



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

Título del Proyecto

**“INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL CANTÓN TENA”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Ango Andrango Gilson Andres
Chanaluisa Chanaluisa Diego Joseph

Tutor:

MsC. Ing. Gabriela Zúñiga R.

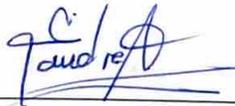
Riobamba, Ecuador 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Gilson Andres Ango Andrango, con cédula de ciudadanía 1500956535 y Diego Joseph Chanaluisa Chanaluisa, con cédula de ciudadanía 2200148548, autores del trabajo de investigación titulado: Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Tena, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 16 de noviembre de 2023.



Gilson Andres Ango Andrango

C.I: 1500956535



Diego Joseph Chanaluisa Chanaluisa

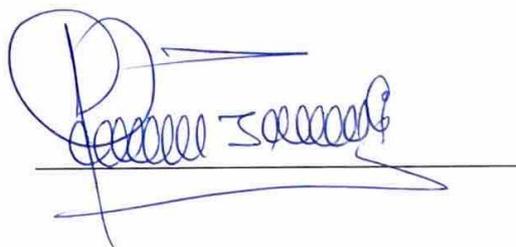
C.I: 2200148548

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Tena, presentado por Gilson Andres Ango Andrango con cédula de identidad 1500956535 y Diego Joseph Chanaluisa Chanaluisa con cédula de identidad 2200148548, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 16 de noviembre de 2023.

Marco Javier Palacios Carvajal, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



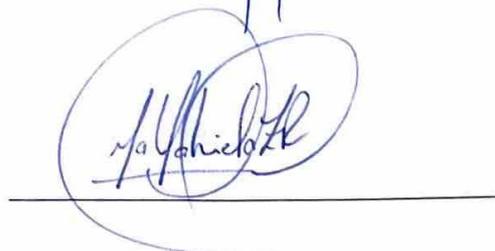
Lidia Jhoanna Gallardo Donoso, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Nelson Estuardo Patiño Vaca, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



María Gabriela Zúñiga Rodríguez, Mgs.
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Tena, presentado por Gilson Andres Ango Andrango con cédula de identidad 1500956535 y Diego Joseph Chanaluisa Chanaluisa con cédula de identidad 2200148548, bajo la tutoría de Mgs. 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, 16 de noviembre de 2023.

Marco Javier Palacios Carvajal, MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Lidia Jhoanna Gallardo Donoso, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Nelson Estuardo Patiño Vaca, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

María Gabriela Zúñiga Rodríguez, Mgs.
TUTOR



CERTIFICACIÓN

Que, **ANGO ANDRANGO GILSON ANDRES** con CC: **150095653-5** y **CHANALUISA CHANALUISA DIEGO JOSEPH** con CC: **220014854-8**, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN TENA**", cumple con el **2 %**, 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, 06 de noviembre de 2023

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez Mgs.
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

A mis padres Cristina A., y Alberto A. quienes con su apoyo, sacrificio y paciencia han permitido cumplir una meta más. Por sus consejos, valores y principios que han ayudado a formarme como persona. Especialmente por brindarme su apoyo y creer en mi desde el principio que ha sido muy importante para no rendirme.

Así mismo a mis hermanos que han sido de gran ayuda con su ejemplo como personas, buenos profesionales, aliento y motivación.

Finalmente, a los demás familiares y amigos cercanos que han compartido su apoyo y cariño motivándome a ser mejor persona.

Gilson A. Ango A.

DEDICATORIA

"Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo incondicional y sacrificio constante. A mi abuelita y madre, que me han inspirado con su dedicación y valores, y a mis hermanos, por ser mi fuente de alegría y motivación.

A mis profesores y asesores, cuyas enseñanzas y orientación han sido fundamentales en mi formación académica. Agradezco sus conocimientos compartidos y su paciencia infinita.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado durante esta larga travesía, brindándome apoyo moral y momentos de diversión necesarios para mantener el equilibrio en mi vida.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que, de una manera u otra han compartido momentos durante este proceso. Sin su apoyo y aliento, este logro no habría sido posible."

AGRADECIMIENTOS

Agradeciendo a Dios, por guiar cada paso que doy en esta vida y por haberme permitido llegar con buena salud a este momento.

A mis padres y hermanos por estar siempre presente en todos los logros conseguidos y servir de soporte y motivación para poder lograr este sueño.

A mis queridos amigos con quienes compartí varios momentos amenos, quienes mostraron confianza y apoyo a lo largo de la carrera. ¡Los llevare siempre en mi corazón!

A nuestra tutora de tesis, MsC. Gabriela Zúñiga, por compartir su tiempo, conocimientos y enseñanza para el correcto desarrollo de este proyecto.

A la dirección de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Tena quienes nos facilitaron la información y tiempo para el desarrollo del presente trabajo.

Gilson A. Ango A.

AGRADECIMIENTOS

“Primeramente, agradecer a Dios por permitirme cumplir uno de mis objetivos en la vida, A mi familia, por su amor constante y apoyo incondicional. Sus palabras de aliento y su creencia en mí han sido mi fuente de fuerza en los momentos más desafiantes.

A mis amigos, quienes me han brindado no solo compañía, sino también ánimo y risas cuando más los necesitaba. Sus amistades han sido un regalo invaluable.

A todos los que de una forma u otra han influido en mi camino, gracias por su inspiración y apoyo.

Este trabajo es un testimonio de la importancia de trabajar en conjunto, aprender de los demás y perseverar en busca del conocimiento. A cada uno de ustedes, les agradezco de todo corazón por formar parte de este logro”.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Zona de estudio	16
1.2 Antecedentes de investigación	17
1.3 Planteamiento del problema.....	18
1.4 Justificación	19
1.5 Objetivos	20
1.5.1 General.....	20
1.5.2 Específicos	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Sistema de agua potable.....	21
2.2 Fugas en la red de distribución de agua potable	21
2.3 Balance hídrico	21
2.4 Estado del arte.....	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	26
3.1 Tipo y diseño de investigación	26
3.2 Alcance	27
3.3 Población de estudio	27
3.4 Recopilación de Información.....	27
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	28

3.5.1	Sistema de red de distribución de agua potable del cantón Tena	28
3.6	Rendimientos volumétricos	29
3.7	Índice de agua no contabilizado.....	30
3.8	Indicadores de agua no contabilizada	30
3.8.1	Caudal inyectado (Q)	31
3.8.2	Caudal Registrado (Qr).....	33
3.8.3	Caudal Incontrolado consumido (Qic).....	37
3.8.3.1	Caudal no registrado debido a error de medida (Qice).....	37
3.8.3.2	Caudal no medido autorizado (Qica)	37
3.8.3.2.1	Estimación consumo residencial para Qica	38
3.8.3.2.2	Estimación consumo comercial para Qica.....	38
3.8.3.2.3	Estimación consumo industrial para Qica	39
3.8.3.2.4	Estimación consumo oficial para Qica	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		45
4.1	Resultados	45
4.1.1	Resultado del balance hídrico técnico general.....	45
4.1.2	Rendimientos Volumétricos	51
4.1.3	Identificación de zonas afectadas	52
4.1.4	Pérdidas económicas anuales por fugas de agua	53
4.2	Operación y mantenimiento del sistema de agua potable.....	55
4.2.1	Ordenes de mantenimiento	55
4.2.2	Reparación y monitoreo de fugas	55
4.2.3	Soluciones planteadas	56
4.3	Discusión	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
5.1	Conclusiones	61
5.2	Recomendaciones	62

6	CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....	63
7	CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Usuarios registrados por categorías cantón Tena	27
Tabla 2.	Información de los tanques de reserva cantón Tena.....	29
Tabla 3.	Rangos para la calificación de la red en función del rendimiento.....	30
Tabla 4.	Rangos de desempeño – Indicador de agua no contabilizada	30
Tabla 5.	Caudales inyectados en cada red año 2019	31
Tabla 6.	Caudales inyectados en cada red	32
Tabla 7.	Caudales registrados facturados en cada red año 2019	33
Tabla 8.	Caudales registrados facturados en cada red año 2020	34
Tabla 9.	Caudales registrados facturados en cada red año 2021	35
Tabla 10.	Caudales registrados facturados en cada red año 2022	36
Tabla 11.	Caudales registrados anuales en la red periodo 2019-2022.....	37
Tabla 12.	Consumo estimado para cada categoría.....	37
Tabla 13.	Estimación caudal para consumo residencial por usuario	38
Tabla 14.	Caudales estimados totales para categoría residencial para el cálculo de Qica. 38	
Tabla 15.	Caudales estimados totales para categoría comercial para el cálculo de Qica .. 39	
Tabla 16.	Caudales estimados totales para categoría industrial para el cálculo de Qica... 39	
Tabla 17.	Áreas recreativas y deportivas	40
Tabla 18.	Competencias municipales	40
Tabla 19.	Instituciones religiosas	40
Tabla 20.	Instituciones particulares	41
Tabla 21.	Instituciones de seguridad y emergencia	41
Tabla 22.	Instituciones educativas	41
Tabla 23.	Estimación de caudal mensual Instituciones de categoría “Oficial” para el cálculo de Qica.....	42
Tabla 24.	Estimación Caudal incontrolado consumido autorizado total (Qica) para el año 2022	43

Tabla 25. Estimación caudal incontrolado consumido autorizado total (Qica).....	44
Tabla 26. Balance hídrico técnico general.....	45
Tabla 27. Resultado del balance hídrico técnico general.	46
Tabla 28. Balance hídrico técnico año 2019.....	47
Tabla 29. Balance hídrico técnico año 2020.....	48
Tabla 30. Balance hídrico técnico año 2021.....	49
Tabla 31 Balance hídrico técnico año 2022.....	50
Tabla 32. Rendimientos volumétricos generales.....	51
Tabla 33. Tarifas básicas para consumo cantón Tena	53
Tabla 34. Costos anuales de las fugas de agua en el sistema del cantón Tena.....	53
Tabla 35. Costos anuales de las fugas de agua con tarifa propuesta por el ARCA.....	54
Tabla 36. Proyección de habitantes y usuarios beneficiados del volumen de agua fugada	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación cantón Tena.....	16
Figura 2. Balance hídrico	23
Figura 3. Metodología propuesta.....	26
Figura 4. Ubicación de tanques y cobertura de las redes de distribución.....	28
Figura 5. Caudal mensual instituciones de categoría “oficial” para el cálculo de Qica [m ³ /mes].....	42
Figura 6. balance hídrico técnico general.....	46
Figura 7. Rendimiento global general de la red	51
Figura 8. Mapa de afectación redes de distribución cantón Tena año 2022.....	52
Figura 9. Comparación costo de recaudación valor municipal y valor recomendado por el ARCA	54
Figura 10. Proceso de reparación dentro de cada red de distribución	56
Figura 11. Propuesta para la reducción de pérdidas de agua.....	57
Figura 12. Índice de agua no contabilizada cantón Tena	58
Figura 13. Índice de agua fugada red 13 de abril y Paushiyacu	59
Figura 14. Redes con el índice de agua fugada máxima y mínima	59

RESUMEN

La problemática de fugas existente en redes de distribución de agua potable se ha convertido en una dificultad al momento de ser mitigada, representada en gran porcentaje por pérdidas de volumen de agua y económicas que enfrentan las entidades encargadas de controlar y brindar el servicio. En el cantón Tena se observa deficiencias en la micromedición y recaudación por la existencia de medidas inversas, conexiones directas e instalaciones clandestinas, por este motivo el presente estudio tiene como objetivo determinar la incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable con el fin de divisar la cantidad de agua fugada y pérdidas económicas en las distintas redes de distribución. En esta investigación se empleó una metodología cualitativa y cuantitativa, cualitativa por la recopilación de información, inspecciones de tanques de reserva y reparación de fuga in situ y cuantitativa por el análisis de volúmenes inyectados, estimación de caudales y balance hídrico respectivamente. Por medio del análisis del balance hídrico técnico propuesto por Cabrera et al., (1999) aplicado en el cantón Tena en el periodo de 2019-2022, se obtiene como resultado un porcentaje de agua no contabilizada (IANC) de 56.46 % correspondiente a un Rango “III-Bajo” de acuerdo con lo estipulado por el ARCA y un rendimiento global del sistema de 47.12 % con una calificación de “Inaceptable”. En base a los resultados se desarrolló un plan de acción para solucionar los problemas de atención y minimización de fugas.

Palabras claves: Fuga, redes, balance hídrico, rendimiento, micromedición.

Abstract

The problem of leaks in drinking water distribution networks has become problematic when it comes to being mitigated, represented in a large percentage by losses of water volume and economics that must face the entities in charge of controlling and providing the service.

In *Tena* Canton, there are deficiencies in micro metering and collection due to the existence of inverse measures, direct connections, and clandestine facilities; so, this study aims to determine the incidence of leaks in the drinking water supply network in order to see the amount of leaked water and economic losses in the different distribution networks. In this research, a qualitative and quantitative methodology was used: qualitative by the collection of information, inspections of reserve tanks, and leak repairs in situ and quantitative by the analysis of injected volumes, estimation of flows, and water balance, respectively. Through the analysis of the technical water balance proposed by Cabrera et al. (1999) applied in the *Tena* Canton in the period 2019-2022, the result is a percentage of non-revenue water (IANC) of 56.46% corresponding to a Range III-Low under the provisions of the ARCA and an overall system performance of 47.12% with a rating of "Unacceptable." Based on the results, an action plan was developed to solve attention problems and minimize leaks.

Keywords: Leakage, networks, water balance, yield, micrometer.



Reviewed by:
Lic. Jenny Freire Rivera
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0604235036

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Zona de estudio

Tena, cantón perteneciente a la provincia de Napo en el Ecuador, ubicada en la región Amazónica a una altitud de 510 msnm cuenta con una superficie de 3 904.3 km², la distancia desde Quito es de 3 horas y media y 3 horas desde la ciudad de Ambato, limita al sur con las provincias de Tungurahua, Pastaza y el cantón Carlos Julio Arosemena Tola, al este con la provincia de Orellana y al oeste con las provincias de Cotopaxi y Tungurahua. De acuerdo con los datos obtenidos del censo poblacional, el cantón Tena ha aumentado su población en un 24.4 % desde el censo del 2001 al 2010, contando con una población de 60 800 habitantes (GAD Municipal del Cantón Tena, 2022).

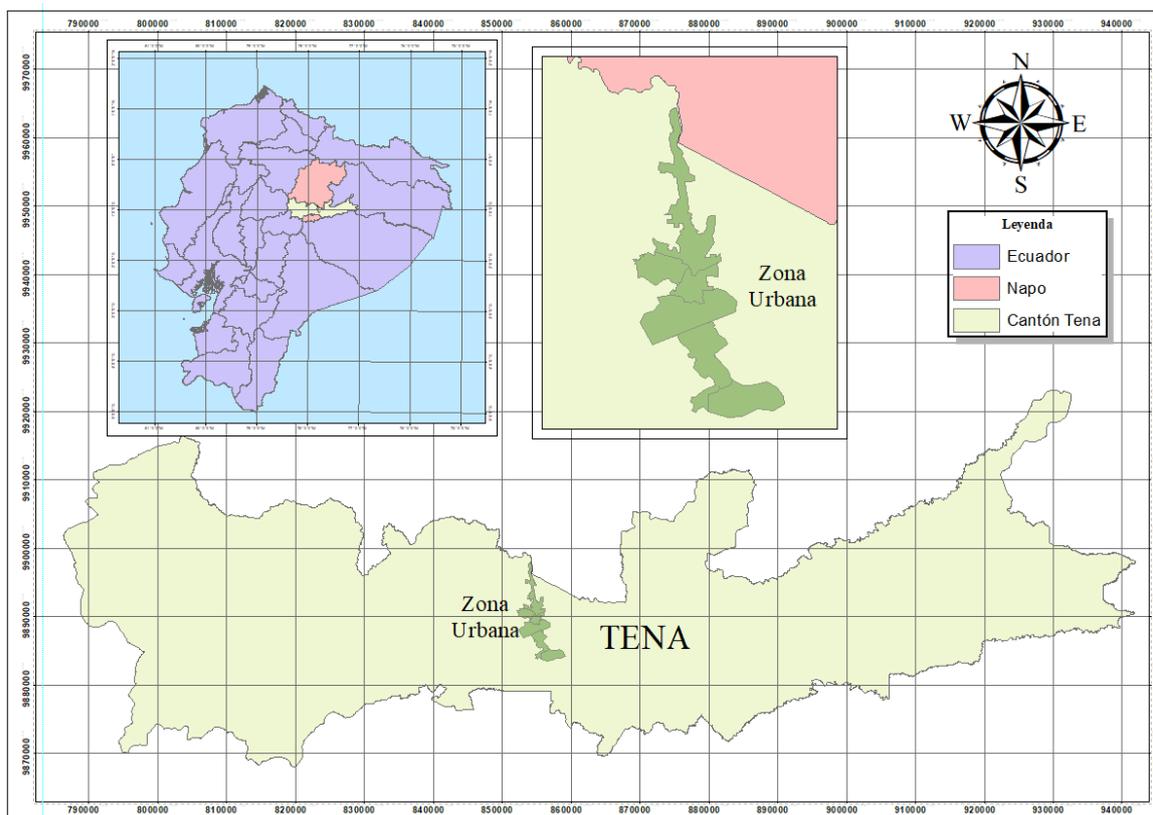


Figura 1. Ubicación cantón Tena

El sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Tena es beneficiaria para un total de 7 392 usuarios, información obtenida del departamento de agua potable con fecha de corte diciembre 2022, categorizada en residencial, comercial, industrial y oficial.

