



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

**Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los
cantones Chimbo y San Miguel**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Carvajal Brito, Vecky Marian
Vargas Cedeño, Juan Carlos

Tutora:

MsC. María Gabriela Zúñiga Rodríguez

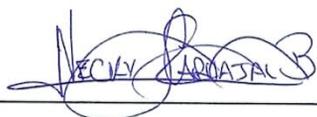
Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

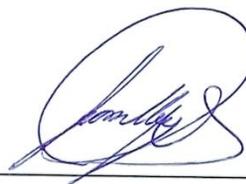
Nosotros, **Vecky Marian Carvajal Brito**, con cédula de ciudadanía **060572778-3** y **Juan Carlos Vargas Cedeño**, con cédula de ciudadanía **060485234-3**, autores del trabajo de investigación titulado: **“Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chimbo y San Miguel”**, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, 30 de junio del 2023.



Vecky Marian Carvajal Brito
C.I. 0605727783



Juan Carlos Vargas Cedeño
C.I. 0604852343

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chimbo y San Miguel**”, presentado por Vecky Marian Carvajal Brito, con cédula de ciudadanía 060572778-3 y Juan Carlos Vargas Cedeño, con cédula de ciudadanía 060485234-3, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de sus autores; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de junio del 2023.

MsC. María Gabriela Zúñiga Rodríguez
TUTOR



Firma

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

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 de los cantones Chimbo y San Miguel**”, presentado por Vecky Marian Carvajal Brito, con cédula de ciudadanía 060572778-3 y Juan Carlos Vargas Cedeño, con cédula de ciudadanía 060485234-3, bajo la tutoría de MsC. María Gabriela Zpuñiga 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 sus autores; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de junio del 2023.

Miembro del Tribunal de Grado

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga



Firma

Miembro del Tribunal de Grado

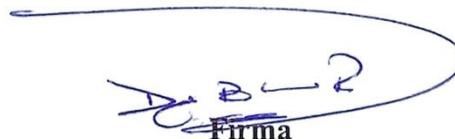
Mgs. Nelson Estuardo Patiño Vaca



Firma

Presidente del Tribunal de Grado

Mgs. Diego Javier Barahona Rivadeneira



Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **CARVAJAL BRITO VECKY MARIAN** con CC: **060572778-3** y **VARGAS CEDEÑO JUAN CARLOS** con CC: **060485234-3**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES CHIMBO Y SAN MIGUEL"**, cumple con el 1%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 21 de junio de 2023

Ing. Gabriela Zúñiga MsC.
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

A mis padres, Rodrigo y Magaly, quienes con su amor, dedicación y esfuerzo supieron guiarme y ser el mejor ejemplo a seguir. A mi abuelita Mami Vicky, quien ha estado para mí en cada paso y me ha demostrado el amor infinito que nos tiene y sobre todo lo aguerrida que es. A mi hermana Camila, quien, a pesar de nuestras peleas y lo diferentes que somos, es mi mayor motivo para superarme y mejorar cada día. Y a toda mi familia, quienes fueron los pilares fundamentales para culminar con este logro.

Vecky Marian Carvajal Brito

DEDICATORIA

A mis queridos padres Germán y María, quienes han sido mi roca y mi apoyo incondicional a lo largo de este camino académico. Su amor, paciencia y constante estímulo han sido la fuerza impulsora detrás de cada logro alcanzado.

A mis hermanos, quienes han estado conmigo en cada momento de mi vida, brindándome consejos y apoyo incondicional. Vuestras palabras de ánimo y vuestra presencia en mi vida han sido una bendición.

Juan Carlos Vargas Cedeño

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar todo mi agradecimiento a mis padres, Rodrigo y Magaly, por su sacrificio y el impulso que me han dado día tras día, ya que sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

A mi hermanita Camila, que siempre será mi chiquita no importa cuánto crezca, por ser mi cómplice y mi pilar cuando más lo necesitaba.

A mi abuelita mami Vicky, porque sin sus consejos y amor no podría haber llegado hasta este punto.

A mi enamorado Juan, quien ha estado para mí en todo momento dándome su apoyo, aguantando mis cambios de humor cuando me estresaba y siempre demostrándome su amor incondicional, gracias por ser mi ancla.

A mis perritos y gatito, quienes estuvieron ahí cada madrugada y amanecida, sin importar las veces que sean, apoyándome y jamás dejándome sola.

A mis amigos, quienes hicieron este camino más llevadero y siempre estuvieron atentos en cada paso, hasta poder finalizar juntos este proceso.

A cada una de las personas que colaboraron en la realización de este informe, y en todo este proceso, ya que todos aportaron su granito de arena y nos tuvieron mucha paciencia, a veces trabajando extra para poder apoyarnos.

Mi más sincero agradecimiento, esto no habría sido posible sin la ayuda de todos y cada uno de ustedes.

Vecky Marian Carvajal Brito

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Germán y María, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio incansable a lo largo de mi vida académica ya que sin su guía y motivación no habría llegado hasta aquí.

También quiero agradecer a mi enamorada Vecky por su paciencia, comprensión y motivación en los momentos en que me sentí desmotivado. Su apoyo constante fue una fuente de inspiración para seguir adelante en este proyecto.

Este logro no habría sido posible sin la ayuda y colaboración de muchas otras personas que han contribuido en diferentes formas, y por eso, quiero extender mi gratitud a todos aquellos que han formado parte de mi camino académico.

Por último, quiero agradecerme a mí mismo por mi dedicación y esfuerzo para completar este proyecto. Ha sido un camino difícil, pero también una experiencia gratificante y enriquecedora. Me siento orgulloso de haber perseverado y de haber llegado hasta aquí. Sin duda, este logro no hubiera sido posible sin mi compromiso y dedicación.

Juan Carlos Vargas Cedeño

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

Capítulo I. Introducción.....	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Descripción de la zona de estudio	18
1.2.1 Chimbo.....	18
1.2.2 San Miguel	19
1.3 Planteamiento del problema	20
1.4 Justificación.....	21
1.5 Objetivos	21
1.5.1 General.....	21
1.5.2 Específicos	21
Capítulo II. Marco teórico	22
2.1 Conceptos generales.....	22
2.1.1 Sistema de abastecimiento de agua potable y red de distribución	22
2.1.2 Fugas en la red de distribución y su clasificación.....	22
2.1.2.1 Fugas reales	22
2.1.2.2 Fugas aparentes	23
2.1.3 Métodos para el diagnóstico de fugas	23
2.1.3.1 Balance hídrico.....	23
2.2 Estado del arte	24
Capítulo III. Metodología	27
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	27
3.2 Población de estudio.....	28
3.3 Recopilación de información	28
3.3.1 Sistema de red de distribución de agua potable del cantón Chimbo.....	28

3.3.1.1	Caudal inyectado (Q)	29
3.3.1.2	Caudal registrado (Qr).....	29
3.3.2	Sistema de red de distribución de agua potable del cantón San Miguel	30
3.3.2.1	Caudal inyectado (Q)	31
3.3.2.2	Caudal registrado (Qr).....	32
3.4	Análisis de datos.....	32
3.4.1	Sistema de red de distribución de agua potable del cantón Chimbo.....	33
3.4.1.1	Caudal incontrolado (Qic) cantón Chimbo	33
3.4.2	Sistema de red de distribución de agua potable del cantón San Miguel	35
3.4.2.1	Caudal incontrolado (Qic) período 2018-2021	35
3.4.2.2	Caudal incontrolado (Qic) año 2022	36
Capítulo IV.	Resultados y Discusión	37
4.1	Resultados	37
4.1.1	Cantón Chimbo	37
4.1.1.1	Balance hídrico anual	37
4.1.1.2	Caudal de agua fugada (porcentaje).....	39
4.1.1.3	Rendimiento de la red	40
4.1.1.4	Cálculo del índice de agua no contabilizada (IANC).....	41
4.1.1.5	Cálculo de las pérdidas económicas producidas y estimación del incremento de cobertura en el sistema de abastecimiento	41
4.1.2	Cantón San Miguel	43
4.1.2.1	Período 2018-2021 datos generales del sistema.....	43
4.1.2.2	Año 2022, datos del sistema por redes	51
4.1.3	Identificación de sectores problema con presencia de fugas	58
4.1.3.1	Rastreo de fugas en el cantón Chimbo	58
4.1.3.2	Rastreo de fugas en el cantón San Miguel	60
4.1.3.3	Reparación y monitoreo de fugas.....	62
4.1.3.4	Soluciones planteadas	63
4.2	Discusión.....	64
Capítulo V.	Conclusiones y Recomendaciones	69
5.1	Conclusiones	69
5.2	Recomendaciones.....	70
Bibliografía	71
Anexos	73

