



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable en la ciudad Quero y Cevallos”

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autores:**

Minchala Valle Juan Francisco

Yautibug Bravo Miguel Ángel

**Tutor:**

Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez MSc.

**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Juan Francisco Minchala Valle** con cédula de ciudadanía **0604750299** y **Miguel Ángel Yautibug Bravo** con cédula de ciudadanía **0605368646**, autores del trabajo de investigación titulado: **“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable en la ciudad Quero y Cevallos”**, 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, 21 de mayo del 2024.



---

Juan Francisco Minchala Valle

C.I: 0604750299



---

Miguel Ángel Yautibug Bravo

C.I: 0605368646

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Msc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez** catedrática adscrita a la Facultad de Ingeniería por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable en la ciudad Quero y Cevallos”**, bajo la autoría de **Juan Francisco Minchala Valle** y **Miguel Ángel Yautibug Bravo**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 21 días del mes de mayo de 2024.



---

Msc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

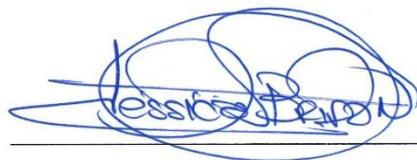
C.I: 0604750299

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

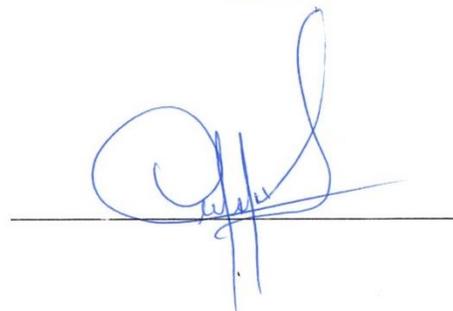
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable en la ciudad Quero y Cevallos”**, presentado por **Juan Francisco Minchala Valle** con cédula de identidad número **0604750299** y **Miguel Ángel Yautibug Bravo** con cédula de identidad número **0605368646**, bajo la tutoría de Msc. María Gabriela Zúñiga Rodríguez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de mayo de 2024.

Ing. Jessica Brito  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Nelson Patiño  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Jhoanna Gallardo  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



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

## CERTIFICACIÓN

Que, **Minchala Valle Juan Francisco** con CC: **0604750299** y **Yautibug Bravo Miguel Ángel** con CC: **0605368646**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD QUERO Y CEVALLOS**", cumple con el 9%, 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, 21 de mayo de 2024

Ing. Gabriela Zúñiga, MSc  
TUTOR

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Myriam y Luis, vuestra inquebrantable dedicación, amor y sacrificio han sido el faro que ha iluminado cada paso de mi camino académico. Vuestra confianza en mí ha sido mi mayor motivación, y vuestro apoyo incondicional ha sido mi fortaleza en los momentos más desafiantes. Esta tesis es el fruto de vuestro amor y esfuerzo, y con humildad y gratitud, la dedico a ustedes. Gracias por ser mis guías, mis héroes y mi inspiración.

A mis queridos hermanos Andrea, Mesias y Anahí, en este viaje académico que culmina con la realización de esta tesis, no puedo dejar de expresar mi profunda gratitud hacia ustedes. Han sido mis pilares, mi apoyo inquebrantable a lo largo de cada paso de este camino.

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

Finalmente, a mis compañeros y amigos por apoyarme en los momentos buenos y malos, por la amistad y conocimientos brindados cada día de esta etapa académica.

***Juan Francisco Minchala Valle***

## DEDICATORIA

Dedicado de manera especial a Dios, mi soporte en las adversidades y mi fuente inagotable de inspiración, por ser mi constante guía. Reconozco su amor incondicional y las bendiciones que han sido esenciales en mi trayecto hacia este éxito académico.

*Yo te haré saber y te enseñaré el camino en que debes andar; te aconsejaré con mis ojos puestos en ti” (Salmo 32:8).*

*Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente, no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas” (Josue1:9).*

A mi familia, principalmente a mis padres María y Miguel, mi hermana Marlene, mis abuelitos, especialmente para mi abuelito Ángel, por incentivar la constancia y perseverancia.

Para todas las personas que me han brindado su apoyo y motivación. En particular para todas las personas que han conformado “Extintor Express”, estoy agradecido por su respaldo.

***Miguel Ángel Yautibug Bravo***

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil por su invaluable apoyo en nuestra formación académica. Especialmente deseamos reconocer la dedicación y orientación de nuestra tutora de tesis Msc. Gabriela Zúñiga, quien nos proporcionó todas las herramientas necesarias para alcanzar finalmente el éxito académico.

*Juan Minchala y Miguel Yautibug*

Expreso mi profunda gratitud a Dios por mantener mi salud y fortaleza durante esta etapa de mi vida, por proveerme de los recursos necesarios para seguir adelante, por ser mi guía y mentor en todas mis iniciativas, por protegerme de cualquier peligro y envolverme con su amor incondicional.

Aprecio enormemente el apoyo brindado por mis padres; estoy profundamente agradecido por sus consejos y orientación. Quiero destacar especialmente el ejemplo de persistencia que mi madre ha demostrado a lo largo de los años, siendo un modelo inquebrantable de lucha y perseverancia.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que me han brindado su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida, sus contribuciones son incalculables. En especial, deseo reconocer a todos aquellos que han sido parte de “Extintor Express”, un lugar donde he compartido momentos que han dejado una huella imborrable en mi corazón. Quiero destacar especialmente a Ale y Domi por su constancias y perseverancia día tras día.

*Miguel Ángel Yautibug Bravo*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos en este momento tan significativo de mi vida, sin su constante aliento y sacrificio para concluir este trayecto no habría sido posible. A través de su ejemplo he aprendido el valor del trabajo arduo, perseverancia y la importancia de nunca renunciar a mis sueños. Ustedes me han enseñado que el éxito no es solo el resultado de la inteligencia o el talento, sino también de la determinación y el compromiso.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Alex Escalante y al Ing. Victor Yaulema, quienes me han brindado la oportunidad de colaborar en el campo que amo. Su generosidad al permitirme participar en proyectos significativos ha sido invaluable. Su orientación y mentoría han enriquecido mi experiencia profesional y ha fortalecido mi pasión por este trabajo. Estoy profundamente agradecido por su confianza en mí y por abrirme las puertas a un mundo donde puedo desarrollar mis habilidades y contribuir de manera significativa. Su apoyo ha sido fundamental para mi crecimiento y desarrollo como profesional, y siempre lo recordaré con gratitud.

Expreso mi gratitud a todo el equipo de la inmobiliaria y constructora “La imperial” por su apoyo, orientación y confianza en mí durante este período. Su colaboración y disposición para compartir su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para mi desarrollo profesional y académico.

***Juan Francisco Minchala Valle***

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA .....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
RESUMEN .....	
ABSTRACT .....	
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
1.1. Antecedentes .....	18
1.2. Zona de estudio .....	18
1.3. Justificación .....	21
1.4. Planteamiento del problema .....	21
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. Objetivo General .....	22
1.5.2. Objetivos Específicos .....	22
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1. Conceptos generales.....	23
2.1.1. Abastecimiento de agua potable.....	23
2.1.2. Método Volumétrico .....	23
2.1.3. Captación y Conducción.....	23
2.1.4. Red de distribución.....	23
2.1.5. Fugas.....	24
2.1.6. Clasificación de fugas.....	24
2.1.7. Causas que provocan las fugas.....	24
2.2. Balance hídrico .....	25
2.3. Índice de agua no contabilizada.....	27
2.4. Rendimientos Hídricos de una red de agua .....	27
2.5. Estado del arte.....	28
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>31</b>

3.1. Diseño de investigación.....	31
3.2. Tipo de investigación .....	32
3.2.1. Alcance .....	32
3.3. Técnicas de recolección de datos .....	32
3.3.1 Población en estudio.....	32
3.4. Compendio de información y análisis de datos .....	32
3.4.1. Sistema de abastecimiento de agua potable de Quero.....	32
3.4.2. Sistema de abastecimiento de agua potable de Cevallos.....	34
3.4.3. Proceso de obtención del caudal inyectado .....	36
3.4.4. Caudal inyectado (Q) en Quero.....	36
3.4.5. Caudal inyectado (Q) en Cevallos.....	37
3.4.6. Caudales registrados (Qr) en Quero .....	38
3.4.7. Caudales registrados (Qr) en Cevallos .....	39
3.4.8. Caudales incontrolados consumido y no contabilizado (Qica) en Quero.....	40
3.4.9. Caudales incontrolados Consumido y no contabilizado (Qica) en Cevallos.....	40
3.4.10. Caudales incontrolados por error de medida (Qice).....	41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Resultados del balance hídrico .....	42
4.1.1. Balance hídrico técnico en Quero .....	42
4.1.2. Balance hídrico técnico en Cevallos.....	46
4.1.3. Índice de agua no contabilizada (IANC) en Quero .....	49
4.1.4. Índice de agua no contabilizada (IANC) en Cevallos .....	50
4.1.5. Rendimiento hídrico porcentual en Quero.....	50
4.1.6. Rendimiento hídrico porcentual en Cevallos.....	52
4.1.7. Pérdida económica en Quero .....	53
4.1.8. Pérdida económica en Cevallos .....	54
4.2. Mantenimiento y operación con el que se atiende un problema de fuga de agua potable en las redes de abastecimiento de la ciudad. ....	55
4.2.1. Operación y mantenimiento del sistema en Quero.....	56
4.2.2. Operación y mantenimiento del sistema en Cevallos.....	57
4.3. Identificación de zonas con incidencia de fugas.....	58

4.3.1. Identificación de zonas con presencia de fugas en Quero. ....	58
4.3.2. Identificación de zonas con presencia de fugas en Cevallos .....	59
4.4. Soluciones planteadas al problema de fugas en Quero y Cevallos .....	60
4.5. Discusión .....	61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
5.1. Conclusiones .....	63
5.2. Recomendaciones .....	64
Bibliografía.....	65
Anexos.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Categorías del IANC propuesto por el ARCA.....	27
<b>Tabla 2.</b>	Rangos de calificación de los sistemas de distribución propuesto por Cabrera. ....	28
<b>Tabla 3.</b>	Usuarios registrados por categorías en el cantón Quero.....	33
<b>Tabla 4.</b>	Información de los tanques de reserva en el cantón Quero. ....	34
<b>Tabla 5.</b>	Usuarios registrados por categorías en el cantón Cevallos.....	34
<b>Tabla 6.</b>	Información de los tanques de reserva del cantón Cevallos. ....	36
<b>Tabla 7.</b>	Caudal inyectado a la red de distribución de la ciudad de Quero. ....	37
<b>Tabla 8.</b>	Caudal inyectado a la red de distribución de la ciudad de Cevallos .....	37
<b>Tabla 9.</b>	Caudales registrados del GADM de Quero. ....	38
<b>Tabla 10.</b>	Caudales registrados del GADM de Cevallos. ....	39
<b>Tabla 11.</b>	Cuerpo de Bomberos - Quero.....	40
<b>Tabla 12.</b>	Áreas recreativas.....	40
<b>Tabla 13.</b>	Cuerpo de Bomberos – Cevallos. ....	41
<b>Tabla 14.</b>	Caudal incontrolado mensual – Cevallos.....	41
<b>Tabla 15.</b>	Balance hídrico técnico – Quero. ....	42
<b>Tabla 16.</b>	Caudal fugado anual - Quero.....	43
<b>Tabla 17.</b>	Balance hídrico técnico – Cevallos.....	46
<b>Tabla 18.</b>	Caudal fugado anual - Cevallos.....	47
<b>Tabla 19.</b>	Rendimiento hídrico porcentual anual - Quero .....	51
<b>Tabla 20.</b>	Rendimiento hídrico porcentual anual - Cevallos .....	52
<b>Tabla 21.</b>	Costo anual perdido por fugas en la red de agua potable - Quero.....	53
<b>Tabla 22.</b>	Costo anual perdido por fugas en la red de agua potable – Cevallos. ....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación de las zonas de estudio.....	20
<b>Figura 2.</b>	Balance hídrico propuesto por Cabrera.....	26
<b>Figura 3.</b>	Metodología propuesta.....	31
<b>Figura 4.</b>	Identificación de la planta de tratamiento y red de distribución mediante el uso de rutas que sectorizan la ciudad de Quero.....	33
<b>Figura 5.</b>	Identificación de la planta de tratamiento y red de distribución mediante el uso de rutas que sectorizan la ciudad de Cevallos.....	35
<b>Figura 6.</b>	Caudales registrados anualmente en el cantón Santiago de Quero. ....	38
<b>Figura 7.</b>	Caudales registrados anualmente en el cantón Cevallos.....	39
<b>Figura 8.</b>	Comparativa de caudales promedio – Quero. ....	44
<b>Figura 9.</b>	Porcentaje de Caudal fugado desde el año 2018 hasta el año 2022 – Quero.....	45
<b>Figura 10.</b>	Comparativa de caudales promedio – Cevallos.....	48
<b>Figura 11.</b>	Porcentaje de Caudal fugado desde el año 2018 hasta el año 2022 – Cevallos. .	49
<b>Figura 12.</b>	Índice de agua no contabilizada – Quero. ....	49
<b>Figura 13.</b>	Índice de agua no contabilizada – Cevallos. ....	50
<b>Figura 14.</b>	Rendimiento global del sistema – Quero.....	51
<b>Figura 15.</b>	Rendimiento global del sistema – Cevallos.....	53
<b>Figura 16.</b>	Pérdida económica por fugas – Quero.....	54
<b>Figura 17.</b>	Pérdida económica por fugas – Cevallos. ....	55
<b>Figura 18.</b>	Procedimiento para la realización de reparaciones de fugas en Quero.....	56
<b>Figura 19.</b>	Procedimiento para la realización de reparaciones de fugas en Cevallos.....	57
<b>Figura 20.</b>	Identificación de fugas – Quero.....	58
<b>Figura 21.</b>	Identificación de fugas – Cevallos.....	59
<b>Figura 22.</b>	Plan de acción - Actividades preventivas.....	60
<b>Figura 23.</b>	Plan de acción – Actividades de mejora.....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	Operación y mantenimiento de la ciudad de Quero.....	67
<b>Anexo 2.</b>	Operación y mantenimiento de la ciudad de Cevallos.....	68
<b>Anexo 3.</b>	Planta de tratamiento de la ciudad de Quero.....	69
<b>Anexo 4.</b>	Inspección a la reparación de fugas de agua potable en la ciudad de Quero .....	69

## RESUMEN

La presencia de agua potable ayuda al desarrollo de las poblaciones, las fugas de agua potable son causados debido a la deficiencia de los componentes en el sistema de distribución y como consecuencia genera pérdidas de agua y pérdidas económicas. El mantenimiento preventivo es esencial para el cuidado de la red de distribución, ya que permite la oportuna intervención en la reparación de fugas. En las ciudades de Quero y Cevallos del Ecuador, las pérdidas están generadas en base a su estado físico de la red de distribución, conexiones clandestinas y rotura de tuberías. En esta investigación se utilizó una metodología cuantitativa debido a que se realizó la recolección y análisis de datos con el fin de realizar el balance hídrico y cálculo de rendimientos volumétricos, se utilizó el método cualitativo para el análisis de fichas técnicas que evidencian la incidencia de fugas. A partir de esto se demostró que Quero y Cevallos registran porcentajes de fugas de agua no contabilizada de 11.83% y 14.10% respectivamente, en un periodo de estudio del 2018 hasta 2022, el rendimiento global del sistema para Quero es de 82.10% y para Cevallos de 81.46% debido a la cual se obtiene la categorización del sistema de “Muy Bueno”. En Quero se estima que la pérdida económica en el periodo de estudio fue de 32,992.29 dólares y en Cevallos de 170,401.55 dólares. A partir de los resultados obtenidos, se ha generado como soluciones viables, actividades preventivas y actividades de mejoras para la red de distribución con el fin de un mayor desempeño de la red y la prevención de fugas.

**Palabras claves:** Fugas, agua potable, balance hídrico, desempeño, pérdidas.

## ABSTRACT

The presence of potable water aids in the development of populations. Potable water leaks occur due to deficiencies in distribution system components, resulting in water and economic loss. Preventive maintenance is essential for distribution network care, enabling timely leak repair interventions. In the cities of Quero and Cevallos in Ecuador, loss is generated based on the physical state of the distribution network, clandestine connections and broken pipes. This study used quantitative methodology for data collection and analyzes technical records showing leak incidence. Findings reveal that Quero and Cevallos registered unaccounted water leak percentages of 11.83% and 14.10%, respectively, from 2018 to 2022. The overall system yield for Quero is 92.10% and for Cevallos is 81.46%, categorizing the system as 'Very Good'. Economic loss during the study period is estimated at \$32,992.29 for Quero and \$170,401.55 for Cevallos. Based on the results, preventive activities and network improvement initiatives are proposed to enhance system performance and prevent leaks.

**Keywords:** leaks, potable water, water balance, performance, losses.

**Revisado por:** Andrea Paola Goyes Robalino

**Fecha:** 20-05-2024

**Firma:**



Firmado electrónicamente por:  
ANDREA PAOLA  
GOYES ROBALINO

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

Las instituciones concesionarias de la gestión del agua potable (GADM o Empresas públicas), se encargan de la captación, tratamiento y distribución del agua, pero a pesar de tener un buen método de gestión existen pérdidas en fugas, las concesionarias son las responsables de tratar de reducir el impacto existente en pérdidas por fugas (Fernández, 2015).

A nivel Nacional, según la Agencia de Regulación y Control del Agua (2021) mediante boletín estadístico de agua potable y alcantarillado señala que la cantidad de agua no contabilizada conforma el 48.55%, el valor resulta del análisis de la relación de volumen de agua distribuida a la red y volumen facturado. Además, menciona que el 78.75% cuenta con el servicio de agua potable y que posee una continuidad del servicio de 91% derivando a 22 horas diarias con un costo promedio de 0.94 dólares por metro cúbico de agua potable.

A nivel de provincia, Tungurahua, los cantones más críticos son San Pedro de Pelileo y Santiago de Pillaro con 58.16% y 57.59% respectivamente, la continuidad de servicio en todos sus cantones es del 100% excluyendo a Ambato con un 88%, el costo de agua potable varía desde 0.04 USD/m<sup>3</sup> a 1.32 USD/m<sup>3</sup>, el nivel de conformidad en análisis microbiológicos es del 100% y la eficiencia en la solución a tiempo de las peticiones, quejas y reclamos es del 99.68% (ARCA, 2021).

Quero posee una categoría “A” entre los prestadores de servicios públicos de Tungurahua, con un servicio de cobertura de agua potable del 100%, el costo del metro cúbico de agua es de 0.04 dólares y no posee valores de agua no contabilizada, por otro lado, Cevallos posee una categoría “B” y una cobertura de servicio de agua potable de 23.08%, continuidad del servicio del 100%, con un costo de 1.05 USD/m<sup>3</sup> y unas pérdidas no contabilizadas de 19.27% (ARCA, 2021).

### **1.2. Zona de estudio**

#### **Cantón Quero**

Santiago de Quero, cantón perteneciente a la provincia de Tungurahua, cuenta con una superficie de 174 km<sup>2</sup>, representa el 5.1% de la provincia de Tungurahua, limitado en el norte con el cantón Cevallos, al sur con el cantón Guano (Provincia de Chimborazo), al este Pelileo y al oeste Mocha, comprende de una parroquia urbana La Matriz, dos parroquias rurales Yanayacu y Rumipamba, UTM (E 766425; S 9847398) a una altura de 2977 m.s.n.m. (GAD QUERO, 2023).

