 2.44%.

Figura 11*Índice de agua fugada 2018- 2022*

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

La siguiente tabla muestra el costo por volumen obtenido en cada uno de sus caudales pertenecientes a las 19 redes, con un promedio anual de los 5 años, mensual y diario. Cabe indicar que, para sacar el cálculo, no se tomó como referencia el mes y año completo del 2022, por lo que se tiene información solo hasta el mes de agosto.

Tabla 16.

Costo por volumen diario, mensual y anual.

Costo m3: 1.32	MESES: 56		DIAS: 1704	
	VOLÚMENES		COSTO	
Volumen inyectado	m3/día	1.877,64	\$/día	\$ 2.478,48
TOTAL: 3199492,02	m3/mes	57.133,79	\$/mes	\$ 75.416,60
m3/años	m3/año	639.898,40	\$/año	\$ 844.665,89
Volumen registrado (medido)	m3/día	1.202,65	\$/día	\$ 1.587,50
TOTAL: 2049320,51	m3/mes	36.595,01	\$/mes	\$ 48.305,41
m3/años	m3/año	409.864,10	\$/año	\$ 541.020,61
Volumen consumido no medido	m3/día	93,88	\$/día	\$ 123,92
TOTAL: 159974,60	m3/mes	2.856,69	\$/mes	\$ 3.770,83
m3/años	m3/año	31.994,92	\$/año	\$ 42.233,29
Volumen fugado	m3/día	581,10	\$/día	\$ 767,05
TOTAL: 990196,90	m3/mes	17.682,09	\$/mes	\$ 23.340,36
m3/años	m3/año	198.039,38	\$/año	\$ 261.411,98

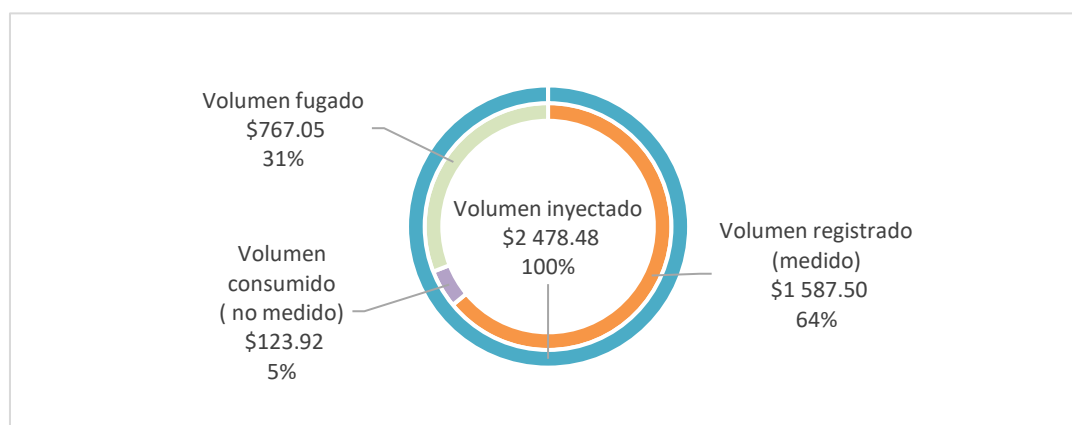
Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Tomando en consideración los datos anteriores, se estima un total del volumen inyectado anualmente de 639898,40 m3, del cual 198039,38 m3 pertenece a fugas suscitadas dentro del sector, esto dando como resultado en término monetario, una pérdida total de \$ 261411,98 por año.

La siguiente gráfica refleja, el porcentaje de participación monetaria por volumen diario obtenido, dando como resultado que, del valor total inyectado en el día, el 31% representa a pérdidas, el 64% refleja como volumen recaudado y el 5% como volumen consumido y no facturado.

Figura 12.

Costo de agua fugada a diario 2018- 2022



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Teniendo en cuenta la cantidad diaria de agua perdida, se realiza una estimación de a cuantas personas se podría ayudar con el servicio activo en caso de que este volumen en

pérdidas fuera recuperable. Para ello se requiere la cifra de agua fugada a diario, el volumen equivalente de agua utilizada por una persona en el día y el número de habitantes por vivienda.

Tabla 17.

Costo por volumen diario, mensual y anual.

Descripción	Dato	Fuente
Volumen fugado diariamente	581.10 m ³ /día	Orna Gamboa & Zumba Pila (2023)
Dotación	230 lt/hab/día	(Arellano, Bayas, Meneses, & Castillo, 2018)
Número de habitantes por vivienda	4.2 habitantes	INEC (2010)

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

En la tabla 17 reflejan los datos que se incluirían en la siguiente ecuación (INEN, 2003):

$$Q \text{ med} \frac{lt}{día} * 1.000 = q \frac{lt}{hab * día} * N \quad (8)$$

Donde:

Q med: caudal medio diario

q: dotación

N: población

Para obtener el número de habitantes, se procede a dividir el volumen diario fugado para el valor de consumo real de dotación:

$$N = \frac{581\ 100 \frac{lt}{día}}{230 \frac{lt}{hab * día}}$$

$$N = 2527 \text{ habitantes}$$

Como se puede apreciar, 2527 habitantes se podrían abastecer con el volumen de agua fugada que se reporta diariamente dentro del cantón y si a su vez este valor dividimos para el número de habitantes por vivienda, se obtendría una estimación del número de familias, tal como se muestra a continuación:

$$N^{\circ} \text{ Familias} = \frac{2527 \text{ hab}}{4.2 \text{ hab por vivienda}}$$

$$N^{\circ} \text{ Familias} = 602$$

Es decir, 602 familias se podrían abastecer a diario con el volumen de agua registrado por fuga.

4.2 Resultados del balance hídrico técnico general por redes.

Una vez analizado el balance hídrico general por años, se analiza el comportamiento de cada una de las redes, tomándose como referencia las mismas directrices, esto con la finalidad de ver que zonas sobresalen en pérdidas, durante el periodo estudiado.

La figura 13 muestra el índice de agua incontrolada de cada red, donde refleja que la red H1 es la que mayor incidencia en agua no contabilizada representa obteniendo un porcentaje del 62%, seguida por la red E1 con el 48%. Las demás redes mantienen un porcentaje similar a diferencia de la red I1 y M1 que tienen los porcentajes más bajos en pérdidas.

La figura 14 representa el índice de agua no contabilizada por redes del cantón, detallada gráficamente mediante una escala de colores, donde el color rojo significa un porcentaje con rango bajo (> 45%), el color naranja un porcentaje con rango medio (> 30% hasta el 45%) y el amarillo un porcentaje con rango alto (4.8% hasta el 30%).