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Caudal inyectado mensualmente en el cantón Chimbo (m ³ /mes).	29
Tabla 2. Caudales mensuales registrado en el cantón Chimbo (m ³ /mes).	29
Tabla 3. Caudal inyectado mensualmente en el cantón San Miguel (m ³ /mes), período 2018-2021.	31
Tabla 4. Caudal inyectado mensualmente en el cantón San Miguel (m ³ /mes), año 2022..	31
Tabla 5. Caudal registrado mensualmente en el cantón San Miguel (m ³ /mes), período 2018-2021.	32
Tabla 6. Caudal registrado mensualmente en el cantón San Miguel (m ³ /mes), año 2022 .	32
Tabla 7. Estimación del caudal mensual para áreas recreativas, cantón Chimbo	33
Tabla 8. Estimación del caudal mensual para espacios bajo competencia municipal, cantón Chimbo	33
Tabla 9. Estimación del caudal mensual para instituciones educativas, cantón Chimbo...	34
Tabla 10. Estimación del caudal mensual para particulares, cantón Chimbo.	34
Tabla 11. Caudales Qic, cantón Chimbo.	34
Tabla 12. Estimación del caudal mensual para áreas recreativas, cantón San Miguel.....	35
Tabla 13. Estimación del caudal mensual para áreas recreativas, cantón San Miguel.....	35
Tabla 14. Estimación del caudal mensual usado por particulares, cantón San Miguel.....	36
Tabla 15. Estimación del caudal mensual para el cálculo del Qic, cantón San Miguel.	36
Tabla 16. Estimación del caudal mensual para el cálculo de Qic, cantón San Miguel.	36
Tabla 17. Balance hídrico cantón Chimbo	37
Tabla 18. Porcentaje de agua fugada cantón Chimbo	39
Tabla 19. Rendimientos volumétricos de la red cantón Chimbo.....	40
Tabla 20. Pérdidas económicas anuales producidas en el cantón Chimbo.....	42
Tabla 21. Estimación de nuevos usuarios en el cantón Chimbo.....	42
Tabla 22. Balance hídrico período 2018-2021 cantón San Miguel [m ³ /mes].	43
Tabla 23. Balance hídrico corregido, período 2018-2021, cantón San Miguel.....	44
Tabla 24. Porcentaje de agua incontrolada fugada, periodo 2018-2019, cantón San Miguel.	46
Tabla 25. Porcentaje de agua incontrolada fugada, periodo 2020-2021, cantón San Miguel.	46
Tabla 26. Rendimientos volumétricos den el periodo 2018-2021, cantón San Miguel.....	48
Tabla 27. Pérdidas económicas anuales producidas en el cantón San Miguel, periodo 2018-2021.	49
Tabla 28. Estimación de nuevos usuarios en el cantón San Miguel, periodo 2018- 2021	50
Tabla 29. Balance hídrico redes 1, 2 y 3, año 2022, cantón San Miguel.	51
Tabla 30. Balance hídrico redes 4, 5 y 6, año 2022, cantón San Miguel.	51

Tabla 31. Balance hídrico red 7, año 2022, cantón San Miguel.....	52
Tabla 32. Caudal incontrolado fugado para el año 2022, redes 1, 2 y 3 cantón San Miguel.	54
Tabla 33. Caudal incontrolado fugado para el año 2022, redes 4, 5 y 6 cantón San Miguel.	54
Tabla 34. Caudal incontrolado fugado para el año 2022, red 7 cantón San Miguel.....	55
Tabla 35. Rendimientos globales y estado de las redes durante el año 2022, cantón San Miguel.....	56
Tabla 36. Pérdidas económicas anuales producidas en el cantón San Miguel, periodo 2018-2021.	58
Tabla 37. Estimación de nuevos usuarios en el cantón San Miguel, periodo 2018- 2021.	58

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ubicación cantón Chimbo.....	18
Figura 2. Ubicación cantón San Miguel.....	20
Figura 3. Esquema de la metodología.....	27
Figura 4. Cobertura red de distribución cantón Chimbo.....	28
Figura 5. Cobertura redes de distribución cantón San Miguel.....	30
Figura 6. Balance hídrico anual del cantón Chimbo.....	38
Figura 7. Balance hídrico y caudal fugado del cantón Chimbo.....	40
Figura 8. Estado de la red y rendimientos, cantón Chimbo.....	41
Figura 9. Índice de agua no contabilizada por año – Chimbo.....	41
Figura 10. Balance hídrico anual corregido periodo 2018-2021.....	45
Figura 11. Tendencia del caudal fugado, periodo 2018-2021.....	47
Figura 12. Estado de red y rendimiento global, periodo 2018-2021.....	48
Figura 13. Índice de agua no contabilizada anual – San Miguel periodo 2018-2021.....	49
Figura 14. Balance hídrico por redes en el año 2022, cantón San Miguel.....	53
Figura 15. Caudal incontrolado y fugado durante el año 2022, cantón San Miguel.....	56
Figura 16. Estado de las redes durante el año 2022.....	57
Figura 17. Índice de agua no contabilizada anual – San Miguel año 2022.....	57
Figura 18. Estado de la red, cantón Chimbo.....	59
Figura 19. Ubicación fugas, cantón Chimbo.....	60
Figura 20. Estado del sistema, cantón San Miguel, año 2021.....	61
Figura 21. Estado de las redes, cantón San Miguel, año 2022.....	61
Figura 22. Ubicación de fugas, cantón San Miguel, año 2022.....	62
Figura 23. Caudal incontrolado fugado, cantones Chimbo y San Miguel.....	64
Figura 24. Índice de agua no contabilizada, cantones Chimbo y San Miguel.....	65
Figura 25. Estado de la red y rendimientos globales, cantones Chimbo y San Miguel.....	66
Figura 26. Pérdidas económicas, cantones Chimbo y San Miguel.....	67
Figura 27. Incremento de cobertura estimado, cantones Chimbo y San Miguel.....	67

RESUMEN

Las fugas existentes en los sistemas de abastecimiento de agua potable en el Ecuador representan un gran porcentaje de pérdidas para los municipios y las empresas encargadas de brindar dicho servicio, lo que deriva en una problemática importante. En el cantón Chimbo, se realizó un análisis de los caudales inyectados y facturados en el período 2020-2022, mediante el balance hídrico de la única red existente, obteniendo rendimientos del sistema con calificaciones de “insuficiente” y “malo”, debido al gran porcentaje de caudal incontrolado fugado, en su mayoría, causado por la construcción de las redes del plan maestro, el cual aún no se encuentra en funcionamiento. Sin embargo, se ha evidenciado una mejora el último año, lo que podría deberse a la implementación de planes de manejo de fugas y fallos del sistema. En San Miguel, la mayor cantidad de agua fugada se debe a la construcción del nuevo sistema de agua potable, a más de la obsolescencia del sistema actual representa un grave problema, al haber cumplido con su vida útil y presentar fallas periódicas. Se realizaron dos análisis del sistema, el primero, de manera general, en el período 2018-2021 y el segundo del año 2022, por redes, obteniendo rendimientos de “inaceptable”, “malo”, y “regular”, respectivamente, evidenciándose una mejora considerable en el manejo del sistema el último año. Se cuantificaron las pérdidas económicas y el estimado de nuevos habitantes que podrían ser abastecidos por el caudal fugado, y se han planteado sugerencias para mejorar el servicio, la distribución y optimizar recursos.

Palabras claves: Fugas, Chimbo, San Miguel, agua potable, gestión, mantenimiento, balance hídrico.

ABSTRACT

Existing leaks in drinking water supply systems in Ecuador represent a large percentage of losses for municipalities and companies responsible for providing this service, which leads to a significant problem. In the Chimbo canton, an analysis of the flows injected and billed in the 2020-2022 period was carried out through the water balance of the only existing network, obtaining system performance with ratings of "insufficient" and "bad" due to the large percentage of uncontrolled flow leaked, caused mainly by the construction of the master plan networks, which is not yet in operation. However, there has been an improvement in the last year, possibly due to the implementation of leakage management plans and system failures. In San Miguel, the most significant amount of leaking water is due to the construction of the new drinking water system and the obsolescence of the current system, which represents a severe problem, as it has reached its useful life and has periodic failures. Two analyses of the system were carried out, the first, in general, for the period 2018-2021 and the second for the year 2022, by networks, obtaining performances of "unacceptable," "bad," and "regular," respectively, evidencing a considerable improvement in the management of the system in the last year. Economic losses and the estimated number of new inhabitants that the leaked flow could supply were quantified, and suggestions have been made to improve service and distribution and optimize resources.

Keywords: Leaks, Chimbo, San Miguel, drinking water, management, maintenance, water balance.



Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El porcentaje de acceso al agua forma parte de un índice fundamental para conocer el desarrollo económico, social y político de la población, las entidades competentes buscan ampliar y mejorar la cobertura de dicho servicio de manera constante (Osejos Vásquez et al., 2018).

Se debe ejercer una gestión adecuada que permita optimizar el uso del agua, partiendo de la eficiencia económica y de recursos y la sostenibilidad medioambiental (Cervantes Tafur, 2012), por lo que, la prevención, eliminación y detección de filtraciones, fugas, o de cualquier tipo de daño presente en el sistema de conducción o captación de las plantas de agua potable, debe estar dentro de las actividades prioritarias de la gestión de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Sin embargo, la despreocupación en cuanto a estos temas prima en el país, rigiéndose con estándares de países en economía emergente, en donde se establece que va del 40 % al 80 % el volumen de agua no registrada, no facturada o perdida, ya sea por fugas o conexiones clandestinas (Baader et al., 2011), lo que provoca pérdidas, tanto financieras como de recursos, encareciendo los costos de mantenimiento y control de todo el sistema de agua potable.