Quero posee 19.2 mil habitantes alrededor del 3.8% respecto a la provincia de Tungurahua, el 49.4% corresponde a hombres y el 50.6% corresponde a mujeres, del total de población el 13.9 % se concentra en la parte urbana y 86.1% en la parte rural, la mayor cantidad de población se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca en un 69.8%, las personas

pobres corresponden al porcentaje de 60.1% (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2014).

En la provincia de Chimborazo, cantón Guano, parroquia Santa Rosa de Chuquipogyo, cerca de los límites entre Chimborazo y Tungurahua se origina la vertiente Las Abras. En este punto, se ubica la captación que suministra agua a los cantones de Chimborazo, así como una segunda conducción que abastece al cantón Quero de la provincia de Tungurahua.

El municipio del cantón Santiago de Quero, a nivel urbano, administra el sistema de captación, en el que su caudal asignado por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) es de 12.99 l/s. La conducción del agua se lleva a cabo mediante tuberías de PVC con diámetros de 200 mm y 160 mm, en una longitud total de 21 kilómetros. El sistema incluye 8 pasos elevados, 24 cajas rompe presiones y 15 válvulas de aire para garantizar el transporte eficiente del agua.

Una vez conducida, el agua se transporta a un tanque de ferrocemento con una capacidad de 200 m<sup>3</sup> ubicado en la localidad el Empalme. Aquí, se realiza un proceso de desinfección basado en análisis físico-químicos y bacteriológicos. Posteriormente, el agua desinfectada se dirige a otros reservorios, como un tanque de hormigón armado de 45 m<sup>3</sup> en la localidad de Quiambe y varios tanques de ferrocemento en la localidad de Marcopamba, que tiene capacidades de 100 m<sup>3</sup> y 200 m<sup>3</sup>. Estos tanques alimentan la distribución de agua a diferentes áreas de Quero, incluyendo zonas alta, media y baja, así como el reservorio de Calvario y el subcentro de salud.

En el año 2012, se realizaron mejoras significativas en la infraestructura de distribución de agua en la ciudad de Quero. Se instalaron tuberías de PVC en toda la ciudad, junto con acometidas, medidores, micromedidores, hidrantes y válvulas. Además, en la zona rural, se identifican 17 sistemas de agua potable que se originan en vertientes, proporcionando agua de mejor calidad y un caudal estable. El gobierno de Santiago de Quero lleva a cabo la planificación para la regeneración de los sistemas defectuosos y la gestión del recurso hídrico.

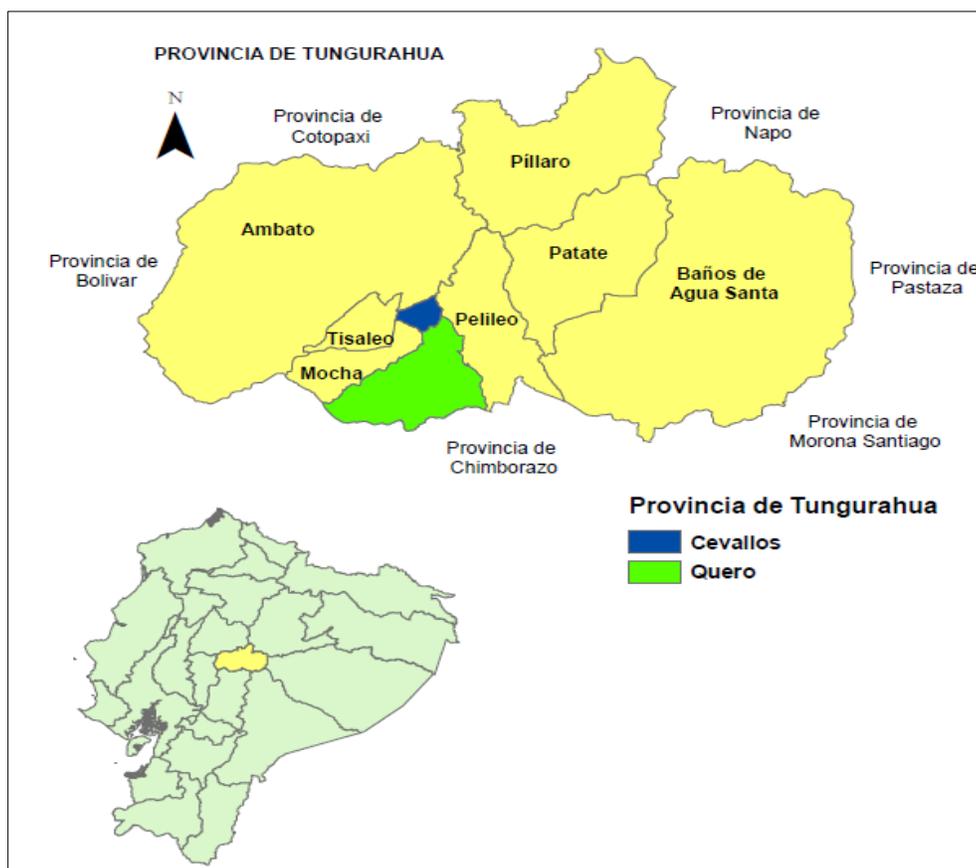
El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Santiago de Quero es la institución que posee la competencia de administrar los servicios básicos de agua potable y saneamiento en la ciudad de Quero y en las parroquias del cantón, cuenta con juntas administradoras de agua potable y saneamiento, con la intervención de la unidad de agua potable, cuya función es brindar asistencia y capacitación en la rehabilitación, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable de las zonas rurales que están gestionadas por las juntas administradoras que cuentan con sus respectivas normas aprobadas por el SENAGUA (GAD QUERO, 2020).

### **Cantón Cevallos**

Cevallos, cantón perteneciente a la provincia de Tungurahua, cuenta con una superficie de 19 km<sup>2</sup>, limitado en el norte con el cantón Ambato, al sur con los cantones Quero y Mocha, al este con el cantón Pelileo, al oeste con el cantón Mocha y Tisaleo, comprende de una

parroquia Urbana, UTM (E 766123; S 9847398) a una altura de 2894 m.s.n.m. Su producción hasta la actualidad es frutícola, ganadera menor (cuyes y conejos), avícola familiar, de calzado, de confección de ropa, dulces y de procesados de lácteos, su población abarca 8.163 habitantes, Cevallos es el cantón más pequeño del Ecuador (Pérez, 2014).

El GAD Municipal del Cantón Cevallos a través de su Unidad de Agua Potable y Alcantarillado es el encargado de la operación, mantenimiento y administración del agua en la parte urbana y una parte del sector rural. La parte restante rural es administrada por las juntas de agua potable: Jesús del Gran Poder, Las playas, Andignato y la junta parroquial de Yanahurco. El caudal se origina desde las vertientes “Oreja del diablo”, con un caudal adjudicado de 16.70 l/s y la Junta de agua potable Yanahurco con un caudal de hasta 8.5 l/s. La vertiente Carihuairazo abastece el sistema Regional Yanahurco, el caudal es almacenado en dos tanques distribuidores conocido como Cuatro Esquinas de aquí nace la planta de tratamiento El Mirador ubicada a 1200 m con una tubería PVC de 90mm. La captación de las vertientes “Oreja del diablo” está ubicada a 17 km medidos a partir de la planta de tratamiento El Mirador, la conducción se realiza con tuberías de 250 mm, 200 mm, 160 mm y 110 mm. La zona central posee una cobertura del 100 % de red principal y secundaria, el sistema de distribución fue reconstruida en el año 2006 y la planta de tratamiento fue reconstruido en los años 2000 a 2010 realizado por la municipalidad (Palate, 2017).



**Figura 1.** Ubicación de las zonas de estudio.

### **1.3. Justificación**

La gestión eficiente del agua potable es un aspecto fundamental para garantizar el bienestar y la calidad de vida de las comunidades urbanas. En Ecuador, las ciudades de Quero y Cevallos son ajenas a los desafíos relacionados con la distribución de agua potable, siendo las fugas en la red de distribución uno de los problemas más recurrentes y preocupantes. La presente investigación se centra en analizar la incidencia de fugas en la red de distribución de agua potable en estas dos ciudades, con el objetivo de comprender sus causas, impacto y posibles soluciones.

La importancia de abordar este tema radica en varios aspectos. En primer lugar, las fugas en la red de distribución representan una pérdida significativa de un recurso vital como el agua potable, lo que conlleva a un desperdicio de recursos económicos y naturales. Además, estas fugas pueden afectar la disponibilidad y la calidad del agua para la población, comprometiendo su salud y bienestar. Por otro lado, las fugas también tienen un impacto negativo en la infraestructura urbana y el medio ambiente, contribuyendo a la erosión del suelo, la inundación de calles y la contaminación del agua.

A pesar de la importancia de este problema, existe una falta de estudios específicos que aborden la incidencia de fugas en la red de distribución de agua potable en las ciudades de Quero y Cevallos. Por lo tanto, esta investigación busca llenar ese vacío de conocimiento, proporcionando datos empíricos y análisis detallados que puedan servir de base para el diseño e implementación de estrategias efectivas de gestión y mantenimiento de la red de distribución de agua potable en estas localidades.

Además, esta investigación tiene un carácter práctico y aplicativo, ya que se espera que los resultados y las recomendaciones derivadas de este estudio puedan ser utilizados por las autoridades locales, las empresas de servicios públicos y otros actores involucrados en la gestión del agua potable para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de distribución de agua en las ciudades de Quero y Cevallos.

### **1.4. Planteamiento del problema**

En las ciudades de Quero y Cevallos se cuenta con sus respectivas redes de distribución para el área urbana, se presume que a diario se presentan fugas de agua potable, las causas de las fugas se producen debido a la rotura de tuberías, calidad del material, presiones altas, edad de la red y las prácticas de operación y mantenimiento, lo cual genera pérdidas monetarias a las entidades gestoras del agua potable en sus zonas respectivas (Aguas Machala EP, 2018).

La problemática se produce en la mayoría de ocasiones debido a la falta de mantenimiento preventivo, por la espera de que las fugas se hagan visibles y sean de gran magnitud para repararlas, por lo general se actúa en el caso de que los usuarios presenten sus

quejas y denuncias para el arreglo del sistema de agua potable, en consecuencia, se genera molestias a peatones, cierres viales y generación de contaminación como polvo y ruido. Debido a esta problemática surgen las siguientes interrogantes ¿Cuáles son las zonas que presentan mayor cantidad de fugas en las redes de distribución de las ciudades de Quero y Cevallos y cómo se podría gestionar las mismas?, Al realizar el diagnóstico nos permitirá encontrar problemáticas existentes y se podrá brindar soluciones para tener un sistema óptimo y brindar un servicio en óptimas condiciones.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Analizar la incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Quero y Cevallos.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Revisar la información entregada por la entidad encargada del control del agua potable y comparar el volumen de agua total inyectada al sistema con el volumen de consumo no registrado mediante el método de balance hídrico, detectar la cantidad de agua fugada y determinar cuánto se pierde económicamente.
- Identificar el proceso de operación y mantenimiento con el que se atiende un problema de fuga y generar un mapa de zonas críticas de incidencia de fugas de agua potable.
- Determinar en base a los resultados obtenidos las causas y relevancia del problema y proponer soluciones a las fugas de agua potable.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Conceptos generales

#### 2.1.1. Abastecimiento de agua potable

El sistema de abastecimiento de agua potable tiene como objetivo principal proveer a la población local de agua en cantidad y calidad suficiente para satisfacer sus necesidades. Se considera que el agua potable cumple con los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que establece que la cantidad de sales minerales disueltas que debe contener el agua cumple con la calidad que debe llegar a las personas. Sin embargo, la definición ampliamente aceptada es que el agua potable es "apta para el consumo humano", lo que significa que se puede consumir sin daños o enfermedades (Jiménez Terán, 2013).

#### 2.1.2. Método Volumétrico

Este método implica calcular el tiempo necesario para llenar un recipiente de un volumen conocido. Dividiendo la capacidad del recipiente (en litros) por el tiempo empleado (en segundos), se determina el caudal en litros por segundo (l/s), como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Caudal = \frac{V}{T} \quad (1)$$

Donde V representa el volumen del recipiente en litros y T el tiempo que tarda en llenarse el recipiente en segundos.

#### 2.1.3. Captación y Conducción

Según Jiménez Terán (2013), la captación es la primera obra del sistema hidráulico y se trata de una estructura de toma del agua para el abastecimiento domiciliario. Puede haber uno o más, siempre que recolecten colectivamente la cantidad de agua requerida por la comunidad.

#### 2.1.4. Red de distribución

Una red de distribución de agua potable es un conjunto de equipos que un suministrador debe transportar desde un punto de extracción y tratamiento hasta que el agua llega al consumidor en condiciones adecuadas a sus necesidades. Estas condiciones incluyen una amplia variedad de elementos, algunos cuantificables y otros no. Entre estos, se pueden resaltar la calidad, la cantidad de agua, la presión, la consistencia en el suministro y el costo. Por supuesto, todos estos elementos tienen orígenes previos a la red de distribución, lo que significa que los parámetros iniciales están establecidos de antemano. En consecuencia, es necesario desarrollar una red de distribución que cause la menor alteración posible en las características de estos

componentes, reduciendo al mínimo la variación en la satisfacción de las necesidades de los clientes (Moliá, 1987).

### **2.1.5. Fugas**

Las fugas conocidas como pérdidas físicas se refieren al agua que se escapa por fallas en líneas de conducción, tanques, red de distribución, y tomas domiciliarias. Por ello es que se recomienda realizar un estudio de fugas, el cual debe hacerse en campo, lo más habitual es usar el valor resultante de la relación entre los datos de la facturación y la producción de agua potable, aunque parte de este factor también abarca todo lo referente al agua no registrada, como pueden ser fallas de macro y micro medición y tomas clandestinas (Conagua, 2015).

### **2.1.6. Clasificación de fugas**

Campaña & Ortega (2016) clasifican las fugas según los volúmenes de pérdida en tres categorías:

**Categoría 1:** Son volúmenes de fugas muy pequeños, aquellas que se generan en las juntas y uniones de tuberías o accesorios especiales y que solo son fugas de goteo. No se las puede descubrir de manera visual y es necesario utilizar otro tipo de técnica.

**Categoría 2:** Esta categoría se caracteriza al tener volúmenes más altos que la categoría 1, que en conjunto son la fracción más alta de las pérdidas totales de un sector. Son detectadas con una inspección minuciosa y el uso de técnicas más complejas como: medición, sondeo con equipos acústicos y/o electrónicos, entre otros.

**Categoría 3:** En esta clasificación se encuentran las fugas con mayor volumen de pérdidas, normalmente son percibidas visualmente ya que en casos como la red de distribución el agua aflora a la superficie.

### **2.1.7. Causas que provocan las fugas**

Campaña & Ortega (2016) mencionan que los factores que provocan pérdidas por fugas, se producen por lo siguiente:

**Alta Presión:** Las presiones máximas aceptables en sistemas de distribución oscilan los 70 mca, no obstante, aunque esta presión es relativamente grande, aquellas que exceden este valor aumentan el desperdicio, consumo y desgastarán los accesorios que componen la red de distribución.

**Corrosión Externa:** Afecciones asociadas con tuberías ferrosas, tuberías de la red principal y de servicio, es sabido que la disminución de resistencia por la corrosión hace que las tuberías sean más susceptibles a fallas.

**Corrosión Interna:** El transporte de aguas agresivas causa ataque a las tuberías metálicas, causando debilitación de sus paredes interiores y generando fugas.

**Efectos del Tráfico:** Mayormente las tuberías tienen varios años de uso, colocadas bajo superficies y que no fueron diseñadas para soportar las cargas del tráfico moderno son muy susceptibles a fracturas. Esto principalmente ocurre por la profundidad en la que se encuentran las tuberías y por la compactación del terreno que son inadecuadas.

**Movimiento del suelo:** Generalmente en suelos arcillosos expansibles de acuerdo con su contenido de humedad, en los movimientos telúricos se generan fugas, eso dependiendo de la intensidad.

**Mala calidad de materiales y accesorios:** La baja calidad de los materiales y accesorios representan una reducción en la vida útil de estos elementos lo que provoca arreglos constantes que resultan en desperdicios de agua.

**Mala calidad de mano de obra:** Es indispensable un buen adiestramiento del personal en las técnicas de construcción y a la vez deben poseer el equipo y herramientas adecuadas, caso contrario la mala calidad de la mano de obra representa trabajos defectuosos.

**Defectos dentro de los domicilios:** Los malos empaques en las válvulas y flotadores defectuosos son la principal causa de las fugas en los domicilios. Es rentable que los usuarios hagan un mantenimiento periódico en las redes domiciliarias.

**Edad de las tuberías:** Va de la mano con la corrosión interna y externa de las tuberías ya que entre más avance el tiempo se incrementa la producción de corrosión en el sistema.

**Golpe de Ariete:** Fenómeno producido debido a altas presiones y velocidad que producen fallas en las tuberías principales. Esto se puede evitar capacitando al personal al momento de abrir y cerrar las válvulas con tiempo necesario para evitar la creación de ondas de sobrepresión.

## 2.2. Balance hídrico

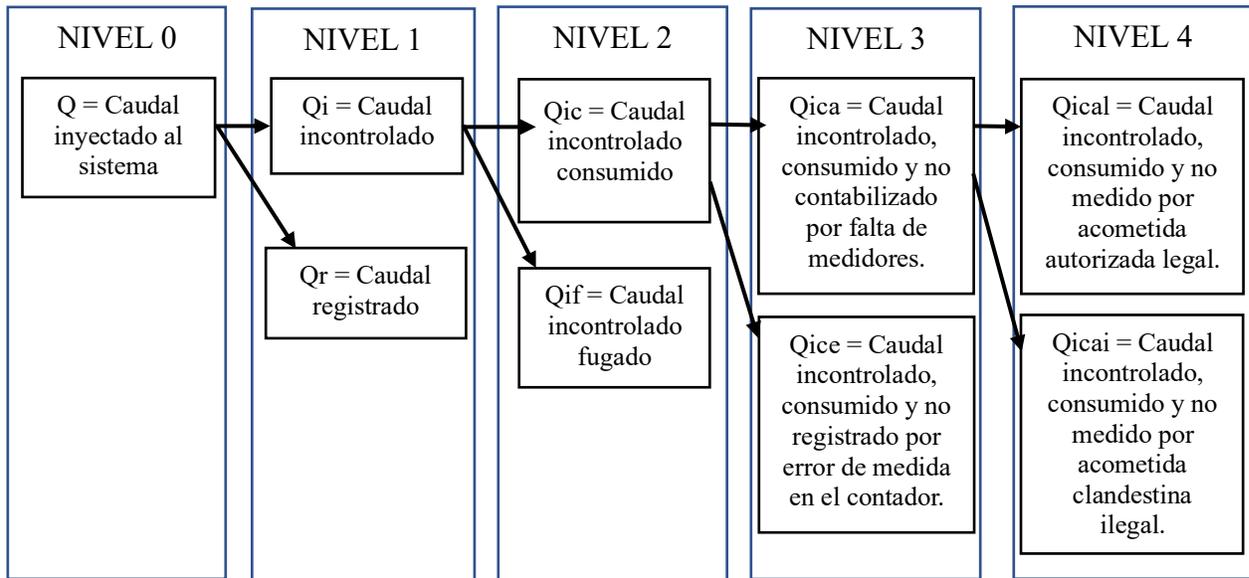
Para la determinación del índice de fugas en un sistema de distribución Cabrera et al. (1999) propone una metodología respaldada por bases de datos disponibles en sistemas de suministro de agua urbana con una gestión técnica adecuada. Esta metodología sistematiza la realización de auditorías hídricas y presenta un enfoque ligeramente diferente al recomendado por la International Water Supply Association (IWSA).