El sistema de agua potable de la ciudad de Tena fue construido en 1978 por el GAD Municipal, hoy en día está a cargo de la Dirección de Agua y Alcantarillado, consta de una estructura de captación que funciona gracias a las aguas del río Colonso, posee dos plantas de tratamiento de tipo convencional, siete redes de distribución (constituida por 14 tanques de reserva) y diferentes conexiones domiciliarias (GAD TENA, 2022).

Conforme a lo expuesto, la entidad responsable realiza recorridos encontrando diferentes problemáticas como: gran cantidad de fugas visibles en el camino, fugas por reparaciones mal realizadas, falta de medidores y presencia de redes clandestinas (GAD TENA, 2022).

1.2 Antecedentes de investigación

Según Arroyo (2015) el agua es un elemento del ecosistema considerado como un activo social debido a que su calidad y escasez es una problemática que afecta la producción de alimentos, salud, estabilidad política y social. Su calidad es afectada de forma directa tanto por factores, naturales y relacionados con la actividad humana.

Actualmente se estima que un 85 % de la población accede a un servicio adecuado de agua potable y cerca del 40 % no es registrada o facturada debido a pérdidas, fugas o tomas clandestinas, lo que forma parte de un problema en la gestión y distribución de agua para consumo humano (García & Benavides, 2019).

En Ecuador según la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) asegura que el país presenta pérdidas anuales de 320 millones de dólares por agua no contabilizada (ANC) correspondientes a 696.2 millones de metros cúbicos de agua (Primicias, 2021).

Los boletines estadísticos de agua potable y saneamiento presentados por el ARCA evidencian que en el año 2020 existió un 47.69% de ANC como promedio nacional mientras que en el año 2021 incrementó al 48.4% el volumen de fuga de agua tratada que se pierde desde la red de distribución hasta los consumidores (ARCA, 2021).

Sin embargo, el cantón Tena registra datos fuera de rango reportados en los boletines de los años 2020 y 2021, cabe mencionar que en el año 2019 presenta un valor de 0% de ANC lo cual es algo fuera de lo común (ARCA, 2021).

La provincia de Napo presenta un desempeño “medio” de acuerdo a los indicadores de calidad de agua a nivel provincial, además, el cantón Tena es identificado como un

prestador de servicio “categoría B” con un porcentaje de eficiencia del 70% al 80% considerado como “bueno” (ARCA, 2021).

En una red de distribución de agua potable se puede detectar varios problemas que están relacionados con fugas, los asentamientos o hundimientos del terreno natural por causa de la sobreexplotación de acuíferos y tuberías con varios años de servicio, la falta de mantenimiento, presencia de fallas continuas y deficiencia en equipos de bombeo que demeritan la calidad del servicio (Fragoso Sandoval et al., 2016).

Por ello es necesario que el GADM del cantón Tena a través de la Dirección de Agua y Alcantarillado comprenda la severidad del problema, informándose sobre los volúmenes de ANC y del funcionamiento del sistema de distribución con el objetivo de implementar técnicas o recursos necesarios para limitar las pérdidas de agua y promover una mejora en su gestión (Jaramillo & Oleas, 2022).

1.3 Planteamiento del problema

El sistema de agua potable de la ciudad de Tena ha sido ampliado y mejorado de acuerdo con las circunstancias locales, por lo que su nuevo diseño se realizó en función de las necesidades emergentes de las comunidades rurales y sectores urbanos de la ciudad para garantizar un servicio de calidad apto para el consumo humano (BDE, 2022).

La matriz del cantón Tena al tener un sistema antiguo permite la existencia de fugas, sumado a esto la falta de mantenimiento provocando inconformidad en el abastecimiento correcto a los usuarios.

Por ende, es necesario otorgar un adecuado seguimiento a la incidencia de fugas que presentan las distintas redes y así implementar medidas correctivas que minimicen problemas en el sistema de conducción, pérdida de recursos humanos, materiales y económicos.

Con todo lo expuesto surgen las interrogantes ¿Cuál es la incidencia de fugas de agua en la red de distribución del cantón Tena? y ¿Cuáles son las zonas mayormente afectadas?, esto se realizará a través de un análisis detallado de las redes de distribución para dar seguimiento a los problemas encontrados y que las entidades a cargo puedan implementar medidas correctivas.

1.4 Justificación

El principal problema en un sistema de red de agua potable son las fugas y el propósito de un sistema óptimo es abastecer a una población de manera eficiente y atenuar gastos, estos problemas suceden en diversas ocasiones por falta de mantenimiento y concientización de las personas, obteniendo como producto mantenimientos que no son atendidos a tiempo, esperando que sea de mayor magnitud el problema, mantenimientos rústicos o mal hechos. Cuando el problema crece el proceso de reparación conlleva a generar diversos inconvenientes como la suspensión transitoria del servicio en la red, contaminación sonora y visual debido a molestias en la ciudadanía, generando pérdidas económicas de manera implícita (Achache & Gómez, 2022).

Según Benavides (2018) es imposible eliminar por completo las fugas en una red de abastecimiento de agua potable ya que siempre va a existir un volumen mínimo de pérdidas y por ello se debe considerar controles, mantenimientos y reparaciones, a fin de reducir y moderar este problema, esto en conjunto permitirá reducir pérdidas económicas.

Conforme a lo mencionado, la presente investigación ayudará a obtener información actualizada del sistema de abastecimiento de la red de agua potable del cantón Tena, beneficiando al sector de estudio de manera que las entidades responsables del control y manejo del agua potable apliquen estrategias para disminuir gastos y aprovecharlos en nuevos proyectos, nuevas redes, planificar mantenimientos respectivos, mejorando la calidad del servicio y así mitigar en gran parte el agua fugada.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

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

1.5.2 Específicos

- Recolectar información por parte de la institución competente que gestiona el sistema de abastecimiento de agua potable.
- Identificar los sectores de distribución de la red y realizar un balance hídrico para determinar cuantitativamente la cantidad de agua fugada de la red.
- Reconocer las zonas donde existe la mayor cantidad de fugas de agua del cantón Tena e identificarlas en sistemas de información geográfica.
- Determinar en base a los resultados obtenidos la relevancia del problema, discutir sus posibles causas y plantear soluciones al mismo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de agua potable

Según Carvajal & Vargas (2023) y Escamilla & Palerm (2016) al sistema de agua potable se lo entiende como el abastecimiento del recurso hídrico, el cual abarca y cubre de manera óptima esta necesidad de gran parte de la población, partiendo desde la captación del recurso, conducción, tratamiento, almacenamiento y finalmente llegando a la acometida domiciliaria.

2.2 Fugas en la red de distribución de agua potable

Las fugas representan la pérdida de agua que incurre de manera social y económica ya que el agua es captada, bombeada, tratada, almacenada y distribuida. Esto se da mediante diferentes fallas que puede presentar el sistema de distribución (Rosero, 2019).

Además, Campaña & Ortega (2016) interpretan a las fugas como caudales de agua no controlada que se puede dar en cualquier lugar de una red de distribución de agua potable ya sea en tanques de almacenamiento, conducción, acometidas domiciliarias o dentro de domicilios.

De igual manera Santos Ruiz et al. (2019) dicen que las pérdidas por fugas en el sistema de distribución es un problema difícil de gestionar debido a que el 30 % del recurso es perdido en la trayectoria a acometidas y que esto sucede a nivel mundial.

Las fugas representan un gran problema en la red de distribución ya que gran parte no son visibles y por lo tanto dificultan su detección, siendo necesario el uso de instrumentación especializada para su identificación y corrección oportuna (Santos Ruiz et al., 2019).

2.3 Balance hídrico

Es un método que permite estimar los volúmenes de pérdidas de agua potable que parte de la evaluación de información que presta el servicio a los usuarios, por gestión operacional como comercial, este método tiene la finalidad de proporcionar bases para erradicar las pérdidas de agua (Gutiérrez, 2016).

El método a utilizar para el análisis de fugas de agua potable es el propuesto por Cabrera et al. (1999), basado en metodologías que vienen implementando varias

asociaciones profesionales como la American Water Works Association (AWWA) y la IWSA, este parte con la obtención del caudal inyectado del sistema de abastecimiento que posteriormente realiza un análisis permitiendo conocer el rendimiento volumétrico de la red y su eficiencia (Cabrera et al., 1999).

Para conocer el rendimiento volumétrico de la red, a más del caudal inyectado, se necesita conocer los porcentajes de agua consumidos, no facturados y fugados del sistema, permitiendo igualar de una mejor manera los volúmenes de agua y así notar la pérdida de este recurso (Zúñiga, 2019).

Achache & Gómez (2022) y Carvajal & Vargas (2023) han implementado el método propuesto por Cabrera et al. (1999), el mismo método que es utilizado en el presente trabajo debido a que este no contempla pérdidas que ocurren antes del sistema de distribución como: depósitos, captaciones y plantas de tratamiento, dando así énfasis en lo que sucede a partir de la red.

En la Figura 2 se evidencia el esquema propuesto por Cabrera et al. (1999) para realizar el balance hídrico de un sistema de distribución de agua potable.

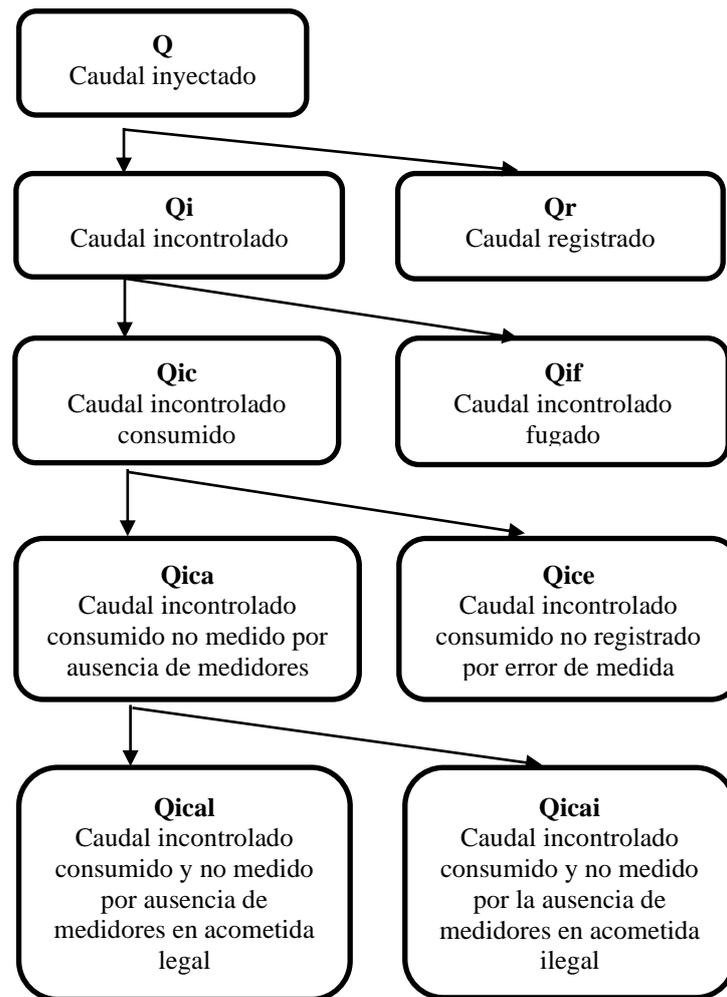


Figura 2. Balance hídrico
Fuente. (Cabrera et al., 1999)

2.4 Estado del arte

Se estima que a nivel mundial el volumen de ANC cada día llega a ser alrededor de 45 millones de metros cúbicos debido a fugas, fraudes, medidas imprecisas, agua no facturada, entre otras (García & Benavides, 2019).

Por otro lado, el ARCA (2021) da a conocer mediante el boletín estadístico que el porcentaje de ANC a nivel nacional asciende a un 48.4% siendo esta el agua tratada que se pierde desde que sale de la red de distribución hasta llegar a sus usuarios.

En el boletín del ARCA se puede observar el volumen de ANC de los diferentes cantones de la provincia de Napo donde el cantón Tena durante el año 2019 reporta continuidad del servicio de agua potable y presenta información fuera de rango con 0% de ANC (ARCA, 2019).

ARCA (2020) y ARCA (2021) mencionan que el cantón Tena presenta continuidad del servicio de agua potable, ausencia e inconsistencia de datos respecto al porcentaje de ANC durante los años 2020 y 2021. Esto permite entender que el servicio de distribución de agua potable es otorgado de manera constante a sus usuarios, sin embargo, no existe información actualizada de los volúmenes de ANC que son emitidos anualmente.

A continuación, se muestra información relevante de investigaciones sobre el análisis de incidencia de fugas presentes en varios cantones de las provincias del país.

En la publicación realizada por Achache & Gómez (2022) el cantón Riobamba presenta un porcentaje de ANC del 39% donde el 8% corresponde a pérdidas aparentes y el 31% a pérdidas reales, estiman una pérdida anual de 6 726 447.39 m³ que prácticamente equivale a una pérdida económica de \$ 3 295 959, esta cantidad de agua fugada podría beneficiar a 13 637 nuevos usuarios, el promedio de habitantes por vivienda es de 4.49.

Por otro lado, en un estudio realizado por Jaramillo & Oleas (2022) en los cantones Chambo y Guano, se determinan caudales incontrolados fugados de manera general para sus redes del 75.75% y 50.79% respectivamente, presentando rendimientos “inaceptables” y “malos” dentro de sus redes. Se estiman caudales incontrolados de 1 235 433.43 m³/año para el cantón Guano con pérdidas económicas de \$61 771.67 y 1 222 895.63 m³/año para el cantón Chambo con una pérdida económica de \$146 747.48.

En la investigación realizada por Flores & Rea (2023) en los cantones Penipe y Saraguro obtuvieron caudales incontrolados fugados de 49.2% y 55.33% respectivamente como promedio de los 5 años analizados (2018-2022), los rendimientos del sistema fueron del 50.87% con calificación de “malo” para el cantón Penipe y para el cantón Saraguro un rendimiento del 44.73% con una calificación “inaceptable”, presentando mayor pérdidas económicas durante el año 2022 de \$83 467.30 y \$ 231 918.62 respectivamente.

Carvajal & Vargas (2023) indican que es de gran importancia implementar distintas redes en el sistema de abastecimiento ya que facilita la reparación, mantenimiento y distribución del servicio, evidenciado esto en el cantón San Miguel el cual está constituido por 7 redes, contrario al cantón Chimbo el cual solo se compone de una red, presentando así pérdidas económicas considerables, afectando directamente a los usuarios ya que no se pueden realizar mejoras al sistema de red.

Estos estudios indican que múltiples lugares presentan altos índices de ANC como consecuencia generan problemas dentro de las entidades por el manejo y gestión de las redes, resultado en afectaciones en la entidad y por ende a la sociedad.

Los autores coinciden en que el sistema de abastecimiento en ninguna de sus investigaciones llega a presentar un rendimiento “óptimo” o “aceptable”, y en su gran mayoría calificados como “malos”, lo que indica que hay falta de gestión en el control de las redes, además, hacen énfasis en que ningún sistema puede llegar a ser ideal, ya que dependen de ciertas condiciones como la zona de estudio, cobertura y cantidad de usuarios a los que abastece la red.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El propósito del presente proyecto de investigación busca determinar y analizar la incidencia, consecuencias y efectos provocados por fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Tena, para ello, es necesario la recopilación de datos históricos otorgados por las entidades competentes para el respectivo análisis y elaboración del balance hídrico.

Se inicia la investigación con una revisión bibliográfica con el fin de adquirir información necesaria acerca del tema y analizar los datos obtenidos de las instituciones encargadas. Para esto se aplica un enfoque mixto comprendido entre componentes cualitativos y cuantitativos, perteneciendo así al enfoque cuantitativo todo lo relacionado con recolección y estudio de información de consumo en las diferentes redes de distribución, cálculo del balance hídrico y rendimientos volumétricos. Mientras que el enfoque cualitativo abarca inspecciones que identifican el estado de tuberías, tanques de almacenamiento que determinan las causas que generan las fugas en cada red.

Conforme a esto, en la Figura 3 se muestra el esquema de desarrollo del trabajo de investigación.