En el Ecuador la captación y conducción de agua potable está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados de cada cantón (GAD), por lo que, al tener distintos métodos de gestión y, al existir empresas públicas de agua potable en la mayoría de cantones, se presentan problemas de mal manejo del servicio de abastecimiento, derivando en la existencia de fugas o la presencia de grandes porcentajes de agua no contabilizada (Cervantes Tafur, 2012).

De acuerdo a la Agencia de regulación y control del Agua (ARCA) en su boletín estadístico del año 2021, el promedio nacional de agua no contabilizada es de 48.4 %, sin embargo, el cantón Chimbo reportó el 59.31 % de agua no contabilizada y el cantón San Miguel 46.77 % (ARCA, 2021).

A pesar de lo mencionado se ubica al cantón Chimbo en la categoría B, equivalente a Bueno, lo que indica que su nivel eficiencia se ubica entre el 70 % y el 80 % y al cantón San Miguel bajo la categoría C, con un rango del nivel de eficiencia rondando entre el 50 % y el 70 % (ARCA, 2021).

En cuanto a la cobertura del servicio de agua potable, para el año 2021 se presenta un promedio nacional de 78.8%, y los cantones Chimbo y San Miguel registraron una cobertura del 80.03 % y 44.12 % respectivamente (ARCA, 2021).

La empresa encargada del sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Chimbo y del mantenimiento periódico de la red, es la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Cantón Chimbo (EPMAPA Cantón Chimbo) y del cantón San Miguel la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado San Miguel (EPMAPA San Miguel), sin embargo, en ambos casos la gestión en cuanto a mantenimiento no es la adecuada.

1.2 Descripción de la zona de estudio

1.2.1 Chimbo

El cantón San José de Chimbo pertenece a la provincia de Bolívar y se ubica al suroeste de la capital provincial, su altitud va desde 500 hasta 3 300 m.s.n.m., posee una extensión de 26 452.2 ha y una población de 15 779 habitantes, según el último censo realizado por el INEC en el año 2010 (GADM Chimbo, 2019).



Figura 1. Ubicación cantón Chimbo.

La entidad responsable del abastecimiento de agua potable y del mantenimiento de la red, desde el año 2011 es la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Chimbo (EPMAPA Cantón Chimbo), y se realiza mediante un sistema con una red única, construido en el año 2006 y diseñado para tener una vida útil de 40 años (GADM Chimbo, 2019).

La fuente de abastecimiento del sistema es el río Tishinguri, y la red cuenta con 9 tanques de hormigón armado, todos cilíndricos, con capacidades que van desde los 10 m³ hasta las 400 m³ (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

A partir del año 2016 se inicia con la potabilización del agua, ya que, únicamente el agua era tratada, y la cobertura del servicio, actualmente, es del 100 % en la zona urbana y del 52.5 % en la zona rural (GADM Chimbo, 2019).

Actualmente existe el estudio del Plan Maestro de agua potable, sin embargo, no ha sido empleado, ya que la red que se encuentra en funcionamiento es la red antigua y, al estar bajo competencia de la Dirección de Obras Públicas el proyecto, la EPMAPA Cantón Chimbo no cuenta con dicha información (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

En el año 2022, de acuerdo al último informe presentado por la EPMAPA Cantón Chimbo con los datos producidos en el año 2021 para el boletín del ARCA, se reporta el 59.31 % de agua no contabilizada (ARCA, 2022), con fugas de caudal, producidos principalmente por la rotura de tuberías y la construcción del nuevo plan maestro de agua potable del cantón (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

Otro problema existente es el gran número de conexiones clandestinas o irregulares presentes en el cantón, puesto que suelen causar daños a la red principal al no estar diseñadas correctamente y la falta de mantenimiento periódico en la red, puesto que se lo realiza cada 6 meses eproximadamente (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

1.2.2 San Miguel

El cantón San Miguel de Bolívar pertenece a la provincia de Bolívar y se ubica al suroeste de la capital provincial, su altitud va desde 240,9 hasta 4 317,3 m.s.n.m., posee una extensión de 57 318.66 ha y una población de 27 244 habitantes, según el último censo realizado por el INEC en el año 2010 (GADM San Miguel de Bolívar, 2020).

La entidad responsable del abastecimiento de agua potable desde el año 2015 es la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón San Miguel (EPMAPA-SM), mediante un sistema de 7 redes, construido en el año 1982 y diseñado para tener una vida útil de 40 años (GADM San Miguel de Bolívar, 2020), sobrepasando su período de vida útil.

El río Cañi es la fuente de abastecimiento del sistema, y la red cuenta con 8 tanques de hormigón armado, entre cúbicos y cilíndricos, con capacidades que van desde los 100 m³ hasta las 400 m³ (EPMAPA San Miguel, 2022).

El sistema abastece a 3 269 usuarios, de los cuales 2 414 se ubican bajo la clasificación de acometidas domiciliarias, 177 de comerciales, 34 de municipales, 61 de discapacidad, 173 con tarifa especial y 410 bajo tarifa de tercera edad (EPMAPA San Miguel, 2022).

La cobertura del servicio es del 84 % en la zona urbana (GADM San Miguel de Bolívar, 2020), lo que no ha cambiado desde el 2019 hasta la actualidad, al no registrarse proyectos de agua potable.

En el año 2021 se reporta el 46.77 % de agua no contabilizada en el boletín de información del ARCA (2021), con fugas de caudal, producidos principalmente por la cristalización del material cementante utilizado en las uniones de las tuberías y la construcción del nuevo plan maestro de agua potable (EPMAPA San Miguel, 2022).

Actualmente la implementación del Plan Maestro de agua potable es el problema principal, puesto que la construcción de las nuevas redes generó un incremento considerable

del porcentaje de agua fugada y, aún al haber culminado con esto, no se lo ha puesto en marcha, pese a que el sistema antiguo ya se encuentra en muy mal estado (EPMAPA San Miguel, 2022).

Adicional a lo mencionado la existencia de tomas de agua irregulares y acometidas clandestinas y la falta de mantenimiento de la red, acentúan el problema de fugas (EPMAPA San Miguel, 2022)

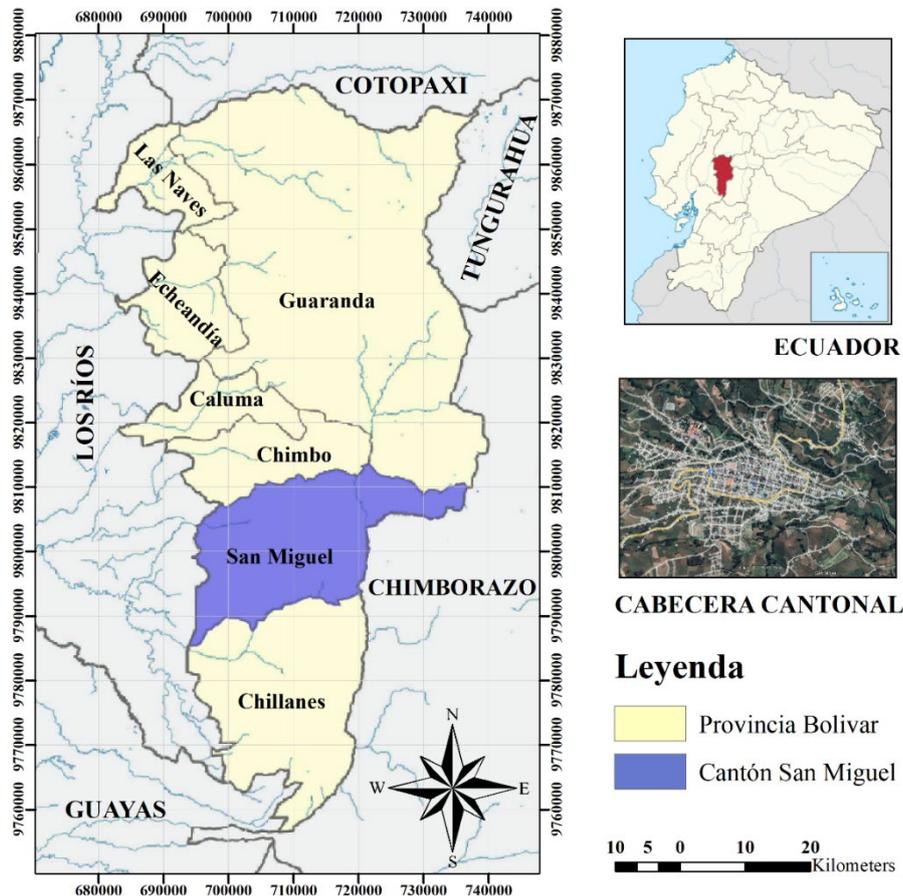


Figura 2. Ubicación cantón San Miguel.

1.3 Planteamiento del problema

Paralelamente, se conoce que la falta de mantenimiento propicia y genera fugas, y la existencia de fugas en sí, ocasiona malestar en la población debido a que, para su corrección, se necesita suspender el servicio y cerrar caminos y vías por las que transitan, lo que incrementa el problema social generado por los trabajos a realizar al reparar una fuga.