Tabla 18.*Balance hídrico por red de distribución*

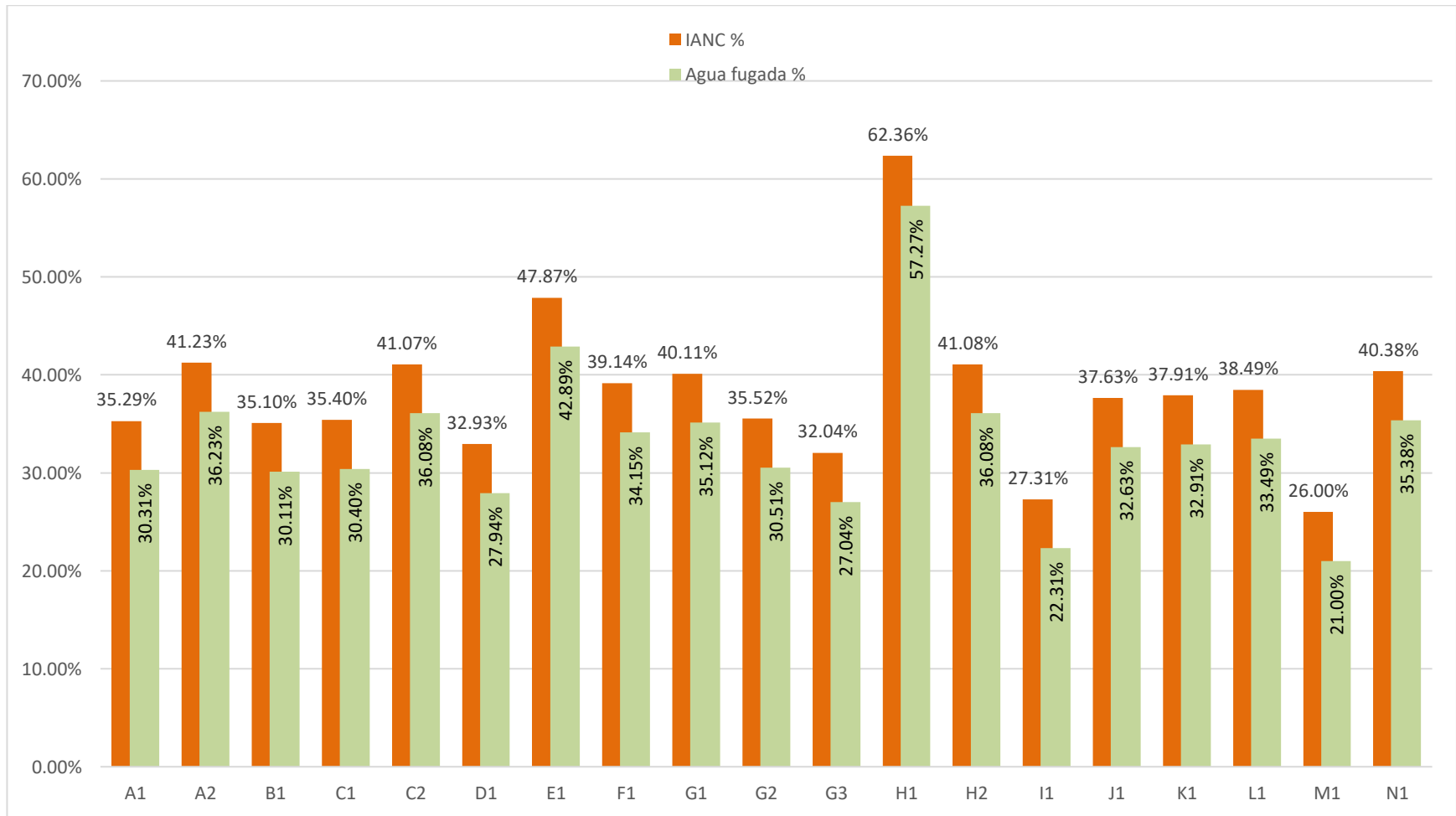
N°	REDES	CAUDAL INYECTADO		FACTURADO		CONSUMIDO Y NO REGISTRADO		TOTAL	Q INCONTROLADO		ANC	Q FUGADO		AGUA FUGADA
		(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	Qr+Qice (m3/años)	(m3/ años)	(l/s)	%	(m3/años)	(l/s)	%
1	A1	50.822,28	19,33	32.838,00	12,51	2.541,11	0,97	35.379,11	17.984,28	6,82	35,29%	15.443,18	5,86	30,31%
2	A2	279.537,25	106,33	163.901,00	62,49	13.976,86	5,32	177.877,86	115.636,25	43,84	41,23%	101.659,38	38,52	36,23%
3	B1	107.091,90	40,74	69.405,50	26,44	5.354,60	2,04	74.760,10	37.686,40	14,30	35,10%	32.331,80	12,26	30,11%
4	C1	265.168,03	100,86	171.121,50	65,16	13.258,40	5,04	184.379,90	94.046,53	35,70	35,40%	80.788,14	30,66	30,40%
5	C2	53.222,05	20,24	31.313,50	11,93	2.661,10	1,01	33.974,60	21.908,55	8,32	41,07%	19.247,45	7,30	36,08%
6	D1	110.713,65	42,11	74.200,00	28,24	5.535,68	2,11	79.735,68	36.513,65	13,87	32,93%	30.977,97	11,77	27,94%
7	E1	23.924,16	9,10	12.467,00	4,74	1.196,21	0,46	13.663,21	11.457,16	4,36	47,87%	10.260,95	3,90	42,89%
8	F1	77.175,66	29,36	46.878,00	17,87	3.858,78	1,47	50.736,78	30.297,66	11,49	39,14%	26.438,87	10,02	34,15%
9	G1	74.216,42	28,23	44.399,50	16,91	3.710,82	1,41	48.110,32	29.816,92	11,32	40,11%	26.106,10	9,91	35,12%
10	G2	90.573,19	34,45	58.356,00	22,21	4.528,66	1,72	62.884,66	32.217,19	12,24	35,52%	27.688,53	10,51	30,51%
11	G3	155.058,00	58,98	105.287,00	40,08	7.752,90	2,95	113.039,90	49.771,00	18,90	32,04%	42.018,11	15,95	27,04%
12	H1	9.201,60	3,50	3.464,00	1,32	460,08	0,18	3.924,08	5.737,60	2,18	62,36%	5.277,52	2,00	57,27%
13	H2	78.206,24	29,75	46.047,00	17,53	3.910,31	1,49	49.957,31	32.159,24	12,22	41,08%	28.248,93	10,73	36,08%
14	I1	176.670,72	67,20	128.326,50	48,85	8.833,54	3,36	137.160,04	48.344,22	18,35	27,31%	39.510,69	14,99	22,31%
15	J1	429.309,85	163,30	267.429,50	101,84	21.465,49	8,16	288.894,99	161.880,35	61,46	37,63%	140.414,86	53,29	32,63%
16	K1	294.451,20	112,00	182.739,50	69,54	14.722,56	5,60	197.462,06	111.711,70	42,46	37,91%	96.989,13	36,86	32,91%
17	L1	306.538,42	116,60	188.348,00	71,72	15.326,92	5,83	203.674,92	118.190,42	44,87	38,49%	102.863,50	39,04	33,49%
18	M1	382.050,43	145,32	282.509,01	107,54	19.102,52	7,27	301.611,53	99.541,42	37,78	26,00%	80.438,89	30,52	21,00%
19	N1	235.560,96	89,60	140.290,00	53,42	11.778,05	4,48	152.068,05	95.270,96	36,18	40,38%	83.492,91	31,70	35,38%
TOTAL		3.199.492,02	1.216,99	2.049.320,51	780,33	159.974,60	60,85	2.209.295,11	1.150.171,51	436,66	35,88%	990.196,91	375,81	30,88%

Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Figura 13.

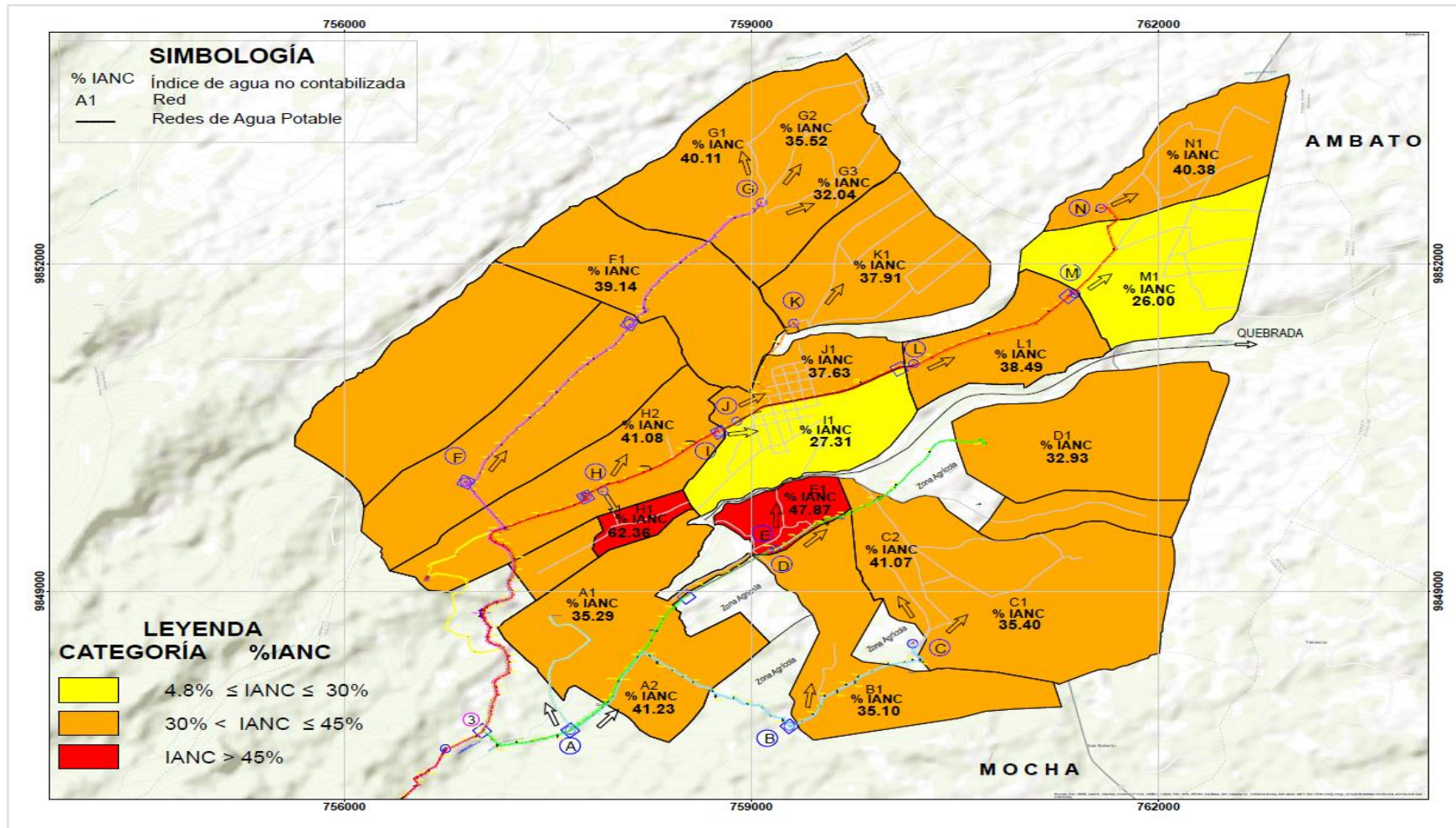
Índice de agua incontrolada y fugada por red 2018- 2022



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Figura 14.