La metodología propuesta permite llevar a cabo la auditoría de manera sistemática, como se evidenciará. Debido a su estructura en forma de árbol, se considera que es la más apropiada para lograr los objetivos que se está buscando, ya que cada nivel de clasificación se ajusta a un criterio claro y está evidentemente diferenciado de los demás.

El flujo de agua inyectado en el sistema está destinado a ser utilizado por los diversos usuarios. No obstante, hay una porción cuya cantidad depende principalmente del estado de

mantenimiento de la red y de sus conexiones domiciliarias, no logra cumplir su propósito final, extraviándose durante el proceso de distribución y dando lugar a fugas (Cabrera et al., 1999).

A continuación, en la Figura 2 se presentan los diferentes caudales que integran el balance hídrico del sistema en el que se agrupan por criterios que van del más general hasta lo más específico.



**Figura 2.** Balance hídrico propuesto por Cabrera.

**Fuente.** (Cabrera et al., 1999)

Como se puede apreciar los caudales están divididos por niveles, el caudal general del sistema o el caudal inyectado  $Q$  está representado en el Nivel 0. En el Nivel 1 contempla el caudal facturado  $Q_r$  y el caudal incontrolado  $Q_i$  el cual se puede calcular con la siguiente ecuación:

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

Para el posterior nivel 2 se tienen los caudales incontrolados consumidos  $Q_{ic}$  y el caudal incontrolado fugado  $Q_{if}$  el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_{if} = Q_i - Q_{ic} \quad (3)$$

El valor de  $Q_{ic}$  se puede estimar mediante la utilización de los valores de dotación que proporciona la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-11) o en tal caso el registro de instituciones públicas.

Se establece un último flujo, resultado de la combinación de dos términos presentes en el árbol. Este flujo se refiere al suministro de agua a los usuarios, al que llamaremos  $Q_s$ , este flujo es la suma del caudal registrado y del caudal consumido de manera incontrolada.

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

### 2.3. Índice de agua no contabilizada

El agua no contabilizada se refiere al volumen de agua tratada que se pierde desde que sale del sistema de distribución hasta que alcanza a los consumidores y se factura. Este valor se calcula comparando los parámetros de volumen inyectado en la red con el volumen total registrado. En el año 2022, este indicador alcanzó el 47.23% a nivel nacional (ARCA, 2022).

$$ANC = \frac{Q - Q_r}{Q} * 100\% \quad (5)$$

Donde Q es el caudal inyectado por el sistema y  $Q_r$  el caudal registrado.

La Agencia de regulación y control del agua propone tres rangos de desempeño para el indicador de agua no contabilizada, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Categorías del IANC propuesto por el ARCA.

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

Fuente: (ARCA, 2021)

### 2.4. Rendimientos Hídricos de una red de agua

Cabrera et al. (1999) define los rendimientos de manera porcentual los cuales describen la eficacia en el suministro de agua potable.

- **Rendimiento global del sistema  $\eta_s$ :** esta dado por el cociente entre el caudal registrado y el caudal inyectado.

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q} \quad (6)$$

- **Rendimiento de la red  $\eta_r$ :** relación entre el caudal suministrado a los usuarios y el caudal inyectado.

$$\eta_r = \frac{Q_s}{Q} \quad (7)$$

- **Rendimiento de la gestión técnico-administrativa efectuada  $\eta_g$** : división entre el caudal registrado y el caudal suministrado.

$$\eta_g = \frac{Q_r}{Q_s} \quad (8)$$

La eficiencia de la red mide tanto su condición física como su forma de operar. El rendimiento de la gestión técnico-administrativa indica en qué medida se registra el caudal suministrado a todos los usuarios. Por último, el rendimiento del sistema engloba la síntesis del suministro en su totalidad. Esto implica evaluar tanto la eficiencia de la red de distribución como la de la gestión en sí misma.

Mediante los rendimientos se propone rangos para calificar la gestión de los sistemas de distribución. En la creación de este, se han tenido en cuenta los niveles de magnitud mencionados en otras publicaciones. Una de estas fuentes es el informe del Grupo de Trabajo de Detección de Fugas y Agua Registrada de la American Water Works Association (AWWA).

**Tabla 2.** Rangos de calificación de los sistemas de distribución propuesto por Cabrera.

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

**Fuente.** (Cabrera et al., 1999)

## 2.5. Estado del arte

Según Areiza & Caraballo (2019) observaron que el consumo de agua potable en el municipio de Turbo, Antioquia, incrementa de forma exponencial cada año, por ello concuerdan que se deben implementar estrategias que permitan combatir las pérdidas de agua potable ya sea por fugas, fraudes o falta de legalización de usuarios, por lo tanto se adoptó indicadores límites permisibles de agua no contabilizada los cuales no pueden superar el 30%, en el caso de superar este límite los costos generados serán responsabilidad económica de la empresa gestora.

Areiza & Caraballo (2019) analizaron el sistema de agua potable, se instaló micromedidores y caudalímetros en puntos estratégicos de la ciudad, se detectaron variaciones fuera del rango permisible y se investigó la zona buscando posibles daños, no obstante, la implementación de un sistema de control requirió de inversiones significativas y obtuvo periodos largos de amortización, sin embargo, ofreció beneficios en la prevención de la sobreexplotación de fuentes hídricas y se implementó el monitoreo mediante el SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

Mediante el boletín estadístico del Benchmarking de prestadores públicos de los servicios de agua potable y saneamiento en el Ecuador realizada por la Agencia de Regulación y control del agua (ARCA) en el año 2022 el porcentaje promedio del agua no contabilizada a nivel nacional ronda el 47.27 %, lo que indica que el desempeño de la gestión se encuentra en una categoría de “alto” (ARCA, 2022).

A partir del informe presentado por el ARCA (2018) se obtiene que el IANC en la ciudad de Quero está en un rango no considerado, mientras que la ciudad de Cevallos registra un valor de 22.42%, según el ARCA (2019) la ciudad de Quero presenta un 0% mientras que la ciudad de Cevallos posee 11.23% de IANC, para el ARCA (2020) la ciudad de Quero obtiene el 23.38 % a la vez que la Ciudad de Cevallos se obtiene datos fuera de rango. En el informe del ARCA (2021) la ciudad de Quero no tiene registros a la vez que la ciudad de Cevallos obtiene un porcentaje de 19.27%. Por último, según el boletín del ARCA (2022) el IANC está fuera de rango.

De acuerdo con la publicación de Flores & Rea (2023) presentan la evaluación del equilibrio hídrico técnico para los cantones de Penipe y Saraguro, obteniendo valores de caudales no registrados por fugas de 49.2% para Penipe, mientras que Saraguro presenta un promedio del 55.33% a lo largo de los años 2018 a 2022. En cuanto al rendimiento general del sistema, Penipe alcanzó un 50.87%, clasificado como "malo", mientras que Saraguro muestra un rendimiento global del 44.73%, lo que resulta en una calificación de "inaceptable".

Campana & Ortega (2016) identifican que en la Urbanización La Colina durante el año 2014 debido a problemas de pérdidas, fugas y rebosamiento se dejaron de facturar un total de 83,156.4 m<sup>3</sup> de agua, causando una pérdida económica de 22,452.2 dólares. Según la evaluación previa se estima que el porcentaje de pérdidas, fugas y rebosamiento en la red de distribución de la Urbanización La Colina fue del 33%. Las pérdidas por rebosamiento representan el 9.17%, mientras que el 23.83% corresponde a pérdidas por fugas y tarifa fija en la red.

Macías (2021) en su publicación sugiere mejorar la gestión para detectar fugas en el circuito 6 de la red de agua de Jipijapa. Esto se llevó a cabo mediante un informe técnico-comercial que identifica las pérdidas y fugas presentes en el sistema. Durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, se efectuó un análisis hidráulico comparando el caudal suministrado por la empresa encargada y el caudal facturado. Este análisis reveló una pérdida del 38,77 %. Al examinar las pérdidas totales por fugas, se determinó un valor de 6,04 l/s,

equivalente a una pérdida mensual de \$7,938.27 y al año de \$95,259.29. Con el fin de mitigar estos caudales, se propone implementar un programa de control de pérdidas de agua. Este programa se basará en el informe técnico, e incluirá la instalación de medidores, un censo de usuarios, un catastro de suscriptores, y medidas de detección y control de conexiones clandestinas.

Según la investigación desarrollada por Achache & Gómez (2022), en el cantón Riobamba el agua no contabilizada sobrepasa las limitaciones definidas por el reglamento de la agencia de regulación y control del agua (ARCA), se determinó que el nivel de agua no gestionada en toda la red del cantón es de 39%, abarcando pérdidas reales y aparentes, lo que califica la gestión del suministro en general como “Regular”. Además, se observó que las mayores tasas de agua no gestionada se encuentran en cuatro de las nuevas redes en el cantón, con porcentajes superiores al 35% en Recreo, Saboya, Piscín y El Carmen. La problemática de tener una pobre gestión se debe a los procesos de operación y mantenimiento, ya que los tiempos de reparación son altos debido a la escasez de maquinaria y herramientas y al buen estado de las mismas para el personal encargado. Además, la empresa encargada de la regulación del agua potable solo hace el control de fugas que son visibles y eso lleva a la pérdida del agua, más aún con la ineficiente planificación que no se los corrige en un tiempo prudencial.

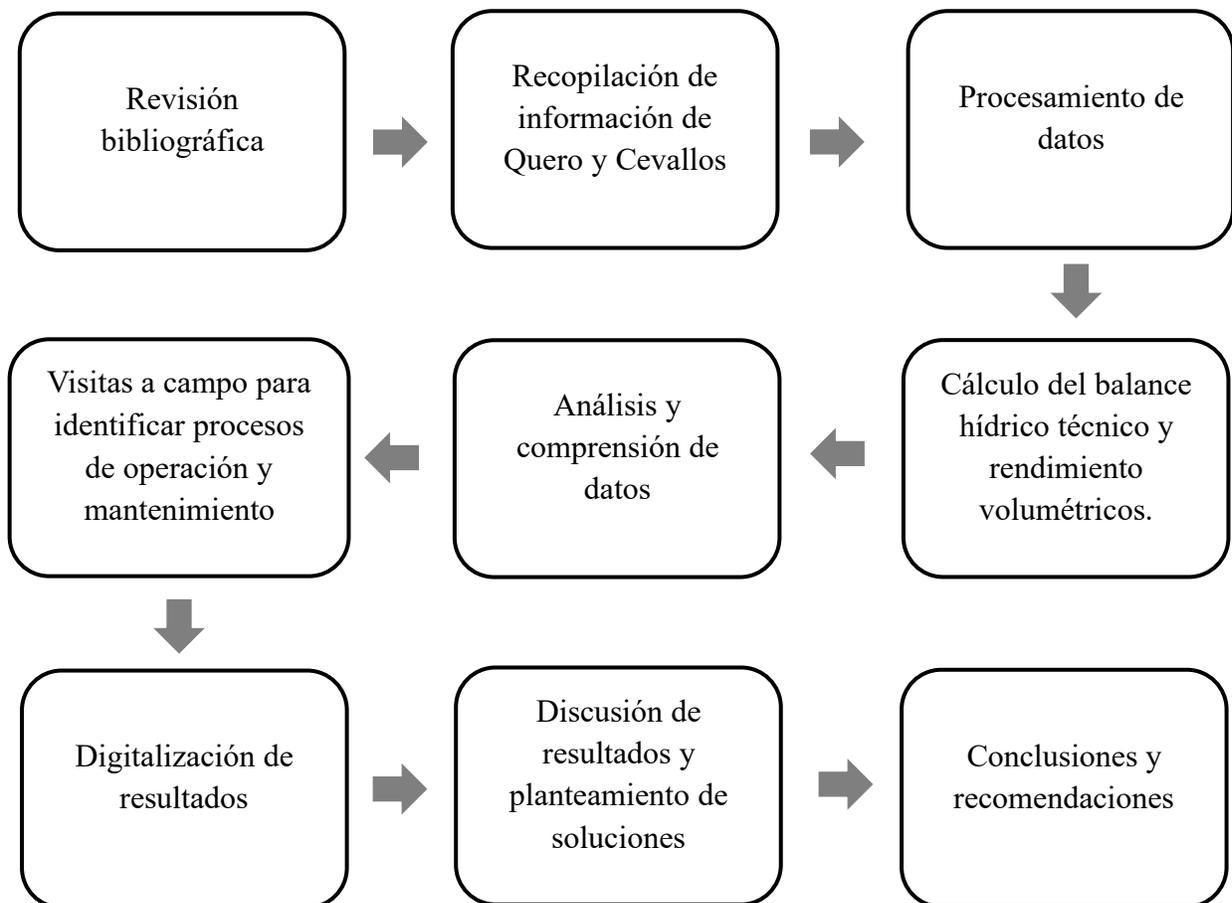
## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. Diseño de investigación

El proyecto busca averiguar la incidencia que presentan las fugas de agua potable en la red de abastecimiento de la ciudad de Quero y Cevallos. Utilizando la recopilación de datos históricos para el estudio de la información remitida por parte de las instituciones gestoras del agua potable.

Se realiza el proyecto de investigación mediante la revisión bibliográfica en fuentes primarias de investigación como bibliotecas virtuales, repositorios de tesis, plataformas virtuales, investigaciones locales y libros. posteriormente se realiza el procesamiento de datos con el uso de Excel ubicando los puntos de posibles fugas con el fin de proporcionar soluciones que reduzcan las fugas analizadas.

En la Figura 3 se presenta el diagrama flujo que se aplica en el proceso del proyecto de investigación, con el propósito de dar a conocer el método empleado para obtener los resultados.



**Figura 3.** Metodología propuesta.

### **3.2. Tipo de investigación**

El método aplicado en la investigación es el método mixto, cuantitativo y cualitativo debido a que la parte cuantitativa se origina con la recolección y análisis de datos para el cálculo de los balances hídricos y rendimientos volumétricos que establecen la cantidad de agua fugada, la parte cualitativa corresponde a la aplicación de fichas técnicas que evidencian las incidencias de las fugas. Se aplicó un diseño no experimental debido a que no se manipula deliberadamente variables, en este diseño no experimental se observan fenómenos tal como se dan en su contexto natural para analizarlos (Hernández et al., 2014).

El tipo de investigación es correlacional debido a que analiza la relación entre sucesos, proporcionando indicios que podrían existir entre variables, si bien es cierto la investigación correlacional se explica la relación entre dos variables, pero no necesariamente significa que una sea la causa de otra y no analiza relaciones causales, causa-efecto (Borja, 2016).

#### **3.2.1. Alcance**

Según Flores & Rea (2023), el tipo de alcance aplicado en el proyecto es explicativo y descriptivo; el alcance inicial dispone que este método averigua una explicación y determinación de los eventos a manera que se pueden generar una relación causal entre variables, las cuales intervienen en la investigación. El alcance descriptivo brinda un complemento al explicativo ya que en esta etapa se averigua las características del evento y busca brindar respuestas, con el objetivo de comprender mejor para proporcionar un mayor análisis y desarrollo a las causas que se presentan en la investigación.

### **3.3. Técnicas de recolección de datos**

#### **3.3.1 Población en estudio**

El proyecto de investigación se desarrolla a partir de una población en estudio que corresponde a todos los usuarios que están empadronados como beneficiarios del servicio de agua potable a las ciudades de Quero y Cevallos, iniciando con el año 2018 y finalizando con el año 2022, para ello se realiza la recolección de datos acerca del consumo de agua mensual, misma que será proporcionada por la unidad de agua potable y alcantarillado de cada institución.

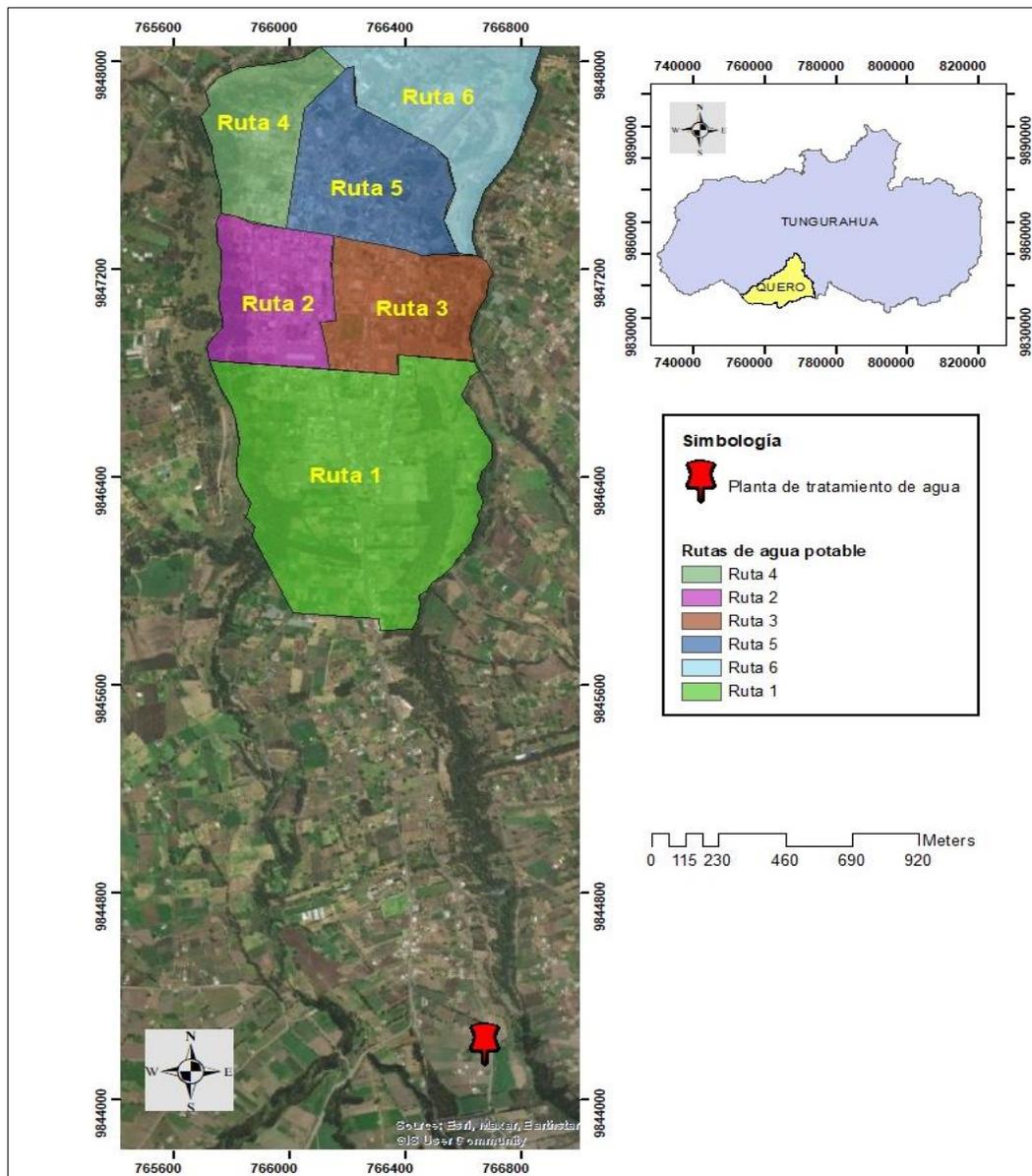
### **3.4. Compendio de información y análisis de datos**

#### **3.4.1. Sistema de abastecimiento de agua potable de Quero**

El cantón Quero posee una red de distribución denominado las Abras el cual cuenta con 1203 usuarios de agua potable.