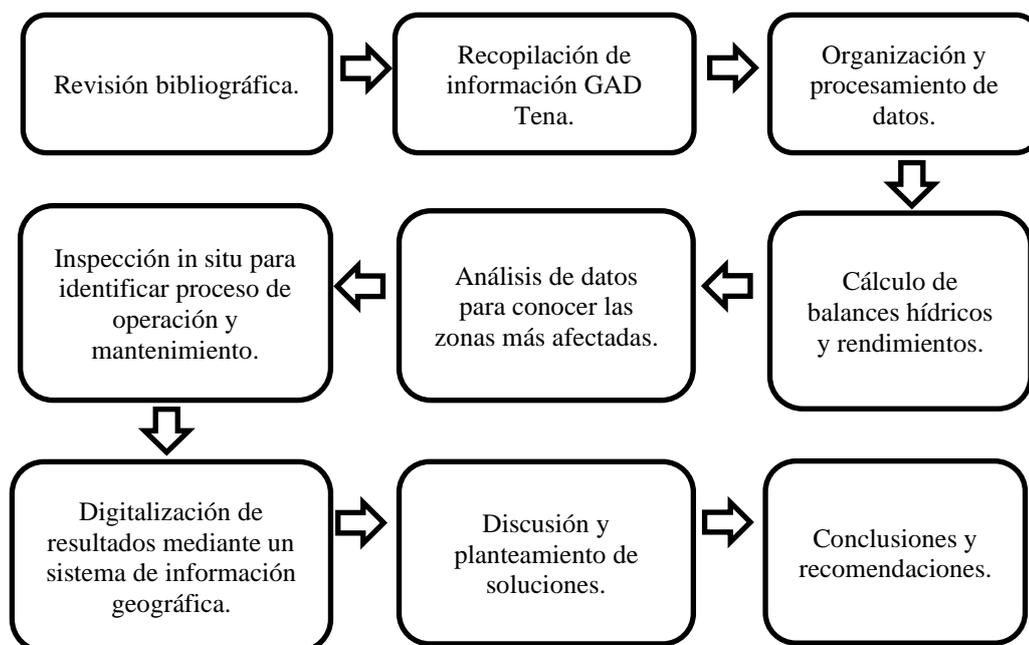


Figura 3. Metodología propuesta

3.2 Alcance

El alcance del proyecto de investigación es descriptivo y explicativo; descriptivo por las características del estudio y explicativo por la justificación del funcionamiento y resultados de los fenómenos mostrando una relación causal entre las diferentes variables (Galarza, 2020).

3.3 Población de estudio

La población de estudio corresponde a todos los usuarios beneficiarios del servicio de agua potable del cantón Tena, comprendida entre enero del 2019 hasta diciembre del año 2022. Los datos obtenidos conciernen a catastros de usuarios, valores de consumos mensuales, facturados y caudales inyectados en cada una de las redes de abastecimiento. El cantón Tena se distribuye en 7 redes que benefician a un total de 7 392 usuarios, mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1.
Usuarios registrados por categorías cantón Tena

Categoría	Nº Usuarios	% que representa
Residencial	5 883	79.59%
Comercial	1 255	16.98%
Industrial	78	1.06%
Oficial 1	175	2.37%
Oficial 2	1	0.01%
Total	7 392	100%

Fuente: (GAD TENA, 2022)

3.4 Recopilación de Información

El apoyo del departamento de agua potable y alcantarillado de la municipalidad del cantón Tena es importante al momento de desarrollar el estudio, por su disponibilidad para recopilar y acceder a toda la información necesaria como recorridos de observación de los tanques de almacenamiento, reparaciones de fugas en tuberías y medición del caudal ubicado en el sector de Puerto Napo.

3.5 Procesamiento y análisis de datos

3.5.1 Sistema de red de distribución de agua potable del cantón Tena

En la Figura 4 se presenta la ubicación de las plantas de tratamiento del sistema general de abastecimiento de agua potable del cantón Tena.

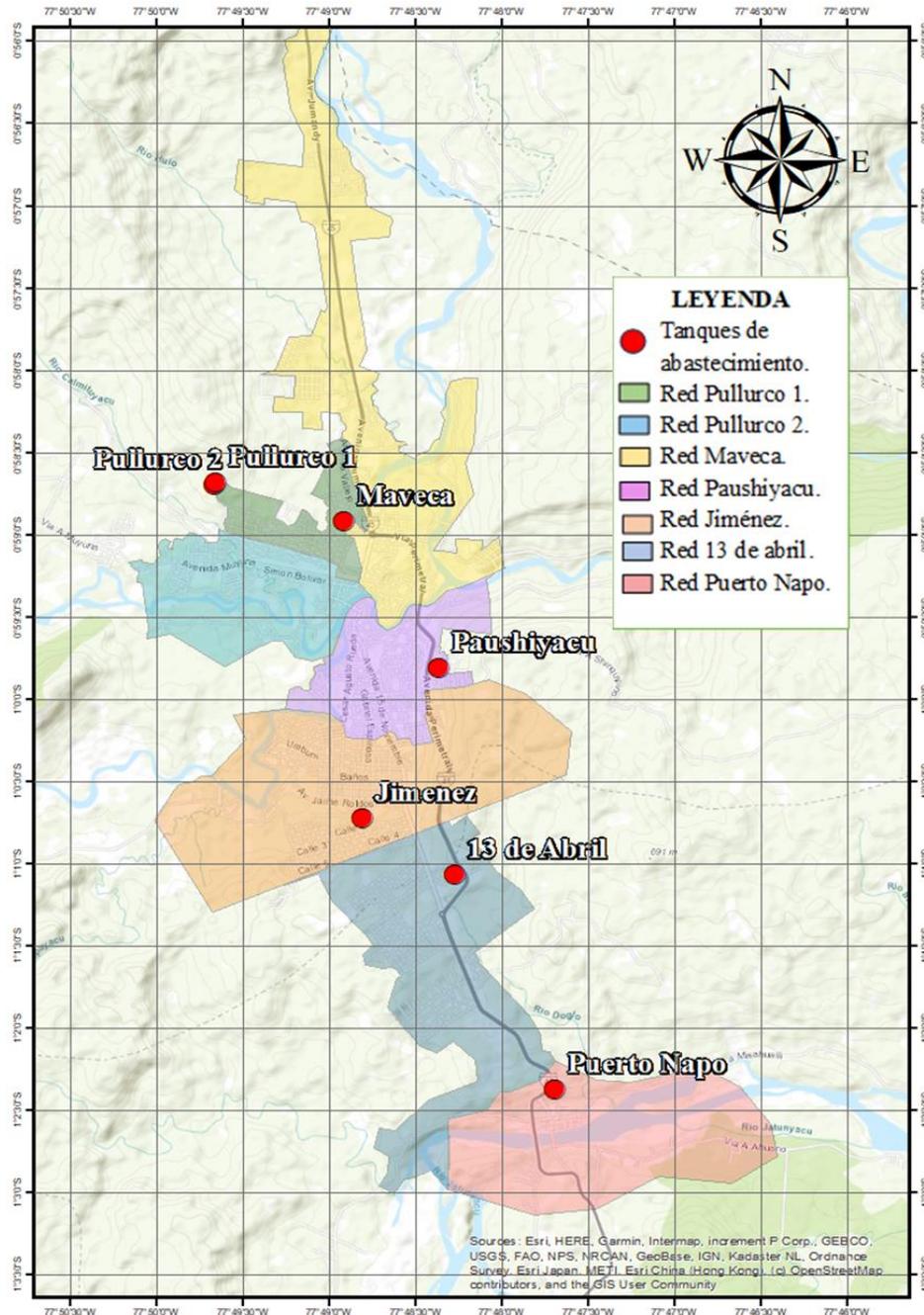


Figura 4. Ubicación de tanques y cobertura de las redes de distribución

El cantón Tena presenta 7 redes de abastecimiento de agua potable que beneficia a toda la zona urbana, cuya capacidad y usuarios se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.
Información de los tanques de reserva cantón Tena

Red	Nombre	Capacidad [m ³]	Forma	N° Usuarios	% de Usuarios
1	Pullurco 1	1 000	Rectangular	1 032	13.96%
2	Pullurco 2	1 000	Rectangular	1 045	14.14%
3	Maveca	550	Rectangular	724	9.79%
4	Paushiyacu	1 000	Rectangular	2 102	28.44%
5	Jiménez	500	Rectangular	1 432	19.37%
6	13 de abril	500	Rectangular	835	11.30%
7	Puerto Napo	500	Rectangular	222	3.00%
Total		5 050		7 392	100%

Fuente: (GAD TENA, 2022)

3.6 Rendimientos volumétricos

Cabrera et al. (1999) calcula el caudal suministrado a los usuarios, expresado en la ecuación 1;

$$Q_s = Q_r + Q_{ic} = Q - Q_{if} \quad (1)$$

Adicional al cálculo de caudales Cabrera et al. (1999) presenta los rendimientos de la red:

Rendimiento global del sistema (η_s): corresponde a la relación que existe entre el caudal registrado y el caudal inyectado.

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q} \quad (2)$$

Rendimiento de la red (η_r): corresponde a la relación que existe entre el caudal suministrado y el caudal inyectado.

$$\eta_r = \frac{Q_s}{Q} \quad (3)$$

Rendimiento de la gestión técnico-administrativa efectuada (η_g): corresponde a la relación que existe entre el caudal registrado y el caudal suministrado.

$$\eta_g = \frac{Q_r}{Q_s} \quad (4)$$

La calificación de acuerdo con el rendimiento global se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3.

Rangos para la calificación de la red en función del rendimiento

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

Fuente. (Cabrera et al., 1999)

3.7 Índice de agua no contabilizado

El índice de agua no contabilizado representa los porcentajes de pérdidas de volumen de agua, desde la salida de la red hasta llegar a los usuarios, su cálculo se demuestra en la ecuación 5 (ARCA, 2021).

$$IANC (\%) = \frac{V_s - V_r}{V_s} * 100 \quad (5)$$

Donde:

V_s = Volumen inyectado

V_r = Volumen registrado

3.8 Indicadores de agua no contabilizada

En la Tabla 4 se presentan los indicadores de agua no contabilizada que permiten dar un nivel de desempeño a la red según la regulación 003 por el (ARCA, 2021).

Además el ARCA (2021) establece que mientras menor sea el valor la red obtiene un mejor desempeño. \leq

Tabla 4.

Rangos de desempeño – Indicador de agua no contabilizada

Categoría	Rango
Rango I – Alto	$4.8 \leq IANC \leq 30$
Rango II – Medio	$30 < IANC \leq 45$
Rango III – Bajo	$IANC > 45$

Fuente. (ARCA, 2021)

3.8.1 Caudal inyectado (Q)

El departamento de agua potable de la municipalidad realiza la medición del volumen inyectado en todas las redes de distribución por medio de macromedidores electromagnéticos en la salida de cada tanque de reserva a excepción de la planta de tratamiento Puerto Napo, esto debido a que el macromedidor se encuentra obsoleto. Por ello se toma la medición para obtener su caudal inyectado.

En la Tabla 5 se presenta los caudales inyectados durante el año 2019 con un caudal mayor en la red 13 de abril de 1 954 113.49 m³/año equivalente a 743.64 l/s.

Tabla 5.
Caudales inyectados en cada red año 2019

Mes	Pullurco 1		Pullurco 2		Maveca		Paushiyacu		Jiménez		13 de abril		Puerto Napo	
	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]
Enero	-	-	56.95	152 536.00	14.42	38 633.56	60.71	162 610.50	34.59	92 639.50	63.59	170 327.62	6.94	
Febrero	-	-	58.69	141 973.75	15.92	38 521.69	59.22	143 254.50	34.70	83 939.00	63.85	154 468.26	7.68	
Marzo	-	-	56.86	152 296.25	14.31	38 316.50	57.32	153 516.00	35.69	95 594.50	63.47	170 003.12	6.94	
Abril	-	-	56.34	146 041.50	15.92	41 253.94	56.73	147 036.00	35.21	91 256.00	64.66	167 596.49	7.17	
Mayo	-	-	55.67	149 099.50	12.14	32 506.88	58.60	156 956.50	31.62	84 692.75	60.24	161 358.50	6.94	
Junio	-	-	53.70	139 179.00	15.87	41 138.38	57.59	149 261.00	33.45	86 697.00	60.12	155 818.25	7.17	
Julio	-	-	53.85	144 237.00	15.74	42 161.12	57.40	153 727.00	32.64	87 435.75	62.14	166 426.75	6.94	18 587.10
Agosto	-	-	54.70	146 514.00	15.50	41 511.13	57.32	153 536.00	32.36	86 671.50	62.74	168 053.25	6.94	
Septiembre	-	-	51.99	134 770.00	14.45	37 449.87	58.94	152 779.50	32.14	83 296.50	63.12	163 619.75	7.17	
Octubre	-	-	38.30	102 594.00	12.80	34 281.88	59.71	159 924.00	31.81	85 205.50	60.86	162 994.75	6.94	
Noviembre	-	-	54.81	142 060.50	13.28	34 427.00	51.45	133 367.50	28.71	74 411.50	56.30	145 921.00	7.17	
Diciembre	-	-	56.54	151 436.00	15.65	41 918.00	60.03	160 785.00	31.64	84 739.00	62.55	167 525.75	6.94	
Total	0.00	0.00	53.99	1 702 737.50	176.00	462 119.95	695.01	1 826 753.50	394.55	1 036 578.50	743.64	1 954 113.49	84.94	223 045.16
Promedio	0.00	0.00	54.03	141 894.79	14.67	38 510.00	57.92	152 229.46	32.88	86 381.54	61.97	162 842.79	7.08	18 587.10

Fuente: (GAD TENA, 2022)

En la Tabla 6 se visualizan los caudales inyectados en cada red desde el año 2019 hasta 2022. Se registra una gran variación en los caudales de la Red Pullurco 1 año 2019 con respecto a sus años posteriores, por ello no se toma en cuenta para el cálculo del balance hídrico.

Tabla 6.
Caudales inyectados en cada red

Red	2019		2020		2021		2022		Promedio	
	[l/s]	[m ³ /año]								
Pullurco 1	-	-	37.56	1 184 642.16	34.92	1 101 125.50	43.40	1 368 603.25	38.63	1 218 123.64
Pullurco 2	53.99	1 702 737.50	47.25	1 489 925.00	50.50	1 592 428.50	45.58	1 437 500.00	49.33	1 555 647.75
Maveca	14.65	462 119.95	14.51	457 629.39	15.21	479 768.70	15.21	479 768.75	14.90	469 821.70
Paushiyacu	57.93	1 826 753.50	60.81	1 917 616.50	62.62	1 974 785.00	56.12	1 769 713.00	59.37	1 872 217.00
Jiménez	32.87	1 036 578.50	31.25	985 428.00	31.42	990 906.50	28.20	889 390.50	30.94	975 575.88
13 de abril	61.96	1 954 113.49	61.64	1 943 824.75	61.21	1 930 167.01	59.89	1 888 691.00	61.17	1 929 199.06
Puerto Napo	7.07	223 045.16	7.07	223 045.16	7.07	223 045.16	7.07	223 045.16	7.07	223 045.16
Total	228.48	7 205 348.10	260.09	8 202 110.96	262.94	8 292 226.37	255.48	8 056 711.66	261.40	8 243 630.18
Promedio	32.64	1 029 335.44	37.16	1 171 730.14	37.56	1 184 603.77	36.50	1 150 958.81	37.34	1 177 661.45

El sistema de agua potable del cantón Tena registra un mayor consumo anual promedio en la red 13 de abril de 1 929 199.06 m³/año. Durante el año 2019 el caudal inyectado es de 228.48 l/s que equivale a 7 295 348.10 m³/año abasteciendo a 6 898 usuarios. En el año 2020 el caudal inyectado es de 260.09 l/s equivalente a 8 202 110.96 m³/año abasteciendo a 7 058 usuarios. Durante el año 2021 se tiene un caudal mayor inyectado de 262.94 l/s que equivale a 8 292 226.37 m³/año abasteciendo a 7 216 usuarios y finalmente un caudal 8 056 711.66 m³/año equivalente a 255.48 l/s abasteciendo a 7 292 usuarios para el año 2022.

3.8.2 Caudal Registrado (Qr)

Se presenta los caudales facturados de forma mensual registrados por medio de micromedidores a cada usuario dentro de la zona urbana del cantón Tena para cada una de sus redes desde enero del 2019 hasta diciembre 2022.

En la Tabla 7 se muestran los caudales registrados durante el año 2019, con un consumo total de 3 205 084.00 m³/año equivalente a 1 221.44 l/s, evidenciando un caudal mayor en el mes de mayo y un menor registro en el mes abril.