Porcentaje de agua no contabilizada en Tisaleo



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Teniendo en consideración aquellas cifras, podemos determinar el nivel de eficiencia de cada red, tomando como referencia nuevamente la tabla empleada por el ARCA.

Tabla 19.

Rango de desempeño de las redes

RANGO DE DESEMPEÑO	
<i>Rango I – Alto</i> $4.8 \% \leq ANC \leq 30\%$	Redes cuyos valores reflejan estar por debajo del 30%: Red I1 y M1
<i>Rango II – Medio</i> $30 \% < ANC \leq 45\%$	Redes cuyos sus valores reflejan estar por entre el 45% y 30%: red A1, A2, B1, C1, C2, D1, F1, G1, G2, G3, H2, J1, K1, L1, N1.
<i>Rango III – Bajo</i> $ANC \geq 45\%$	Redes cuyos valores reflejan ser superior al 45% Red E1 y H1.

Nota: Agua no contabilizada (ANC)

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Como podemos observar, la mayoría de sus redes pertenecen al rango medio, con una intervención moderada, a excepción de la red E1 y H1 donde la intervención por parte de la entidad a cargo se considera emergente.

4.3 Resultado del rendimiento volumétrico

Una vez culminado el balance hídrico por redes de distribución y analizado el rango de desempeño de cada una de ellas según la regulación 003 del ARCA, se procede a analizar el rango de rendimiento volumétrico por el método de Cabrera (1999).

Tabla 20.

Eficiencia hídrica de abastecimiento de agua potable del cantón Tisaleo 2018-2022

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS	Formula	Valor
Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	64,05%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	69,05%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	92,76%

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

En base a la información detallada en la tabla 21, la eficiencia hídrica del cantón Tisaleo representa el 64% lo que implica, según los rangos de medición planteados por Cabrera, una calificación “regular” a su gestión.

A continuación, se detalla el rendimiento volumétrico por cada una de las redes, adjuntando su respectiva calificación según corresponda.

Tabla 21.*Eficiencia hídrica de abastecimiento de agua potable por red - Tisaleo 2018-2022*

Nº	REDES	Rendimiento global del sistema	Rendimiento de la red	Rendimiento de la medición	Calificación
1	A1	64,61%	69,61%	92,82%	Regular
2	A2	58,63%	63,63%	92,14%	Malo
3	B1	64,81%	69,81%	92,84%	Regular
4	C1	64,53%	69,53%	92,81%	Regular
5	C2	58,84%	63,84%	92,17%	Malo
6	D1	67,02%	72,02%	93,06%	Regular
7	E1	52,11%	57,11%	91,25%	Malo
8	F1	60,74%	65,74%	92,39%	Regular
9	G1	59,82%	64,82%	92,29%	Malo
10	G2	64,43%	69,43%	92,80%	Regular
11	G3	67,90%	72,90%	93,14%	Regular
12	H1	37,65%	42,65%	88,28%	Inaceptable
13	H2	58,88%	63,88%	92,17%	Malo
14	I1	72,64%	77,64%	93,56%	Bueno
15	J1	62,29%	67,29%	92,57%	Regular
16	K1	62,06%	67,06%	92,54%	Regular
17	L1	61,44%	66,44%	92,47%	Regular
18	M1	73,95%	78,95%	93,67%	Bueno
19	N1	59,56%	64,56%	92,25%	Malo
	TOTAL	64,05%	69,05%	92,76%	Regular

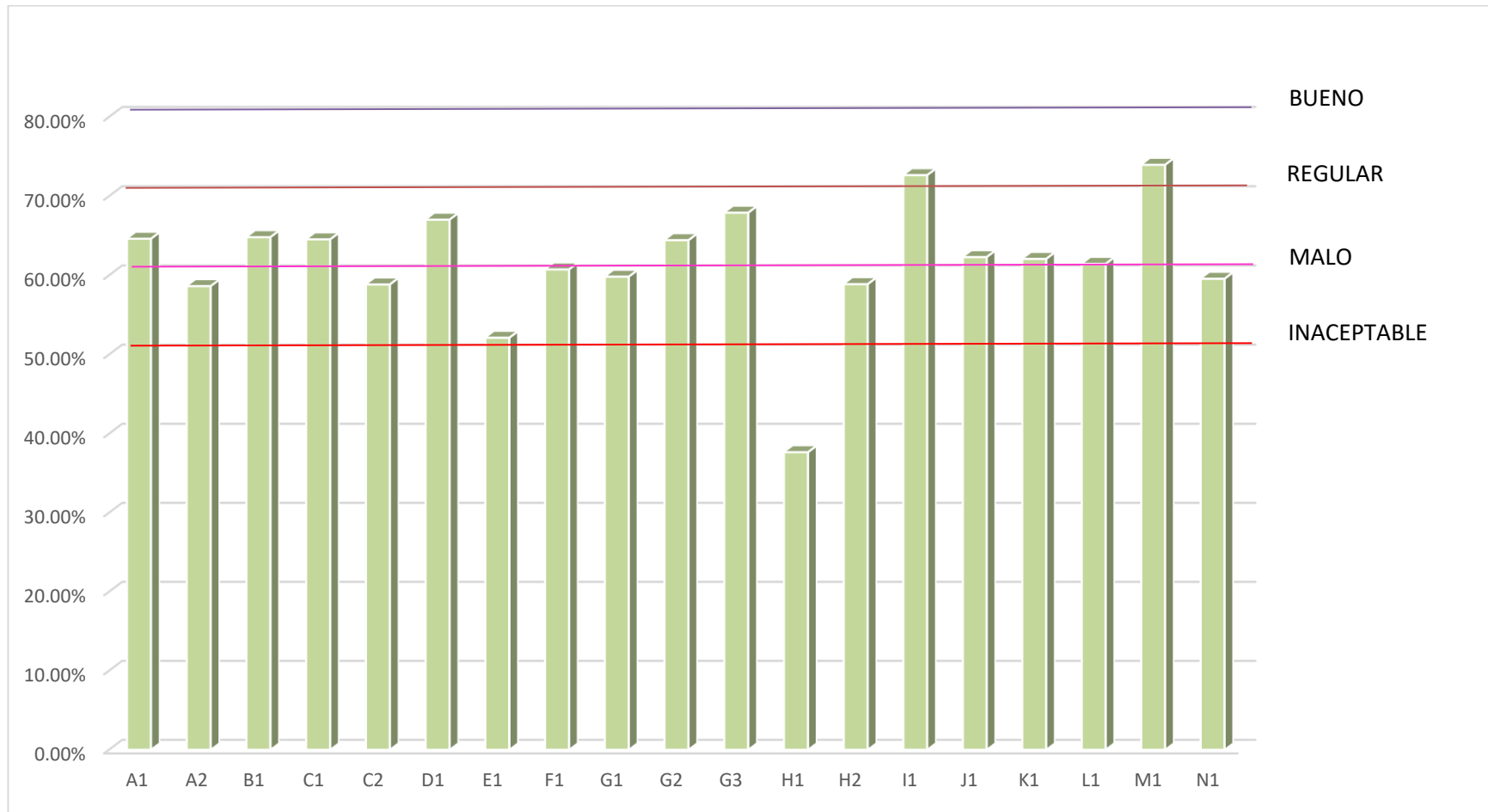
Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Como se muestra en la figura 15, las redes que se encuentran con mejor rendimiento global del sistema catalogado como “bueno” son la red I1 y M1 donde su porcentaje de participación es superior al 70%, seguido a esto se puede deducir que el 50% de sus redes mantienen un sistema hídrico “regular”, a diferencia de las redes A2, C2, E1, G1, H2, Y N1 donde su rendimiento es “malo”, sin mencionar la red H1 donde es la única red con desempeño en rendimiento “inaceptable”.

La figura 16 muestra de igual manera, mediante una escala de colores, los porcentajes del rendimiento global de las redes de distribución, donde el color rojo representa a un rendimiento “inaceptable”, el color rosado “malo”, el color naranja “regular” y amarillo “muy bueno”. Se puede mencionar que por reiterada ocasión las redes I1 y M1 se encuentran en el rango de mejor categoría, a diferencia de la red H1 donde su calificación refleja como inaceptable.

Figura 15.