**Tabla 3.** Usuarios registrados por categorías en el cantón Quero.

Categoría	N.º de usuarios	Porcentaje que representa
Oficial o Pública	33	2,74
Doméstico	655	54,45
Industrial	24	2,00
Comercial	491	40,81
<b>TOTAL</b>	<b>1203</b>	<b>100,00</b>



**Figura 4.** Identificación de la planta de tratamiento y red de distribución mediante el uso de rutas que sectorizan la ciudad de Quero.

En la Figura 4 se identifica la planta de tratamiento de la ciudad de Quero que cumple con la función de proveer de agua con un tratamiento específico para la población.

En la Tabla 4 se presenta las características de la planta de tratamiento del Cantón Quero que distribuye de agua potable a la zona urbana en una sola red de distribución.

**Tabla 4.** Información de los tanques de reserva en el cantón Quero.

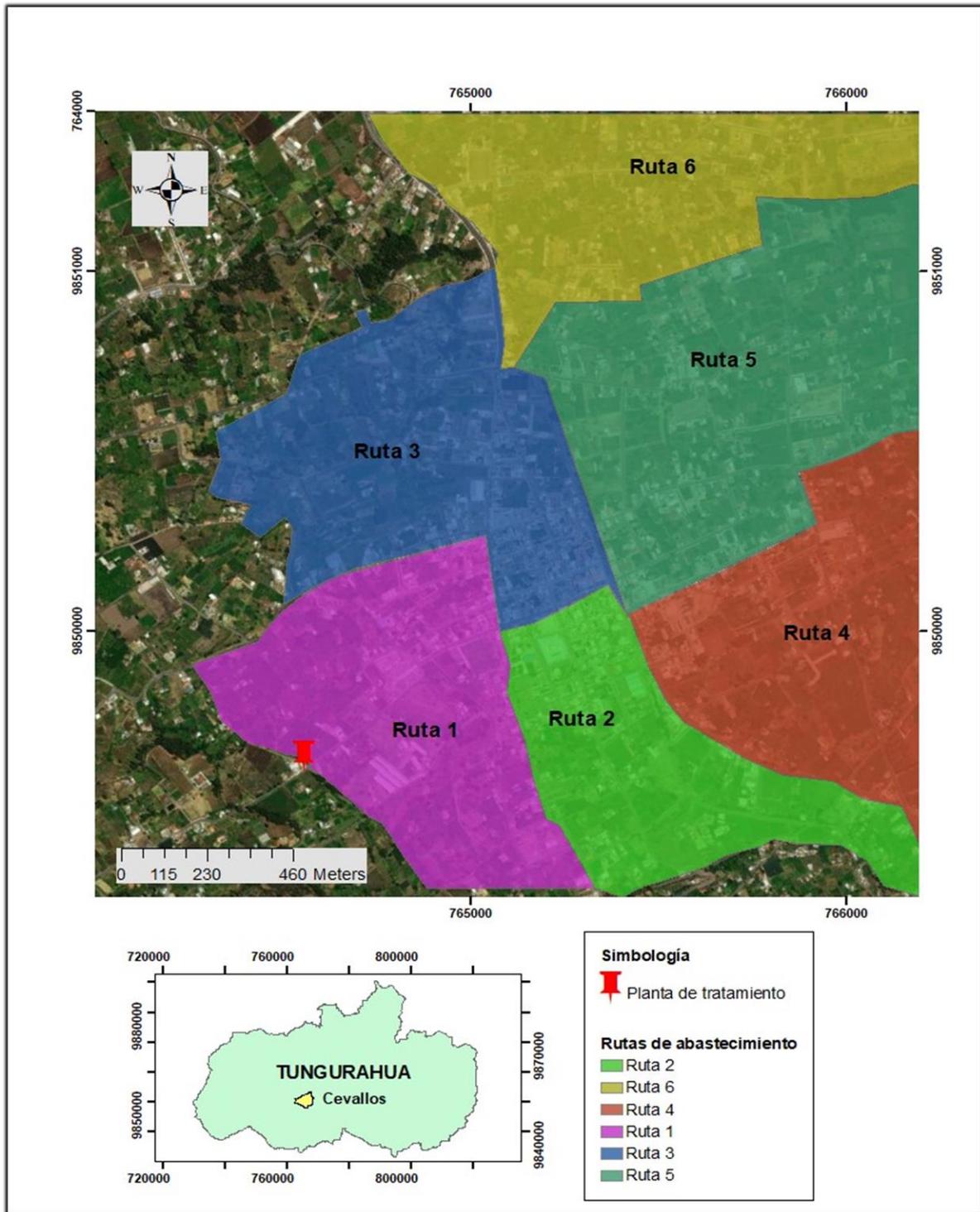
N.	Forma	Capacidad (m3)	Ubicación	Altura (msnm)	Q (l/s)	Q (m3/mes)	Área de cobertura (ha)
1	Cilíndrica (Planta Potabilizadora)	200	766679 E 9844213.00 S	3108	10,44	27060,48	105

### 3.4.2. Sistema de abastecimiento de agua potable de Cevallos

En el cantón Cevallos se identifica una red de distribución de agua potable respecto a la parte urbana, con 2114 usuarios registrados.

**Tabla 5.** Usuarios registrados por categorías en el cantón Cevallos.

Categoría	Nº de usuarios	Porcentaje que representa
Oficial- Pública	25	1,18
Doméstico	1596	75,50
Industrial	16	0,76
Comercial	477	22,56
<b>TOTAL</b>	<b>2114</b>	<b>100,00</b>



**Figura 5.** Identificación de la planta de tratamiento y red de distribución mediante el uso de rutas que sectorizan la ciudad de Cevallos.

En la Figura 5 se identifica la planta de tratamiento del cantón Cevallos que cumple con la función de proveer de agua con un tratamiento específico para la población.

En la Tabla 6, se presentan las características de la planta de tratamiento del Cantón Cevallos que distribuye de agua potable a la zona urbana en una sola red de distribución.

**Tabla 6.** Información de los tanques de reserva del cantón Cevallos.

N.	Forma	Capacidad (m3)	Ubicación	Altura (msnm)	Q (l/s)	Q (m3/mes)	Área de cobertura (ha)
1	Rectangular (Planta Potabilizadora)	200	764533.03 E 9849611.91 S	2996	14,18	36754,56	171

### 3.4.3. Proceso de obtención del caudal inyectado

El departamento de agua potable del GAD Municipal de Quero realizó la medición del volumen de agua inyectada de todos los días del año 2022, con la ayuda de un macromedidor a la salida del tanque de tratamiento. La medición fue registrada desde el 1 de enero del 2022 hasta el 31 de diciembre del 2022 con una precisión del 91% según especificaciones técnicas.

Para la zona urbana del cantón Cevallos, el departamento de agua potable del GAD Municipal de Cevallos desarrollo la medición del volumen inyectado mediante el método volumétrico en la entrada de los tanques de tratamiento.

### 3.4.4. Caudal inyectado (Q) en Quero

En la Tabla 7 se detalla la información resumida del caudal inyectado desde el tanque de tratamiento hacia la red de distribución, la medición fue hecha por los funcionarios del departamento de agua potable del GAD Municipal de Quero y registrada por el ingeniero Gabriel Isaac Velastegui Portero, de la misma forma contiene el caudal promedio calculado mensualmente.

**Tabla 7.** Caudal inyectado a la red de distribución de la ciudad de Quero.

<b>Mes</b>	<b>Caudal inyectado (m3/mes)</b>	<b>Caudal promedio (l/s)</b>
Enero	34,442.50	12.86
Febrero	26,990.50	11.16
Marzo	26,219.81	9.79
Abril	29,804.54	11.50
Mayo	25,606.37	9.56
Junio	24,904.80	9.61
Julio	28,867.97	10.78
Agosto	25,212.38	9.41
Septiembre	26,407.30	10.19
Octubre	44,251.00	10.35
Noviembre	27,495.07	10.61
Diciembre	25,525.15	9.53
<b>Total</b>	<b>345,727.38</b>	<b>10.44</b>

### 3.4.5. Caudal inyectado (Q) en Cevallos

El abastecimiento de agua potable a la zona urbana del cantón Cevallos, depende de la red proveniente de la planta de tratamiento que dota de un caudal promedio de 14.18 l/s. Las seis tomas del caudal inyectado se lo realizaron en la tubería de entrada de un diámetro de 110 mm y con un volumen fijo de 65.7453 litros. En la Tabla 8 se detalla las tomas realizadas y el cálculo del volumen mensual y anual de la red de distribución.

**Tabla 8.** Caudal inyectado a la red de distribución de la ciudad de Cevallos

<b>Nº de Toma</b>	<b>Tubería (mm)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Vol. (l)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Caudal promedio (l/s)</b>	<b>Volumen mensual (m3/mes)</b>
1	110	4.48	65.7453	14.68	14.18	36754.22
2	110	4.69	65.7453	14.02		
3	110	4.78	65.7453	13.75		
4	110	4.6	65.7453	14.29		
5	110	4.39	65.7453	14.98		
6	110	4.92	65.7453	13.36		
<b>Volumen Anual (m3/año)</b>						<b>447176.3938</b>

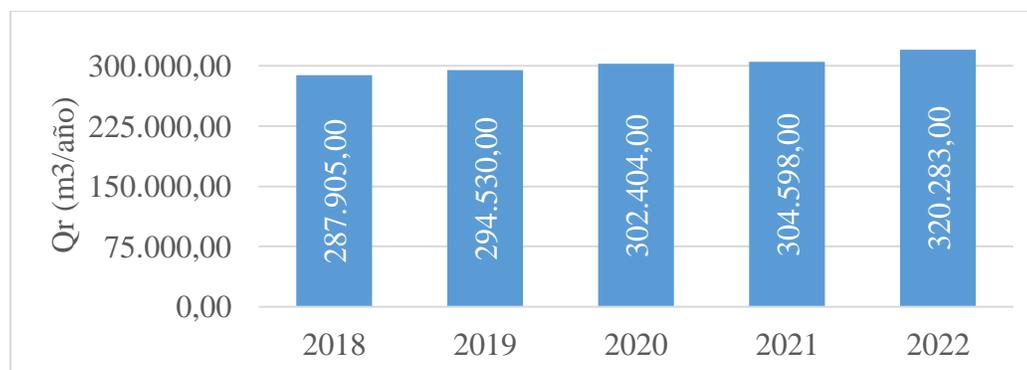
### 3.4.6. Caudales registrados (Qr) en Quero

Los caudales consumidos y registrados por los usuarios en la zona urbana del cantón Santiago de Quero se recopilaban de forma mensual desde el año 2018 al año 2022, como se evidencia en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Caudales registrados del GADM de Quero.

Mes	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	26,306.00	29,282.00	30,668.00	26,509.00	32,776.00
Febrero	22,785.00	22,340.00	23,638.00	24,705.00	25,688.00
Marzo	22,511.00	24,407.00	36,462.00	25,831.00	24,952.00
Abril	22,409.00	22,495.00	16,230.00	22,967.00	28,364.00
Mayo	27,493.00	29,053.00	21,952.00	25,359.00	24,369.00
Junio	24,765.00	22,999.00	26,518.00	23,704.00	23,701.00
Julio	22,961.00	21,488.00	20,915.00	23,214.00	27,475.00
Agosto	22,370.00	26,678.00	24,980.00	27,942.00	23,992.00
Septiembre	22,999.00	23,243.00	24,756.00	25,818.00	25,134.00
Octubre	29,596.00	26,378.00	27,710.00	29,057.00	33,369.00
Noviembre	23,200.00	21,879.00	27,734.00	22,973.00	26,171.00
Diciembre	20,510.00	24,288.00	20,841.00	26,519.00	24,292.00
<b>TOTAL</b>	<b>287,905.00</b>	<b>294,530.00</b>	<b>302,404.00</b>	<b>304,598.00</b>	<b>320,283.00</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>23,992.08</b>	<b>24,544.17</b>	<b>25,200.33</b>	<b>25,383.17</b>	<b>26,690.25</b>

En la Figura 6 se presenta el resumen anual de volúmenes facturados, como se puede observar hay un aumento secuencial en cada año, lo cual es debido al incremento del número de beneficiarios de la red de agua potable y el aumento de la cantidad de población que viven en el cantón.



**Figura 6.** Caudales registrados anualmente en el cantón Santiago de Quero.

### 3.4.7. Caudales registrados (Qr) en Cevallos

En la Tabla 10 se representa los registros mensuales de volúmenes de agua consumida por los habitantes en la parte urbana del cantón Cevallos durante el periodo que abarca desde el año 2018 al año 2022.

**Tabla 10.** Caudales registrados del GADM de Cevallos.

Mes	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	30,936.00	33,388.00	32,926.00	28,630.00	32,014.00
Febrero	27,134.00	27,900.00	28,459.00	30,239.00	29,256.00
Marzo	28,471.00	29,462.00	28,265.00	33,957.00	35,528.00
Abril	28,190.00	30,568.00	36,798.00	31,344.00	31,825.00
Mayo	29,244.00	30,655.00	28,280.00	29,458.00	33,003.00
Junio	25,721.00	24,186.00	30,497.00	32,840.00	30,299.00
Julio	26,064.00	30,446.00	32,641.00	29,538.00	28,400.00
Agosto	29,894.00	27,634.00	31,107.00	30,209.00	30,756.00
Septiembre	27,350.00	27,813.00	31,784.00	32,129.00	30,856.00
Octubre	32,414.00	32,064.00	32,772.00	30,511.00	32,989.00
Noviembre	31,132.00	29,280.00	32,269.00	33,570.00	32,989.00
Diciembre	26,250.00	29,406.00	35,648.00	30,773.00	32,609.00
<b>TOTAL</b>	<b>342,800.00</b>	<b>352,802.00</b>	<b>381,446.00</b>	<b>373,198.00</b>	<b>380,524.00</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>28,566.67</b>	<b>29,400.17</b>	<b>31,787.17</b>	<b>31,099.83</b>	<b>31,710.33</b>

En la Figura 7 se presenta el resumen anual de volúmenes facturados en Cevallos desde el año 2018 hasta el año 2022, en el que se visualiza un aumento consecutivo desde el año 2018 hasta el año 2020, sin embargo, en el año 2021 el registro anual descendió a comparación del año anterior y para el año 2022 nuevamente ascendió el valor facturado.



**Figura 7.** Caudales registrados anualmente en el cantón Cevallos.

### 3.4.8. Caudales incontrolados consumido y no contabilizado (Qica) en Quero

En la ciudad de Quero todas las instituciones públicas y privadas siendo estas los centros de salud, edificios municipales, parques, centros deportivos y centros geriátricos poseen un registro por parte del departamento de agua potables del GAD Municipal de Quero ya que estas instituciones cuentan con un medidor propio. Sin embargo, la única institución que no es controlada, es por parte del cuerpo de bomberos que extrae agua de los hidrantes para sus distintas actividades de emergencia, es por ende que esta institución lleva su propio registro de la cantidad de agua potable que utiliza.

En la Tabla 11 se describe la cantidad de agua potable que el cuerpo de bombero extrajo de los hidrantes desde el año 2018 hasta el año 2022.

**Tabla 11.** Cuerpo de Bomberos - Quero.

<b>Año</b>	<b>Volumen consumido (Galones)</b>	<b>Caudal consumido anual (m3/año)</b>	<b>Caudal consumido mensual (m3/mes)</b>
2018	42,000.00	158.99	13.25
2019	20,250.00	76.65	6.39
2020	30,750.00	116.40	9.70
2021	31,106.00	117.75	9.81
2022	28,500.00	107.88	8.99

Fuente: (Cuerpo de Bomberos de Quero, 2023)

### 3.4.9. Caudales incontrolados Consumido y no contabilizado (Qica) en Cevallos

En la zona urbana del cantón Cevallos la mayor parte de las instituciones públicas y privadas poseen un registro por parte del departamento de agua potable del GAD Municipal, esto gracias a la presencia de medidores. No obstante, el parque central de la cabecera cantonal y la extracción de agua de los hidrantes por parte del cuerpo de bomberos no poseen un control del Municipio, es por eso que se estima el consumo del parque central de Cevallos mediante valores de consumo mínimos que se presenta en la norma NEC-11 como se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Áreas recreativas.

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad - área (m2)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Dotación</b>	<b>Dotación (l/s)</b>	<b>Q dotación (m3/mes)</b>
Parque Central de Cevallos	2900	L/m2/día	2.00	0.0671	174.00

Para el caso del cuerpo de bomberos, esta institución lleva su propio registro de la cantidad de agua potable que se extrae de los hidrantes, en la Tabla 13 se describe el volumen de agua potable que el cuerpo de bomberos consumió desde el año 2018 hasta el año 2022.

**Tabla 13.** Cuerpo de Bomberos – Cevallos.

<b>Año</b>	<b>Volumen consumido (Litros)</b>	<b>Caudal consumido (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Caudal consumido mensual (m<sup>3</sup>/mes)</b>
2018	96,000.00	96.00	8.00
2019	168,000.00	168.00	14.00
2020	192,000.00	192.00	16.00
2021	176,800.00	176.80	14.73
2022	346,800.00	346.80	28.90

Fuente: (Cuerpo de Bomberos de Cevallos, 2023)

En la Tabla 14 se realiza la sumatoria total entre el caudal mensual consumido del parque central y la institución del cuerpo de bomberos, obteniendo el caudal incontrolado mensualmente desde el año 2018 hasta el año 2022.

**Tabla 14.** Caudal incontrolado mensual – Cevallos.

<b>Año</b>	<b>Áreas recreativas</b>	<b>Cuerpo de Bomberos</b>	<b>Caudal incontrolado (m<sup>3</sup>/mes)</b>
2018	174.00	8.00	182.00
2019	174.00	14.00	188.00
2020	174.00	16.00	190.00
2021	174.00	14.73	188.73
2022	174.00	28.90	202.90

### 3.4.10. Caudales incontrolados por error de medida (Qice)

Intentar eliminar por completo el flujo causado por errores de contadores, ya sea por subcontaje o sobrecontaje, resulta en una tarea imposible en la práctica. La meta de todo administrador debería ser limitar este efecto a un nivel razonable. Cabrera et al. (1999) señala que un suministro bien gestionado puede tolerar un error de subcontaje del 4% en el volumen inyectado.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados del balance hídrico

#### 4.1.1. Balance hídrico técnico en Quero

En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos del balance hídrico técnico de la ciudad de Quero correspondiente a cada año de estudio, en la que se puede evidenciar el caudal inyectado (Q), caudal registrado (Qr), y el caudal incontrolado (Qi). El caudal inyectado es variable en todos los meses ya que mediante la medición realizada por parte del departamento de agua potable del GAD municipal de Quero durante los 365 días del año 2022 se decidió asumir estos valores para todos los años de estudio. No obstante, se puede apreciar que varios meses en diferentes años se tienen valores negativos en el caudal incontrolado, esto debido por el grado de incertidumbre de las mediciones del caudal suministrado al sistema en la que se presentan valores superiores de caudal registrado que, del caudal inyectado, es por ello que para la contabilización del total y el promedio anual no se consideró los valores de los meses en los que el caudal incontrolado o el caudal fugado (Qif) resulten de valores negativos como se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 15.** Balance hídrico técnico – Quero.