Tabla 7.
Caudales registrados facturados en cada red año 2019

Mes	Pullurco 1		Pullurco 2		Maveca		Paushiyacu		Jiménez		13 de abril		Puerto Napo		Total	
	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]
Enero	-	-	15.61	41 817.00	8.04	21 522.00	43.00	115 175.00	10.90	29 206.00	8.82	23 620.00	2.37	6 336.00	88.74	237 676.00
Febrero	-	-	21.54	52 119.00	13.18	31 893.00	51.72	125 126.00	22.61	54 710.00	14.58	35 270.00	4.98	12 053.00	128.63	311 171.00
Marzo	-	-	15.91	42 605.00	8.74	23 403.00	37.13	99 450.00	14.40	38 573.00	8.46	22 663.00	3.04	8 155.00	87.68	234 849.00
Abril	-	-	14.73	38 176.00	7.02	18 205.00	33.37	86 494.00	12.65	32 801.00	7.28	18 862.00	3.02	7 824.00	78.07	202 362.00
Mayo	-	-	19.83	53 113.00	13.70	36 682.00	50.93	136 421.00	23.29	62 370.00	12.95	34 692.00	4.49	12 023.00	125.19	335 301.00
Junio	-	-	18.37	47 609.00	10.47	27 148.00	38.09	98 742.00	14.16	36 704.00	8.19	21 220.00	2.91	7 549.00	92.20	238 972.00
Julio	-	-	14.82	39 689.00	8.32	22 288.00	31.84	85 279.00	14.51	38 876.00	8.54	22 885.00	2.55	6 830.00	80.59	215 847.00
Agosto	-	-	17.97	48 129.00	12.49	33 457.00	47.55	127 362.00	16.69	44 695.00	9.80	26 255.00	4.83	12 938.00	109.33	292 836.00
Septiembre	-	-	18.25	47 313.00	8.78	22 749.00	39.33	101 955.00	18.01	46 693.00	11.19	28 995.00	3.71	9 612.00	99.27	257 317.00
Octubre	-	-	20.65	55 303.00	12.34	33 054.00	44.17	118 309.00	25.79	69 087.00	14.49	38 808.00	5.05	13 517.00	122.49	328 078.00
Noviembre	-	-	19.37	50 209.00	11.38	29 496.00	46.37	120 198.00	19.33	50 101.00	12.38	32 097.00	4.47	11 588.00	113.31	293 689.00
Diciembre	-	-	17.80	47 666.00	9.93	26 591.00	36.91	98 859.00	17.05	45 677.00	10.45	27 996.00	3.81	10 197.00	95.95	256 986.00
Total	0.00	0.00	214.85	563 748.00	124.39	326 488.00	500.43	1 313 370.00	209.42	549 493.00	127.13	333 363.00	45.23	118 622.00	1 221.44	3 205 084.00
Promedio	0.00	0.00	17.90	46 979.00	10.37	27 207.33	41.70	109 447.50	17.45	45 791.08	10.59	27 780.25	3.77	9 885.17	101.79	267 090.33

En la Tabla 8 se muestran los caudales registrados durante el año 2020, se registra un consumo total de 3 755 992.00 m³/año equivalente a 1 428.90 l/s, evidenciando un caudal mayor en el mes de noviembre y un registro menor en el mes abril.

Tabla 8.
Caudales registrados facturados en cada red año 2020

Mes	Pullurco 1		Pullurco 2		Maveca		Paushiyacu		Jiménez		13 de abril		Puerto Napo		Total	
	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]
Enero	12.34	33 061.00	18.58	49 765.00	8.49	22 740.00	42.33	113 367.00	14.21	38 065.00	9.17	24 553.00	2.65	7 098.00	107.77	288 649.00
Febrero	14.44	34 939.00	17.76	42 971.00	11.52	27 880.00	32.67	79 034.00	15.32	37 056.00	10.69	25 855.00	4.05	9 796.00	106.45	257 531.00
Marzo	12.02	32 206.00	16.14	43 224.00	8.62	23 081.00	37.27	99 818.00	16.63	44 537.00	9.62	25 770.00	5.33	14 280.00	105.63	282 916.00
Abril	12.30	31 876.00	16.54	42 880.00	8.81	22 823.00	38.20	99 020.00	17.00	44 068.00	9.85	25 529.00	4.77	12 351.00	107.46	278 547.00
Mayo	12.02	32 206.00	16.14	43 224.00	8.62	23 081.00	37.27	99 818.00	16.63	44 537.00	9.62	25 770.00	4.64	12 422.00	104.94	281 058.00
Junio	12.30	31 876.00	16.54	42 880.00	8.81	22 823.00	38.20	99 021.00	17.00	44 068.00	9.85	25 529.00	4.77	12 351.00	107.46	278 548.00
Julio	12.28	32 897.00	16.41	43 956.00	8.80	23 557.00	37.83	101 326.00	16.97	45 455.00	9.80	26 259.00	4.68	12 547.00	106.78	285 997.00
Agosto	15.79	42 302.00	20.44	54 756.00	11.00	29 470.00	50.90	136 341.00	17.40	46 593.00	10.24	27 431.00	3.23	8 640.00	129.01	345 533.00
Septiembre	14.73	38 188.00	19.40	50 294.00	10.41	26 977.00	45.77	118 630.00	24.27	62 913.00	17.99	46 643.00	5.02	13 011.00	137.60	356 656.00
Octubre	16.72	44 770.00	20.41	54 671.00	11.71	31 355.00	48.93	131 057.00	23.76	63 647.00	14.18	37 990.00	3.33	8 924.00	139.04	372 414.00
Noviembre	18.69	48 434.00	22.33	57 883.00	11.24	29 138.00	56.88	147 438.00	23.37	60 570.00	14.20	36 811.00	5.20	13 477.00	151.91	393 751.00
Diciembre	16.17	43 317.00	18.72	50 134.00	11.13	29 800.00	46.72	125 134.00	19.31	51 715.00	10.96	29 344.00	1.85	4 948.00	124.85	334 392.00
Total	169.81	446 072.00	219.42	576 638.00	119.14	312 725.00	512.97	1 350 004.00	221.87	583 224.00	136.18	357 484.00	49.51	129 845.00	1 428.90	3 755 992.00
Promedio	14.15	37 172.67	18.29	48 053.17	9.93	26 060.42	42.75	112 500.33	18.49	48 602.00	11.35	29 790.33	4.13	10 820.42	119.08	312 999.33

En la Tabla 9 se muestran los caudales registrados durante el año 2021, se registra un consumo total de 3 536 054.00 m³/año equivalente a 1 347.03 l/s, evidenciando un caudal mayor en el mes de agosto y un registro menor en el mes marzo.

Tabla 9.
Caudales registrados facturados en cada red año 2021

Mes	Pullurco 1		Pullurco 2		Maveca		Paushiyacu		Jiménez		13 de abril		Puerto Napo		Total	
	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]
Enero	9.10	24 383.00	14.42	38 622.00	6.65	17 803.00	30.60	81 964.00	16.52	44 250.00	10.55	28 248.00	3.11	8 332.00	90.95	243 602.00
Febrero	13.96	33 773.00	13.48	32 612.00	9.08	21 975.00	43.60	105 469.00	20.62	49 895.00	13.08	31 632.00	5.97	14 440.00	119.79	289 796.00
Marzo	11.05	29 599.00	13.58	36 361.00	7.21	19 306.00	33.67	90 185.00	13.29	35 594.00	8.24	22 079.00	3.52	9 436.00	90.56	242 560.00
Abril	14.27	36 986.00	15.70	40 693.00	10.07	26 101.00	35.53	92 097.00	15.24	39 509.00	10.21	26 460.00	2.94	7 616.00	103.96	269 462.00
Mayo	12.00	32 149.00	15.70	42 040.00	8.18	21 901.00	34.57	92 581.00	17.22	46 126.00	10.94	29 312.00	3.28	8 773.00	101.88	272 882.00
Junio	13.42	34 778.00	15.34	39 749.00	10.10	26 181.00	37.69	97 682.00	17.93	46 478.00	12.47	32 322.00	4.16	10 786.00	111.10	287 976.00
Julio	15.30	40 986.00	17.27	46 265.00	11.73	31 424.00	43.92	117 627.00	26.37	70 634.00	14.05	37 641.00	3.05	8 182.00	131.71	352 759.00
Agosto	13.06	34 988.00	17.62	47 198.00	9.47	25 377.00	47.61	127 532.00	29.88	80 039.00	11.66	31 242.00	2.73	7 305.00	132.05	353 681.00
Septiembre	14.07	36 478.00	18.18	47 130.00	10.84	28 091.00	47.63	123 467.00	19.93	51 650.00	17.33	44 919.00	6.69	17 341.00	134.67	349 076.00
Octubre	13.71	36 709.00	15.71	42 086.00	10.84	29 033.00	41.67	111 622.00	17.89	47 915.00	12.34	33 062.00	2.70	7 241.00	114.87	307 668.00
Noviembre	17.11	44 352.00	23.16	60 035.00	12.40	32 128.00	43.69	113 252.00	14.16	36 708.00	9.37	24 291.00	2.32	6 024.00	122.22	316 790.00
Diciembre	11.72	31 390.00	17.72	47 464.00	8.51	22 800.00	32.24	86 363.00	10.20	27 323.00	9.08	24 331.00	3.78	10 131.00	93.27	249 802.00
Total	158.78	416 571.00	197.88	520 255.00	115.08	302 120.00	472.43	1 239 841.00	219.26	576 121.00	139.33	365 539.00	44.26	115 607.00	1 347.03	3 536 054.00
Promedio	13.23	34 714.25	16.49	43 354.58	9.59	25 176.67	39.37	103 320.08	18.27	48 010.08	11.61	30 461.58	3.69	9 633.92	112.25	294 671.17

En la Tabla 10 se muestran los caudales registrados durante el año 2022, se registra un consumo total de 3 668 965.00 m³/año equivalente a 1 397.34 l/s, evidenciando un caudal mayor en el mes de noviembre y un registro menor en el mes agosto.

Tabla 10.

Caudales registrados facturados en cada red año 2022

Mes	Pullurco 1		Pullurco 2		Maveca		Paushiyacu		Jiménez		13 de abril		Puerto Napo		Total	
	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]
Enero	17.30	46 328.00	19.63	52 584.00	12.96	34 710.00	42.36	113 462.00	19.89	53 260.00	14.92	39 957.00	4.15	11 113.00	131.20	351 414.00
Febrero	15.55	37 608.00	17.84	43 155.00	11.33	27 398.00	44.08	106 642.00	14.17	34 284.00	9.60	23 217.00	3.90	9 425.00	116.46	281 729.00
Marzo	11.85	31 750.00	15.75	42 182.00	8.65	23 177.00	34.25	91 724.00	13.23	35 436.00	9.31	24 924.00	3.01	8 058.00	96.05	257 251.00
Abril	14.87	38 545.00	18.05	46 786.00	11.83	30 670.00	35.50	92 008.00	17.89	46 378.00	11.42	29 611.00	4.09	10 610.00	113.66	294 608.00
Mayo	15.21	40 747.00	18.26	48 915.00	10.00	26 787.00	41.71	111 725.00	17.89	47 906.00	11.56	30 959.00	3.63	9 723.00	118.27	316 762.00
Junio	13.92	36 074.00	18.82	48 793.00	10.18	26 393.00	40.76	105 649.00	17.02	44 104.00	11.14	28 874.00	3.90	10 103.00	115.74	299 990.00
Julio	14.75	39 510.00	18.37	49 207.00	10.24	27 425.00	40.66	108 908.00	19.74	52 859.00	10.76	28 817.00	3.01	8 064.00	117.53	314 790.00
Agosto	10.67	28 566.00	12.81	34 313.00	7.31	19 566.00	31.02	83 073.00	15.51	41 546.00	11.70	31 334.00	3.76	10 079.00	92.77	248 477.00
Septiembre	15.81	40 988.00	17.76	46 027.00	10.32	26 760.00	47.44	122 969.00	22.66	58 747.00	13.28	34 413.00	3.65	9 464.00	130.93	339 368.00
Octubre	14.93	39 995.00	18.74	50 189.00	10.33	27 666.00	42.46	113 731.00	19.50	52 242.00	11.91	31 895.00	4.46	11 946.00	122.34	327 664.00
Noviembre	16.10	41 726.00	36.87	95 578.00	11.25	29 151.00	44.24	114 678.00	17.87	46 312.00	13.19	34 186.00	3.40	8 806.00	142.92	370 437.00
Diciembre	11.69	31 300.00	17.20	46 068.00	7.38	19 754.00	40.69	108 995.00	13.17	35 285.00	7.36	19 726.00	2.00	5 347.00	99.49	266 475.00
Total	172.64	453 137.00	230.11	603 797.00	121.77	319 457.00	485.18	1 273 564.00	208.54	548 359.00	136.14	357 913.00	42.95	112 738.00	1 397.34	3 668 965.00
Promedio	14.39	37 761.42	19.18	50 316.42	10.15	26 621.42	40.43	106 130.33	17.38	45 696.58	11.34	29 826.08	3.58	9 394.83	116.44	305 747.08

De manera resumida en la Tabla 11 se presentan los consumos totales durante el periodo 2019-2022 para cada red de distribución, teniendo un mayor caudal anual en la red Paushiyacu y un menor registro en la red de Puerto Napo.

Tabla 11.*Caudales registrados anuales en la red periodo 2019-2022*

Red	2019		2020		2021		2022	
	[l/s]	[m3/año]	[l/s]	[m3/año]	[l/s]	[m3/año]	[l/s]	[m3/año]
Pullurco 1	-	-	14.15	446 072.00	13.23	416 571.00	14.39	453 137.00
Pullurco 2	17.90	563 748.00	18.29	576 638.00	16.49	520 255.00	19.18	603 797.00
Maveca	10.37	326 488.00	9.93	312 725.00	9.59	302 120.00	10.15	319 457.00
Paushiyacu	41.70	1 313 370.00	42.75	1 350 004.00	39.37	1 239 841.00	40.43	1 273 564.00
Jiménez	17.45	549 493.00	18.49	583 224.00	18.27	576 121.00	17.38	548 359.00
13 de abril	10.59	333 363.00	11.35	357 484.00	11.61	365 539.00	11.34	357 913.00
Puerto Napo	3.77	118 622.00	4.13	129 845.00	3.69	115 607.00	3.58	112 738.00
Total	101.79	3 205 084.00	119.08	3 755 992.00	112.25	3 536 054.00	116.44	3 668 965.00
Promedio	16.96	534 180.67	17.01	536 570.29	16.04	505 150.57	16.63	524 137.86

3.8.3 Caudal Incontrolado consumido (Qic)

3.8.3.1 Caudal no registrado debido a error de medida (Qice)

Se considera un valor de 5 % del caudal inyectado como Qice para el cálculo del Qic por la existencia de errores y variación de medida en los contadores de usuarios que muestran un valor de consumo de 0 m³ (Cabrera et al., 1999).

3.8.3.2 Caudal no medido autorizado (Qica)

Al momento de analizar y distribuir la información de consumo en cada red se encuentra con usuarios sin micromedición que fueron retirados por diversas causas y ausencia de medidores por parte de la institución. Mediante un estudio de “Plan de reducción y control de pérdidas en el sistema de agua potable de la ciudad de Tena” se obtiene los consumos promedios expuestos en la tabla 12.

Tabla 12.*Consumo estimado para cada categoría*

Categorías	Consumo mensual estimado [m3/mes]
Doméstico	41.32
Comercial	72.31
Industrial	136.52
Oficial	146.34

Fuente. (GAD TENA, 2022)

3.8.3.2.1 Estimación consumo residencial para Qica

Se considera como usuarios de “agua consumida y no medida por ausencia de contadores” (Qica) a usuarios que no presentan medición y son facturados con el valor de la tarifa básica en cada una de sus categorías.

GAD TENA (2015) determina que la dotación del cantón es 230 l/habitante/día con un promedio de habitantes por vivienda de 4.63, los consumos residenciales se realizan en base al caudal mensual producto de la dotación y habitantes por vivienda, como se indica en la Tabla 13.

Tabla 13.
Estimación caudal para consumo residencial por usuario

Promedio habitante por vivienda	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m ³ /mes]
4.63	l/persona/día	230	0.01	31.947

En la Tabla 14 se muestra el consumo residencial para cada red de distribución, producto de la cantidad de usuarios y caudal de 31.947 m³/mes mostrado en la Tabla 13.

Tabla 14.
Caudales estimados totales para categoría residencial para el cálculo de Qica

RED	2019		2020		2021		2022	
	Usuarios	Q [m ³ /año]						
Pullurco 1	-	-	960	30 669.12	999	31 915.05	1 080	34 502.76
Pullurco 2	695	22 203.17	865	27 634.16	1 012	32 330.36	1 039	33 192.93
Maveca	1 002	32 010.89	1 112	35 525.06	1 312	41 914.46	1 246	39 805.96
Paushiyacu	1 207	38 560.03	1 221	39 007.29	1 381	44 118.81	1 440	46 003.68
Jiménez	1 710	54 629.37	1 896	60 571.51	2 330	74 436.51	2 468	78 845.20
13 de abril	1 453	46 418.99	1 498	47 856.61	1 752	55 971.14	1 775	56 705.93
Puerto Napo	385	12 299.60	438	13 992.79	473	15 110.93	417	13 321.90
TOTAL	6 452	206 122.04	7 990	255 256.53	9 259	295 797.27	9 465	302 378.36

3.8.3.2.2 Estimación consumo comercial para Qica

En la Tabla 15 se muestran los usuarios correspondientes a la categoría comercial y los valores de consumo anual de cada red estimado con el valor promedio de consumo proporcionado por la institución mostrado en la Tabla 12.