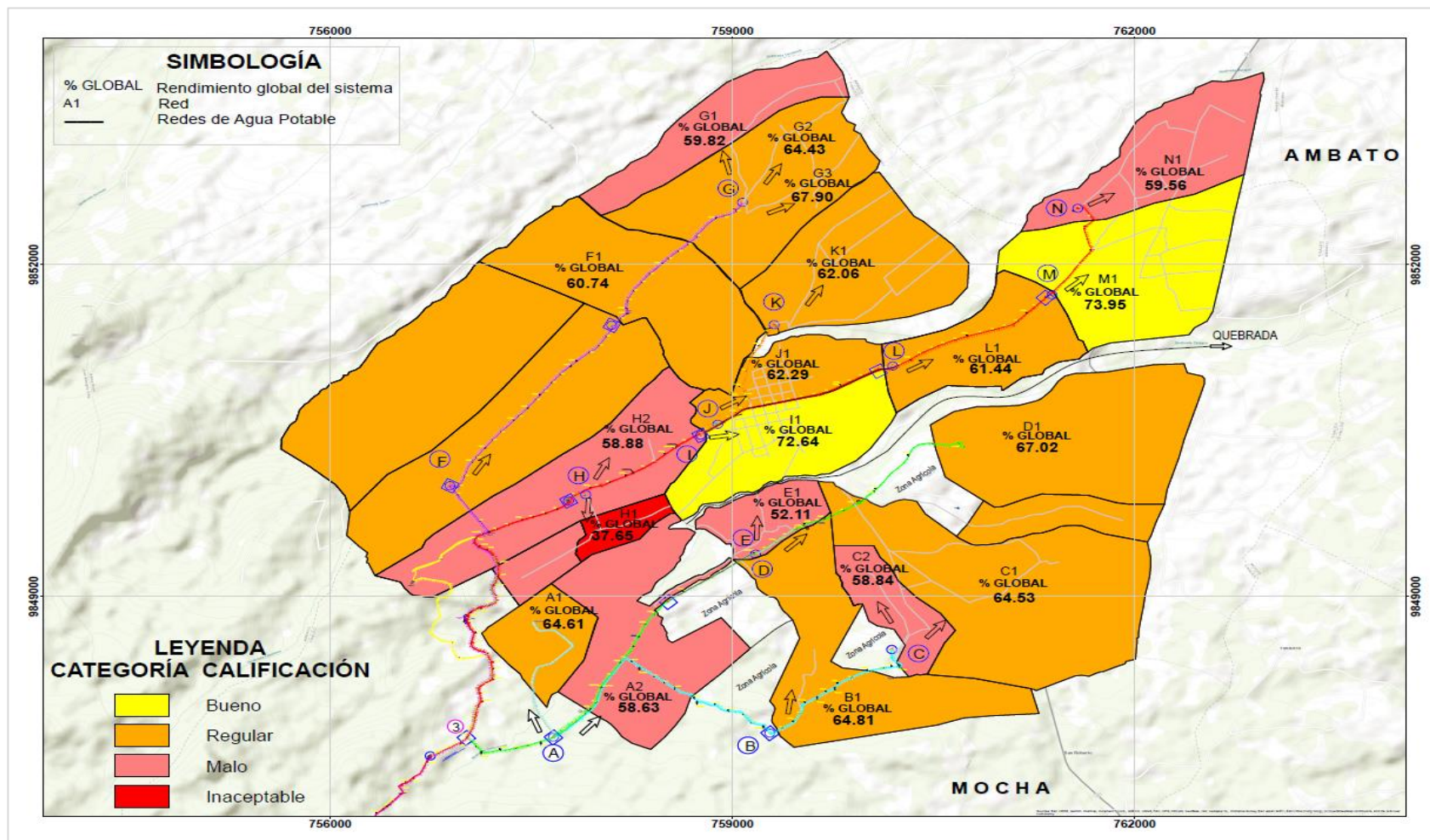
Rendimientos globales por cada red de distribución - 2018- 2022



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

Figura 16.

Porcentaje de rendimiento global de las redes de distribución



Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

4.4 Resultado del historial de fugas

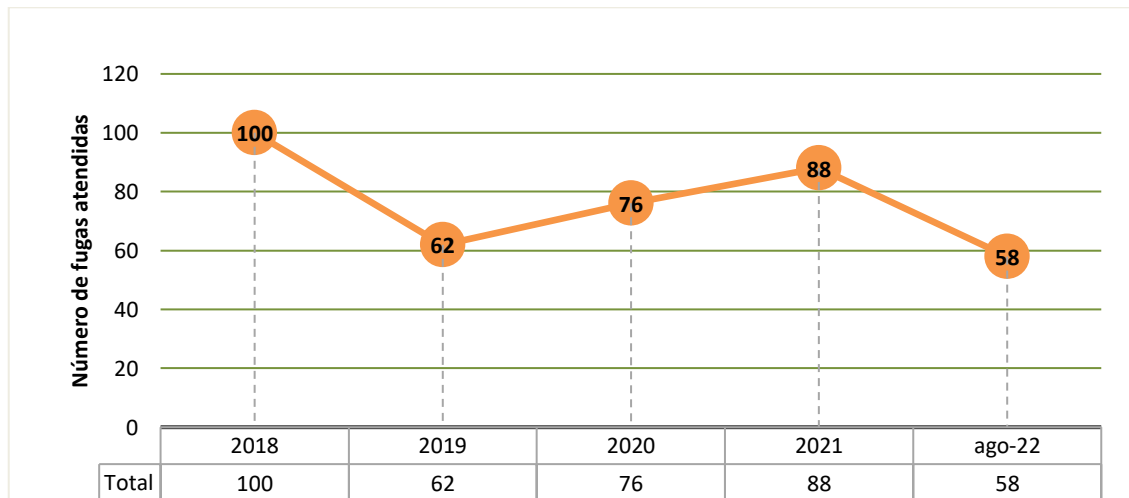
4.4.1 Fugas atendidas por años.

El número de fugas atendidas no es constante en los años 2018 a 2022. En el 2018 se ve el mayor número de fugas, mientras que en el 2019 se ve un número menor. Aparentemente en el 2019 se atendieron muchas fugas presentadas en el 2018 y se baja el número de averías o daños causado por sobrepresiones, pero hay una subida en el 2020 y 2021, se la vuelve a controlar y bajan en el 2022. Los dos valores mínimos de fugas encontrados en 2019 y 2022 son considerables.

La presencia mínima de fugas permanentemente y su incremento que varía históricamente indicaría que las tuberías o accesorios son vetustos o que hay una sobrepresión persistente que está causando daños permanentes y variables. De acuerdo a los datos reportados en la zona de estudio también pueden deberse a las tomas ilícitas o clandestinas realizadas por los moradores lo cual se debería a una deficiente atención del GAD por lo que los moradores se auto abastecen de ese servicio.

Figura 17.

Historial de fugas atendidas por años - Tisaleo 2018- agosto 2022



Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023).