Año	2018			2019			2020			2021			2022		
Mes	Caudal Inyectado Q (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)		
Enero	34,442.50	26,306.00	8,136.50	29,282.00	5,160.50	30,668.00	3,774.50	26,509.00	7,933.50	32,776.00	1,666.50				
Febrero	26,990.50	22,785.00	4,205.50	22,340.00	4,650.50	23,638.00	3,352.50	24,705.00	2,285.50	25,688.00	1,302.50				
Marzo	26,219.81	22,511.00	3,708.81	24,407.00	1,812.81	36,462.00	-10,242.19	25,831.00	388.81	24,952.00	1,267.81				
Abril	29,804.54	22,409.00	7,395.54	22,495.00	7,309.54	16,230.00	13,574.54	22,967.00	6,837.54	28,364.00	1,440.54				
Mayo	25,606.37	27,493.00	-1,886.63	29,053.00	-3,446.63	21,952.00	3,654.37	25,359.00	247.37	24,369.00	1,237.37				
Junio	24,904.80	24,765.00	139.80	22,999.00	1,905.80	26,518.00	-1,613.20	23,704.00	1,200.80	23,701.00	1,203.80				
Julio	28,867.97	22,961.00	5,906.97	21,488.00	7,379.97	20,915.00	7,952.97	23,214.00	5,653.97	27,475.00	1,392.97				

Agosto	25,212.38	22,370.00	2,842.38	26,678.00	-1,465.62	24,980.00	232.38	27,942.00	-2,729.62	23,992.00	1,220.38
Septiembre	26,407.30	22,999.00	3,408.30	23,243.00	3,164.30	24,756.00	1,651.30	25,818.00	589.30	25,134.00	1,273.30
Octubre	44,251.00	29,596.00	14,655.00	26,378.00	17,873.00	27,710.00	16,541.00	29,057.00	15,194.00	33,369.00	10,882.00
Noviembre	27,495.07	23,200.00	4,295.07	21,879.00	5,616.07	27,734.00	-238.93	22,973.00	4,522.07	26,171.00	1,324.07
Diciembre	25,525.15	20,510.00	5,015.15	24,288.00	1,237.15	20,841.00	4,684.15	26,519.00	-993.85	24,292.00	1,233.15
<b>Total</b>	<b>295,216.22</b>	<b>235,647.00</b>	<b>59,569.22</b>	<b>238,799.00</b>	<b>56,109.63</b>	<b>186,710.00</b>	<b>55,185.32</b>	<b>173,129.00</b>	<b>43,627.38</b>	<b>320,283.00</b>	<b>25,444.38</b>
<b>Promedio</b>	<b>29,521.62</b>	<b>23,564.70</b>	<b>5,956.92</b>	<b>23,879.90</b>	<b>5,610.96</b>	<b>23,338.75</b>	<b>6,898.17</b>	<b>24,868.38</b>	<b>5,527.08</b>	<b>26,690.25</b>	<b>2,120.37</b>

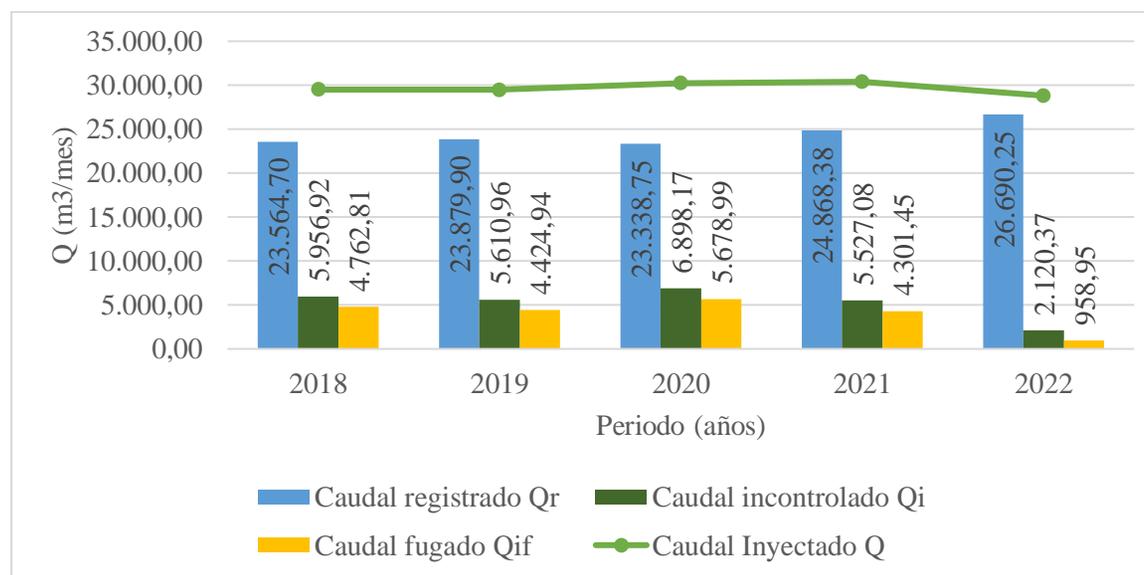
En la Tabla 16 se evidencia los valores obtenidos del caudal incontrolado por error de medida (Qice) y el caudal fugado (Qif) con su porcentaje respecto al caudal inyectado. Se muestra que el mes de octubre se aleja de los valores registrados en los otros meses de todos los años analizados, por ende, es el mes con menor control con un 36.38% de fugas en el año 2019, siendo este el mayor registro que se tiene de fugas en la ciudad de Quero. Así mismo, el año 2020 se reporta con la mayor pérdida de agua con un volumen de 45,431.91 m<sup>3</sup> anual que con relación al volumen inyectado de 186,710.00 m<sup>3</sup>, es el equivalente a un 17.56 % en promedio de todo el periodo. Se debe recalcar que de la misma forma que la Tabla 15, los valores atípicos no se consideraron para la contabilización del total y el promedio del análisis de cada año.

**Tabla 16.** Caudal fugado anual - Quero

Año	2018			2019			2020		2021		2022	
Mes	Caudal Incontrolado por error de medida Qice (m3/mes)	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	
Enero	1,377.70	6,745.55	19.58%	3,776.41	10.96%	2,387.10	6.93%	6,545.98	19.01%	279.81	0.812%	
Febrero	1,079.62	3,112.63	11.53%	3,564.49	13.21%	2,263.18	8.39%	1,196.06	4.43%	213.89	0.792%	
Marzo	1,048.79	2,646.77	10.09%	757.63	2.89%	-11,300.68	-43.10%	-669.80	-2.55%	210.03	0.801%	
Abril	1,192.18	6,190.11	20.77%	6,110.97	20.50%	12,372.66	41.51%	5,635.55	18.91%	239.37	0.803%	
Mayo	1,024.25	-2,924.14	-11.42%	-4,477.27	-17.49%	2,620.41	10.23%	-786.70	-3.07%	204.12	0.797%	
Junio	996.19	-869.64	-3.49%	903.22	3.63%	-2,619.09	-10.52%	194.80	0.78%	198.62	0.798%	

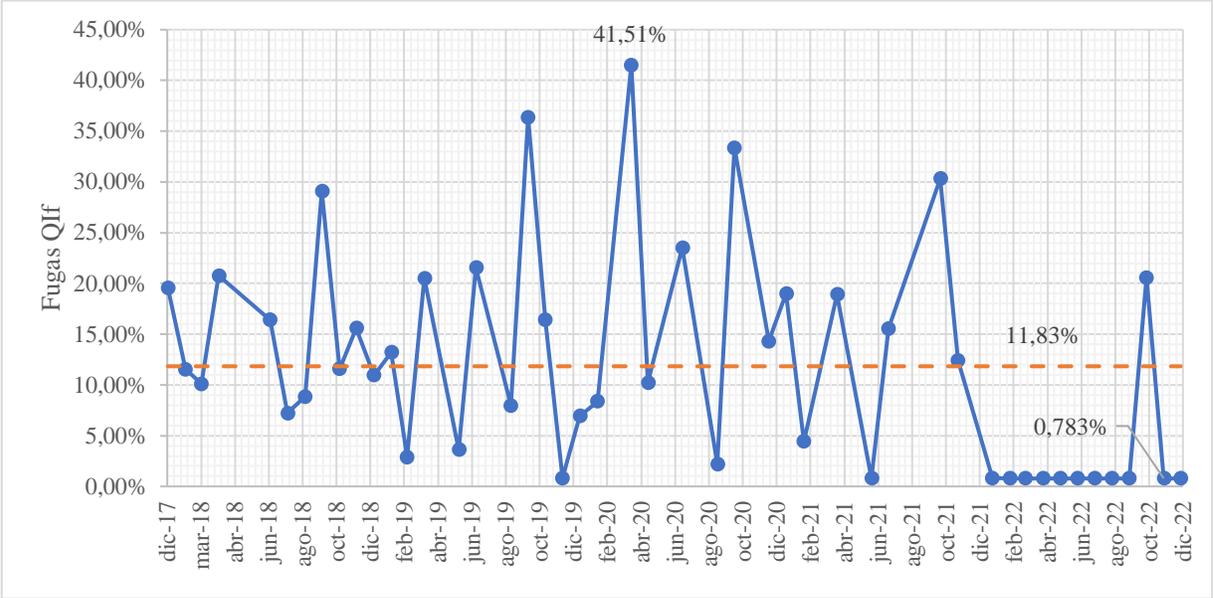
Julio	1,154.72	4,739.00	16.42%	6,218.86	21.54%	6,788.55	23.52%	4,489.44	15.55%	229.26	0.794%
Agosto	1,008.50	1,820.64	7.22%	-2,480.50	-9.84%	-785.81	-3.12%	-3,747.92	-14.87%	202.90	0.805%
Septiembre	1,056.29	2,338.76	8.86%	2,101.62	7.96%	585.30	2.22%	-476.81	-1.81%	208.01	0.788%
Octubre	1,770.04	12,871.71	29.09%	16,096.57	36.38%	14,761.26	33.36%	13,414.15	30.31%	9,102.97	20.571%
Noviembre	1,099.80	3,182.02	11.57%	4,509.88	16.40%	-1,348.43	-4.90%	3,412.46	12.41%	215.28	0.783%
Diciembre	1,021.01	3,980.90	15.60%	209.76	0.82%	3,653.45	14.31%	-2,024.67	-7.93%	203.16	0.796%
<b>Total</b>	<b>13,829.10</b>	<b>47,628.08</b>	<b>150.73%</b>	<b>44,249.41</b>	<b>134.29%</b>	<b>45,431.91</b>	<b>140.47%</b>	<b>34,888.43</b>	<b>101.40%</b>	<b>11,507.40</b>	<b>29.340%</b>
<b>Promedio</b>	<b>1,152.42</b>	<b>4,762.81</b>	<b>15.07%</b>	<b>4,424.94</b>	<b>13.43%</b>	<b>5,678.99</b>	<b>17.56%</b>	<b>4,301.45</b>	<b>12.45%</b>	<b>958.95</b>	<b>2.445%</b>

Los caudales medios del balance hídrico presentados en la Tabla 15 y Tabla 16 son representados gráficamente en la Figura 8. En esta representación, se evidencia la disparidad entre el caudal controlado y el caudal no controlado, así como el caudal fugado. Se destaca que en el año 2020 muestra la mayor problemática, con un caudal fugado de 5,678.99 m<sup>3</sup>/año, en comparación con los 958.95 m<sup>3</sup>/año registrado en 2022. Esto resulta en una pérdida del 17.56% del caudal inyectado durante 2020.



**Figura 8.** Comparativa de caudales promedio – Quero.

Como se puede observar en la Figura 9 se registra los porcentajes de agua fugada mensual de la ciudad de Quero de manera global a partir del año 2018 hasta el año 2022. El valor de la media de todos los años de estudio es de 11.83%. La mayor cantidad de agua fugada registrada se dio en abril del 2020 con 41.51%, mientras que la menor es en noviembre del 2022 con 0.783%. Adicionalmente, en el año 2022 se observa un bajo porcentaje de fugas, este año fue analizado a partir del Informe del ARCA presentado por los funcionarios encargados de la gestión del agua potable y alcantarillado, los cuales mencionaron que en aquel año se evidenció un incremento en el mantenimiento de la red a comparación de los años anteriores, además este periodo cuenta con el aforo del caudal inyectado que se lo realizó mediante mediciones diarias durante todo el año. Se puede evidenciar que en el año 2022 el porcentaje de fugas es muy cercano a cero a excepción del mes de octubre, siendo este año el que mejor gestión se tuvo, esto en comparación con el boletín estadístico de prestación de servicios publicado por el ARCA del año 2022 en el que no se refleja un porcentaje de agua no contabilizada al encontrarse fuera del rango.



**Figura 9.** Porcentaje de Caudal fugado desde el año 2018 hasta el año 2022 – Quero.

#### 4.1.2. Balance hídrico técnico en Cevallos

La Tabla 17 detalla los resultados de caudales de la ciudad de Cevallos desde el año 2018 hasta el año 2022, en la que se puede evidenciar el procesamiento y comparación de los caudales que son parte del balance hídrico, en este contexto, se revela que el caudal inyectado durante el año asciende a 447,176.34 m<sup>3</sup>/año, en comparación, el año con el mayor caudal incontrolado fue 2018, alcanzando los 104,376.34 m<sup>3</sup>/año, mientras que en 2022 se registró la menor cantidad incontrolada, con 65,426.12 m<sup>3</sup>/año.

**Tabla 17.** Balance hídrico técnico – Cevallos.

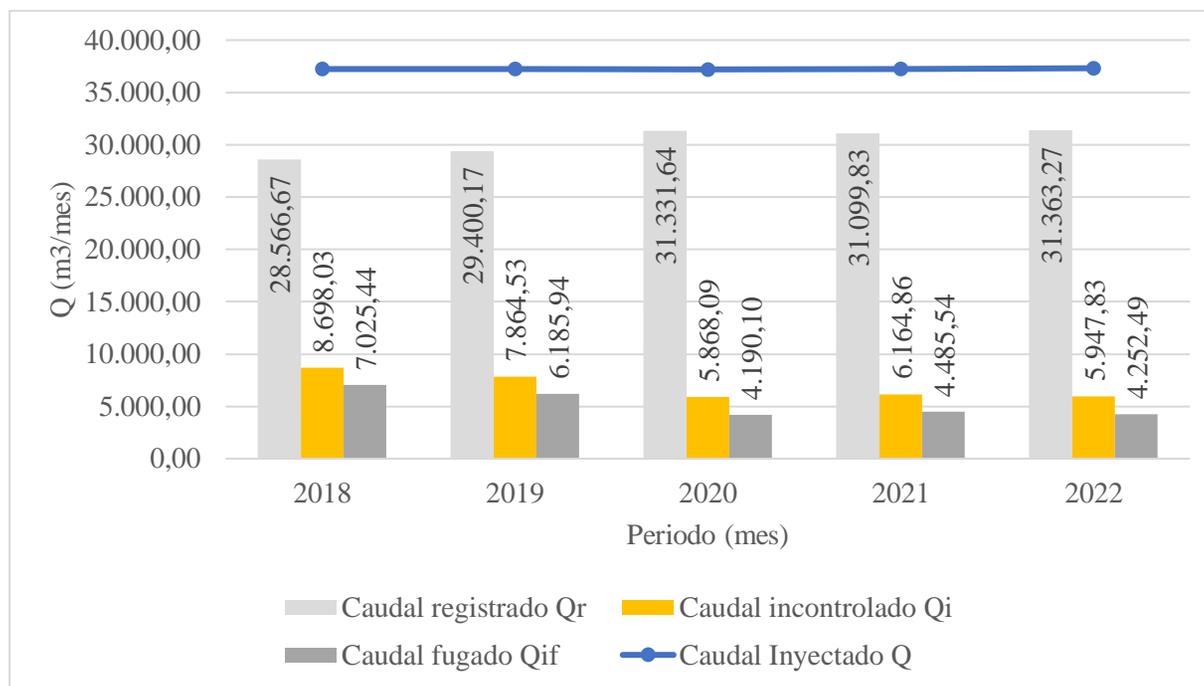
Año	2018			2019			2020			2021			2022		
Mes	Caudal Inyectado Q (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)	Caudal Registrado Qr (m3/mes)	Caudal Incontrolado Qi (m3/mes)		
Enero	37,979.36	30,936.00	7,043.36	33,388.00	4,591.36	32,926.00	5,053.36	28,630.00	9,349.36	32,014.00	5,965.36				
Febrero	34,303.95	27,134.00	7,169.95	27,900.00	6,403.95	28,459.00	5,844.95	30,239.00	4,064.95	29,256.00	5,047.95				
Marzo	36,754.22	28,471.00	8,283.22	29,462.00	7,292.22	28,265.00	8,489.22	33,957.00	2,797.22	35,528.00	1,226.22				
Abril	37,979.36	28,190.00	9,789.36	30,568.00	7,411.36	36,798.00	1,181.36	31,344.00	6,635.36	31,825.00	6,154.36				
Mayo	37,979.36	29,244.00	8,735.36	30,655.00	7,324.36	28,280.00	9,699.36	29,458.00	8,521.36	33,003.00	4,976.36				
Junio	36,754.22	25,721.00	11,033.22	24,186.00	12,568.22	30,497.00	6,257.22	32,840.00	3,914.22	30,299.00	6,455.22				
Julio	37,979.36	26,064.00	11,915.36	30,446.00	7,533.36	32,641.00	5,338.36	29,538.00	8,441.36	28,400.00	9,579.36				
Agosto	37,979.36	29,894.00	8,085.36	27,634.00	10,345.36	31,107.00	6,872.36	30,209.00	7,770.36	30,756.00	7,223.36				
Septiembre	36,754.22	27,350.00	9,404.22	27,813.00	8,941.22	31,784.00	4,970.22	32,129.00	4,625.22	30,856.00	5,898.22				
Octubre	37,979.36	32,414.00	5,565.36	32,064.00	5,915.36	32,772.00	5,207.36	30,511.00	7,468.36	32,989.00	4,990.36				
Noviembre	36,754.22	31,132.00	5,622.22	29,280.00	7,474.22	32,269.00	4,485.22	33,570.00	3,184.22	32,989.00	3,765.22				
Diciembre	37,979.36	26,250.00	11,729.36	29,406.00	8,573.36	35,648.00	2,331.36	30,773.00	7,206.36	32,609.00	5,370.36				
<b>Total</b>	<b>447,176.34</b>	<b>342,800.00</b>	<b>104,376.34</b>	<b>352,802.00</b>	<b>94,374.34</b>	<b>344,648.00</b>	<b>64,548.98</b>	<b>373,198.00</b>	<b>73,978.34</b>	<b>344,996.00</b>	<b>65,426.12</b>				
<b>Promedio</b>	<b>37,264.69</b>	<b>28,566.67</b>	<b>8,698.03</b>	<b>29,400.17</b>	<b>7,864.53</b>	<b>31,331.64</b>	<b>5,868.09</b>	<b>31,099.83</b>	<b>6,164.86</b>	<b>31,363.27</b>	<b>5,947.83</b>				

La Tabla 18 muestra que el año 2018 se generó el índice más alto de agua fugada, con un 18.38%. Luego, en 2019, este índice disminuye a un 16.62%, sin embargo, en 2020, se registra la menor incidencia de fugas, con solo un 11.28%. Para los años siguientes, se registró que este índice se mantuvo por debajo del 12%.