En base a esto se presentan las incógnitas ¿Cuál es la incidencia de las fugas de agua en las redes de distribución de los cantones Chimbo y San Miguel? y ¿Cuáles son las zonas más

problemáticas de dichas redes?, mismas que podrán ser resueltas con la información recabada y el análisis a realizar, lo que ayude a minimizar los problemas y mejorar el servicio brindado, ya que se dará seguimiento a los conflictos existentes.

1.4 Justificación

Debido a que, en las redes de distribución, no se pueden eliminar por completo las fugas existentes en sus sistemas, existe un volumen mínimo de pérdidas que se considera inevitable, por lo que es necesario desarrollar controles, detecciones y reparación o rehabilitación de tuberías y accesorios (Benavides, 2013).

Sin embargo, uno de los principales problemas radica en la falta de mantenimiento de la red, puesto que en el cantón Chimbo únicamente se realiza un mantenimiento cada 6 meses y cuando existen conflictos en el sistema (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

En el cantón San Miguel el mantenimiento de la red se realiza cada 6 meses o cuando materiales orgánicos e inorgánicos entran al sistema, lo que propicia la generación de puntos de fuga de agua potable, incrementando la corrosión y el deterioro de los componentes de la red de distribución, al no ser un mantenimiento preventivo si no correctivo (EPMAPA San Miguel, 2022).

En base a esto, se evidencia la importancia de determinar el estado actual de las redes, el mantenimiento recibido a lo largo de su vida útil, el porqué de las pérdidas existentes y el impacto que genera, tanto económico como social.

Por lo que, cumplir con los objetivos y obtener resultados puntuales, beneficiarán a la población de estudio y a los usuarios del servicio de agua potable, brindando herramientas útiles a las entidades competentes para que puedan plantear estrategias contundentes que mitiguen el impacto del porcentaje de agua fugado, mejorando la calidad del servicio e incrementando el alcance del sistema, al reducir y optimizar los gastos de operación y mantenimiento del sistema de agua potable.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

- Determinar la incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable en los cantones Chimbo y San Miguel.

1.5.2 Específicos

- Recolectar información por parte de las instituciones competentes que gestionan el sistema de abastecimiento de agua potable.
- Identificar los sectores de distribución de la red y realizar un balance hídrico para determinar cuantitativamente la cantidad de agua fugada de la red.
- Reconocer las zonas donde existe la mayor cantidad de fugas de agua en los cantones Chimbo y San Miguel e identificarlas en sistemas de información geográfica (SIG).
- Determinar en base a los resultados obtenidos, la relevancia del problema, discutir sus posibles causas y plantear soluciones al mismo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Sistema de abastecimiento de agua potable y red de distribución

Se considera al conjunto de elementos, incluidos trabajos auxiliares, utilizados en la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, la cual incluye los trabajos auxiliares y las obras realizadas iniciando en la salida de la planta de tratamiento y finalizando en las acometidas domiciliarias (INEN, 2014).

2.1.2 Fugas en la red de distribución y su clasificación

Las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable se refieren a las pérdidas de agua que se producen cuando ésta se escapa de las tuberías, válvulas, accesorios o cualquier otro componente del sistema de distribución de agua potable (Fuentes Mariles et al., 2011).

Estas fugas pueden ser pequeñas o grandes y pueden ocurrir en cualquier parte del sistema de suministro de agua, desde las tuberías principales hasta las conexiones domiciliarias.

De acuerdo a Baader et al. (2011) las pérdidas se clasifican en reales y aparentes, sabiendo que las reales se cuantifican mediante volúmenes perdidos en un período específico de tiempo en todo tipo de fugas, reboses o irrupciones en los elementos del sistema, y las aparentes a todas las demás pérdidas que no se deben a problemas físicos de la infraestructura, ya sea que son volúmenes de agua no medidos o registrados con inexactitud.

2.1.2.1 Fugas reales

Se clasifican por su ubicación y el tamaño y tiempo de fuga (Baader et al., 2011).

Por su ubicación

Fugas desde las troncales de transmisión y distribución, aquellas que ocurren en tuberías, ya sea por estallidos o corrosión, en uniones, debido a desconexiones o uniones con fallas, y en válvulas, ya sea por una falla operativa o de mantenimiento, y suele considerar flujos de tasas medianas a altas, con tiempos cortos o medianos de fuga (Baader et al., 2011).

Fugas en conexiones de servicio en el medidor del usuario, ya que usualmente son los puntos de falla de las redes, esto ya que suelen ser débiles debido a su alto porcentaje de fallas en uniones y accesorios. Son las más difíciles de detectar ya que el flujo de la fuga es bajo, incrementando los tiempos en los que se produce (Baader et al., 2011).

Fugas en los tanques de almacenamiento, causadas principalmente por controles de nivel dañados o deficientes, por la filtración en las paredes de concreto o por fallas en los métodos constructivos. Son las más caras y complicadas de reparar debido a su magnitud, a pesar de la facilidad de su detección (Baader et al., 2011).

Por su tamaño y tiempo de fuga

Fugas reportadas o visibles, suelen ser roturas en uniones o tuberías de distribución, y el agua suele aparecer en la superficie en un corto período de tiempo, dependiendo del tamaño de la fuga y de la presión del agua (Baader et al., 2011).

Fugas no reportadas u ocultas, aquellas que poseen caudales mayores a 250 l/h a 50 m de presión, sin embargo, no suelen salir a la superficie, por lo que, únicamente pueden detectarse controlando el comportamiento de la red en una zona específica (Baader et al., 2011).

Fugas de fondo, poseen caudales menores a 250 l/h a 50 m de presión, por lo que suelen ser fugas muy pequeñas. Se considera que la mayoría de estas nunca se detectan y, por ende, no se reparan, hasta que se cambia la parte dañada. Son las causantes de un gran porcentaje de las pérdidas reales de agua ya que se producen por un largo tiempo (Baader et al., 2011).

2.1.2.2 Fugas aparentes

Se pueden clasificar según su origen, ya sea debido a medidores inexactos o contadores de flujo incorrectos, a errores en la toma de datos o su manejo, o a la existencia de consumos no autorizados o conexiones ilegales (Baader et al., 2011).

2.1.3 Métodos para el diagnóstico de fugas

El método más utilizado actualmente es el balance hídrico, sin embargo, también se pueden detectar mediante visitas y recorridos técnicos, la utilización de pruebas de presiones, o bajo instrumentos acústicos y no acústicos (Baader et al., 2011).

2.1.3.1 Balance hídrico

Un método utilizado para el diagnóstico de pérdidas es el propuesto por Cabrera et al. (1999), en su artículo “Auditoría volumétrica del abastecimiento urbano”, el cual parte de la obtención del caudal inyectado en un sistema de abastecimiento de agua potable, y realiza una evaluación, determinando así rendimientos, los cuales permiten obtener cuantitativamente la eficiencia del sistema.

Para dichos rendimientos, a más del caudal inyectado, se necesita conocer el porcentaje de agua consumida y el volumen no facturado o fugado, en un determinado período de tiempo, lo que permite equilibrar el volumen total y conocer las pérdidas existentes (Zúñiga, 2019).

Se utiliza el método propuesto por Cabrera et al. (1999) ya que no contempla pérdidas que pueden generarse previo al sistema de distribución, es decir, no considera caudal no controlado en depósitos, tanques, plantas, entre otras.

En base al método se presentan, a continuación, las variables que intervienen en este, considerando la existencia de 5 niveles y conociendo que se trata de un sistema arbóreo, es decir, los niveles superiores abarcan a los inferiores, por lo tanto, Cabrera et al. (1999) determina:

- Nivel 0: Caudal total
 - Q: Caudal inyectado
- Nivel 1: Eficiencia de gestión
 - Qr: Caudal registrado
 - Qi: Caudal incontrolado

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

- Nivel 2: Estado de la red y de sus acometidas
 - Qic: Caudal incontrolado, pero consumido por los usuarios
 - Qif: Caudal incontrolado y perdido por las fugas en el sistema

$$Qif = Q - (Qr + Qic) \quad (2)$$

- Nivel 3: Eficiencia de la medida
 - Qica: Caudal incontrolado, consumido y no medido por ausencia de contadores.
 - Qice: Caudal incontrolado, consumido y no registrado por errores en las medidas.
- Nivel 4: Control de acometidas
 - Qical: Caudal incontrolado, consumido y no medido por ausencia de contadores en una acometida legal.
 - Qcai: Caudal incontrolado, consumido y no medido por ausencia de contadores en acometida ilegal.

Finalizando con el cálculo del caudal que ha sido suministrado a los usuarios, mismo que se obtiene a partir de la siguiente ecuación, dada por Cabrera et al. (1999):

$$Qs = Qr + Qic = Q - Qif \quad (3)$$

En cuanto a los rendimientos, Cabrera et al. (1999) los clasifica de 3 maneras:

- Rendimiento global del sistema (η_s), siendo la relación entre el caudal registrado y el caudal inyectado.

$$\eta_s = \frac{Qr}{Q} \quad (4)$$

- Rendimiento de la red (η_r), es la relación entre el caudal suministrado y el caudal inyectado.

$$\eta_r = \frac{Qs}{Q} \quad (5)$$

- Rendimiento de la gestión técnico-administrativa (η_g), siendo la relación entre el caudal registrado y el caudal suministrado.

$$\eta_g = \frac{Qr}{Qs} \quad (6)$$

2.2 Estado del arte

Las fugas se comprenden como salidas de agua no controlada a través de los aparatos que conforman el sistema de distribución de agua potable, produciéndose con mayor frecuencia en uniones entre tuberías y codos, por roturas o por agrietamientos (Fuentes Mariles et al., 2011). A nivel latinoamericano los porcentajes de agua incontrolados fugados están ubicados entre el 55 % y el 65 %, considerando que varios de los datos recolectados presentan ciertas alteraciones debido a la complejidad en su cálculo (García, 2020).