Tabla 15.*Caudales estimados totales para categoría comercial para el cálculo de Qica*

RED	2019		2020		2021		2022	
	Usuarios	Q [m3/año]	Usuarios	Q [m3/año]	Usuarios	Q [m3/año]	Usuarios	Q [m3/año]
Pullurco 1	-	-	72	5 206.32	89	6 435.59	104	7 520.24
Pullurco 2	253	18 294.43	283	20 463.73	297	21 476.07	272	19 668.32
Maveca	109	7 881.79	110	7 954.10	121	8 749.51	87	6 290.97
Paushiyacu	363	26 248.53	376	27 188.56	511	36 950.41	482	34 853.42
Jiménez	106	7 664.86	119	8 604.89	115	8 315.65	146	10 557.26
13 de abril	150	10 846.50	155	11 208.05	191	13 811.21	189	13 666.59
Puerto Napo	5	361.55	15	1 084.65	30	2 169.30	43	3 109.33
TOTAL	986	71 297.66	1 130	81 710.30	1 354	97 907.74	1 323	95 666.13

3.8.3.2.3 *Estimación consumo industrial para Qica*

En la tabla 16 se muestran los usuarios correspondientes a la categoría Industrial y los valores de consumo anual de cada red estimado con el valor promedio de consumo proporcionado por la institución mostrado en la Tabla 12.

Tabla 16.*Caudales estimados totales para categoría industrial para el cálculo de Qica*

RED	2019		2020		2021		2022	
	Usuarios	Q [m3/año]	Usuarios	Q [m3/año]	Usuarios	Q [m3/año]	Usuarios	Q [m3/año]
Pullurco 1	-	-	11	1 501.72	12	1 638.24	12	1 638.24
Pullurco 2	22	3 003.44	24	3 276.48	19	2 593.88	12	1 638.24
Maveca	0	0	0	0	5	682.6	7	955.64
Paushiyacu	24	3 276.48	25	3 413.00	38	5 187.76	40	5 460.8
Jiménez	3	409.56	2	273.04	16	2 184.32	13	1 774.76
13 de abril	22	3 003.44	24	3 276.48	17	2 320.84	34	4 641.68
Puerto Napo	2	273.04	0	0	0	0	0	0
TOTAL	73	9 965.96	86	11 740.72	107	14 607.64	118	16 109.36

3.8.3.2.4 *Estimación consumo oficial para Qica*

El cantón Tena presenta varias instituciones que hacen uso del servicio de agua potable sin llevar un registro de consumo, por esta razón se estima el caudal de las instituciones pertenecientes a la categoría oficial con los valores de dotaciones para edificaciones de uso específico de la norma hidrosanitaria (NEC-11, 2011).

En la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22 se detalla las instituciones que están inmersas en este parámetro separadas por diferentes áreas como

recreativas y deportivas, competencias municipales, instituciones religiosas, instituciones particulares, de seguridad y emergencia e instituciones educativas respectivamente.

Tabla 17.
Áreas recreativas y deportivas

Nombre	Área	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m3/mes]
Parque Central Puerto Napo	932	l/m2/día	2	0.02	55.92
Malecón Los Pioneros Puerto Napo	6 240	l/m2/día	2	0.14	374.40
Malecón de Tena	7 900	l/m2/día	2	0.18	474.00
Parque central	5 700	l/m2/día	2	0.13	342.00
Parque lineal	42 500	l/m2/día	2	0.98	2 550.00
Estadio San Antonio	7 600	l/m2/día	2	0.18	456.00
Total	70 872.00		12.00	1.64	4 252.32

Tabla 18.
Competencias municipales

Nombre	Cantidad	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m3/mes]
Dirección de desarrollo Social GAD Tena	14	l/persona/día	50	0.01	21.00
Baterías Sanitarias	6	l/mueble sanitario/día	300	0.02	54.00
Edificio Municipal	126	l/persona/día	50	0.07	189.00
Casa Social Puerto Napo	40	l/persona/día	50	0.02	60.00
Total	146.00		450.00	0.13	324.00

Tabla 19.
Instituciones religiosas

Nombre	Cantidad	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m3/mes]
Catedral católica Antigua Tena	100	l/concurrente/día	5	0.01	15.00
Capilla católica San Antonio de Padua	80	l/concurrente/día	5	0.00	12.00
Iglesia nuestra Señora del Cisne	200	l/concurrente/día	5	0.01	30.00
Total	380.00		15.00	0.02	57.00

Tabla 20.
Instituciones particulares

Nombre	Cantidad	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m3/mes]
Asociación de la tercera edad "Nuevo Amanecer"	10	l/persona/día	50	0.01	15.00
Federación provincial organizaciones campesinas e indígenas de Napo (FOCIN)	12	l/persona/día	50	0.01	18.00
Ministerio del Interior 1	30	l/persona/día	50	0.02	45.00
Ministerio del Interior 2	30	l/persona/día	50	0.02	45.00
Agencia nacional de regulación transporte terrestre transito	24	l/persona/día	50	0.01	36.00
Servicio ecuatoriano de capacitación profesional	200	l/estudiante/día	20	0.05	120.00
Casa barrial de Paushiyacu	80	l/persona/día	50	0.05	120.00
Total	386.00		320.00	0.15	399.00

Tabla 21.
Instituciones de seguridad y emergencia

Nombre	Cantidad	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m3/mes]
Policía Nacional del Ecuador Comando Zona 2	18	l/persona/día	50	0.01	27.00
Comando de Policía Subzona Napo N°15	150	l/persona/día	150	0.26	675.00
Total	168.00		200.00	0.27	702.00

Tabla 22.
Instituciones educativas

Nombre	Cantidad	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m3/mes]
Unidad educativa fiscomisional "Juan XXIII"	1 431	l/estudiante/día	20	0.33	858.60
Unidad educativa fiscomisional "San José"	1 317	l/estudiante/día	20	0.30	790.20
Unidad educativa Inicial y EGB-Fiscal "Paulino Grefa"	183	l/estudiante/día	20	0.04	109.80
Unidad educativa nacional Tena	2 240	l/estudiante/día	20	0.52	1 344.00
Unidad educativa "Carlos Tomas Rivadeneyra"	291	l/estudiante/día	20	0.07	174.60
Unidad educativa Inicial y EGB-Fiscal "Libertador Simón Bolívar"	75	l/estudiante/día	20	0.02	45.00
Unidad educativa "Aldelmo Rodríguez"	116	l/estudiante/día	20	0.03	69.60
Unidad educativa particular amazónica	75	l/estudiante/día	20	0.02	45.00
Unidad educativa "Elicio Olalla Proaño"	204	l/estudiante/día	20	0.05	122.40
Unidad educativa "José Peláez"	1 554	l/estudiante/día	20	0.36	932.40

Unidad educativa fiscomisional monseñor “Maximiliano Spiller”	1 702	l/estudiante/día	20	0.39	1 021.20
Unidad educativa fiscomisional San Francisco Javier	815	l/estudiante/día	20	0.19	489.00
Unidad educativa ciudad de Tena	1 637	l/estudiante/día	20	0.38	982.20
Escuela de educación básica particular cristiano “Jireh”	155	l/estudiante/día	20	0.04	93.00
Total	11 795.00		280.00	2.73	7 077.00

La Tabla 23 resumen los caudales de las áreas e instituciones que no registran consumo de agua para la categoría oficial donde predominan las instituciones educativas.

Tabla 23.

Estimación de caudal mensual Instituciones de categoría “Oficial” para el cálculo de Qica

Áreas	Q Dotación [m3/mes]							TOTAL
	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4	Red 5	Red 6	Red 7	
Áreas recreativas y deportivas	0	3 822	0	0	0	0	430.32	4 252.32
Competencias municipales	0	21	0	189	54	0	60	324
Instituciones religiosas	0	27	0	0	30	0	0	57
Instituciones de emergencia	0	27	0	675	0	0	0	702
Instituciones particulares	219	15	0	120	45	0	0	399
Instituciones educativas	1 498.8	2 581.2	114.6	2 096.4	174.6	122.4	489	7 077
TOTAL	1 717.8	6 493.2	114.6	3 080.4	303.6	122.4	979.32	12 811.32

La Figura 5 muestra la categoría oficial en la que predomina las instituciones educativas con el 55.24 % frente a la de menor proporción 0.44 % que corresponde a instituciones religiosas.

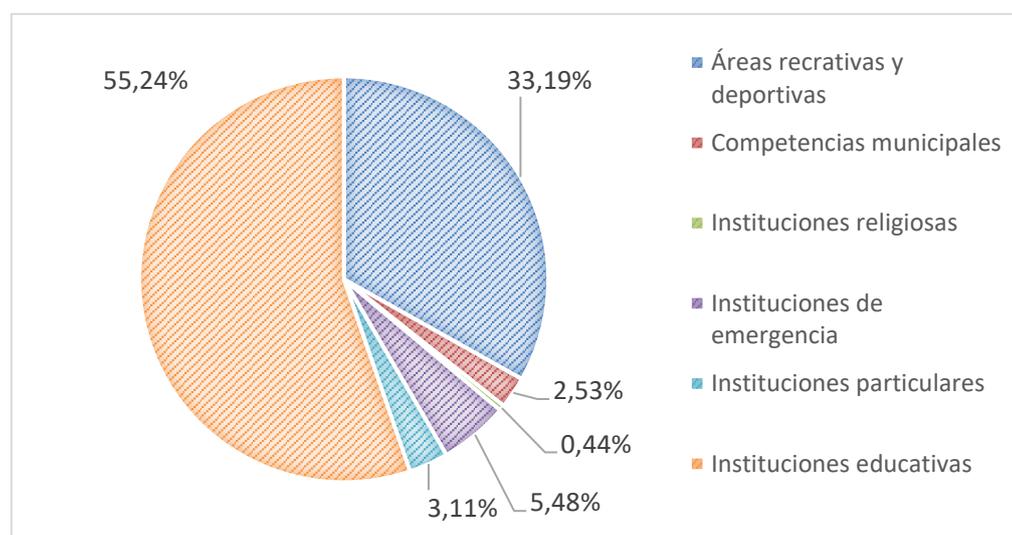


Figura 5. Caudal mensual instituciones de categoría “oficial” para el cálculo de Qica [m3/mes]

En la Tabla 24 se muestra el caudal incontrolado consumido autorizado durante el año 2022 que incluye las categorías residencial, comercial, industrial y oficial, se tiene un mayor caudal en la red de Paushiyacu y un caudal menor en la red de Puerto Napo.

Tabla 24.

Estimación Caudal incontrolado consumido autorizado total (Qica) para el año 2022

Mes	Pullurco 1		Pullurco 2		Maveca		Paushiyacu		Jiménez		13 de abril		Puerto Napo	
	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]	[l/s]	[m3/mes]
Enero	1.88	5 044.04	2.79	7 460.33	1.51	4 039.42	3.79	10 143.69	2.74	7 346.07	2.16	5 789.91	0.85	2 265.62
Febrero	2.13	5 154.99	4.19	10 139.84	1.66	4 015.88	4.12	9 977.26	3.46	8 378.19	2.62	6 326.62	0.96	2 314.40
Marzo	1.90	5 084.40	2.81	7 532.64	1.59	4 271.14	4.00	10 722.17	3.04	8 154.88	2.24	5 998.11	0.91	2 450.60
Abril	2.01	5 220.61	3.90	10 099.48	1.59	4 120.14	4.17	10 801.18	2.97	7 698.89	2.48	6 422.46	0.87	2 250.50
Mayo	2.00	5 348.39	3.75	10 035.58	1.40	3 762.37	3.69	9 880.01	2.96	7 929.85	2.24	5 998.42	0.88	2 363.17
Junio	2.14	5 548.49	3.92	10 165.09	1.58	4 098.67	3.76	9 735.39	3.12	8 098.00	2.53	6 552.60	0.92	2 386.71
Julio	2.05	5 484.60	3.75	10 044.00	1.46	3 906.99	3.82	10 225.05	2.90	7 771.83	2.31	6 190.10	0.89	2 395.12
Agosto	2.15	5 748.59	3.85	10 301.29	1.48	3 955.77	3.79	10 152.42	2.84	7 618.80	2.31	6 190.74	0.78	2 082.35
Septiembre	2.13	5 516.54	3.82	9 907.79	1.34	3 474.53	3.89	10 095.54	2.76	7 154.39	2.36	6 109.69	0.86	2 218.55
Octubre	2.00	5 348.39	3.76	10 059.11	1.56	4 179.08	3.83	10 247.63	2.74	7 339.37	2.28	6 118.11	0.84	2 250.50
Noviembre	1.99	5 148.30	3.92	10 156.67	1.49	3 866.31	4.06	10 534.84	2.62	6 794.24	2.40	6 230.78	0.96	2 482.55
Diciembre	2.10	5 627.50	3.82	10 227.26	1.63	4 377.46	4.02	10 767.52	3.15	8 440.69	2.65	7 086.65	1.02	2 723.01
Total	24.47	64 274.84	44.27	116 129.09	18.30	48 067.77	46.94	123 282.70	35.32	92 725.22	28.58	75 014.20	10.73	28 183.07
Promedio	2.04	5 356.24	3.69	9 677.42	1.53	4 005.65	3.91	10 273.56	2.94	7 727.10	2.38	6 251.18	0.89	2 348.59

La Tabla 25 resume el caudal estimado de Qica para cada año con su respectiva red y promedio anual. Se tiene un consumo mayor durante el año 2022 de 547 676.885 m³/año.

Tabla 25.

Estimación caudal incontrolado consumido autorizado total (Qica)

Mes	2019		2020		2021		2022		Promedio	
	[l/s]	[m3/año]								
Pullurco 1	-	-	37.59	57 990.76	39.49	60 602.48	44.27	64 274.84	40.45	60 956.03
Pullurco 2	33.27	87 280.64	17.08	98 680.77	20.06	103 706.71	18.30	116 129.09	22.18	101 449.30
Maveca	15.69	41 267.88	40.18	44 854.36	46.47	52 721.77	46.94	48 067.77	37.32	46 727.95
Paushiyacu	35.09	92 147.44	27.05	105 457.65	33.73	122 105.78	35.32	123 282.70	32.80	110 748.39
Jiménez	24.48	64 251.79	24.30	70 997.44	28.02	88 579.68	28.58	92 725.22	26.34	79 138.53
13 de abril	23.51	61 737.73	10.21	63 809.94	8.82	73 571.99	10.73	75 014.20	13.32	68 533.46
Puerto Napo	7.02	18 458.03	0.85	26 829.28	0.74	23 164.07	0.89	28 183.07	2.37	24 158.61
Total	139.06	365 143.50	157.26	468 620.19	177.32	524 452.49	185.03	547 676.89	174.78	491 712.27
Promedio	23.18	60 857.25	22.47	66 945.74	25.33	74 921.78	26.43	78 239.56	24.97	70 244.61

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultado del balance hídrico técnico general

La Tabla 26 resume los balances hídricos a partir de enero del 2019 hasta diciembre del 2022, identificando para cada red su caudal inyectado (Q), registrado (Qr) e incontrolado (Qi).

Tabla 26.
Balance hídrico técnico general

MES	2019			2020			2021			2022		
	Caudal Inyectado	Caudal registrado	Caudal incontrolado	Caudal Inyectado	Caudal registrado	Caudal incontrolado	Caudal Inyectado	Caudal registrado	Caudal incontrolado	Caudal Inyectado	Caudal registrado	Caudal incontrolado
	Q	Qr	Qi									
	[m3/mes]											
Ene	635 334.28	231 227.00	404 107.28	680 431.64	279 234.00	401 197.64	705 916.60	241 681.00	464 235.60	672 923.10	334 383.67	338 539.43
Feb	580 744.30	303 791.00	276 953.30	649 001.10	251 386.00	397 615.10	660 004.85	283 651.00	376 353.85	653 129.10	279 715.00	373 414.10
Mar	628 313.47	230 384.00	397 929.47	704 496.85	278 489.00	426 007.85	735 813.85	238 996.00	496 817.85	719 269.10	254 475.00	464 794.10
Abr	611 771.03	197 836.00	413 935.03	662 860.85	274 131.00	388 729.85	687 655.10	270 103.00	417 552.10	681 382.60	291 829.00	389 553.60
May	603 201.23	311 679.00	291 522.23	708 478.60	276 629.00	431 849.60	709 784.06	271 191.00	438 593.06	683 184.10	312 719.00	370 465.10
Jun	590 680.73	233 919.00	356 761.73	690 834.60	274 130.00	416 704.60	593 235.60	285 210.00	308 025.60	665 740.60	296 126.00	369 614.60
Jul	612 574.72	213 231.00	399 343.72	708 168.61	281 532.00	426 636.61	727 847.35	349 827.00	378 020.35	655 789.60	310 649.00	345 140.60
Ago	614 872.98	289 895.00	324 977.98	631 282.35	330 925.00	300 357.35	723 647.85	315 256.67	408 391.18	638 145.10	246 729.00	391 416.10
Sep	590 502.72	252 374.00	338 128.72	703 337.35	347 405.00	355 932.35	694 497.85	338 048.00	356 449.85	664 674.76	336 361.00	328 313.76
Oct	568 035.89	325 398.00	242 637.89	657 155.35	369 126.00	288 029.35	612 594.10	309 799.00	302 795.10	674 474.10	323 855.00	350 619.10
Nov	582 653.97	290 828.00	291 825.97	679 024.35	358 093.67	320 930.68	718 952.60	316 991.00	401 961.60	684 237.10	366 713.00	317 524.10
Dic	624 990.85	249 664.00	375 326.85	727 039.35	330 745.00	396 294.35	727 162.10	237 766.00	489 396.10	689 604.60	263 182.00	426 422.60
Total	7 243 676.14	3 130 226.00	4 113 450.14	8 202 110.96	3 651 825.67	4 550 285.30	8 297 111.87	3 458 519.67	4 838 592.21	8 082 553.83	3 616 736.67	4 465 817.16
Promedio	603 639.68	260 852.17	342 787.51	683 509.25	304 318.81	379 190.44	691 425.99	288 209.97	403 216.02	673 546.15	301 394.72	372 151.43

La Tabla 27 y Figura 6 muestran los resultados obtenidos del balance hídrico técnico de forma general y por cada red de distribución, obtenidos en base a los datos proporcionados por la institución encargada del abastecimiento de agua potable del cantón Tena.