**Tabla 18.** Caudal fugado anual - Cevallos

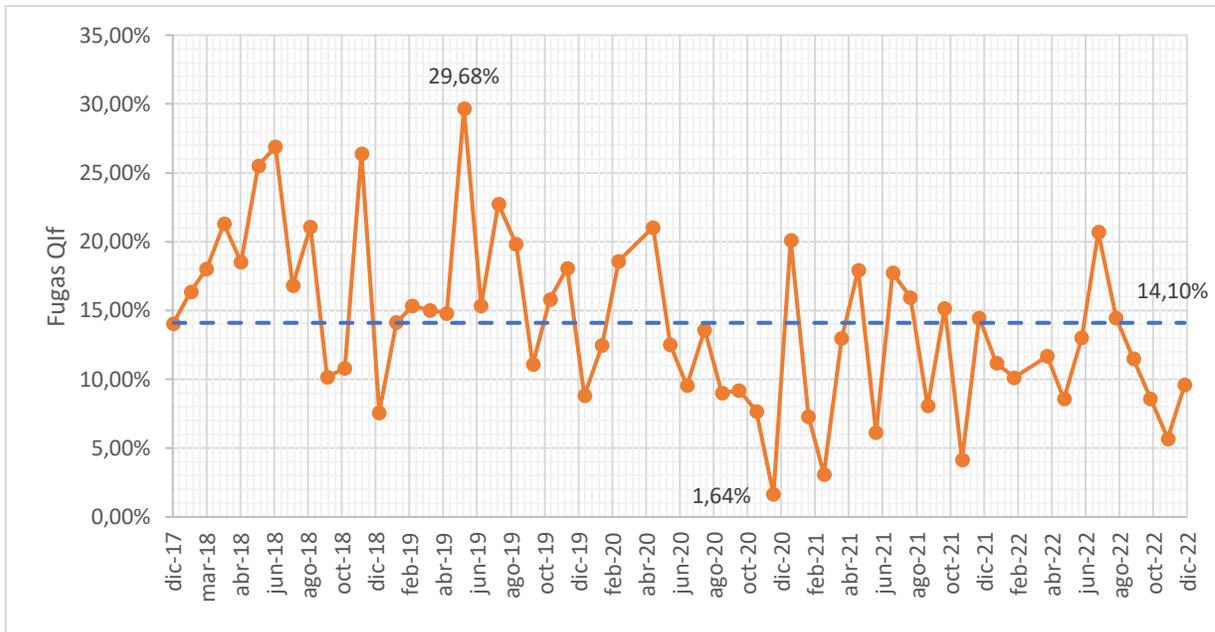
Año	2018			2019			2020			2021			2022		
Mes	Caudal Incontrolado por error de medida Qice (m3/mes)	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado	Caudal Fugado Qif (m3/mes)	% Caudal Fugado		
Enero	1,519.17	5,342.19	14.07%	2,884.19	7.59%	3,344.19	8.81%	7,641.45	20.12%	4,243.29	11.17%				
Febrero	1,372.16	5,615.79	16.37%	4,843.79	14.12%	4,282.79	12.48%	2,504.06	7.30%	3,472.89	10.12%				
Marzo	1,470.17	6,631.05	18.04%	5,634.05	15.33%	6,829.05	18.58%	1,138.31	3.10%	-446.85	-1.22%				
Abril	1,519.17	8,088.19	21.30%	5,704.19	15.02%	-527.81	-1.39%	4,927.45	12.97%	4,432.29	11.67%				
Mayo	1,519.17	7,034.19	18.52%	5,617.19	14.79%	7,990.19	21.04%	6,813.45	17.94%	3,254.29	8.57%				
Junio	1,470.17	9,381.05	25.52%	10,910.05	29.68%	4,597.05	12.51%	2,255.31	6.14%	4,782.15	13.01%				
Julio	1,519.17	10,214.19	26.89%	5,826.19	15.34%	3,629.19	9.56%	6,733.45	17.73%	7,857.29	20.69%				
Agosto	1,519.17	6,384.19	16.81%	8,638.19	22.74%	5,163.19	13.59%	6,062.45	15.96%	5,501.29	14.48%				
Septiembre	1,470.17	7,752.05	21.09%	7,283.05	19.82%	3,310.05	9.01%	2,966.31	8.07%	4,225.15	11.50%				
Octubre	1,519.17	3,864.19	10.17%	4,208.19	11.08%	3,498.19	9.21%	5,760.45	15.17%	3,268.29	8.61%				
Noviembre	1,470.17	3,970.05	10.80%	5,816.05	15.82%	2,825.05	7.69%	1,525.31	4.15%	2,092.15	5.69%				
Diciembre	1,519.17	10,028.19	26.40%	6,866.19	18.08%	622.19	1.64%	5,498.45	14.48%	3,648.29	9.61%				
<b>Total</b>	<b>17,887.05</b>	<b>84,305.28</b>	<b>225.99%</b>	<b>74,231.28</b>	<b>199.42%</b>	<b>46,091.10</b>	<b>124.11%</b>	<b>53,826.48</b>	<b>143.12%</b>	<b>46,777.34</b>	<b>125.12%</b>				
<b>Promedio</b>	<b>1,490.59</b>	<b>7,025.44</b>	<b>18.83%</b>	<b>6,185.94</b>	<b>16.62%</b>	<b>4,190.10</b>	<b>11.28%</b>	<b>4,485.54</b>	<b>11.93%</b>	<b>4,252.49</b>	<b>11.37%</b>				

Los caudales promedio del balance hídrico, que se muestran en la Tabla 17 y Tabla 18, se visualizan gráficamente en la Figura 10. Se enfatiza que en el año 2018 se observa la situación más problemática, con una fuga de caudal de 7,025.44 m<sup>3</sup>/año, en contraste con los 4,252.49 m<sup>3</sup>/año registrado en 2022. Esto conlleva a una pérdida del 18.83% del caudal inyectado durante 2018.



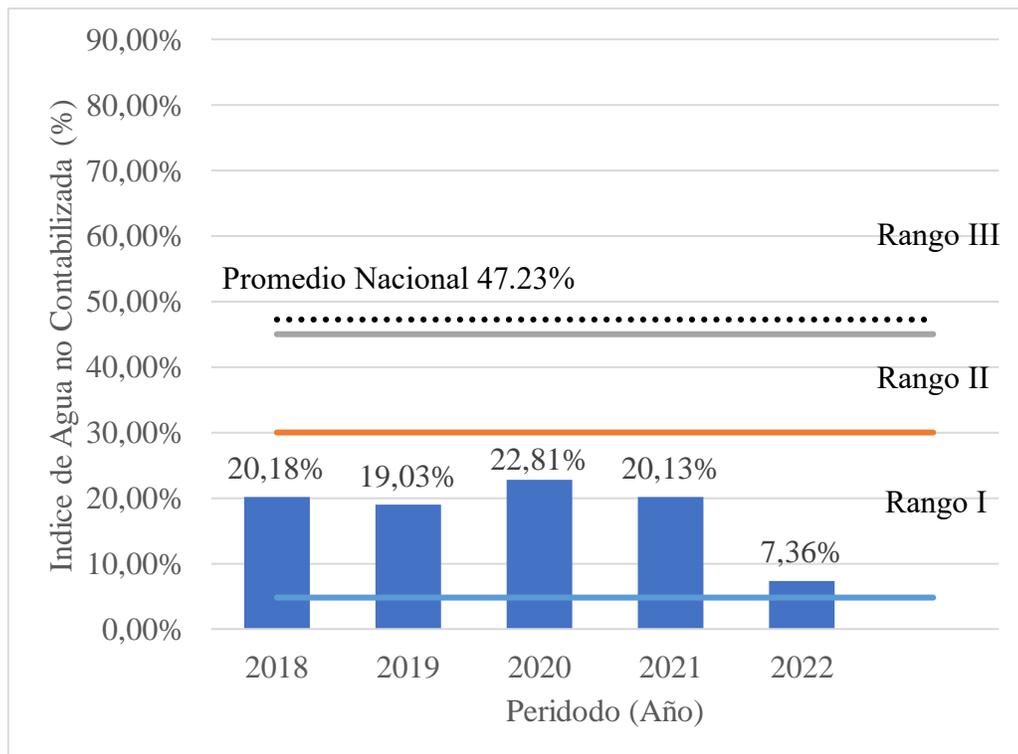
**Figura 10.** Comparativa de caudales promedio – Cevallos.

En la Figura 11 se registra los porcentajes de agua fugada mensual de la ciudad de Cevallos de manera global a partir del año 2018 hasta el año 2022. El valor de la media de todos los años de estudio es de 14.10%. La mayor cantidad de agua fugada registrada se dio en junio del 2019 con 29.68%, mientras que la menor fue en diciembre del 2020 con 1.64%.



**Figura 11.** Porcentaje de Caudal fugado desde el año 2018 hasta el año 2022 – Cevallos.

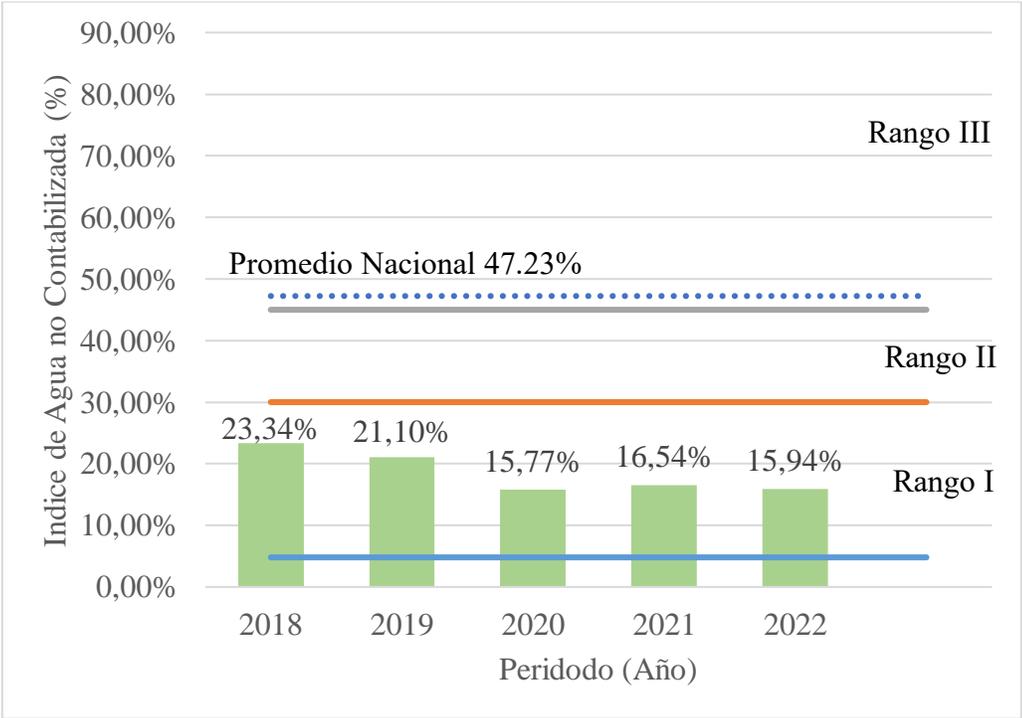
#### 4.1.3. Índice de agua no contabilizada (IANC) en Quero



**Figura 12.** Índice de agua no contabilizada – Quero.

En la Figura 12 se muestra el porcentaje del índice de agua no contabilizada de cada año en la ciudad de Quero, así como el promedio nacional registrado en el ARCA 2022, con un valor del 47.23%. Se puede evidenciar que los años analizados se sitúan dentro del rango I, con el valor máximo registrado del 22.81% en 2020, que es menor que el promedio nacional.

**4.1.4. Índice de agua no contabilizada (IANC) en Cevallos**



**Figura 13.** Índice de agua no contabilizada – Cevallos.

La Figura 13 presenta el porcentaje del índice de agua no contabilizada de cada año en la ciudad de Cevallos, junto con el promedio nacional registrado en el ARCA 2022, que es de 47.23%. Se destaca que los años analizados caen dentro del rango I, con el valor máximo registrado del 23.34% en 2018, el cual es inferior al promedio nacional. Además, se observa que está en el mismo rango I que reporta el ARCA en 2021 el cual es de 19.27%.

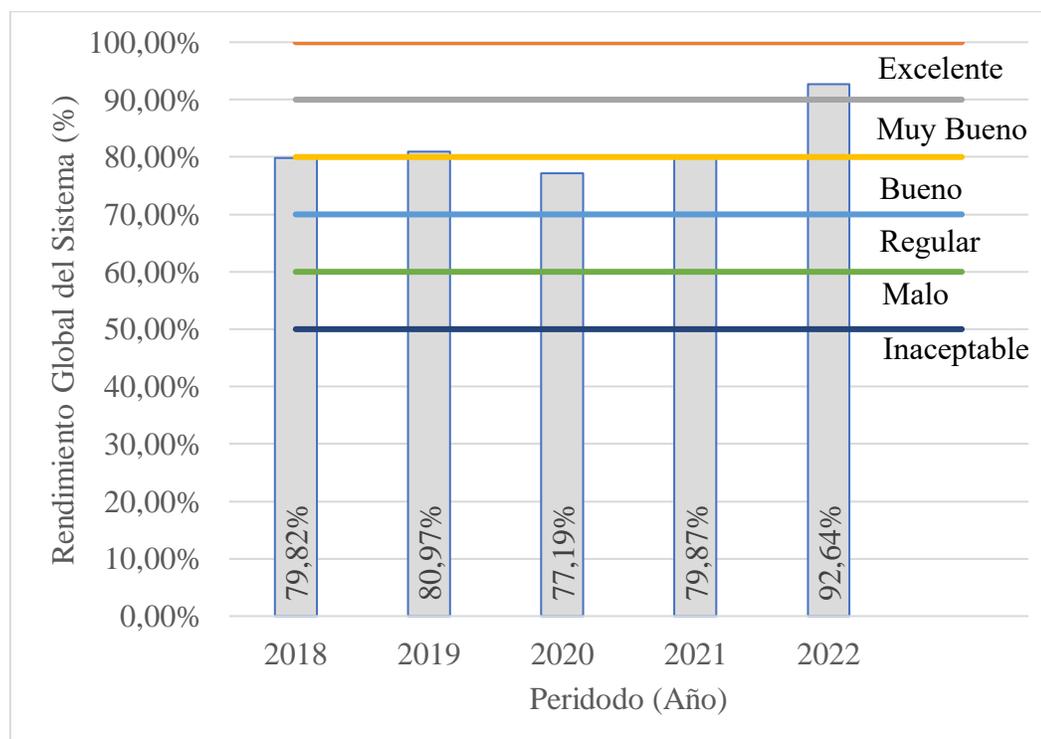
**4.1.5. Rendimiento hídrico porcentual en Quero**

La Tabla 19 presenta los rendimientos hídricos porcentuales de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Quero, desglosando el rendimiento global del sistema, el rendimiento de la red y el rendimiento de la gestión técnico-administrativa desde 2018 hasta 2022. Se observa que el rendimiento del sistema global se mantiene por debajo del 93% en todos los años analizados. Se califica como "Bueno" para los años 2018, 2020 y 2021, como "Muy Bueno" para 2019 y como "Excelente" para 2022. El rendimiento de la red es mayor al 80% en todos los años. Por último, los resultados del rendimiento de la gestión técnico-administrativa son mayores al 95% en todos los periodos de análisis.

**Tabla 19.** Rendimiento hídrico porcentual anual - Quero

Año	Rendimiento Global del Sistema (ns)	Calificación rendimiento global	Rendimiento de la red (nr)	Rendimiento de la gestión técnica-administrativa (ng)
2018	79.82%	Bueno	83.87%	95.18%
2019	80.97%	Muy Bueno	85.00%	95.27%
2020	77.19%	Bueno	81.22%	95.04%
2021	79.87%	Bueno	83.90%	95.19%
2022	92.64%	Excelente	96.67%	95.83%
<b>General</b>	82.10%	Muy Bueno	86.13%	95.30%

En la Figura 14 se observa la evolución del rendimiento global del sistema desde el año 2018 hasta el año 2022 en el que se puede notar una mejora ya que desde el 2018 hasta el 2021 ha permanecido con una categoría de “Bueno” exceptuando al año 2019 que aumentó de categoría a “Muy Bueno”, sin embargo, los porcentajes del nivel de rendimiento no han tenido una variación significativa. No obstante, para el año más reciente de análisis se logró llegar a una calificación de “Excelente” siendo el año 2022 con un rendimiento global del sistema más alto de todos los años de estudio.



**Figura 14.** Rendimiento global del sistema – Quero

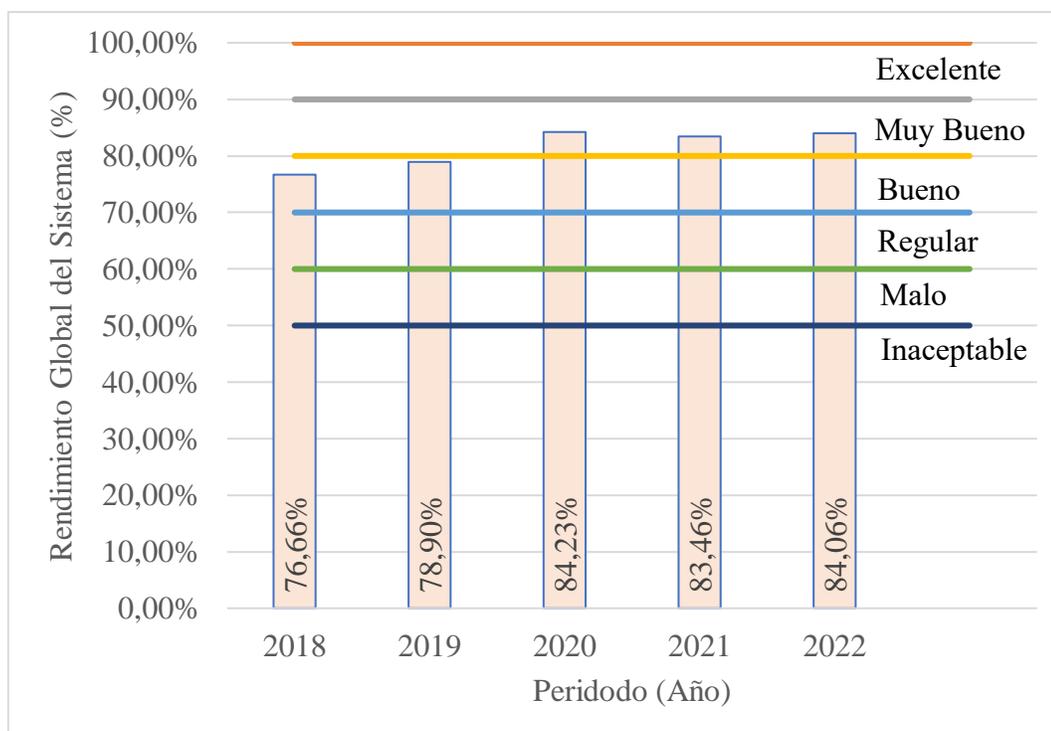
#### 4.1.6. Rendimiento hídrico porcentual en Cevallos

La información presentada en la Tabla 20 muestra los porcentajes de rendimiento hídrico en la ciudad de Cevallos durante el periodo de 2018 a 2022. Se detalla el rendimiento total del sistema, el rendimiento de la red y el rendimiento de la gestión técnico-administrativa. Se destaca que el rendimiento global del sistema se mantiene por debajo del 90% en todos los años analizados. Se clasifica como “Bueno” en 2018 y 2019, y como “Muy Bueno” en 2020, 2021 y 2022. El rendimiento de la red resultó de porcentajes superiores al 80%, por último, los valores obtenidos del rendimiento de la gestión técnico-administrativa muestran valores superiores al 90% en todos los años estudiados.