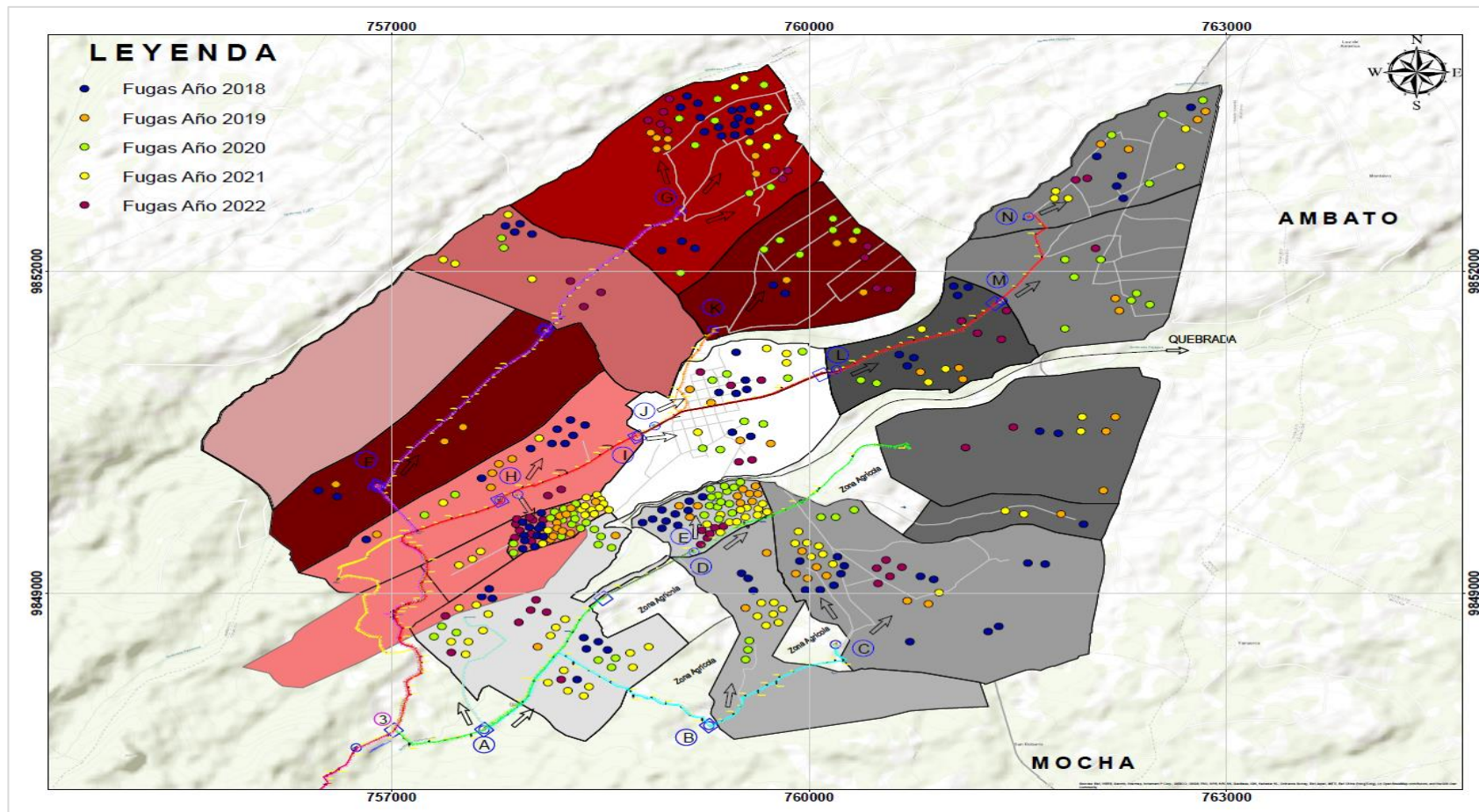
En la red H1 (Figuras 2 y 18) se encuentra mayor número de inspecciones realizadas (56 fugas atendidas) por lo que se la califica como “*Inacceptable*” Cabrera (1999). De la misma forma se podría comparar con la tabla de nivel de eficiencia planteado por el ARCA, donde su nivel categórico es “*bajo*” y con intervención emergente.

Las redes I1 y M1 presentan menos fugas reportadas históricamente (11 y 10 respectivamente) por lo que se las califica con un rendimiento y calificativo por desempeño en red de “*excelente*” Cabrera (1999). Estas redes abastecen a los sectores de Tisaleo y Alobamba.

4.4.2 Fugas atendidas por sectores

Figura 18.

Fugas atendidas por sectores- Tisaleo 2018- agosto 2022



Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

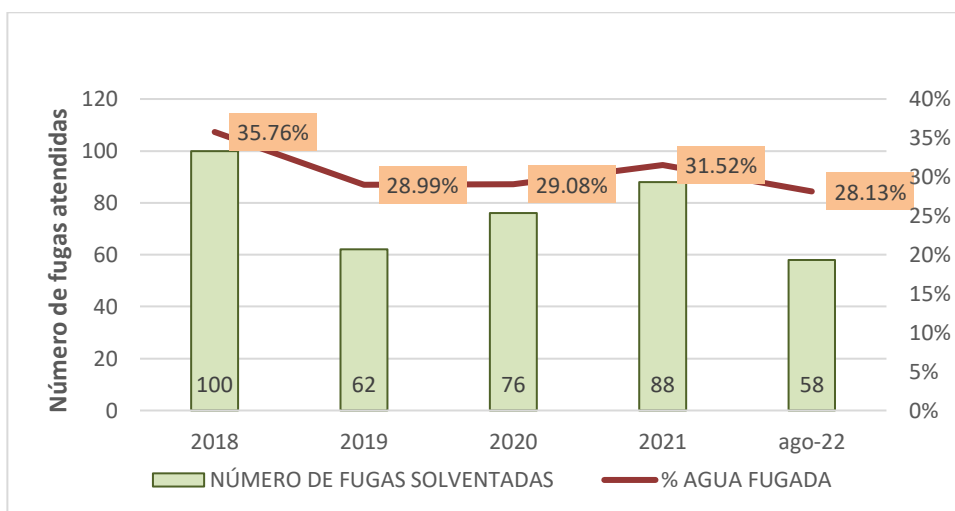
4.4.3 Comparativo entre el historial de fugas solventadas y porcentaje de agua fugada por años.

Se puede contemplar que, a mayor porcentaje en pérdida de agua, mayor número de reparaciones en el sector, siendo el año 2018 el que mayor registro tiene. Del porcentaje 35.75% en agua fugada, corresponden al menos 100 fugas atendidas dentro de ese año.

$$\text{Porcentaje de agua fugada} = \frac{Q \text{ fugado l/s}}{Q \text{ inyectado l/s}} \quad (9)$$

Figura 19.

Fugas solventadas vs % de agua fugada - Tisaleo 2018- agosto 2022



Fuente: Municipio del cantón Tisaleo
Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

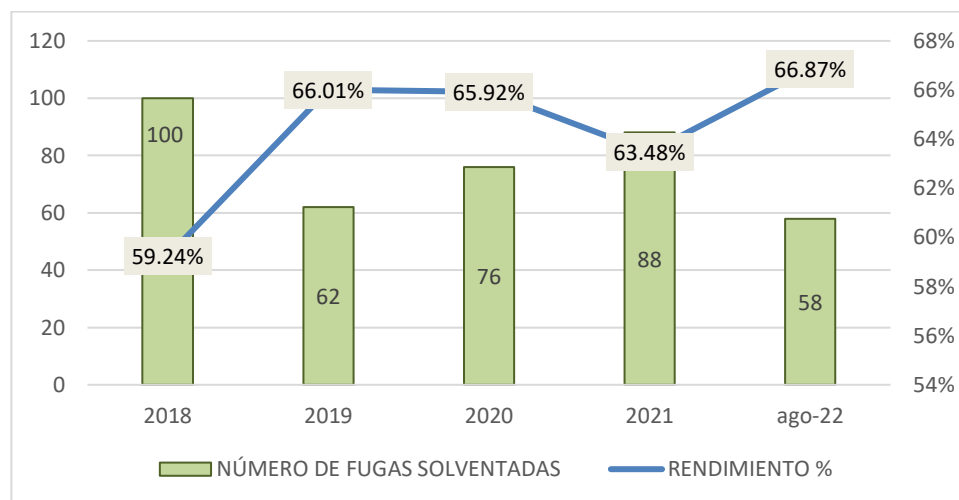
4.4.4 Comparativo entre el historial de fugas y el rendimiento volumétrico porcentual por años.

Gracias a la gestión realizada por el GAD frente a las señales de alertas, en conjunto a los operadores en subsanar las fugas existentes, la eficacia hídrica del sistema también ha ido mejorando con el pasar del tiempo.

En el año 2018 el panorama no se refleja alentador, sin embargo, para el año 2019 se obtienen mejores resultados al pasar de un calificativo con rendimiento “malo” a un calificativo con rendimiento “regular”. Cabe recalcar que, pese a que en el año 2021 existieron 88 reportes, el calificativo en eficiencia hídrica se mantuvo.

Figura 20.

Fugas atendidas vs rendimiento volumétrico- 2018- agosto 2022



Fuente: Municipio del cantón Tisaleo

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

4.5 Resultado del proceso de operación y mantenimiento de fugas

En la visita realizada al GAD municipal del cantón, se logró visualizar que el personal que labora para la institución se rige en base a un manual de operación y mantenimiento. Creado con la finalidad de que las actividades desempeñadas se efectúen de manera clara y ordenada, convirtiéndose en una fuente de ayuda para las tareas y prácticas. La aplicación de este manual debe ser supervisado y de ser posible aplicado por un lapso de 20 años, tal como se menciona en la línea de tiempo del proyecto.

Se menciona, que para contar con un adecuado sistema de agua potable es importante que el operador verifique frecuentemente que no existan obstrucciones, roturas, estancamiento de agua o maleza alrededor de la estructura. Las novedades encontradas deben ser redactadas en su cuaderno para ser notificadas inmediatamente al jefe. Este registro paulatino sirve para dar seguimiento a los problemas encontrados, permitiendo programar con tiempo un mantenimiento correctivo y en lo consiguiente poder medir su eficacia.

La tabla 22 muestra en resumen de la ficha técnica empleada en campo por un lapso de 4 semanas, dando a conocer los problemas más habituales presentados en las redes de distribución, lugar, tiempo y tipo de reparación que amerita. Entre las complicaciones más suscitadas por fugas, refleja el mal estado de las válvulas y daño de tuberías a causa de materiales defectuosos, aplastamiento o desgaste de materiales antiguos, reparado en un tiempo de hasta 8 horas, dependiendo de la complejidad.

Tabla 22.

Resultado de la ficha técnica empleada en campo.