Tabla 27.
Resultado del balance hídrico técnico general.

Descripción	Símbolo	Año [m ³ /año]				
		2019	2020	2021	2022	Promedio
Caudal inyectado	Q	7 243 676.14	8 202 110.96	8 297 111.87	8 082 553.83	7 956 363.20
Caudal registrado	Qr	3 130 226.00	3 651 825.67	3 458 519.67	3 616 736.67	3 464 327.00
Caudal incontrolado	Qi	4 113 450.14	4 550 285.30	4 838 592.21	4 465 817.16	4 492 036.20
Caudal incontrolado consumido	Qic	727 327.31	878 725.74	939 308.09	951 804.58	874 291.43
Caudal incontrolado fugado	Qif	3 386 122.83	3 671 559.56	3 899 284.12	3 514 012.59	3 617 744.77
% Índice de agua incontrolada		56.79%	55.48%	58.32%	55.25%	56.46%
% Índice de agua fugada		46.75%	44.76%	47.00%	43.48%	45.47%

Los resultados obtenidos desde enero de 2019 hasta diciembre de 2022 muestran un promedio de 4 492 036.20 m³/año de agua incontrolada que representa un 56.46 % del volumen total inyectado en el cantón Tena.

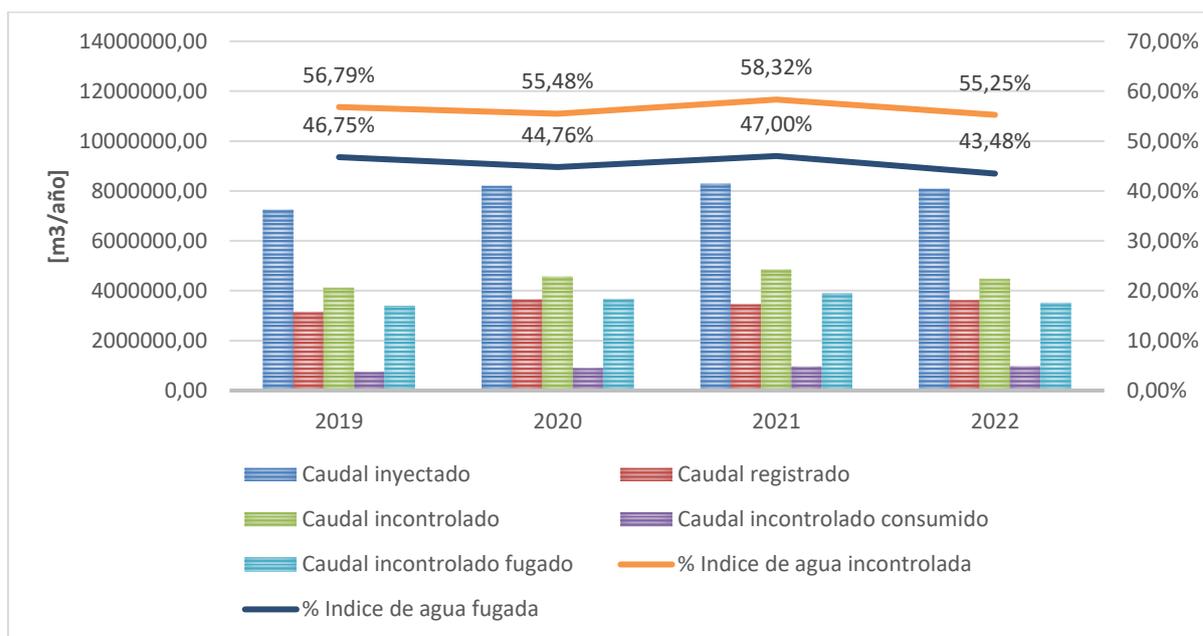


Figura 6. *balance hídrico técnico general*

La Tabla 28 resume los caudales inyectados, registrados e incontrolados durante el año 2019 incluyendo el análisis de agua no contabilizada de 56.79 % encontrándose en un Rango “III-Bajo”. Analizando por red, Paushiyacu corresponde a un rango “I-Alto”, Maveca a un Rango “II-Medio”, finalmente Pullurco 2, Jiménez, 13 de abril y Puerto Napo a un rango “III-Bajo”.

Tabla 28.
Balance hídrico técnico año 2019

RED	Q [m3/año]	Qr [m3/año]	Qi [m3/año]	Qica [m3/año]	Qice [m3/año]	Qic [m3/año]	Qs [m3/año]	Qif [m3/año]	%Qi %	%Qif %
Pullurco 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pullurco 2	1 702 737.50	530 110.00	1 172 627.50	87 280.64	85 136.88	172 417.51	702 527.51	1 000 209.99	68.87%	58.74%
Maveca	472 376.15	298 617.00	173 759.15	41 267.88	23 618.81	64 886.69	363 503.69	108 872.46	36.78%	23.05%
Paushiyacu	1 854 825.33	1 300 752.00	554 073.33	92 147.44	92 741.27	184 888.71	1 485 640.71	369 184.63	29.87%	19.90%
Jiménez	1 036 578.50	549 493.00	487 085.50	64 251.79	51 828.93	116 080.72	665 573.72	371 004.79	46.99%	35.79%
13 de abril	1 954 113.49	332 632.00	1 621 481.49	61 737.73	97 705.67	159 443.41	492 075.41	1 462 038.08	82.98%	74.82%
Puerto Napo	223 045.16	118 622.00	104 423.16	18 458.03	11 152.26	29 610.28	148 232.28	74 812.88	46.82%	33.54%
Total	7 243 676.14	3 130 226.00	4 113 450.14	365 143.50	362 183.81	727 327.31	3 857 553.31	3 386 122.83	312.31%	245.84%
Promedio	1 207 279.36	521 704.33	685 575.02	60 857.25	60 363.97	121 221.22	642 925.55	564 353.80	56.79%	46.75%

La Tabla 29 resume los caudales inyectados, registrados e incontrolados durante el año 2020 incluyendo el análisis de agua no contabilizada de 55.48 % encontrándose en un Rango “III-Bajo”. Analizando por red, Maveca, Paushiyacu, Jiménez y Puerto Napo corresponden a un rango “II-Medio”, finalmente Pullurco 1, Pullurco 2 y 13 de abril a un rango “III-Bajo”.

Tabla 29.
Balance hídrico técnico año 2020

RED	Q [m3/año]	Qr [m3/año]	Qi [m3/año]	Qica [m3/año]	Qice [m3/año]	Qic [m3/año]	Qs [m3/año]	Qif [m3/año]	%Qi %	%Qif %
Pullurco 1	1 184 642.16	445 162.00	739 480.16	57 990.76	59 232.11	117 222.87	562 384.87	622 257.29	62.42%	52.53%
Pullurco 2	1 489 925.00	538 856.00	951 069.00	98 680.77	74 496.25	173 177.02	712 033.02	777 891.99	63.83%	52.21%
Maveca	457 629.39	306 855.00	150 774.39	44 854.36	22 881.47	67 735.83	374 590.83	83 038.56	32.95%	18.15%
Paushiyacu	1 917 616.50	1 304 676.67	612 939.83	105 457.65	95 880.83	201 338.47	1 506 015.14	411 601.36	31.96%	21.46%
Jiménez	985 428.00	569 593.00	415 835.00	70 997.44	49 271.40	120 268.84	689 861.84	295 566.16	42.20%	29.99%
13 de abril	1 943 824.75	356 920.00	1 586 904.75	63 809.94	97 191.24	161 001.17	517 921.17	1 425 903.58	81.64%	73.36%
Puerto Napo	223 045.16	129 763.00	93 282.16	26 829.28	11 152.26	37 981.53	167 744.53	55 300.63	41.82%	24.79%
Total	8 202 110.96	3 651 825.67	4 550 285.30	468 620.19	410 105.55	878 725.74	4 530 551.40	3 671 559.56	356.82%	272.49%
Promedio	1 171 730.14	521 689.38	650 040.76	66 945.74	58 586.51	125 532.25	647 221.63	524 508.51	55.48%	44.76%

La Tabla 30 resume los caudales inyectados, registrados e incontrolados durante el año 2021 incluyendo el análisis de agua no contabilizada de 58.32 % encontrándose en un Rango “III-Bajo”. Analizando por red, Maveca y Paushiyacu corresponden a un rango “II-Medio”, finalmente Pullurco 1, Pullurco 2, Jiménez, 13 de abril y Puerto Napo a un rango “III-Bajo”.

Tabla 30.
Balance hídrico técnico año 2021

RED	Q [m3/año]	Qr [m3/año]	Qi [m3/año]	Qica [m3/año]	Qice [m3/año]	Qic [m3/año]	Qs [m3/año]	Qif [m3/año]	%Qi %	%Qif %
Pullurco 1	1 101 125.50	416 571.00	684 554.50	60 602.48	55 056.28	115 658.76	532 229.76	568 895.74	62.17%	51.66%
Pullurco 2	1 592 428.50	491 571.00	1 100 857.50	103 706.71	79 621.43	183 328.14	674 899.14	917 529.36	69.13%	57.62%
Maveca	484 654.20	300 400.00	184 254.20	52 721.77	24 232.71	76 954.48	377 354.48	107 299.72	38.02%	22.14%
Paushiyacu	1 974 785.00	1 231 820.00	742 965.00	122 105.78	98 739.25	220 845.03	1 452 665.03	522 119.97	37.62%	26.44%
Jiménez	990 906.50	539 880.67	451 025.83	88 579.68	49 545.33	138 125.01	678 005.67	312 900.83	45.52%	31.58%
13 de abril	1 930 167.01	365 539.00	1 564 628.01	73 571.99	96 508.35	170 080.34	535 619.34	1 394 547.67	81.06%	72.25%
Puerto Napo	223 045.16	112 738.00	110 307.16	23 164.07	11 152.26	34 316.33	147 054.33	75 990.83	49.46%	34.07%
Total	8 297 111.87	3 458 519.67	4 838 592.21	524 452.49	414 855.59	939 308.09	4 397 827.75	3 899 284.12	382.97%	295.76%
Promedio	1 185 301.70	494 074.24	691 227.46	74 921.78	59 265.08	134 186.87	628 261.11	557 040.59	58.32%	47.00%

La Tabla 31 resume los caudales inyectados, registrados e incontrolados durante el año 2022 incluyendo el análisis de agua no contabilizada de 55.25 % encontrándose en un Rango “III-Bajo”. Analizando por red, Paushiyacu corresponde a un rango “I-Alto”, Maveca y Jiménez a un Rango “II-Medio”, finalmente Pullurco 1, Pullurco 2 y 13 de abril y Puerto Napo a un rango “III-Bajo”.

Tabla 31
Balance hídrico técnico año 2022

RED	Q [m3/año]	Qr [m3/año]	Qi [m3/año]	Qica [m3/año]	Qice [m3/año]	Qic [m3/año]	Qs [m3/año]	Qif [m3/año]	%Qi %	%Qif %
Pullurco 1	1 368 603.25	453 131.00	915 472.25	64 274.84	68 430.16	132 705.00	585 836.00	782 767.25	66.89%	57.19%
Pullurco 2	1 437 500.00	583 612.00	853 888.00	116 129.09	71 875.00	188 004.09	771 616.09	665 883.91	59.40%	46.32%
Maveca	479 768.75	304 111.67	175 657.08	48 067.77	23 988.44	72 056.21	376 167.88	103 600.87	36.61%	21.59%
Paushiyacu	1 795 555.17	1 256 876.00	538 679.17	123 282.70	89 777.76	213 060.46	1 469 936.46	325 618.71	30.00%	18.13%
Jiménez	889 390.50	548 359.00	341 031.50	92 725.22	44 469.53	137 194.74	685 553.74	203 836.76	38.34%	22.92%
13 de abril	1 888 691.00	357 913.00	1 530 778.00	75 014.20	94 434.55	169 448.75	527 361.75	1 361 329.26	81.05%	72.08%
Puerto Napo	223 045.16	112 734.00	110 311.16	28 183.07	11 152.26	39 335.33	152 069.33	70 975.84	49.46%	31.82%
Total	8 082 553.83	3 616 736.67	4 465 817.16	547 676.89	404 127.69	951 804.58	4 568 541.24	3 514 012.59	361.76%	270.06%
Promedio	1 154 650.55	516 676.67	637 973.88	78 239.56	57 732.53	135 972.08	652 648.75	502 001.80	55.25%	43.48%

4.1.2 Rendimientos Volumétricos

Mediante la realización del balance hídrico se calculó los rendimientos volumétricos globales en cada red y medición técnica administrativa efectuada. En la Tabla 32 y Figura 7 se muestra los resultados generales para cada red de distribución.

Tabla 32.
Rendimientos volumétricos generales

RED	Global (η_s)	De red (η_r)	Medición técnica-Administrativa (η_g)	Estado Global del sistema
Pullurco 1	35.98%	45.98%	78.24%	Inaceptable
Pullurco 2	34.46%	45.98%	74.94%	Inaceptable
Maveca	63.87%	78.74%	81.12%	Regular
Paushiyacu	67.54%	78.41%	86.13%	Regular
Jiménez	56.56%	69.68%	81.18%	Malo
13 de abril	18.31%	26.86%	68.16%	Inaceptable
Puerto Napo	53.11%	68.94%	77.04%	Malo
Promedio	47.12%	59.23%	78.12%	Inaceptable

Los rendimientos volumétricos para cada red se distribuyeron de la siguiente forma: estado “Regular” a las redes de Maveca y Paushiyacu, estado “Malo” a Jiménez y Puerto Napo y como estado “Inaceptable” a las redes Pullurco 1, Pullurco 2 y 13 de abril de acuerdo con la medición propuesta por (Cabrera et al., 1999).

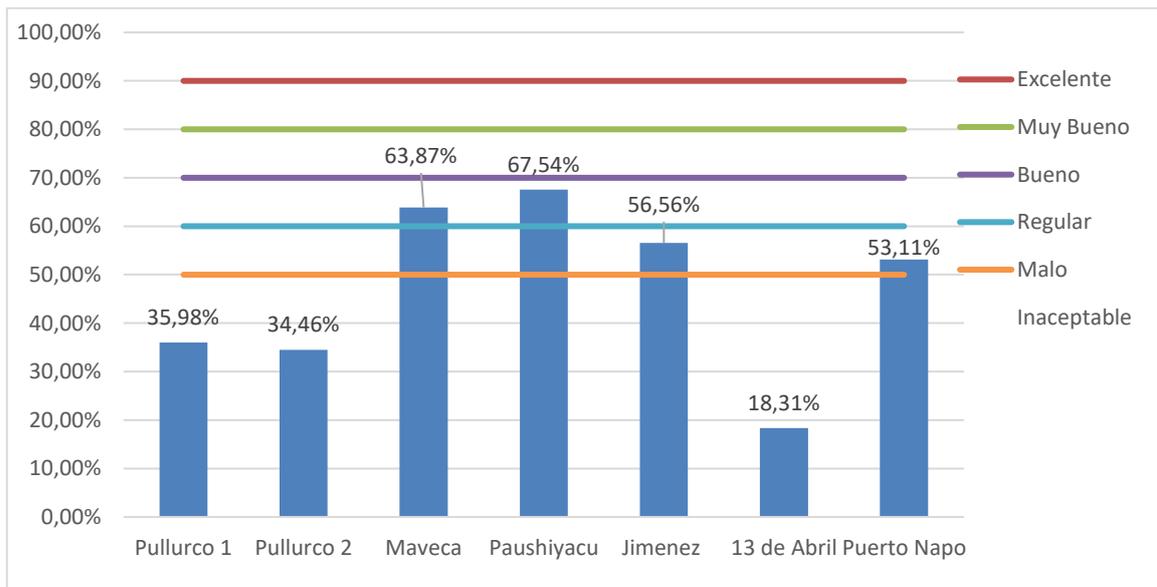


Figura 7. Rendimiento global general de la red

4.1.3 Identificación de zonas afectadas

La Figura 8 muestra los rendimientos globales y los porcentajes del índice de agua no contabilizada en el cantón Tena durante el año 2022, obteniendo un resultado por red de 30% en Paushiyacu ubicada en un rango “I-Alto”, Maveca con 36.61 % y Jiménez con 38.34% pertenecientes al Rango “II-Medio”, finalmente Pullurco 1 con 66.89 %, Pullurco 2 con 59.40 %, 13 de abril con 81.05 % y Puerto Napo con 49.46 % pertenecientes a un rango “III-Bajo”.