**Tabla 20.** Rendimiento hídrico porcentual anual - Cevallos

Año	Rendimiento Global del Sistema (ns)	Calificación rendimiento global	Rendimiento de la red (nr)	Rendimiento de la gestión técnica-administrativa (ng)
2018	76.66%	Bueno	81.15%	94.47%
2019	78.90%	Bueno	83.40%	94.60%
2020	84.23%	Muy Bueno	88.74%	94.92%
2021	83.46%	Muy Bueno	87.96%	94.88%
2022	84.06%	Muy Bueno	88.60%	94.87%
<b>General</b>	81.46%	Muy Bueno	85.97%	94.75%

En la Figura 15 se muestra la evolución del rendimiento global del sistema en los 5 años de estudio, en el que ha ido incrementando su porcentaje de manera consecutiva hasta el año 2020, en el 2021 disminuyó con respecto al año anterior por el aumento de fugas en el sistema y nuevamente el rendimiento global subió en el año siguiente. No obstante, las categorías son favorables ya que en los dos primeros años se mantuvo una categoría de “Bueno”, mientras que desde el año 2020 hasta el año 2022 se alcanzó una categoría de “Muy Bueno”.



**Figura 15.** Rendimiento global del sistema – Cevallos

#### 4.1.7. Pérdida económica en Quero

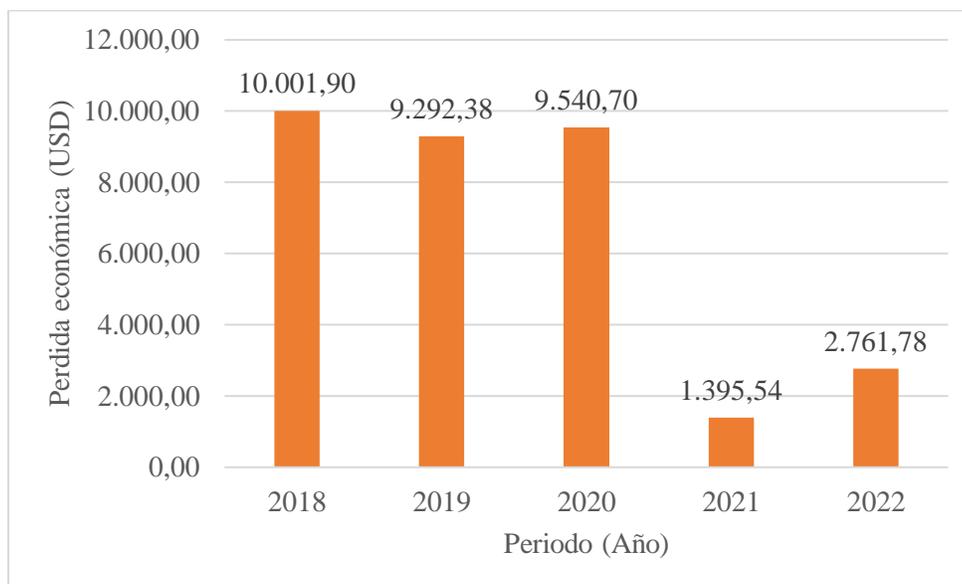
Las fugas en la red de distribución de agua potable tienen \$32,992.29 de pérdida económica en los 5 años de estudio para el GAD Municipal del cantón Quero ya que como se presenta en la Tabla 21 el costo del agua por metro cúbico desde el año 2018 hasta el 2020 es de \$0.21, \$0.04 para el año 2021, mientras que para el año 2022 se tiene de \$0.24.

**Tabla 21.** Costo anual perdido por fugas en la red de agua potable - Quero

Año	Volumen fugado (m3)	Costo (USD/m3)	Costo anual (USD)
2018	47,628.08	0.21	10,001.90
2019	44,249.41	0.21	9,292.38
2020	45,431.91	0.21	9,540.70
2021	34,888.43	0.04	1,395.54
2022	11,507.40	0.24	2,761.78
Total	183,705.23		32,992.29

Como lo representa la Figura 16 desde el año 2018 hasta el año 2020 se obtuvo la mayor pérdida económica por la alta presencia de caudal fugado, por otro lado, en el año 2021 la

pérdida es mínima debido al bajo costo del agua, finalmente, aunque el año 2022 se tiene el menor registro de fugas su valor es superior al del 2021 por causa del incremento del costo del agua por metro cúbico, siendo esta diferencia de \$0.20 entre cada año.



**Figura 16.** Pérdida económica por fugas – Quero

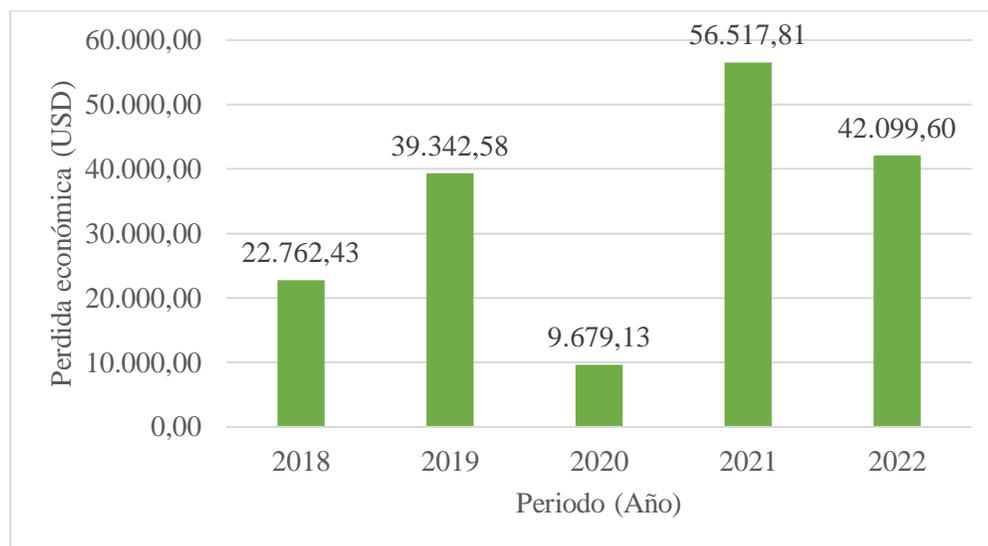
#### 4.1.8. Pérdida económica en Cevallos

Las pérdidas en la red de distribución de agua potable representan un desafío económico significativo para el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cevallos, como se evidencia en la Tabla 22 la pérdida desde el 2018 hasta el 2022 fue de \$192,320.92. El costo de agua por metro cúbico ha sido de \$0.27 en 2018, \$0.53 en 2019, el siguiente año 2020 disminuyó su costo a \$0.21, posteriormente el valor subió a \$1.05 y finalmente disminuyó a \$0.9 en 2022.

**Tabla 22.** Costo anual perdido por fugas en la red de agua potable – Cevallos.

Año	Volumen fugado (m3)	Costo (USD/m3)	Costo anual (USD)
2018	84,305.28	0.27	22,762.43
2019	74,231.28	0.53	39,342.58
2020	46,091.10	0.21	9,679.13
2021	53,826.48	1.05	56,517.81
2022	46,777.34	0.9	42,099.60
Total	305,231.49		192,320.92

Los valores mostrados en la Figura 17 evidencia que aunque en 2021 sea el año con menor porcentajes de caudal fugado, la pérdida económica es más significativa por el precio tan elevado que tiene el costo del agua a comparación de los anteriores años, no obstante se recalca que en 2020 al ser el año con menor porcentaje de agua perdida por fugas y tener el menor precio de todos los años en comparación, su pérdida económica es aproximadamente la sexta parte de la del 2021.



**Figura 17.** Pérdida económica por fugas – Cevallos.

#### **4.2. Mantenimiento y operación con el que se atiende un problema de fuga de agua potable en las redes de abastecimiento de la ciudad.**

Las fugas de agua potable son causadas debido a varios factores que se radican en la edad de la red de abastecimiento, las prácticas de mantenimiento, las presiones, calidad de los materiales, calidad del agua, tipo de suelo y conexiones clandestinas de agua potable, para controlar las causas se proponen mantenimientos preventivos que ayudan a realizar trabajos de campo anticipándose a la falla de la red de abastecimiento y así evitar pérdidas de agua potables a gran magnitud.

Actualmente, El GAD Municipal de Santiago de Quero posee limitaciones respecto a la gestión del agua potable a causa de la ausencia de equipos para el monitoreo, seguimiento y control de fugas, como: caudalímetros, sin embargo, existen macromedidores los cuales permiten conocer el caudal inyectado al sistema, con ello se pueden realizar los ajustes necesarios en el sistema de abastecimiento, de igual forma permite relacionar el caudal inyectado respecto al caudal registrado por los micromedidores.

El GAD Municipal de Cevallos se ve limitado debido a la falta de equipos para el monitoreo, seguimiento y control de fugas como caudalímetros y macro medidores para realizar

ajustes en el sistema de abastecimiento, de igual forma se observan limitaciones en maquinarias y mano de obra para trabajos a gran escala observándose un punto crítico a renovar.

#### 4.2.1. Operación y mantenimiento del sistema en Quero

El sistema de agua potable de la ciudad de Quero fue mejorado en el año 2012 implicando el cambio de tuberías PVC de diferentes diámetros, se realizó el cambio de medidores, micromedidores, hidrantes, válvulas de manzanas y válvulas de veredas, es así que un defecto de estos componentes del sistema de agua potable genera fugas y como consecuencia pérdidas económicas para la entidad gestora, por lo tanto, se realizan trabajos de reparación mediante el procedimiento presentado, el tiempo aproximado empleado para reparar una fuga de agua potable es un día.

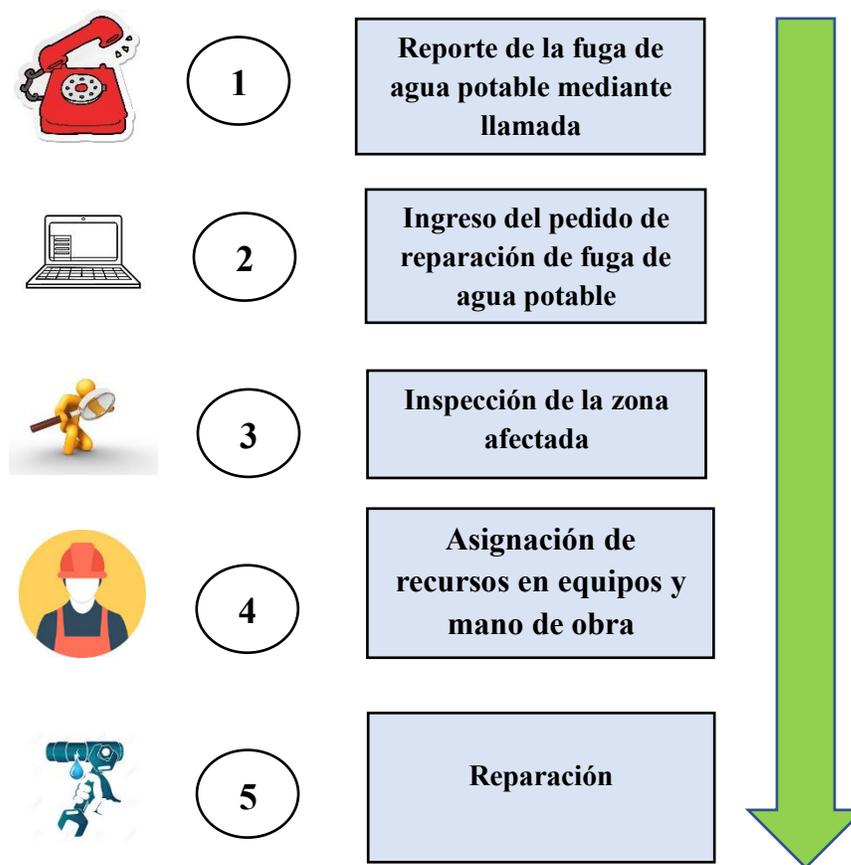


**Figura 18.** Procedimiento para la realización de reparaciones de fugas en Quero.

En la Figura 18 se observa el procedimiento empleado para reparar fugas de agua potable que inicia con la notificación de la fuga de agua potable, posteriormente se procede a la recepción de la queja mediante la entidad gestora para luego asignar el recurso y realizar la reparación de la fuga de agua potable.

#### 4.2.2. Operación y mantenimiento del sistema en Cevallos

El sistema de agua potable de la ciudad de Cevallos fue reconstruido en el año 2006 implicando el mejoramiento de tuberías y la planta de tratamiento fue reconstruida en el periodo de los años 2000 a 2010, se presentan varias fugas debido a la edad de la red de conducción y distribución, los recursos municipales garantizan el acceso continuo al servicio de agua potable y estabilizan las pérdidas por fugas de agua potable, el tiempo empleado para reparar una fuga de agua potable es de uno o dos días.

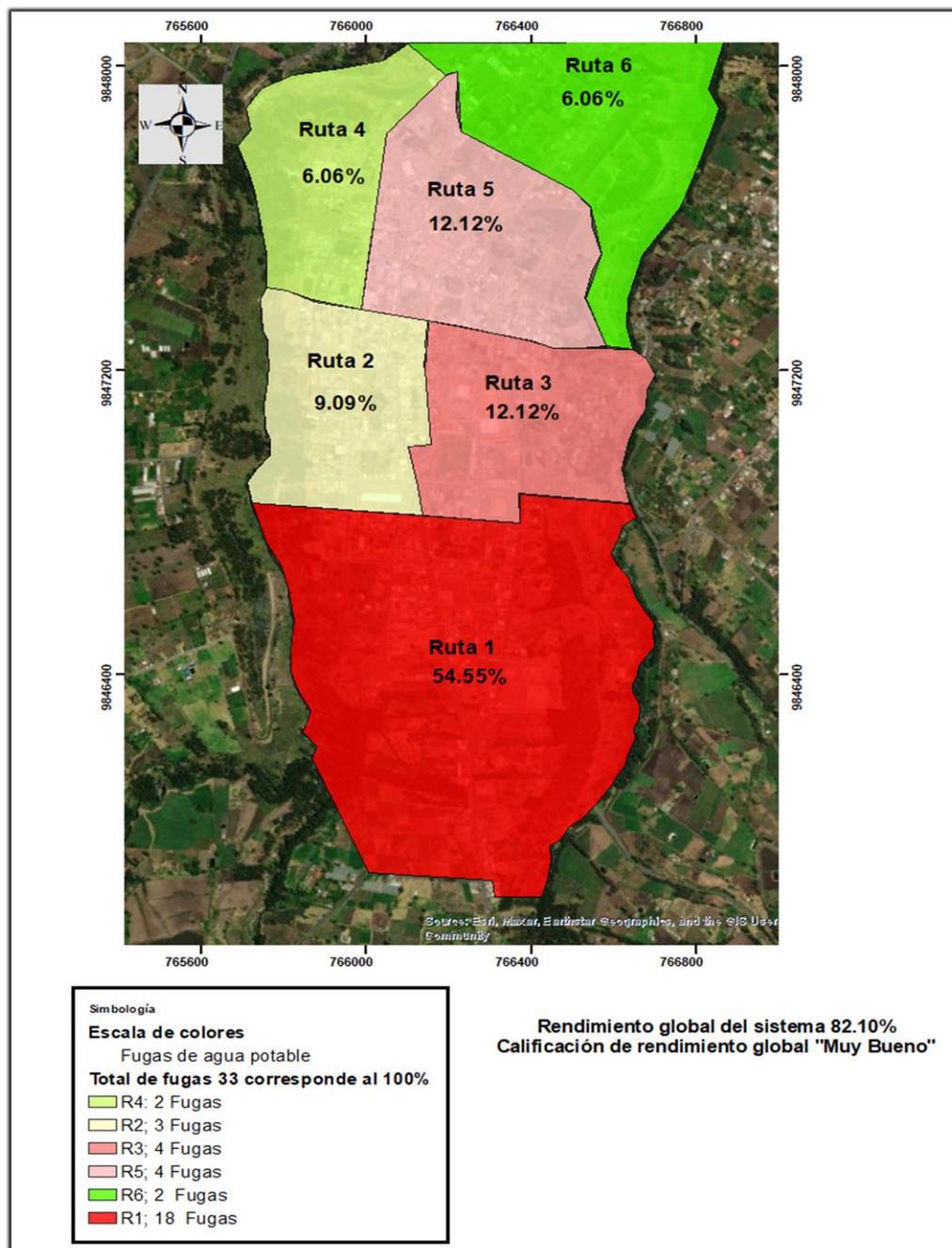


**Figura 19.** Procedimiento para la realización de reparaciones de fugas en Cevallos.

En la Figura 19 se observa el procedimiento empleado para reparar fugas de agua potable que inicia con el reporte al municipio mediante una llamada telefónica, ingreso del pedido de reparación, inspección, asignación de recursos y finalmente el trabajo en campo.