El Ecuador presenta un Índice de agua no contabilizada (IANC) que va del 30 % hasta el 60 % para el año 2015, produciendo pérdidas económicas estimadas de \$ 100 000 000

(García, 2020). En los valores presentados por el ARCA (2018), para los cantones Chimbo y San Miguel, se tienen porcentajes de 41.45 % y 100 % de IANC respectivamente, lo que evidencia que el cantón San Miguel no proporcionó los datos necesarios para la realización de esta evaluación. De acuerdo a los datos presentados por el ARCA (2019), los cantones de Chimbo y San Miguel variaron su categoría debido a que Chimbo cuenta con un 50.84 % de IANC, mientras que el cantón San Miguel no se encuentra dentro del rango evaluado, por lo que no se muestran datos del cantón. Del mismo modo, según el ARCA (2020), ninguno de los cantones de estudio estuvo dentro del rango, por lo que no se evidencia dato alguno. Según el ARCA (2021) el porcentaje de agua no contabilizada para las localidades de Chimbo y San Miguel están en 59.31 % y 46.77 % respectivamente, colocándolos en categorías B y C de acuerdo a los indicadores de calidad de agua. De acuerdo a los boletines estadísticos anuales, realizados por el ARCA en el periodo 2018 a 2021, la variación del comportamiento de los cantones es drástico, particularmente en el cantón San Miguel, puesto que únicamente se presentan datos para el último año, lo que no permite realizar un contraste adecuado. El cantón Chimbo muestra una mejor gestión de datos, puesto que el único año donde presentaron inconvenientes fue el año 2020.

En los cantones Guano y Chambo se presentaron promedios de agua no contabilizada de 50.79 % y de 75.75 % respectivamente, lo que las coloca en una categoría C para el cantón Guano y D para el cantón Chambo, considerando los estándares estipulados por el ARCA en el boletín anual (Jaramillo & Oleas, 2022).

Para la disminución del caudal fugado en el cantón Guano, Zúñiga (2019) validó el modelo matemático existente en el municipio a cargo, mediante datos de presiones recolectados in situ y de volúmenes inyectados al sistema, mismos que sirvieron para identificar que existía una cantidad de agua perdida de 24.60 l/s y logrando disminuir hasta un valor 19.17 l/s mediante reducciones de presiones en la red, siendo esto replicable en otras localidades del país.

Del mismo modo Achache & Gómez (2022), para la ciudad de Riobamba, contabilizaron un total de pérdidas del 39 % en cuanto al agua no contabilizada del sistema en general, tomando el 31 % como fugas reales, lo que equivale a 18 684.58 m³ no facturados cada día, representando una pérdida económica de \$ 9 155.44 diarios, encareciendo considerablemente el valor de mantenimiento del sistema.

Así mismo el cantón Alausí presenta un promedio de caudal fugado del 28.06 % y pérdidas de hasta \$ 102 484.54 en el año 2021, mientras que el cantón Colta tiene un promedio de 50.73 % y una pérdida máxima de \$ 87 235.70 en el año 2018, considerando que estos valores están enfocados en las cabeceras cantonales (Saigua & Vimos, 2023).

En un estudio realizado por Rosero (2019), en el cantón de Pangua, provincia de Cotopaxi se recopiló información técnica y comercial, así como los caudales producidos y facturados de agua potable con el fin de verificar el agua fugada y no contabilizada, obteniendo un aproximado del 67,90 % de agua suministrada en el cantón que no estaba siendo registrada adecuadamente, atribuyendo como principal causa el material de las tuberías, ya que al ser de hierro y al haber propasado su tiempo de vida útil estas presentan fisuras.

Rosero (2019), sugiere la implementación de un programa de gestión de pérdidas, así como la instalación de micromedidores en el 20 % de usuarios que no cuentan con este servicio.

En el cantón Logroño, perteneciente a la provincia de Morona Santiago se evidencia un porcentaje fugado del 77.12 %, es decir, 73 418.01 m³ de agua potable, lo que deriva en pérdidas mayores a los \$ 10 000 anuales, puesto que la tarifa básica manejada por el GAD Municipal es de \$ 0.06 \$/m³ (Tapia, 2023).

En cuanto al cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Cedeño et al., (2021) indica que el sistema presenta un porcentaje de 72.24 % de caudal fugado, lo que indica una deficiente gestión por parte de la empresa de agua potable PORTOAGUAS, sugiriendo la implementación de nuevos medidores y la sectorización del sistema por redes.

Para el cantón Rumiñahui, (Campaña & Ortega, 2016), analizaron y determinaron las pérdidas de agua potable, a partir de la recolección de caudales de conducción, abastecimiento y desborde, contrastando los volúmenes inyectados con los facturados, dando como resultado una pérdida de alrededor del 33 %, del cual el 23.83 % se debe a pérdidas por fugas.

Resultando en un patrón repetitivo, puesto que, al tener porcentajes altos de agua no contabilizada o fugada, se evidencia un gran problema de gestión, derivando en un grave perjuicio para las entidades y, por ende, para los usuarios.

También se debe considerar la existencia de un porcentaje de caudal fugado determinado como óptimo o aceptable, puesto que ningún sistema de abastecimiento puede funcionar de manera completamente ideal, algo en lo que coinciden todos los autores y este depende de la población de estudio, la cobertura y el número de usuarios.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Este proyecto de investigación busca comprender la incidencia y los efectos de las fugas de agua potable en la red de abastecimiento de los cantones Chimbo y San Miguel, pertenecientes a la provincia de Bolívar, por lo que, para lograrlo, se recopilan datos históricos necesarios para la realización del balance hídrico, con ayuda de las entidades correspondientes, de acuerdo al diagrama de flujo representado en la figura 3.

Para esto se emplea un enfoque mixto que combina elementos cuantitativos y cualitativos, siendo así que la parte cuantitativa se enfoca en la recolección y análisis de datos para calcular los balances hídricos y los rendimientos volumétricos, con el fin de determinar la cantidad de agua no controlada y fugada, mientras que la parte cualitativa se basa en la asignación de categorías para conocer el estado real del sistema de abastecimiento, esto de acuerdo a la clasificación dada por la ARCA y por el International Water Association (IWA).

De acuerdo a esto, se presenta en la figura 3 el esquema que se seguirá para culminar con el informe de investigación.

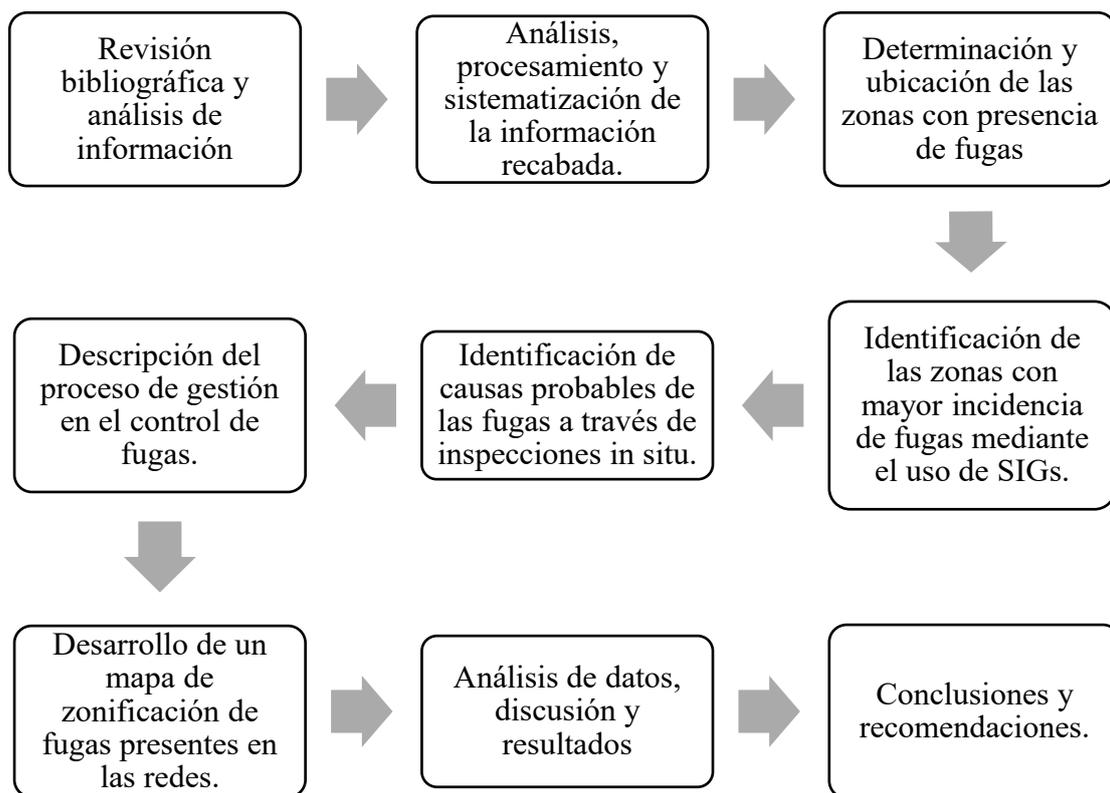


Figura 3. Esquema de la metodología.