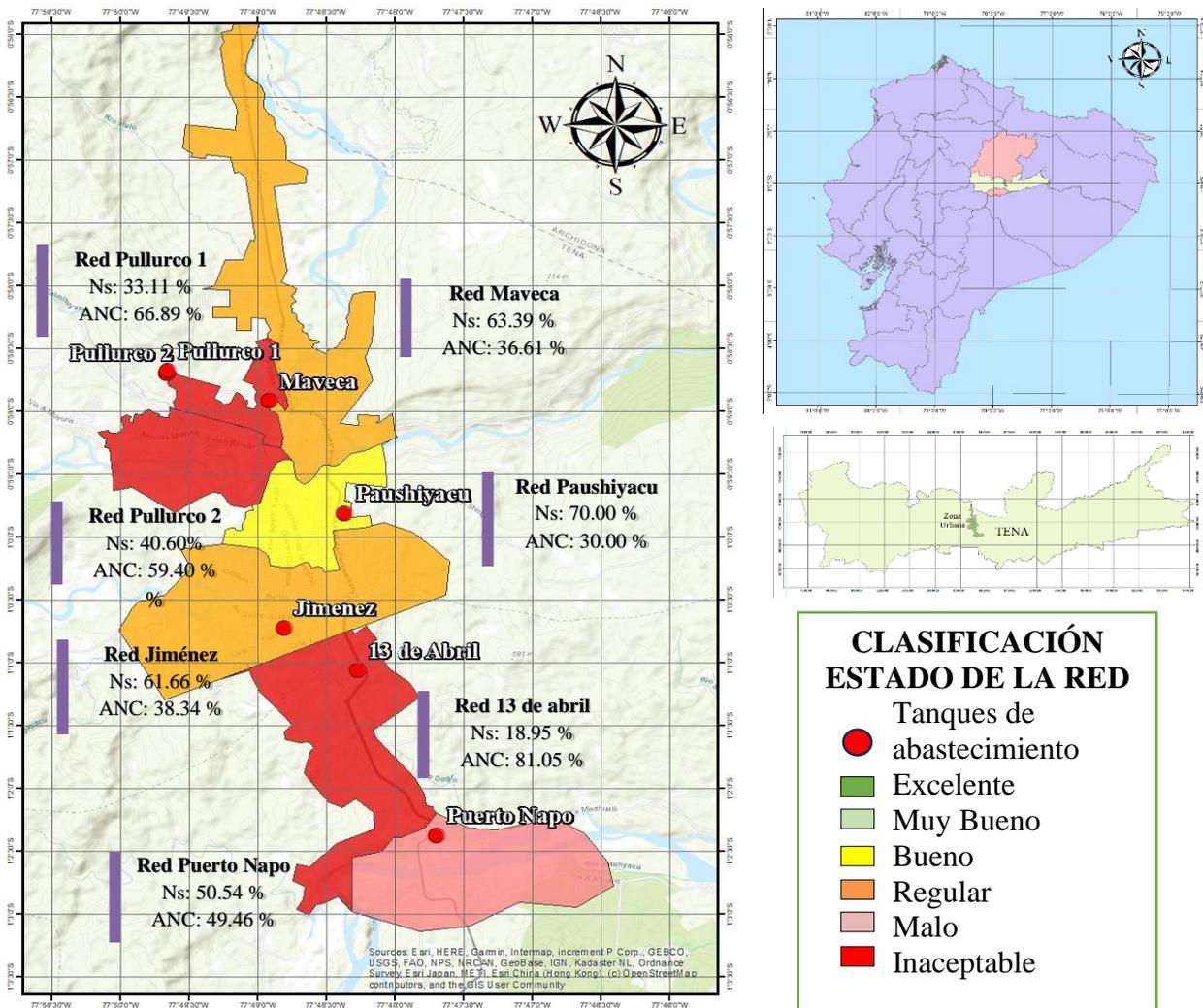


Figura 8. Mapa de afectación redes de distribución cantón Tena año 2022

Durante el año 2022 se observa que las redes Pullurco 1, Pullurco 2, 13 de abril muestran un estado “Inaceptable”, Paushiyacu un estado “Bueno”, Maveca y Jiménez un estado “Regular” y Puerto Napo un estado “Malo”.

4.1.4 Pérdidas económicas anuales por fugas de agua

La dirección de agua potable y alcantarillado del cantón Tena aplica provisionalmente las tarifas referenciales para el cobro del servicio de agua potable que van en aumento dependiendo la categoría, descritas en la Tabla 33.

Tabla 33.
Tarifas básicas para consumo cantón Tena

Categorías	Tarifa básica USD	Tarifa básica por m ³
Doméstica	1.00	0.09
Comercial	2.00	0.12
Industrial	2.50	0.15
Oficial	1.00	0.12

Fuente: (GAD TENA, 2022)

El agua no contabilizada y no facturada genera pérdidas económicas para la dirección de agua potable, dichos recursos pueden ser utilizados en la mejora del sistema del cantón Tena.

Tabla 34.
Costos anuales de las fugas de agua en el sistema del cantón Tena

Año	Registro		Tarifa	Costos	
Año	Volumen incontrolado	Volumen incontrolado fugado	m ³	Volumen incontrolado	Volumen incontrolado fugado
2019	4 113 450.14	3 386 122.83	0.09	\$ 370 210.51	\$ 304 751.05
2020	4 550 285.30	3 671 559.56	0.09	\$ 409 525.68	\$ 330 440.36
2021	4 838 592.21	3 899 284.12	0.09	\$ 435 473.30	\$ 350 935.57
2022	4 465 817.16	3 514 012.59	0.09	\$ 401 923.54	\$ 316 261.13
Total	17 968 144.80	14 470 979.09		\$ 1 617 133.03	\$ 1 302 388.12

La Tabla 34 proporciona los valores perdidos por fugas desde el año 2019 hasta el año 2022 calculada con una tarifa básica por m³ residencial de 0.09 ctvs. Evidenciándose una mayor pérdida durante el año 2021 de \$ 350 935.57 y una menor durante el año 2019 de \$ 304 751.05.

En la Tabla 36 se muestra los costos anuales que la municipalidad recaudaría con la tarifa recomendada por el ARCA (2021) a nivel nacional de 0.94 ctvs./m³.

Tabla 35.*Costos anuales de las fugas de agua con tarifa propuesta por el ARCA*

Año	Registro		Tarifa	Costos	
	Volumen incontrolado	Volumen incontrolado fugado	m3	Volumen incontrolado	Volumen incontrolado fugado
2019	4 113 450.14	3 386 122.83	0.94	\$ 3 866 643.13	\$ 3 182 955.46
2020	4 550 285.30	3 671 559.56	0.94	\$ 4 277 268.18	\$ 3 451 265.98
2021	4 838 592.21	3 899 284.12	0.94	\$ 4 548 276.67	\$ 3 665 327.07
2022	4 465 817.16	3 514 012.59	0.94	\$ 4 197 868.13	\$ 3 303 171.83
Total	17 968 144.80	14 470 979.09		\$ 16 890 056.11	\$ 13 602 720.35

La Figura 9 muestra una comparación de pérdidas económicas entre las tarifas mínimas del cantón Tena de 0.09 ctvs./m³ y la recomendada por el ARCA a nivel nacional de 0.94 ctvs./m³.

**Figura 9.** Comparación costo de recaudación valor municipal y valor recomendado por el ARCA

La Tabla 36 muestra la proyección de usuarios y personas que se beneficiarían del servicio de agua potable aprovechando el volumen obtenido del caudal fugado y la dotación establecida por el departamento de Agua Potable y Alcantarillado, favoreciendo a 41 565.96 habitantes para el año 2022.

Tabla 36.*Proyección de habitantes y usuarios beneficiados del volumen de agua fugada*

Año	Volumen incontrolado fugado		Dotación	Habitantes	Usuarios nuevos
	m3/año	l/día	l/Hab/día	Hab	u
2019	3 386 122.83	9 277 048.844	230	40 334.99	8 712
2020	3 671 559.56	10 059 067.28	230	43 735.08	9 446
2021	3 899 284.12	10 682 970.19	230	46 447.70	10 032
2022	3 489 462.53	9 560 171.308	230	41 565.96	8 978

4.2 Operación y mantenimiento del sistema de agua potable

4.2.1 Ordenes de mantenimiento

En cuanto a la atención de problemas en la red de conducción la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado mantiene registros de inconvenientes de menor magnitud en medidores como: fugas, reubicación, reconexión, mal funcionamiento y medición, exceso de consumo, cambio de llave de corte, conexiones clandestinas, medición invertida y falta de presión (GAD TENA, 2022).

Sin embargo, existe mayor número de operaciones ejecutadas sin registro que no permite realizar un análisis correcto de la cantidad real de problemas que ocurren en la red.

4.2.2 Reparación y monitoreo de fugas

Según el GAD TENA (2022) las actividades de reparación y monitoreo de la red de distribución se realizan una vez a la semana, salvo en ocasiones especiales que sea necesario o imprevistos producidos en la red, usualmente por factores externos ambientales.

Para llevar a cabo la gestión de reparación y mantenimiento, notifican a la entidad responsable, dando a conocer su inconformidad en el servicio, posterior a esto se despliega el personal de cuadrilla para identificar, evaluar el nivel y tipo de daño (GAD TENA, 2022).

Se ha observado que al momento de ejecutar una reparación de gran magnitud existe una intervención tardía de la maquinaria al sitio afectado por el tiempo de gestión y desinterés por parte de operadores (GAD TENA, 2022).

Finalmente se repara y verifica el funcionamiento, además, al momento de comunicar a la comunidad y zonas afectadas se realiza por diferentes medios de comunicación de la Alcaldía y el cierre dura por lo general 6 horas comprendidas entre las 08h00-14h00 (GAD TENA, 2022).

La entidad cuenta con 15 servidores públicos entre personal directivo, técnico, administrativo y obreros, por lo general para reparar obras menores se requiere un equipo de 4 personas, conformado por 1 técnico y 3 peones, para obras mayores o de mayor impacto como roturas en redes principales se requiere 1 técnico, 2 operadores de maquinaria y hasta 3 peones, cabe mencionar que para ejecutar las reparaciones se notifica a los usuarios el tiempo de duración del corte del servicio (GAD TENA, 2022).

Todo el tiempo la entidad responsable es la encargada de cubrir los gastos para llevar a cabo las reparaciones, en la Figura 10 se muestra un esquema del proceso de reparación y mantenimiento (GAD TENA, 2022).

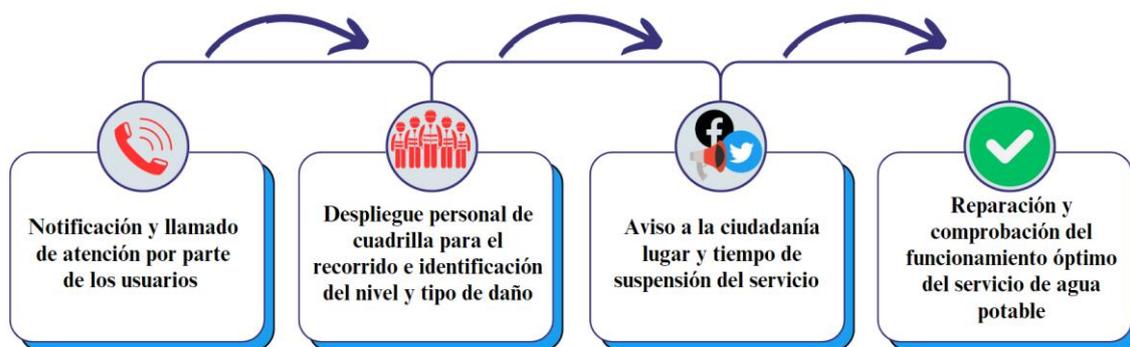


Figura 10. *Proceso de reparación dentro de cada red de distribución*

4.2.3 Soluciones planteadas

Uno de los inconvenientes más frecuentes en el abastecimiento de agua potable es el descontento ciudadano a causa del mal servicio prestado por la institución, los largos periodos de corte del servicio y presencia de turbiedad.

Es necesario conocer y considerar los problemas para implementar un plan de manejo, control y seguimiento. Por medio de la información presentada en los apartados anteriores se identifica la cantidad de agua no contabilizada y no registrada en el cantón Tena. Por ello nace la necesidad de efectuar un plan de acción para reducir el porcentaje de agua fugada, mejorar el proceso de reacción y reparación de fugas reportadas en cada red.

PERSONAL



- Capacitar al personal encargado del mantenimiento acerca del procedimiento correcto de reparación
- Utilizar correctamente los EPP y materiales según la normativa

USUARIOS

- Capacitar a los usuarios acerca del uso responsable del agua, prevenir desperdicios, fugas, reportes y concientización acerca de instalaciones clandestinas que disminuyen calidad y continuidad del servicio



INSPECCIONES



- Realizar inspecciones periódicas y actualización de catastros en toda la red para así divisar y monitorear las fugas
- Llevar registro del estado de las tuberías para una detección y atención rápida

MONITOREOS

- Monitorear y controlar de manera centralizada las estaciones remotas, caudales y presiones del agua distribuida en cada red
- Mejorar la operación del sistema de distribución por medio de válvulas de control



MAQUINARIA



- Gestionar de mejor manera la intervención de maquinaria necesaria para el mantenimiento

REGISTROS

- Mejorar el registro y digitalizar el control de fugas por medio de fichas técnicas y reportes mensuales con el fin de identificar las zonas o barrios más afectados, cuantificar las fugas registradas y el nivel de daño



PREVENCIÓN



- Implementar un plan de prevención y mitigación de impactos por temporadas lluviosas

Figura 11. Propuesta para la reducción de pérdidas de agua

4.3 Discusión

Con los resultados de investigación del sistema de agua potable del cantón Tena se realizó una comparación con los valores de ANC presentados por el ARCA en sus boletines anuales.

El ARCA (2021) presenta un ANC a nivel nacional de 48.35% por otro lado el cantón Tena no presenta valores registrados durante el periodo 2019-2022, mediante el estudio realizado se obtuvo los siguientes índices de ANC: 56.79 % año 2019, 55.48 % año 2020, 58.32 % año 2021 y 55.25 % año 2022, categorizando al cantón Tena en un Rango “III-Bajo” como se observa en la Figura 12.

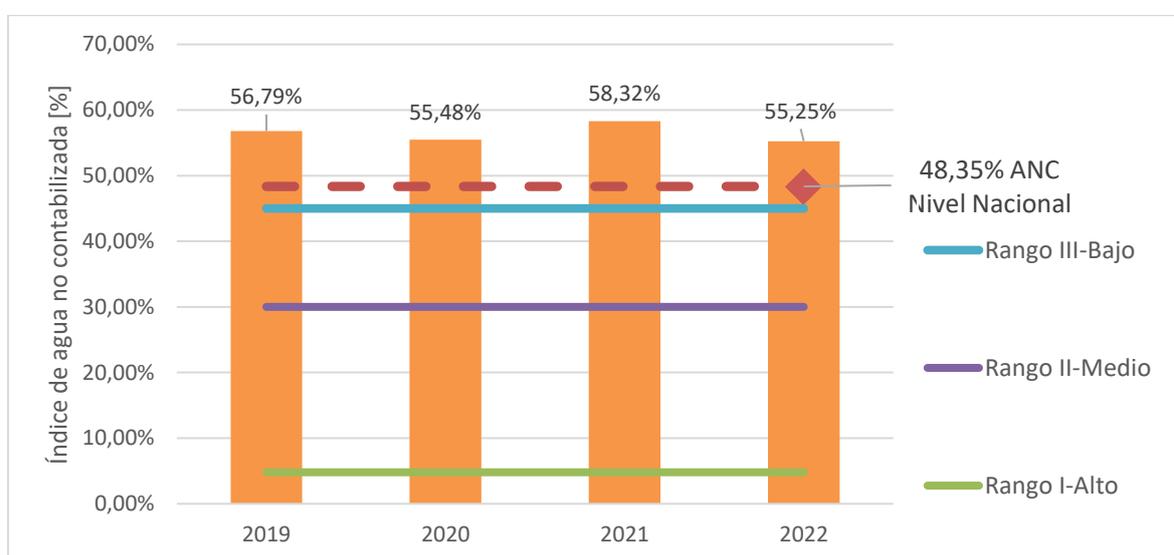


Figura 12. Índice de agua no contabilizada cantón Tena

Se evidencia un valor máximo de Qif durante los cuatro años ubicado en la red “13 de abril” de 80.82 % que representa un caudal de 135 452.86 m³/mes en abril del 2019, por otro lado, la red “Paushiyacu” muestra un menor caudal fugado de 4 890.69 m³/mes que equivale a un 3.41% de Qif en el mes febrero del 2019 como se aprecia en la Figura 13.