### 4.3. Identificación de zonas con incidencia de fugas.

#### 4.3.1. Identificación de zonas con presencia de fugas en Quero.

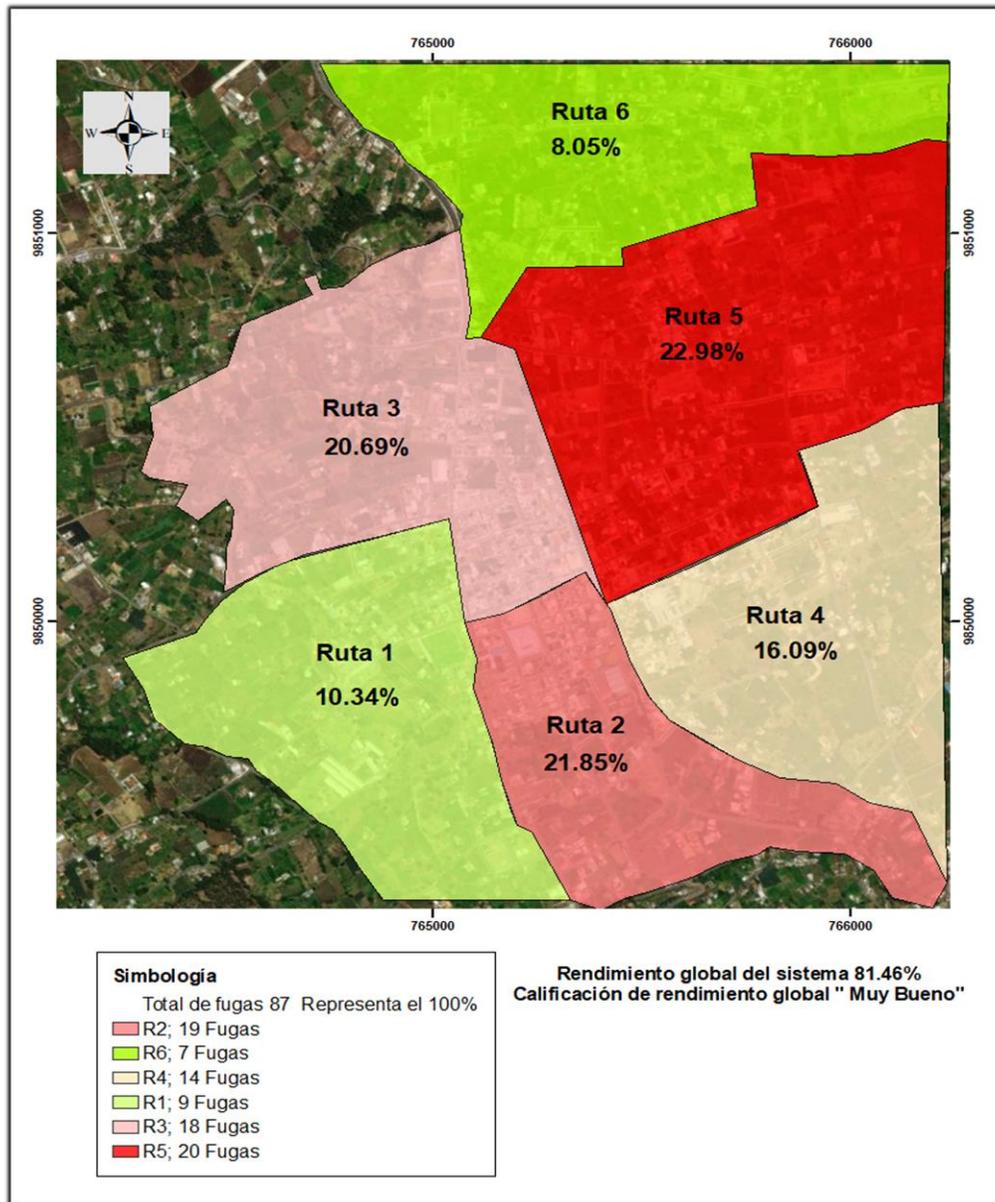


**Figura 20.** Identificación de fugas – Quero.

En la Figura 20 se representa la intensidad de fugas en la ciudad de Quero utilizando una escala de colores donde se obtienen que la ruta más crítica es la ruta 1 con un porcentaje de

54.55% de fugas, ruta 3 y 5 con 12.12%, ruta 2 con 9.09% y; Ruta 4 y 6 con 6.06%, con un total de 33 fugas contabilizadas durante los 5 años en el sector urbano que representa el 100%. El rendimiento global del sistema durante los 5 años es 82.10%, con una calificación de rendimiento global de “Muy Bueno”.

#### 4.3.2. Identificación de zonas con presencia de fugas en Cevallos



**Figura 21.** Identificación de fugas – Cevallos.

En la Figura 21 se representa la intensidad de fugas en la ciudad de Cevallos utilizando una escala de colores donde se obtiene que la ruta más crítica es la ruta 5 con un porcentaje de 22.98%, ruta 2 con 21.85%, ruta 3 con 20.69%, ruta 4 con 16.09 %, ruta 1 con 10.34% y ruta 6

con 8.05%, con un total de 87 fugas registradas durante los 5 años en el casco urbano que representan el 100%. El rendimiento global del sistema durante los 5 años es de 81.88%, con una calificación de rendimiento global de “Muy Bueno”.

#### 4.4. Soluciones planteadas al problema de fugas en Quero y Cevallos

De acuerdo al análisis de los datos históricos se obtiene que las ciudades de Quero y Cevallos presentan fugas de agua potable en diferente medida, por ello se realiza un plan de acción en el cual se propone actividades preventivas y actividades de mejora aplicables para las dos ciudades según su necesidad, con ello se espera que las intervenciones sean más efectivas y evitar la pérdida de grandes magnitudes de agua potable, además se espera un aumento en la recaudación económica a base del servicio de agua potable.

	<p style="text-align: center;"><b>Capacitación del personal</b></p> <p>Realizar capacitaciones al personal administrativo y personal técnico del departamento de agua potable con la visión de adquisición de nuevos conocimientos de planificación e intervención de las fugas de agua potable en el sector urbano y generar una metodología de intervención eficiente para la ciudad.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Capacitación de los usuarios</b></p> <p>Programar reuniones en los barrios de la ciudad para incentivar el trabajo mancomunado respecto a las fugas de agua potable y tener el compromiso de los barrios para reportar las fugas y conexiones clandestinas.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Reporte del caudal asignado para emergencias</b></p> <p>Registro mensual de los caudales derivados de los hidrantes o bocas de fuego utilizado por el cuerpo de bomberos, además del análisis de la viabilidad de la colocación de medidores.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Peritaje de medidores</b></p> <p>Realizar el peritaje de medidores de agua potable priorizando las rutas más críticas en fugas de agua potable y de igual forma sectores que dispongan medidores con un tiempo de vida considerable o vencidas.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Mantenimiento preventivo</b></p> <p>Focalizar las rutas críticas en fugas para realizar las intervenciones mediante la visita a campo del equipo técnico con el fin de realizar las reparaciones necesarias, limpiezas de los tanques de tratamiento y tuberías de distribución para garantizar la calidad del agua potable.</p>

**Figura 22.** Plan de acción - Actividades preventivas



#### **Auditorias periódicas**

Efectuar revisiones periódicas en la red de distribución con el fin de evaluar su condición, identificar posibles puntos de fuga y evaluar la efectividad de las acciones tomadas.



#### **Cambio de tuberías y componentes obsoletos**

Localizar los sitios más críticos de las fugas de agua potable en base a un mapa en escala de colores y realizar el cambio de válvulas de manzana, válvulas de flujo, válvulas de aire, hidrantes, bocas de fuego, micromedidores y tuberías. La intervención se realizará en base a la necesidad de cada ruta.



#### **Implementación de incentivos**

Establecer incentivos, como descuentos en las tarifas de agua o bonificaciones, tanto para las empresas de servicios públicos como para los usuarios, que promuevan la disminución de fugas y la colaboración en la identificación y reporte de las mismas.



#### **Compra de equipo de monitoreo**

Realizar la compra e instalación de macromedidores en las plantas de tratamiento de agua potable y adquirir un caudalímetro de ultrasonido para realizar el seguimiento y desempeño de la red de distribución.



#### **Convenios interinstitucionales**

Efectuar convenios interinstitucionales con el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua con la finalidad de que se brinde la ayuda del equipo caminero para el uso en reparaciones de gran magnitud.

**Figura 23.** Plan de acción – Actividades de mejora.

## **4.5. Discusión**

Los valores obtenidos del balance hídrico técnico a lo largo del año 2018 al 2022 muestran el 11.83% y 14.10% en promedio de fugas en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Quero y Cevallos respectivamente, siendo estos valores bastante bajos a comparación de datos obtenidos en estudios previos como lo son en el cantón Riobamba que se reporta un porcentaje de caudal fugado en el sistema del 39% y en Jipijapa que su pérdida es de 38.77%.

Los resultados obtenidos en Quero y Cevallos acerca del rendimiento global del sistema se reportaron en promedio de los 5 años analizados con el 82.10% y 81.46%, valores que se les categoriza con un rendimiento de “Muy Bueno” esto justifica en parte la categoría “A” de Quero

y la Categoría “B” de Cevallos respecto a la prestación del servicio según el boletín del ARCA (2021), sin embargo, estas categorías consideran adicionalmente el servicio de alcantarillado sanitario.

En Quero según los boletines estadísticos del ARCA en los años 2018, 2021 y 2022 no se tiene un registro de agua no contabilizada (IANC), ya que se menciona que los datos se encuentran fuera de rango, al contrario, en este estudio de investigación se reportan valores de IANC de 20.18%, 20.13% y 7.36% para los años 2018, 2021 y 2022 respectivamente. Por otro lado, según el ARCA (2020) se reporta un IANC de 23.38% mientras que en el presente estudio se reportó de 22.81% para el año 2020. Estos resultados muestran una similitud considerable con los datos presentados en el boletín estadístico del año en cuestión.

Cevallos, en los años 2020 y 2022 mediante el boletín estadístico de la agencia de regulación y control del agua, no reporta valores porcentuales en el índice de agua no contabilizada, pues sus datos se encuentran fuera de rango, desde otra perspectiva, en esta investigación se obtuvo valores de IANC de 15.77% y 15.94% respectivamente en los años 2020 y 2022. No obstante, en el año 2021 se reportó un valor de 16.54% de agua no contabilizada que a comparación del reporte hecho por el ARCA en el año en cuestión se registra de 19.27%, teniendo una variación del 2.73%

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Mediante el balance hídrico técnico se obtuvo que el porcentaje de caudal incontrolado fugado en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Quero registró un 11.83% en promedio de todos los años de estudio, mientras que en la ciudad de Cevallos presentó un 14.10% en promedio desde el año 2018 hasta el año 2022. En el caso de Quero, se calculó que se perdieron aproximadamente 183,705.23 m<sup>3</sup> de agua entre 2018 y 2022, resultando en una pérdida económica de \$32,992.29. Por otro lado, en Cevallos, se estima que se perdieron alrededor de 304,231.49 m<sup>3</sup> de agua durante el periodo de estudio de cinco años, lo que ocasionó una pérdida económica de \$170,401.55.

En el proceso de operación y mantenimiento de agua potable en las ciudades de Quero y Cevallos, las reparaciones poseen una demora máxima de 2 días contados desde la notificación hasta la reparación, todos los reportes de fugas son atendidos al 100% y está condicionado a la disponibilidad de equipos y materiales. En la ciudad de Quero se presentan 33 fugas a lo largo del periodo 2018-2022 debido a que la mayoría de la red de distribución ha sido remplazada, mientras que la ciudad de Cevallos presenta 87 fugas en el periodo 2018-2022 observándose más intervenciones debido a la edad de la red de distribución y reporte de ruptura de tuberías.

En la ciudad de Quero se identifica que la ruta 1 presenta la mayor cantidad de fugas durante los cinco años estudiados, con el 54.55% del total de fugas, el rendimiento global del sistema es 82.10% y la calificación es de “Muy Bueno”, mientras que en la ciudad de Cevallos la ruta 2 con 21.85% y la ruta 5 con 22.85% son las zonas con mayor presencia de fugas, el rendimiento global del sistema es 81.46% y la calificación es de “Muy Bueno”.

Las principales causas identificadas para la fuga de agua potable es la edad de la red de abastecimiento, malas prácticas de mantenimiento, calidad de los materiales, calidad del agua, tipo de suelo, conexiones clandestinas de agua potable, de forma paralela se observa la falta de equipos para el monitoreo, seguimiento y control de la red de abastecimiento como caudalímetros y micromedidores. Las soluciones para evitar el incremento de fugas están propuestas mediante un plan de acción preventivo y de mejoras al sistema de agua potable lo que establece realizar mantenimientos preventivos, peritaje de medidores, implementación de incentivos, capacitaciones, reporte de caudal asignado para emergencias, cambio de tuberías obsoletas del sector urbano, auditorías periódicas, compra de equipos para el control y monitoreo de la red de abastecimiento y convenios interinstitucionales.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda a las instituciones gestoras del agua potable realizar la compra de equipos de medición de caudal como macro medidores y caudalímetros para realizar los ajustes necesarios en el sistema de abastecimiento, los macro medidores serán instalados en las plantas de tratamiento, con los equipos en funcionamiento se deberá realizar aforos y se tomarán muestras diarias durante 1 año para obtener un caudal inyectado más preciso.

Es necesario que cada entidad gestora del agua potable aplique un plan maestro que se alinee a cada una de las redes de distribución, brindando soluciones a las rutas críticas de fugas de agua potable, con el fin de realizar los ajustes necesario y poseer un control más preciso mediante válvulas de cierre automáticas.

Desarrollar acciones oportunas y eficaces ante fugas de agua potable iniciando de forma urgente con la asignación de recursos en materiales y mano de obra para realizar las reparaciones de las fallas en el sistema.

Implementar un registro claro computarizado de las reparaciones de las fugas de aguas potable incluyendo las direcciones puntuales, con la ubicación exacta, recalcando el trabajo realizado en el sitio de intervención además de describir la cuadrilla y maquinaria utilizada.

## Bibliografía

- Achache, N., & Gómez, S. (2022). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Aguas Machala EP. (2018). *Manual de Operación y Mantenimiento de Redes de Agua Potable*.
- ARCA. (2018). *BenchMarking de Prestadores Públicos de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Ecuador*. [http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Boletin-Estadistico-APS\\_Vfinalvv.pdf](http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Boletin-Estadistico-APS_Vfinalvv.pdf)
- ARCA. (2019). *BenchMarking de Prestadores Públicos de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Ecuador*. [http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/07/Boletin-Estadistico-APS\\_jul21\\_fnl.pdf](http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/07/Boletin-Estadistico-APS_jul21_fnl.pdf)
- ARCA. (2020). *BenchMarking de Prestadores Públicos de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Ecuador*. [http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/12/Boletin-Estadistico-APS\\_dic21\\_v02.pdf](http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/12/Boletin-Estadistico-APS_dic21_v02.pdf)
- ARCA. (2021). *BenchMarking de Prestadores Públicos de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Ecuador*. [https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boleti%CC%81n-estadi%CC%81stico-APS-2021\\_fn\\_v02.pdf](https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boleti%CC%81n-estadi%CC%81stico-APS-2021_fn_v02.pdf)
- ARCA. (2022). *BenchMarking de Prestadores Públicos de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en el Ecuador*. [https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/12/Boletin-Estadistico-APS\\_dic23-fnl.pdf](https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/12/Boletin-Estadistico-APS_dic23-fnl.pdf)
- Areiza, J., & Caraballo, J. (2019). Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento público, identificando sectores y causas influyentes en los altos índices de agua no contabilizada (IANC) en el municipio de Turbo Antioquia. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD*.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*.
- 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>
- Campana, 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/handle/15000/15217?locale=de>
- Conagua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Cuerpo de Bomberos de Cevallos. (2023). *Volumen de agua consumida en los hidrantes del cantón Cevallos desde 2018 hasta 2022*.

- Cuerpo de Bomberos de Quero. (2023). *Volumen de agua consumida en los hidrantes del cantón Quero desde el 2018 hasta 2022*.
- Fernández, V. (2015). *Diagnóstico, Análisis y Propuesta de un Sistema Óptimo de Gestión del Manejo del Agua Potable en el Ciudad de Guayaquil* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10437>
- Flores, E., & Rea, M. (2023). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Penipe y Saraguro*. Universidad Nacional de Chimborazo .
- GAD QUERO. (2020). *Informe para la Elaboración y Actualización del Pliego Tarifario*.
- GAD QUERO. (2023). *Gobierno Municipal del Cantón Santiago de Quero*. <https://www.quero.gob.ec/division-politica/>
- Hernández, R., Fernández, C., Del Pilar, M., Méndez, S., & Mendoza, C. (2014). *Metodología de la investigación* (McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, Ed.; 6th ed.).
- Jiménez Terán, J. M. (2013). *Manual para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*. [https://www.google.com/search?q=Manual+para+el+Dise%C3%B1o+de+Sistemas+de+Agua+Potable+y+Alcantarillado+Sanitario.&rlz=1C1YTUH\\_esEC1052EC1052&oq=Manual+para+el+Dise%C3%B1o+de+Sistemas+de+Agua+Potable+y+Alcantarillado+Sanitario.&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzgwN2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Manual+para+el+Dise%C3%B1o+de+Sistemas+de+Agua+Potable+y+Alcantarillado+Sanitario.&rlz=1C1YTUH_esEC1052EC1052&oq=Manual+para+el+Dise%C3%B1o+de+Sistemas+de+Agua+Potable+y+Alcantarillado+Sanitario.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzgwN2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Macías, T. (2021). *Optimización de gestión para detectar fugas del circuito 6 de la red de agua potable de la ciudad de Jipijapa*. Universidad Estatal del Sur de Manabi.
- Moliá, R. (1987). *Redes de Distribución*. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45475.pdf>
- Palate, V. (2017). *Reporte de información referente a la autoevaluación de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento que la Unidad de Agua Potable y Alcantarillado de Cevallos (UNAPAC) brinda dentro del área de cobertura en los sectores urbanos y parte del sector rural, perteneciente al cantón Cevallos, provincia de Tungurahua*.
- Perez, M. (2014). *GAD MUNICIPAL CEVALLOS* . <https://www.cevallos.gob.ec/index.php/ciudad/ubicacion>
- SENPLADES. (2014). *Ficha de Cifras Generales del Catón Quero - Censo de Población y Vivienda 2010*.

## Anexos

### Anexo 1. Operación y mantenimiento de la ciudad de Quero

	<b>Fecha</b>	<b>Lugar</b>	<b>Descripción del trabajo</b>	<b>Personal</b>
1	8/2/2018	17 de abril y machado Benítez	Colocar reducción de presión de tubería de distribución	H. Villacrés Muñoz E. Bautista A. Caiza
2	16/5/2019	El empalme	Revisión del sistema	Ing.G.Velastegui H.Villacres V.Muñoz E.Bautista A. Caiza
3	10/2/2020	Quiambe	mantenimiento del sistema	V.Muñoz E.Bautista M. Narváez
4	14/1/2021	Parroquia Yanayacu	Reparación de tubería de conducción	Ing.G.Velastegui H.Villacres V.Muñoz E.Bautista M. Narváez
5	24/6/2022	la alcantarilla	Reparación de tuberías	DD. PP personal de agua potable

**Anexo 2.** Operación y mantenimiento de la ciudad de Cevallos

	<b>Fecha</b>	<b>Trabajo</b>	<b>Dirección</b>
1	02 de marzo de 2022	Realizar el trabajo urgente de la fuga de agua potable en la calle Oriente y Los Claveles frente a la propiedad del sr. Nelson Bayas, debido a escape de agua de la red principal y evitar el desperdicio consabido.	Barrio Oriente
2	01 de diciembre de 2021	Arreglar la fuga de agua potable en el sector de la calle Trece de Mayo junto a la propiedad del sr. Gordón.	Barrios Primero de Mayo
3	01 de junio de 2020	Proceder con el arreglo de fuga en la cancha del barrio Tambo Centro, arreglar otra fuga de agua en la red de Tambo Centro junto a la propiedad de la familia Constante. Inspección de fugas en el sector de El Rosal.	Barrio San Fernando, sector Pachanlica, San Pedro.
4	01 de abril de 2019	Arreglo emergente de la fuga de agua potable en la válvula principal de la esquina de las calles 24 de mayo y Manuel Vargas. Búsqueda mediante excavaciones manuales y arreglo del taponamiento del agua en la red de conducción en el tramo San Pedro – Cachihuayco – El Mirador, por presencia de burbujas de aire en el interior de la tubería.	Barrios de cantón Cevallos.
5	01 de marzo de 2018	Realizar los trabajos de arreglo de la fuga de agua potable en la vía lateral a las canchas de Uso Múltiple del barrio Tambo Centro.	Barrios de cantón Cevallos.

### Anexo 3. Planta de tratamiento de la ciudad de Quero



Planta de tratamiento – El Empalme

### Anexo 4. Inspección a la reparación de fugas de agua potable en la ciudad de Quero



Fuga de agua potable en la ciudad de Quero