En base a esto, se determina el alcance de la investigación, el cual es descriptivo y explicativo, esto ya que, mediante la recopilación de información se conceptualiza el problema planteado y se coloca la interpretación adecuada para su fácil entendimiento, a más de que se colocan las características existentes.

3.2 Población de estudio

Los objetos de estudio son los usuarios registrados en el catastro de beneficiarios del servicio de agua potable en los cantones Chimbo y San Miguel, por lo que los datos recabados corresponden a los caudales inyectados a cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable, y a los caudales registrados mensualmente, considerando las conexiones de diferentes categorías, siendo estas, domiciliarias, comerciales, especiales, entre otras.

Lo datos tomados corresponden a los períodos, en el caso de Chimbo, desde julio de 2020 hasta diciembre del 2022, y de San Miguel desde enero de 2018 hasta diciembre de 2022, tanto de los volúmenes registrados como de los facturados.

3.3 Recopilación de información

Existe un conflicto en la recepción de la información solicitada, puesto que en el cantón Chimbo cuenta con datos tan solo desde julio del 2020 y en San Miguel no existen datos de los valores recaudados por redes de los años 2018, 2019, 2020 y 2021.

Tampoco se puede acceder a los catastros debido a un fallo del sistema, por lo que se realiza un análisis específico para cada caso.

3.3.1 Sistema de red de distribución de agua potable del cantón Chimbo

En la figura 4 se presenta el sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Chimbo y la red existente, lo que evidencia la cobertura actual.

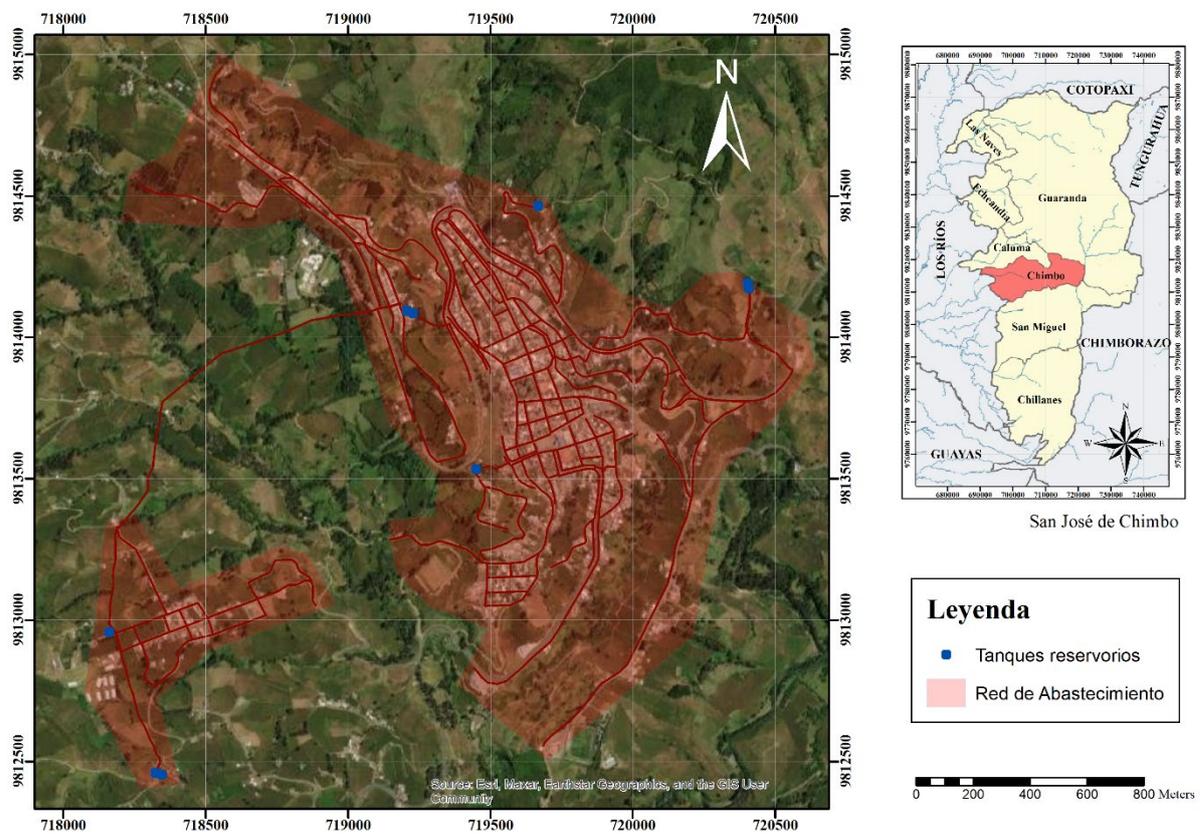


Figura 4. Cobertura red de distribución cantón Chimbo.

3.3.1.1 Caudal inyectado (Q)

En la tabla 1 se presentan los valores de los caudales inyectados mensualmente al sistema a partir de julio de 2020 hasta diciembre de 2022.

Para su registro y control se utiliza el método de vertedero debido a que no cuentan con macromedidores a la salida de los tanques de reserva.

Tabla 1.

Caudal inyectado mensualmente en el cantón Chimbo (m³/mes).

Mes	2020	2021	2022
Enero	-	109 279.33	94 466.04
Febrero	-	109 752.04	89 894.44
Marzo	-	118 645.72	95 746.88
Abril	-	98 168.11	91 714.49
Mayo	-	108 915.58	85 815.19
Junio	-	106 203.82	89 406.14
Julio	121 257.45	110 818.50	94 331.36
Agosto	139 737.20	126 908.01	90 088.63
Septiembre	152 999.79	85 879.43	89 219.50
Octubre	144 432.92	112 266.10	95 061.36
Noviembre	125 079.56	96 511.66	96 511.66
Diciembre	128 482.85	101 216.74	106 845.61
Total	811 989.77	1 284 565.04	1 119 101.29
Promedio	135 331.63	107 047.09	93 258.44

Fuente. (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

3.3.1.2 Caudal registrado (Qr)

En la tabla 2 se muestran los valores de los caudales de agua registrados mensualmente a partir de julio del 2020 hasta diciembre del 2022.

Tabla 2.

Caudales mensuales registrado en el cantón Chimbo (m³/mes).

Mes	2020	2021	2022
Enero	-	44 784	46 045
Febrero	-	41 794	39 048
Marzo	-	39 782	41 072
Abril	-	42 336	54 288
Mayo	-	43 113	59 733
Junio	-	46 180	59 723
Julio	46 900	47 867	46 018
Agosto	43 702	50 410	52 900
Septiembre	50 506	47 759	57 794
Octubre	39 271	42 856	50 320
Noviembre	44 006	39 307	51 863
Diciembre	45 238	45 382	58 616
Total	269 623	531 570	608 420
Promedio	44 937.17	44 297.50	50 701.67

Fuente. (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

3.3.2 Sistema de red de distribución de agua potable del cantón San Miguel

En el caso del cantón San Miguel se realizan dos análisis, debido al desconocimiento del número exacto de usuarios por categoría y red, en el período 2018-2021, por problemas con el sistema utilizado en la EPMAPA San Miguel, lo que imposibilita la clasificación por redes de los volúmenes facturados, por lo que se inicia con un balance hídrico general del sistema de abastecimiento en el período previamente mencionado y, únicamente se clasifica por redes en el año 2022.

En la figura 5 se muestran las 7 redes de distribución existentes en el cantón San Miguel y la cobertura de cada una de ellas.