RED	UBICACIÓN DE FUGA	CAUSA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE MANTENIMIENTO	TIEMPO DE REPARACIÓN	PROCESO DE REPARACIÓN
G1	Fuga en la unión	Material defectuoso de fabrica	Daño en la unión de la tubería de PVC	Correctivo	1 hora	Cambión de unión flex de ½”
H2	Fuga en el collarín de PVC	Presiones altas en la red	Rotura del collarín para toma de 63mm	Correctivo	5 horas	Cambio de collarín
G1	Fuga en manguera	Rotura provocada en la manquera	Rotura ocasional en la manguera de caucho	Correctivo	1 hora	Cambio de unión flex de ½” en el tramo dañado
M1	Fuga en la válvula de desfogue y tubería	Aplastamiento	Daño en la válvula y tubería de 90mm por un aplastamiento	Correctivo	8 horas	Cambio del tramo de tubería y de la válvula
M1	Fuga en tubería PVC	Tubería antigua	Rotura en la tubería de 90 mm en acometida domiciliaria	Correctivo	2 hora	Cambio del tramo de tubería
K1	Fuga en el tubo de MDA	Taponamiento y rotura	Taponamiento en el tubo de MDA de 40 mm	Correctivo	5 horas	Cambio del tramo de tubería
A1	Fuga en tubería PVC	Aplastamiento	Rotura en la tubería de distribución de 15 mm	Correctivo	2 horas	Cambio del tramo de tubería
D1	Fuga en la válvula	Válvula antigua	Corrosión y rotura en la válvula de la red de distribución	Correctivo	2 horas	Cambio de válvula
M1	Fuga en tubería PVC	Desgaste de material	Agrietamiento de la tubería de distribución de 90 mm	Correctivo	3 horas	Cambio del tramo de tubería

Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

El proceso por seguir ante un llamado de alerta por parte de los usuarios para solventar reparaciones de mantenimiento preventivo se detalla a continuación:

Figura 21.

Etapas para la reparación de un problema de fuga.



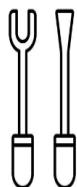
Reporte de queja por parte del usuario



Registro y notificación al área de mantenimiento.



Asignación del personal encargado.



Inspección y reparación de la fuga.

A continuación, se detalla los resultados de las 5 encuestas aplicadas a los operadores donde se recolecta información acerca de la frecuencia con la que suscitan las fugas, número de personas involucradas, tipo de fugas, materiales utilizados, y estimación aproximada de su costo de inversión.

Tabla 23.

Resultado de la encuesta técnica empleada a los trabajadores.

Parámetro a analizar	Resultado
Frecuencia de fugas	- Los obreros mencionan que el número de cifras es incierto sin embargo estima un promedio de 2 a 3 fugas diarias y 8 fugas a la semana.
Tipo de fuga atendida	- Entre las más recurrente mencionan: falla en las válvulas, taponamiento de tubería por rotura, rotura de tuberías por factores externos como aplastamiento y daños climáticos, o por daños causados por los usuarios en las redes de distribución.
Material dañado con frecuencia	- Tubería de PVC, tubo de MDA y mangueras plásticas.
Tiempo de reparación	- Se calcula un tiempo destinado de 3 a 8 horas dependiendo del daño
Número de personas involucradas en la reparación	- Por lo general van de 2 a 3 personas si la fuga es pequeña, si la fuga es grande amerita una intervención de hasta 8 personas en la obra.
Costo de materiales generalmente invertidos	- Los costos varían entre fugas comunes de \$10 a \$ 40 y si son fugas grandes y ocasionales de \$100 a \$120.

Fuente: encuesta a operadores del cantón
Elaborado: (Orna Gamboa & Zumba Pila, 2023)

4.6 Planteamiento de la propuesta

Ante el resultado obtenido por índice de agua no contabilizada y agua fugada perteneciente al cantón Tisaleo, es necesario plantear estrategias de ayuda, empleando medidas preventivas y correctivas que ayuden a disminuir los porcentajes en las redes.

Según Cabrera (1999) para que una investigación sea viable es necesario que sea manejado con un alto nivel de profesionalismo por lo que se sugiere:

- contar con un modelo matemático que permita observar con exactitud el comportamiento de cada una de las redes.
- contar con caudalímetros en los puntos de inyección del agua a la red.
- implementación de contadores a todos los usuarios y base de datos de los consumos de los usuarios.

Para poder realizar un monitoreo previo a cada una de las redes, es preciso focalizar en un mapa las zonas con mayor afectación hidráulica por fugas dando a conocer fácilmente las necesidades existentes. Realizar esta sectorización nos ayudará también a percibir los efectos que causan las reparaciones en cada nudo de red, con el fin de mejorar el sistema y por ende el servicio brindado a la población.

Se sugiere contar con equipos especializados y actualizados en la detección de fugas no visibles, como el uso de técnicas de sensor acústico para poder proceder a su rápida reparación. El personal también cuenta un papel fundamental en la detección por lo que debe estar en constante capacitación para la mejora de sus conocimientos.

La implementación de un software que permita la supervisión y control del sistema de agua potable de forma remota, admitiendo tener interacción directa con los equipos de campo y la posibilidad de poder guardar información, como fuente de ayuda, para un registro histórico. Para ello, se necesitaría contar con una alta inversión por parte de la entidad competente, sin embargo, la eficiencia del sistema de agua potable mejoraría al instante.

Como medida de prevención al largo plazo se debería llevar en cuenta el tiempo de desgaste de las tuberías, por lo que en el tiempo que consideren prudente, se debería programar la sustitución en varios tramos. De la misma manera aplica para las herramientas utilizadas por el personal del área de mantenimiento y operaciones por lo que es necesario renovar maquinarias y equipo, teniendo en cuenta su vida útil.

La importancia de llevar a cabo diariamente la elaboración de reportes de fuga por parte de los operarios también es necesario. El seguimiento de los pro-resultados obtenidos, ayudarán a tener un mejoramiento en las técnicas de control.

Dar a conocer información de gran índole a la población para crear conciencia acerca de los daños que se generan a raíz de las instalaciones fraudulentas, evitando así la manipulación de los micromedidores en las afueras de las acometidas para beneficio propio en sus planillas.

4.7 Discusión

La red M1 presentó menos fugas (entre el 2018 y Octubre del 2022) pero después de ese período refleja un incremento de agua fugada. Los daños ocasionados por dónde se fuga el agua, se deberían a las siguientes causas: materiales antiguos, macro medidores dañados, roturas, falta de mantenimiento en las instalaciones, conexiones clandestinas y fugas internas, resultado que coincide con Porras (2014) y Jaramillo y Oleas (2022). A esta red se la califica con un rango de desempeño Alto (ARCA, 2021), mientras que las otras 18 redes tienen una calificación de media por lo que se presume que esas causas son peores en las otras redes.

De acuerdo con el servicio brindado a la ciudadanía del Cantón, las reparaciones son atendidas en un tiempo prudente, sin superar los 15 días considerados por el ARCA. Los administradores de este servicio esperan que la ciudadanía alerte de alguna una fuga visible para intervenir, coincidiendo con lo que menciona Achache y Gómez (2022).

El nivel actual de cobertura es del 66.96%. Si se controlan las fugas (581.10 m³/día) se abastecería 2 527 habitantes lo cual aumentaría en 20.82% en cobertura.

En cuanto al índice por agua no contabilizada (ANC) para el año 2021 todas las redes tienen un rango de desempeño medio porque 36.52% es mayor que 29.43% (ARCA, 2021).

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se pudo evidenciar la existencia de macro medidores disfuncionales en cada uno de los tanques de reserva, por lo que se recurrió al uso de un equipo de flujo ultrasónico, para medir el caudal suministrado al sistema. Reflejando un total de 1 216.99 l/s.
- El análisis general del balance hídrico planteado por Cabrera (1999) concluye con un caudal fugado de 990196,51 m³ desde el 2018 hasta agosto del 2022, correspondiente a las 19 redes del cantón.
- De acuerdo con las fugas suscitadas y plasmados en el sistema de información geográfica (ARCGIS), la red H1 y E1 pertenecen a las zonas con mayor cantidad de agua fugada, reflejando un porcentaje del 57.27% y 42.89% respectivamente. En tanto que dentro del rango por índice de agua no controlada obtienen un desempeño “bajo”.
- Las redes con mejor eficiencia hídrica reflejaron ser la I1 y la M1 donde su porcentaje es mayor al 70% y obtuvieron un calificativo de “bueno”. El rango por índice de agua no controlada tiene un desempeño “alto”.
- Las causas de las fugas son: materiales antiguos, macro medidores dañados, roturas, falta de mantenimiento en las instalaciones, conexiones clandestinas y fugas internas, donde la solución sería llevar a cabo un monitoreo y mantenimiento constante, además de la renovación de tuberías antiguas para su prevención.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a la entidad encargada, la renovación de los macro medidores colocados en las afueras de los tanques, con el fin de obtener un historial de valores más exactos en cuanto al volumen de caudal inyectado, ya que estos se encuentran en mal estado y sin uso en el presente.
- Dar seguimiento a todas las redes de distribución en general, mediante el uso del balance hídrico propuesto por Cabrera (1999), con el objetivo de ver el comportamiento de cada una de las redes a tiempo.