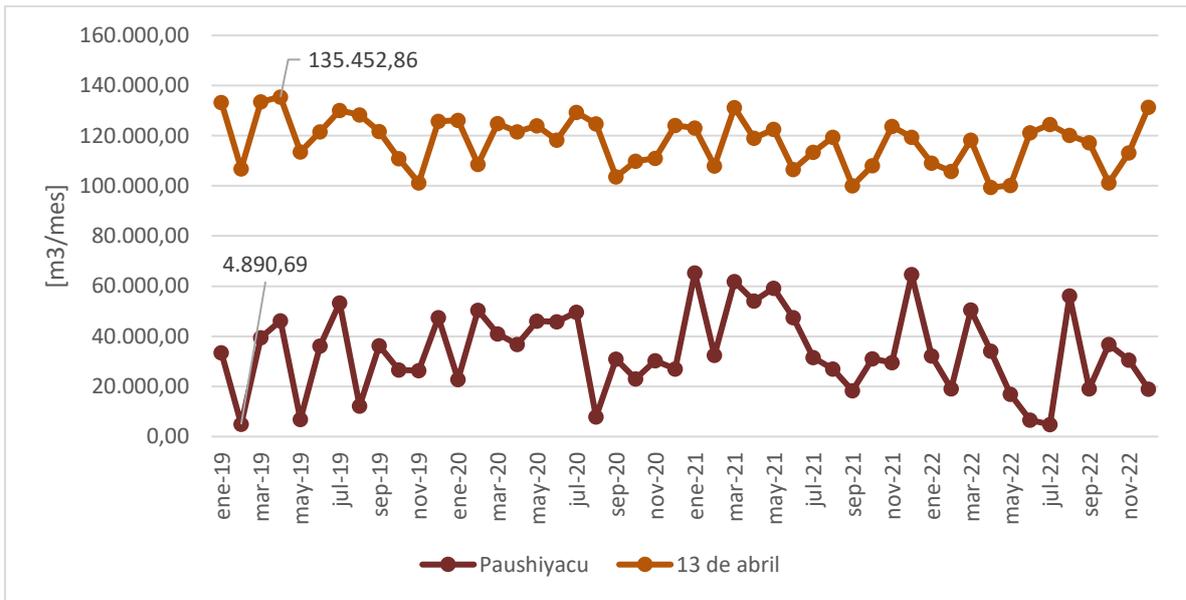


Figura 13. Índice de agua fugada red 13 de abril y Paushiyacu

La red “13 de abril” presenta mayor Qif para el año 2019 con un caudal máximo de 1 462 038.08 m³/año y menor cantidad de agua fugada de 1 361 329.26 m³/año en el año 2022 mientras que la red con menor Qif por año es Puerto Napo, con un valor máximo de 74 812.88 m³/año en 2019 y un caudal mínimo fugado de 55 300.63 m³/año en 2020 como se puede observar en la Figura 14.

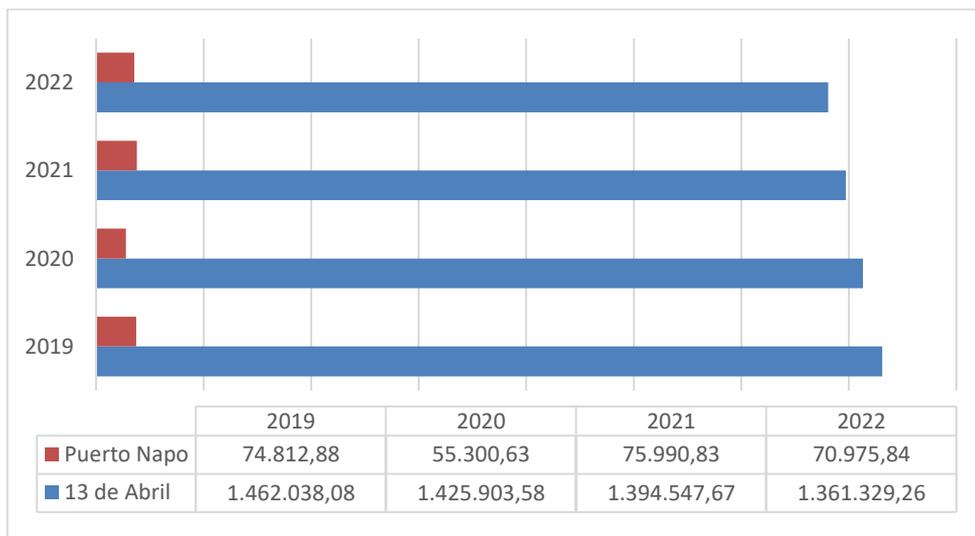


Figura 14. Redes con el índice de agua fugada máxima y mínima

Para el cantón Tena se obtuvo un 56.46 % de ANC como promedio general, sin embargo, no es posible realizar un análisis comparativo por la ausencia de datos en los boletines del ARCA.

Con los datos obtenidos de Qi y Qif se categorizó a las redes de manera global de acuerdo con sus rendimientos, donde se aprecia 3 redes “inaceptables” y 2 redes “regulares”, siendo la red 13 de abril con menor rendimiento y Paushiyacu la de mayor rendimiento en cada año.

En la Figura 9 los valores de agua incontrolada permiten conocer económicamente las pérdidas referentes al caudal fugado, considerando la tarifa básica por metro cúbico de agua aplicada al cantón Tena se obtiene una pérdida económica de \$ 1 302 388.12 dentro de los años de estudio, siendo \$ 350 935.57 la máxima pérdida en el año 2021.

La provincia de Napo carece de investigaciones similares que permitan realizar una comparación de agua fugada y ubicación geográfica, el estudio más cercano es realizado por Tapia (2023) en la provincia de Morona Santiago cantón Logroño que obtuvo un 77.12% de agua potable fugada indicando un alto porcentaje de fuga, de igual manera un estudio realizado por Jaramillo & Oleas (2022) en los cantones Guano y Chambo de la provincia de Chimborazo obtienen un 50.79% y 75.75% de ANC respectivamente.

El cantón con el que se asemeja y compara es el cantón Logroño debido a su ubicación en la región amazónica, aun así, la mayoría de las investigaciones presentan rendimientos “malos” y “regular”.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En el balance hídrico del cantón Tena se obtuvo un 56.46% de agua incontrolada y 45.47 % de caudal fugado como promedio de los 4 años analizados, el rendimiento global del sistema muestra un porcentaje de 47.12 % calificando así a la red de Rango “III-Baja” según lo estipulado en la regulación 003 del ARCA.

Las zonas más afectadas son las redes de Pullurco 1, Pullurco 2 y 13 de abril, siendo esta última la red con mayor presencia de ANC con un porcentaje de 81.69% y rendimiento del 18.31% calificada como “Inaceptable” al igual que las otras redes. Por otro lado, la red que obtuvo un menor porcentaje de ANC fue Paushiyacu con el 32.46% de ANC obteniendo un rendimiento del 67.54% calificada como una red “Regular”.

Se calculó las pérdidas económicas existentes dentro del sistema, en base a la tarifa básica de 0.09 ctvs./m³ demostrando un caudal incontrolado fugado de 3 899 284.12 m³/año que representa una mayor pérdida económica de \$ 350 935.57 durante el año 2021, cantidad que podría abastecer a 46 447.70 personas. De igual manera se compara las pérdidas económicas considerando la tarifa nacional indicada por el ARCA de 0.94 ctvs./m³ dando como resultado una pérdida de \$ 3 665 327.07.

En conclusión, las principales causas de caudal incontrolado en el cantón Tena son medidores dañados, mediciones invertidas, conexiones directas, conexiones clandestinas, roturas en la línea de conducción, pérdidas en las conexiones, fugas domiciliarias, roturas en medidores, además de instituciones que consumen, pero no llevan un registro de la cantidad consumida motivando la realización del plan de acción con el fin de que la Dirección de Agua y Alcantarillado del cantón Tena obtenga mejores diagnósticos en cuanto a sus redes y de esta forma otorgar un mejor seguimiento e implementar acciones inmediatas, reduciendo los índices de ANC y pérdidas económicas.

5.2 Recomendaciones

Dentro del estudio se presentaron inconsistencias en los datos, por ello, se recomienda a la entidad responsable dar mayor importancia a la medición del caudal inyectado en la red y llevar un mejor control del registro de agua facturada con la finalidad de minimizar el margen de error en posteriores estudios que no afecte el proceso de obtención del balance hídrico del sistema.

Las entidades responsables del cantón deben implementar un plan maestro, con la finalidad de llevar una mejor gestión y control del sistema e inconvenientes, registro de agua consumida por los usuarios y realizar mantenimientos preventivos con el fin de reducir la cantidad de fugas.

Para proyectos similares se recomienda consultar con las instituciones pertinentes para de esta forma evitar el sesgo de información que perjudiquen la continuidad y calidad de la investigación.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Achache, N., & Gómez, S. (2022). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba*. 8.5.2017, 2003–2005. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10205>
- ARCA. (2019). Benchmarking De Prestadores Públicos De Los Servicios De Agua Potable Y Saneamiento En El Ecuador. *Boletín Estadístico*, 325–351. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020253/Bo64/AlcanzarloODMenaguapotable.pdf>
- ARCA. (2020). Agua potable y saneamiento en el Ecuador Agencia de Regulación y Control del Agua. *Boletín Estadístico 2020*, 12–15. http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/12/Boletin-estadistico-APS_dic21_v02.pdf
- ARCA. (2021). *BOLETIN ESTADISTICO 2021*. 1, 1–14. http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boletin-estadistico-APS-2021_fn_v02.pdf
- Arroyo, M. (2015). *Importancia de la calidad del agua y su manejo*. 1–3. http://ucienegam.mx/wp-content/uploads/2017/08-Doc/ServiciosEscolares/Alumnos/Optativas-Febrero/Importancia_de_la_calidad_del_agua_y_su_manejo.pdf
- BDE. (2022). *Mejoramiento integral del sistema de agua potable para la ciudad de Tena - BDE*. <https://bde.fin.ec/mejoramiento-integral-del-sistema-de-agua-potable-para-la-ciudad-de-tena/>
- Benavides, H. M. (2018). *El agua no cobrada en sistemas de abastecimientos urbanos. November 2013*. <https://www.researchgate.net/publication/323613171>
- Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoría de redes de distribución de agua. *Ingeniería Del Agua*, 6(4), 387. <https://doi.org/10.4995/ia.1999.2794>
- Campaña, J., & Ortega, W. (2016). *Evaluación De La Red De Distribución De Agua Potable Para Determinar Pérdidas Y Fugas De La Urbanización La Colina Del Cantón Rumiñahui*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15217/1/CD-6992.pdf>
- Carvajal, V., & Vargas, J. (2023). Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chimbo y San Miguel. In *Aleph* (Vol. 87, Issue 1,2). http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11190/1/Carvajal_V.%2C_Vargas_J

- %282023%29 Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chimbo y San Miguel.pdf
- Escamilla, E. G., & Palerm, J. (2016). *Sistemas de agua potable rurales. Instituciones, organizaciones, gobierno, administración y legitimidad*. VII(March), 17–34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7357347>
- Flores, E. F. M., & Rea, M. M. V. (2023). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Penipe y Saraguro*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11327>
- Fragoso Sandoval, L., Ruiz y Zurvia-Flores, J., & Toxky López, G. (2016). La sectorización en redes de agua potable para mejorar su eficiencia hidráulica. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(2), 29–43.
- GAD Municipal del Cantón Tena. (2022). *Descripción Cantonal*. <https://tena.gob.ec/WEB/datos.html>
- GAD TENA. (2022). PROGRAMA DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE. *Dirección de Agua Potable y Alcantarillado*.
- Galarza, C. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- García, J. C., & Benavides, H. (2019). Adjustment value of water leakage index in infrastructure. *DYNA (Colombia)*, 86(208), 316–320. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.67230>
- Gutiérrez, E. (2016). Análisis y determinación de agua no facturada (ANF) en el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona Larapa en la E.P.S. Seda Cusco S.A. *Universidad Andina Del Cusco*. <http://repositorio.uandina.edu.pe:8080/xmlui/handle/UAC/712>
- Jaramillo, J., & Oleas, F. (2022). *INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES CHAMBO Y GUANO*. 8.5.2017, 2003–2005. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10118/1/Jaramillo J %26 Oleas F 2022 Incidencia de fugas en las red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chambo y Guano..pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10118/1/Jaramillo%20J%20Oleas%20F%202022%20Incidencia%20de%20fugas%20en%20las%20red%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable%20de%20los%20cantones%20Chambo%20y%20Guano..pdf)
- NEC-11. (2011). NEC-11, Norma Hidrosanitaria NHE Agua. *Norma Ecuatoriana De La Construcción*, 38. <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-16-norma-hidrosanitaria-nhe-agua-021412.pdf>

- Primicias. (2021). *Ecuador pierde USD 320 millones al año por fugas y robo de agua potable*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/perdidas-agua-fugas-ecuador-municipios/>
- Rosero, C. (2019). *Agua potable no contabilizada en el cantón Pangua y programa de control de pérdidas*. 134. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15834>
- Santos Ruiz, I., López Estrada, F. R., Blesa, J., & Javadiha, M. (2019). Localización de fugas en redes de distribución de agua mediante k -NN con distancia cosenoidal. *Memorias Del Congreso Nacional de Control Automático*, 370–375. <https://revistadigital.amca.mx/wp-content/uploads/2022/06/0067.pdf>
- Tapia, D. A. G. (2023). *INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN LOGROÑO, PROVINCIA MORONA SANTIAGO*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10713>
- Zúñiga, M. G. R. (2019). *Análisis y diagnóstico de la red del sistema de agua potable de la cabecera cantonal del cantón Guano, Provincia de Chimborazo, Ecuador*. 135. <https://riunet.upv.es/handle/10251/118836>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1.

Lectura de macromedidor.



Anexo 2.

Visita a la planta de tratamiento el Colonso.



Anexo 3.

Ficha de solicitud para reparación de fugas Dirección de Agua Potable y Alcantarillado.

		GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE TENA	
DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO			
RECEPCIÓN DE NOVEDADES			
FECHA: 20/12/2022		NOVEDAD RECIBIDA POR:	
HORA: 10h13		<i>Señor Ruben Zanguilán Reparar fuga en el medidor 20/12/2022</i>	
AGUA POTABLE <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ALCANTARILLADO PLUVIAL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MEDIDOR NO. : 1408006298		ALCANTARILLADO <input type="checkbox"/>	
APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRES	
<i>chacha</i>	<i>Moposita</i>	<i>José Eduardo</i>	
CÉDULA DE CIUDADANÍA/RUC	TELÉFONO FIJO	TELÉFONO CELULAR	
<i>1800157651</i>	<i>28826264</i>	<i>0984859354</i>	
BARRIO/SECTOR	CALLE PRINCIPAL Y TRANSVERSALES		
<i>Palmas</i>	<i>Av. Palmas y Tamiahuera</i>		
TIPO Y CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA O PREDIO			
<i>Frente al Sr. Alvarez</i>			
REFERENCIAS PARA SU UBICACIÓN Y CROQUIS			
ESPECIFIQUE LA NOVEDAD PRESENTADA			
<i>Fuga de agua en el medidor</i>			
<i>Fuga en Medidor dañado</i>			
<i>Conectar otro</i>			
FIRMA DEL USUARIO: <i>[Firma]</i>		DESCRIBA LA NOVEDAD ATENDIDA:	
ATENDIDO POR: <i>Ruben Zanguilán</i>		FECHA DE ATENCIÓN: <i>21/12/2022</i>	

Anexo 4.

Barrios pertenecientes a cada red de distribución del cantón Tena.

RED	BARRIOS
Pullurco 1	Las Palmas, Uglopamba, Jumandy, Lotización El Buen Pastor, Sector Canoayacu, Las Colinas, Aeropuerto 2
Pullurco 2	Central, Aeropuerto 1, Pepita de Oro, San Antonio, Amazonas
Maveca	Los Pinos, San Luis, Dos Ríos, Rubén Lerzon, Terere, El Dorado, San Jacinto, Aguapungo
Paushiyacu	Paraíso Amazónico, Bellavista, Paushiyacu, La Unión, Las Hierbitas, Vista Hermosa, Gil Ramírez Dávalos, Palandacocha, Sagrado Corazón de Jesús, Cdla. El Chofer
Jiménez	Eloy Alfaro, La Verónica, Mariscal Sucre, Plan de Salud, San Jorge, Las Orquídeas, San Pedro de Apayacu, Las Malvinas
13 de abril	3 de mayo, 13 de abril, Ceibo, Yutzupino, Sector Urdesa, Sector Los Lirios, Huertos Familiares, Sector Ponderosa
Puerto Napo	Puerto Napo

Fuente: (GAD TENA, 2022)