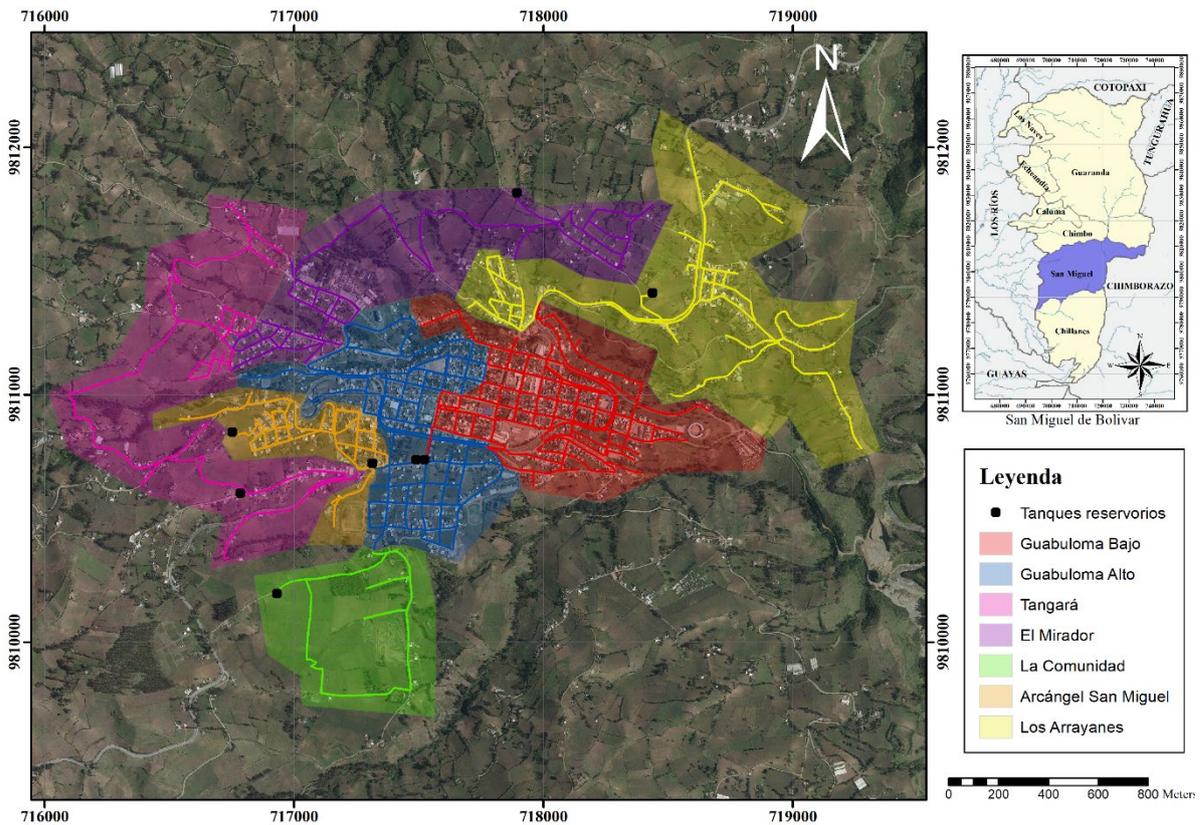


Figura 5. Cobertura redes de distribución cantón San Miguel

Sabiendo que las redes que componen el sistema, de acuerdo a la EPMAPA San Miguel (2022), son:

- **Red 1 (Guabuloma Bajo)**, abastece a 979 usuarios, con 2 tanques reservorios, un circular y un rectangular, con capacidades de 200 m³ y 100 m³ respectivamente.
- **Red 2 (Guabuloma Alto)**, abastece a 620 usuarios, con 1 tanque reservorio circular de 400 m³ de capacidad.
- **Red 3 (Tangará)**, abastece a 279 usuarios, con 1 tanque reservorio rectangular de 400 m³ de capacidad.
- **Red 4 (El Mirador)**, abastece a 293 usuarios, con 1 tanque reservorio rectangular de 200 m³ de capacidad.
- **Red 5 (La Comunidad)**, abastece a 31 usuarios, con 1 tanque reservorio rectangular de 150 m³ de capacidad.

- **Red 6 (Arcángel de San Miguel)**, abastece a 453 usuarios, con 1 tanque reservorio rectangular de 100 m³ de capacidad.
- **Red 7 (Arrayanes)**, abastece a 614 usuarios, con 1 tanque reservorio rectangular de 100 m³ de capacidad.

3.3.2.1 Caudal inyectado (Q)

En la tabla 3 se presentan los valores de los caudales inyectados mensualmente al sistema a partir de enero de 2018 hasta diciembre de 2021, de manera general.

Tabla 3.

Caudal inyectado mensualmente en el cantón San Miguel (m³/mes), período 2018-2021.

Mes	2018	2019	2020	2021
Enero	93 744.00	93 208.32	93 744.00	92 404.80
Febrero	84 188.16	84 188.16	87 696.00	83 462.40
Marzo	92 404.80	93 208.32	93 208.32	92 404.80
Abril	90 720.00	90 720.00	90 720.00	89 424.00
Mayo	93 744.00	93 476.16	93 744.00	93 074.40
Junio	88 128.00	90 720.00	88 128.00	90 072.00
Julio	92 404.80	93 742.00	93 449.38	93 074.40
Agosto	93 744.00	93 744.00	93 744.00	93 342.24
Septiembre	90 720.00	90 460.80	90 512.64	90 331.20
Octubre	93 476.16	93 476.16	93 529.73	93 342.24
Noviembre	90 460.80	90 461.80	88 387.20	90 331.20
Diciembre	93 744.00	93 744.00	91 333.44	93 744.00
Total	1 097 478.72	1 101 150.72	1 098 196.70	1 095 007.68
Promedio	91 456.56	91 762.56	91 516.39	91 250.64

Fuente. (EPMAPA San Miguel, 2022).

En la tabla 4 se presentan los valores de los caudales inyectados mensualmente a cada una de las redes existentes, desde el mes de enero hasta diciembre del 2022, considerando que la institución cuenta con macromedidores a la salida de los tanques.

Tabla 4.

Caudal inyectado mensualmente en el cantón San Miguel (m³/mes), año 2022.

Mes	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4	Red 5	Red 6	Red 7
Ene-22	28 034	17 754	7 989	8 390	888	12 972	17 582
Feb-22	25 321	16 036	7 216	7 578	802	11 717	15 881
Mar-22	28 034	17 754	7 989	8 390	888	12 972	17 582
Abr-22	27 130	17 181	7 732	8 120	859	12 554	17 015
May-22	28 034	17 754	7 989	8 390	888	12 972	17 582
Jun-22	27 130	17 181	7 732	8 120	859	12 554	17 015
Jul-22	27 994	17 729	7 978	8 378	886	12 953	17 557
Ago-22	27 992	17 731	7 975	8 379	888	12 953	17 557
Sep-22	27 091	17 157	7 721	8 108	858	12 536	16 991
Oct-22	27 996	17 727	7 970	8 381	891	12 953	17 557
Nov-22	27 091	17 157	7 721	8 108	858	12 536	16 991
Dic-22	28 074	17 780	8 001	8 402	889	12 991	17 607
Total	329 921	208 941	94 013	98 744	10 454	152 663	206 917
Promedio	27 493	17 412	7 834	8 229	871	12 722	17 243

Fuente. (EPMAPA San Miguel, 2022).

3.3.2.2 Caudal registrado (Qr)

En la tabla 5 se muestran los valores de los caudales de agua registrados mensualmente, a partir del mes de enero del 2018 hasta diciembre del 2021.

Tabla 5.

Caudal registrado mensualmente en el cantón San Miguel (m³/mes), período 2018-2021.

Mes	2018	2019	2020	2021
Enero	43 729.00	48 460.00	53 967.00	56 273.00
Febrero	53 686.00	43 928.00	43 696.00	52 602.00
Marzo	37 158.00	46 927.00	43 629.00	51 719.00
Abril	48 580.00	43 010.00	50 169.00	59 826.00
Mayo	44 615.00	42 601.00	38 819.00	139 374.00
Junio	45 991.00	39 732.00	34 602.00	46 324.00
Julio	46 618.00	38 932.00	52 562.00	50 021.00
Agosto	47 333.00	48 734.00	87 069.00	51 576.00
Septiembre	45 394.00	43 185.00	102 633.00	52 069.00
Octubre	50 249.00	44 680.00	102 461.00	44 047.00
Noviembre	48 755.00	53 088.00	289 805.00	52 635.00
Diciembre	40 726.00	51 033.00	58 291.00	45 635.00
Total	552 834.00	544 310.00	957 703.00	702 101.00
Promedio	46 069.50	45 359.17	79 808.58	58 508.42

Fuente. (EPMAPA San Miguel, 2022).

En la tabla 6 se presentan los valores de los caudales registrados mensualmente a cada una de las redes, desde el mes de enero hasta diciembre del 2022.

Tabla 6.

Caudal registrado mensualmente en el cantón San Miguel (m³/mes), año 2022

Mes	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4	Red 5	Red 6	Red 7
Ene-22	18 877	12 273	5 240	6 098	604	8 825	11 767
Feb-22	15 449	10 044	4 289	4 990	494	7 222	9 629
Mar-22	16 258	10 570	4 513	5 252	520	7 601	10 134
Abr-22	16 253	10 567	4 512	5 250	520	7 598	10 131
May-22	15 754	10 242	4 373	5 089	504	7 365	9 820
Jun-22	15 255	9 918	4 235	4 928	488	7 132	9 509
Jul-22	13 783	8 961	3 826	4 452	441	6 443	8 591
Ago-22	16 742	10 885	4 648	5 408	536	7 827	10 435
Sep-22	17 243	11 210	4 787	5 570	552	8 061	10 748
Oct-22	16 019	10 415	4 447	5 174	512	7 489	9 985
Nov-22	17 168	11 162	4 766	5 545	549	8 026	10 701
Dic-22	16 881	10 976	4 686	5 453	540	7 892	10 523
Total	195 681	127 223	54 322	63 208	6 260	91 479	121 973
Promedio	16 307	10 602	4 527	5 267	522	7 623	10 164

Fuente. (EPMAPA San Miguel, 2022).

3.4 Análisis de datos

Para el cálculo del caudal incontrolado (Qic), se inicia con el caudal incontrolado consumido y no medido por ausencia de contadores (Qica), por lo que, tanto en el cantón Chimbo como en San Miguel, se debe realizar un análisis de las conexiones existentes pero que no cuentan con medidor, de cualquier categoría, para obtener un caudal consumido asumido.