- Previo a las conclusiones realizadas por incidencia en fugas se propone que la empresa priorice mayor atención ante las causas notorias, sobre todo en las 2 redes que reflejan mayor problema.
- Es necesario que se dé una mejor planificación para contrarrestar más averías internas y se recomienda que en las zonas donde se genere mayor presión, implementar el uso de valvulares reguladoras para llevar un adecuado control de su operación hidráulica.
- Se sugiere realizar un diagnóstico de dimensionamiento de las redes para calcular las presiones, y un rediseño del sistema de agua potable, en donde se dimensionen los diámetros suficientes para calcular las presiones de acuerdo con la norma (INEN, 2003).

BIBLIOGRAFÍA

- Achache, N., & Gómez, S. (2022). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba*. Obtenido de Universidad Nacional de Chimborazo: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10205/1/Achache%20%26%20G%c3%b3mez%202022-Incidencia%20de%20fugas%20en%20la%20red%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable%20del%20cant%c3%b3n%20Riobamba.pdf>
- Acosta, L. (2012). *Las aguas servidas y su influencia en la calidad de vida de los moradores del centro cantonal, cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua*. Obtenido de Universidad técnica de Ambato: <file:///C:/Users/MEGAPC/Downloads/Tesis%20de%20Grado%20Leonardo%20Acosta.pdf>
- Alcora. (2022). *Agua potable y agua tratada: qué son, características y diferencias*. Obtenido de <https://alcora.es/blog/agua-potable-y-agua-tratada-que-son-caracteristicas-y-diferencias/>
- Alvarado, C. (2016). *Propuesta metodológica para localizar tuberías de distribución de agua potable con mayor probabilidad de presentar fugas no visibles*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18205/u753746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ARCA. (2021). *Boletín estadístico 2021*. Obtenido de [pdf]: http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boletín-estadístico-APS-2021_fn_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 150000 habitantes. *NOVASINERGIA*, 1-10.
- Cabrera, E. (1999). *Auditoria d redes de distribuci{on de agua*. Obtenido de Ingeniería del agua: file:///C:/https://watermark.silverchair.com/ia19992794.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kxW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAnMwggJvBgkqhkiG9w0BBwagggJgMIICXAIBADCCAIUGCSqGSIb3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMSS-ZhivrRq3zAq9EAgEQgIICJvueCGT4Nx1Y_hljbsdkwQWZL9vwFKxPk
- Campana, O., & 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*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15217/1/CD-6992.pdf>
- Colchado, S. (2018). *Incidencia del agua producida y no facturada en el distrito de Monsefú*. Obtenido de Universidad católica de los ángeles: https://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13032/19877/AGUA_CONSUMO_COLCHADO_JIMENEZ_SANTOS_ISABEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- CONSORCIO P&AL TISALEO. (06 de 2016). *Construcción estudios integrales y diseño para mejoramiento del servicio de agua potable del cantón Tisaleo*. Tisaleo. Obtenido de Plano General - distribución de caudales- redes.
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (1 de 08 de 2018). *Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008*. Obtenido de [pdf]: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>
- Diario Primicias. (6 de 07 de 2021). *Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/perdidas-agua-fugas-ecuador-municipios/>
- Diario Primicias. (4 de 06 de 2021). *Nueve provincias de Ecuador con bajo acceso a agua potable*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/provincias-ecuador-acceso-agua-potable/#:~:text=Un%20último%20análisis%20de%20la,encuentran%20sobre%201a%20media%20nacional.>
- GAD MUNICIPAL DE TISALEO. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2014 - 2019*. Obtenido de [Archivo pdf]: https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1860001100001_NU EVO_DIAGNOSTICO%20PDOT%202014-2019_19-02-2015_12-33-07.pdf
- GAD TISALEO. (16 de 12 de 2022). *Tisaleo tierra de tesoros escondidos*. Obtenido de Reseña historica: <https://tisaleo.gob.ec/municipio/reseña-histórica.html>
- García, J., & Benavides, H. (2019). *Adjustment value of water leakage index in infrastructure*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532019000100316
- INEC. (2010). *Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. Obtenido de Fascículo provincial Tungurahua[pdf]: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/tungurahua.pdf>
- INEN. (2003). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes: file:///C:/Users/MEGAPC/Downloads/Norma%20Agua%20Potable%2050%20000%20Hab_cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf
- Jaramillo, J., & Oleas, F. (2022). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chambo y Guano*. Obtenido de Universidad Nacional de Chimborazo: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10118/1/Jaramillo%20J%20%26%20Oleas%20F%202022%20Incidencia%20de%20fugas%20en%20las%20red%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable%20de%20los%20cantones%20Chambo%20y%20Guano..pdf>
- Kuroda . (2022). *Los expertos en cero fugas*. Obtenido de <http://www.kairon.com.mx/ksh/fugas>
- Lahlou, Z. (diciembre de 2017). *Tecnología en breve- detección de fugas y control de pérdida de agua*. Obtenido de National Environmental Services Center at West

- Virginia University: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Detecci%C3%B3n-de-fugas.pdf>
- Ley de recursos hídricos y aprovechamiento del agua. (05 de 2015). *Decreto Ejecutivo 650*. Obtenido de Registro Oficial Suplemento 483 de 20-abr.-2015: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ley-Recursos-Hidricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Ley de recursos hídricos y aprovechamiento del agua. (05 de 2018). *Decreto Ejecutivo 650*. Obtenido de Registro Oficial Suplemento 483 de 20-abr.-2015: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ley-Recursos-Hidricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- López, G. (2020). *Informe técnico de funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema de agua potable*. Tisaleo.
- Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania. (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua*. Obtenido de Un enfoque a la gestión de la presión: https://www.nrwsee.com/files/download/61f7a478eed47ES_Guia%20para%20la%20reduccion%20de%20las%20perdidas%20de%20agua_resolucion%20baja.pdf
- Molina, E., Quesada, F., Calle, A., Ortiz, J., & Orellana, D. (2018). Consumo sustentable de agua en la ciudad de Cuenca. *INGENIUS*, 38. Obtenido de file:///C:/Users/MEGAPC/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/ddaf231a-426c-43c5-aa0b-5e11659b85c2/Dialnet-ConsumoSustentableDeAguaEnViviendasDeLaCiudadDeCue-6489007.pdf
- Moreta Capuz, J. (marzo de 2022). *Repositorio universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de Análisis del sistema de agua potable enfocado al diseño del tanque de almacenamiento y ampliación de red de distribución desde la comunidad El Chilco hasta el caserío San Antonio, en el cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua [pdf]: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/35151/1/Tesis%20I.C.%201571%20-%20Moreta%20Capuz%20Jonathan%20Stalin-signed.pdf>
- Orna Gamboa, K. P., & Zumba Pila, C. P. (2023). Incidencia de fugas en redes de abastecimiento de agua potable en el cantón Tisaleo de la provincia de Tungurahua.
- Porras, O. (2014). *Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar distribución de agua potable- sector San carlos- La Merced*. Obtenido de Repositorio- Universidad Nacional del centro de Perú: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/290/TEMEC_09.pdf?sequence=1
- Registro Oficial Cantón Tisaleo. (15 de 08 de 2018). *Edición Especial N° 518*. Obtenido de Editora Nacional [pdf]: [file:///C:/Users/MEGAPC/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/b0112379-a55e-4756-9e60-aa75904dd588/EE518_20180815%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/MEGAPC/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/b0112379-a55e-4756-9e60-aa75904dd588/EE518_20180815%20(1).pdf)
- Rodríguez, N., Delgado, X., Mora, J., & Carreño, G. (2022). Localización de fugas en redes de distribución de agua mediante optimización con Harmony Search. *INTERCIENCIA*, https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2022/05/01_6829_A_Rodriguez_Moreno_v47n4_7.pdf.

- SIAPA. (Febrero de 2014). *criterios y lineamientos Técnicos para Factibilidades*. Obtenido de Sistemas de agua potable: https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_2._sistemas_de_agua_potable-1a._parte.pdf
- Yaula Chaglla, D. (2011). *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de Análisis de las condiciones actuales de abastecimiento del agua potable en el caserío Calvario del Cantón Tisaleo, para mejorar la calidad de vida en los habitantes [pdf]: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1385>

ANEXOS

ANEXO 1

Balance hídrico por años

DÍAS	MESES	AÑOS	CAUDAL INYECTADOS		FACTURADOS		CONSUMIDO Y NO REGISTRADO		TOTAL Qr+Qice		Q INCONTROLADO		IANC %	Q fugado		Agua fugada		Rendimiento %
			(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)		(m3/años)	(l/s)	%	%	
365	12	2018	685.337,20	260,78	405.541,01	154,49	34.266,86	13,04	439.807,87	167,53	279.796,19	106,30	40,76%	245.529,33	93,26	35,76%	59,24%	
365	12	2019	685.337,20	260,78	452.451,00	172,15	34.266,86	13,04	486.717,86	185,19	232.886,20	88,64	33,99%	198.619,34	75,60	28,99%	66,01%	
366	12	2020	687.214,83	260,78	452.998,50	171,90	34.360,74	13,04	487.359,24	184,94	234.216,33	88,88	34,08%	199.855,59	75,84	29,08%	65,92%	
365	12	2021	685.337,20	260,78	434.062,00	165,53	34.266,86	13,04	468.328,86	178,57	251.275,20	95,25	36,52%	217.008,34	82,21	31,52%	63,48%	
243	8	2022	456.265,59	173,86	304.268,00	116,26	22.813,28	8,69	327.081,28	124,95	151.997,59	57,59	33,13%	129.184,31	48,90	28,13%	66,87%	
1704	56	TOTAL	3.199.492,02	1.216,99	2.049.320,51	780,33	159.974,60	60,85	2.209.295,11	841,18	1.150.171,51	436,66	35,88%	990.196,91	375,81	30,88%	64,12%	
		PROMED	639.898,40	243,40	409.864,10	156,07	31.994,92	12,17	441.859,02	168,24	230.034,30	87,33	35,70%	198.039,38	75,16	30,70%	64,30%	

RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO POR AÑO

		Promedios		ACUMULADO (5 AÑOS)	
		l/s	m3/año	l/s	m3/año
Caudal Inyectado	Q (l/s)	243,40	639.898,40	1216,99	3.199.492,02
Caudal registrado	Qr (l/s)	156,07	409.864,10	780,33	2.049.320,51
Caudal incontrolado	Qi (l/s)	87,33	230.034,30	436,66	1.150.171,51
Caudal incontrolado consu	Qic (l/s)	12,17	31.994,92	60,85	159.974,60
Caudal incontrolado fugado	Qif (l/s)	75,16	198.039,38	375,81	990.196,91

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS POR AÑO

	Formula	Valor (%)
Rendimiento global del sistema	$\eta_s = Q_r/Q$	64,05%
Rendimiento de la red	$\eta_r = Q_s/Q$	69,05%
Rendimiento de la medición	$\eta_g = Q_r/Q_s$	92,76%
QS= Qr+Qic		
CALIFICACIÓN η_s :	Regular	

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

ANEXO 2

Balance hídrico por redes

REDES	CAUDAL INYECTADOS		FACTURADOS		CONSUMIDO Y NO REGISTRADO		TOTAL Qr+Qice		Q INCONTROLADO		IANC %	Q fugado		Agua fugada		RENDIMIENTO GLOBAL POR REDES	Rendimiento de la red	Rendimiento de la medición	
	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)	(m3/años)	(l/s)		(m3/años)	(l/s)	%	(m3/años)				
RED A1	50.822,28	19,33	32.838,00	12,51	2.541,11	0,97	35.379,11	13,48	17.984,28	6,82	35,29%	15.443,18	5,86	30,31%	64,61%	69,61%	92,82%	REGULAR	
RED A2	279.537,25	106,33	163.901,00	62,49	13.976,86	5,32	177.877,86	67,80	115.636,25	43,84	41,23%	101.659,38	38,52	36,23%	58,63%	63,63%	92,14%	MALO	
RED B1	107.091,90	40,74	69.405,50	26,44	5.354,60	2,04	74.760,10	28,47	37.686,40	14,30	35,10%	32.331,80	12,26	30,11%	64,81%	69,81%	92,84%	REGULAR	
RED C1	265.168,03	100,86	171.121,50	65,16	13.258,40	5,04	184.379,90	70,20	94.046,53	35,70	35,40%	80.788,14	30,66	30,40%	64,53%	69,53%	92,81%	REGULAR	
RED C2	53.222,05	20,24	31.313,50	11,93	2.661,10	1,01	33.974,60	12,94	21.908,55	8,32	41,07%	19.247,45	7,30	36,08%	58,84%	63,84%	92,17%	MALO	
RED D1	110.713,65	42,11	74.200,00	28,24	5.535,68	2,11	79.735,68	30,35	36.513,65	13,87	32,93%	30.977,97	11,77	27,94%	67,02%	72,02%	93,06%	REGULAR	
RED E1	23.924,16	9,10	12.467,00	4,74	1.196,21	0,46	13.663,21	5,20	11.457,16	4,36	47,87%	10.260,95	3,90	42,89%	52,11%	57,11%	91,25%	MALO	
RED F1	77.175,66	29,36	46.878,00	17,87	3.858,78	1,47	50.736,78	19,33	30.297,66	11,49	39,14%	26.438,87	10,02	34,15%	60,74%	65,74%	92,39%	REGULAR	
RED G1	74.216,42	28,23	44.399,50	16,91	3.710,82	1,41	48.110,32	18,32	29.816,92	11,32	40,11%	26.106,10	9,91	35,12%	59,82%	64,82%	92,29%	MALO	
RED G2	90.573,19	34,45	58.356,00	22,21	4.528,66	1,72	62.884,66	23,94	32.217,19	12,24	35,52%	27.688,53	10,51	30,51%	64,43%	69,43%	92,80%	REGULAR	
RED G3	155.058,00	58,98	105.287,00	40,08	7.752,90	2,95	113.039,90	43,03	49.771,00	18,90	32,04%	42.018,11	15,95	27,04%	67,90%	72,90%	93,14%	REGULAR	
RED H1	9.201,60	3,50	3.464,00	1,32	460,08	0,18	3.924,08	1,49	5.737,60	2,18	62,36%	5.277,52	2,00	57,27%	37,65%	42,65%	88,28%	INACEPTABLE	
RED H2	78.206,24	29,75	46.047,00	17,53	3.910,31	1,49	49.957,31	19,01	32.159,24	12,22	41,08%	28.248,93	10,73	36,08%	58,88%	63,88%	92,17%	MALO	
RED I1	176.670,72	67,20	128.326,50	48,85	8.833,54	3,36	137.160,04	52,21	48.344,22	18,35	27,31%	39.510,69	14,99	22,31%	72,64%	77,64%	93,56%	BUENO	
RED J1	429.309,85	163,30	267.429,50	101,84	21.465,49	8,16	288.894,99	110,00	161.880,35	61,46	37,63%	140.414,86	53,29	32,63%	62,29%	67,29%	92,57%	REGULAR	
RED K1	294.451,20	112,00	182.739,50	69,54	14.722,56	5,60	197.462,06	75,14	111.711,70	42,46	37,91%	96.989,13	36,86	32,91%	62,06%	67,06%	92,54%	REGULAR	
RED L1	306.538,42	116,60	188.348,00	71,72	15.326,92	5,83	203.674,92	77,55	118.190,42	44,87	38,49%	102.863,50	39,04	33,49%	61,44%	66,44%	92,47%	REGULAR	
RED M1	382.050,43	145,32	282.509,01	107,54	19.102,52	7,27	301.611,53	114,81	99.541,42	37,78	26,00%	80.438,89	30,52	21,00%	73,95%	78,95%	93,67%	BUENO	
RED N1	235.560,96	89,60	140.290,00	53,42	11.778,05	4,48	152.068,05	57,90	95.270,96	36,18	40,38%	83.492,91	31,70	35,38%	59,56%	64,56%	92,25%	MALO	
TOTAL	3.199.492,02	1.216,99	2.049.320,51	780,33	159.974,60	60,85	2.209.295,11	841,18	1.150.171,51	436,66	35,88%	990.196,91	375,81	30,88%	64,05%	69,05%	92,76%	REGULAR	
PROMEDIO	168.394,32	64,05	107.858,97	41,07	8.419,72	3,20	116.278,69	44,27	60.535,34	22,98	38,26%	52.115,63	19,78	33,25%	61,68%	69,05%	92,76%	REGULAR	
RESUMEN DEL BALANCE HÍDRICO TÉCNICO POR REDES																			
		Promedios				Acumulados (5 AÑOS)													
		l/s		m3/año		l/s		m3/año											
Caudal Inyectado		Q (l/s)		64,05		168.394,32		1.216,99		3.199.492,02									
Caudal registrado		Qr (l/s)		41,07		107.858,97		780,33		2.049.320,51									
Caudal incontrolado		Qi (l/s)		22,98		60.535,34		436,66		1.150.171,51									
Caudal incontrolado consumido y no registrado		Qic (l/s)		3,20		8.419,72		60,85		159.974,60									
Caudal incontrolado fugado		Qif (l/s)		19,78		52.115,63		375,81		990.196,91									