En base a esto y utilizando las dotaciones para edificaciones de uso específico planteadas por el MIDUVI (2011) en la Norma NEC 11, capítulo 16, considerando que se utilizan las dotaciones mínimas permitidas, al ser las utilizadas por los municipios en sus PDyOT, se aplican las fórmulas 1,2 y 3 y se obtiene el Qic.

3.4.1 Sistema de red de distribución de agua potable del cantón Chimbo

3.4.1.1 Caudal incontrolado (Qic) cantón Chimbo

A partir del catastro de usuarios existente y de la toma de medidas, se determina las conexiones que no poseen medidor, de manera que se les pueda asignar una dotación específica que servirá para realizar el cálculo del Qica, clasificándoles a partir de su uso u ocupación.

En el cantón Chimbo, al no presentarse variaciones o cambios drásticos en los valores obtenidos de las mediciones mensuales y, de acuerdo a lo indicado por Cabrera et al. (1999), se asume un valor de 0% como Qice al no tener los datos necesarios para su cálculo, siendo así que el Qica será igual al Qic.

Áreas recreativas y deportivas

En la tabla 7 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual en las áreas recreativas existentes en el cantón Chimbo.

Tabla 7.

Estimación del caudal mensual para áreas recreativas, cantón Chimbo

Nombre	Área [m ²]	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m ³ /mes]
Parque Central San José de Chimbo	5 110	L/m ² /día	2.00	0.12	306.60
Parque Infantil	1 226	L/m ² /día	2.00	0.03	73.56
Total					380.16

Espacios bajo competencia municipal

En la tabla 8 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual usado por los espacios y entidades que se encuentran bajo competencia municipal.

Tabla 8.

Estimación del caudal mensual para espacios bajo competencia municipal, cantón Chimbo

Nombre	Visitante	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m ³ /mes]
Cementerio San José de Chimbo	46	L/visitante/día	3.00	0.002	4.14
Mercado Municipal	38	L/puesto/día	100.00	0.04	114.00
Coliseo Deportivo Chimbo	27	L/concurrente/día	5.00	0.00	4.05
Palacio Municipal	93	L/personas/día	50.00	0.05	139.50
Palacio Municipal	39	L/personas/día	50.00	0.02	58.50
Planta de Agua	14	L/personas/día	50.00	0.01	21.00
Estadio de Puyuhuata	57	L/concurrente/día	5.00	0.003	8.55
Patronato del Niño	10	L/personas/día	50.00	0.01	15.00

Cancha Sintética	1 100	L/m2/día	2.00	0.03	66.00
Baños de cancha sintética	6	L/mueble sanitario/día	300	0.02	54.00
Total					484.74

Instituciones educativas

En la tabla 9 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual en instituciones educativas del cantón Chimbo.

Tabla 9.

Estimación del caudal mensual para instituciones educativas, cantón Chimbo.

Nombre	Visitante	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m ³ /mes]
Colegio Nocturno Chimbo	272	L/estudiante/día	20.00	0.06	163.20
Total					163.20

Particulares

En la tabla 10 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual de los establecimientos particulares y de las conexiones domiciliarias.

Tabla 10.

Estimación del caudal mensual para particulares, cantón Chimbo.

Nombre	Habitante	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m ³ /mes]
Conexiones domiciliarias	517	L/habitante/día	200.00	1.20	3 102.00
Sociedad de San José	9	L/personas/día	50.00	0.005	13.50
Sede de jubilados	18	L/personas/día	50.00	0.01	27.00
Sindicato de Obreros	12	L/personas/día	50.00	0.007	18.00
Total					3 160.50

Resumen Qic

Con los datos previamente obtenidos, en la tabla 11 se presentan los valores de caudales Qica, a utilizar en el balance hídrico del cantón Chimbo.

Tabla 11.

Caudales Qic, cantón Chimbo.

Nombre	Caudal [m ³ /mes]
Áreas recreativas y deportivas	380.16
Bajo competencias del municipio	484.74
Instituciones educativas	163.20
Particulares	3 160.50
Total	4 188.60

3.4.2 Sistema de red de distribución de agua potable del cantón San Miguel

3.4.2.1 Caudal incontrolado (Qic) período 2018-2021

Caudal Qice

De acuerdo a lo indicado por Cabrera et al. (1999), se considera un valor de 5% como Qice, esto debido a los errores existentes en la toma de medidas, evidenciados en la variación drástica de los valores obtenidos, por lo cual este valor se añade al cálculo de Qic.

Áreas recreativas y deportivas

En la tabla 12 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual usado en áreas recreativas y espacios verdes.

Tabla 12.

Estimación del caudal mensual para áreas recreativas, cantón San Miguel.

Nombre	Área [m ²]	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Caudal mensual [m ³ /mes]
Parque recreacional Infantil	3 120	L/m ² /día	2.00	0.07	187.20
Total					187.20

Espacios bajo competencia municipal

En la tabla 13 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual usado por los espacios y entidades que se encuentran bajo competencia municipal.

Tabla 13.

Estimación del caudal mensual para áreas recreativas, cantón San Miguel.

Nombre	Cantidad	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Volumen mensual [m ³]
Coliseo de Liga Cantonal de San Miguel	35	L/concurrente/día	5.00	0.0020	5.25
Cementerio Municipal	71	L/visitante/día	3.00	0.0025	6.39
Plaza de Toros	50	L/concurrente/día	5.00	0.0029	7.50
Plaza 10 de Enero	2 664	L/m ² /día	2.00	0.06	159.84
Parque Central de San Miguel de Bolívar	4 500	L/m ² /día	2.00	0.10	270.00
Estadio de San Miguel de Bolívar	700	L/m ² /día	2.00	0.22	582.00
Palacio Municipal	115	L/personas/día	6.00	0.01	20.70
Total					1 051.68

Particulares

En la tabla 14 se presenta la dotación utilizada para el cálculo del caudal mensual usado por particulares, considerando el valor de dotación usado en el PDyOT del cantón.

Tabla 14.

Estimación del caudal mensual usado por particulares, cantón San Miguel.

Nombre	Usuarios	Habitante	Unidad	Dotación	Dotación [l/s]	Volumen mensual [m ³]
Doméstico	470	1 974	L/habitante/día	200.00	4.57	11 844.00
Especial	173	727	L/habitante/día	200.00	1.68	4 362.00
Discapacidad	9	38	L/habitante/día	200.00	0.09	228.00
Tercera edad	42	176	L/habitante/día	200.00	0.41	1 056.00
Total						17 49.000

Resumen Qic

En la tabla 15 se muestra el resumen de los valores a utilizar en el cálculo del Qic.

Tabla 15.

Estimación del caudal mensual para el cálculo del Qic, cantón San Miguel.

Nombre	Caudal [m ³ /mes]
Áreas recreativas y deportivas	187.20
Bajo competencias del municipio	1 051.68
Particulares	17 490.00
Total	18 728.88

3.4.2.2 Caudal incontrolado (Qic) año 2022

Para el período del año 2022 no se han presentado datos atípicos en las tomas de mediciones mensuales, por lo cual se considera el 0% del caudal Qice.

A más de eso, se determina cada una de las conexiones, de acuerdo a su uso u ocupación, existente en cada red del sistema, por lo que se presenta en la tabla 16 los valores de los caudales estimados.

Tabla 16.

Estimación del caudal mensual para el cálculo de Qic, cantón San Miguel.

Nombre	Red 1 m ³ /mes	Red 2 m ³ /mes	Red 3 m ³ /mes	Red 4 m ³ /mes	Red 5 m ³ /mes	Red 6 m ³ /mes	Red 7 m ³ /mes
Áreas recreativas	-	-	-	-	-	-	187.20
Competencias del municipio	289.14	180.54	-	-	-	582.00	-
Particulares	4 008.00	4 662.00	1 308.00	1 110.00	174.00	2 646.00	3 450.00
Total	4 297.14	4 842.54	1 308.00	1 110.00	174.00	3 228.00	3 637.20

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Cantón Chimbo

4.1.1.1 Balance hídrico anual

Se presenta el caudal inyectado (Q), registrado (Qr) e incontrolado (Qi), siendo este último la diferencia de los anteriores, en la tabla 17.

Tabla 17.

Balance hídrico cantón Chimbo

Mes	2020			2021			2022		
	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]
Enero	-	-	-	109 279.33	44 784	64 495.33	94 466.04	46 045	48 421.04
Febrero	-	-	-	109 752.04	41 794	67 958.04	89 894.44	39 048	50 846.44
Marzo	-	-	-	118 645.72	39 782	78 863.72	95 746.88	41 072	54 674.88
Abril	-	-	-	98 168.11	42 336	55 832.11	91 714.49	54 288	37 426.49
Mayo	-	-	-	108 915.58	43 113	65 802.58	85 815.19	59 733	35 082.19
Junio	-	-	-	106 203.82	46 180	60 023.82	89 406.14	59 723	29 683.14
Julio	121 257.45	46 900	74 357.45	110 818.50	47 867	62 951.50	94 331.36	46 018	48 313.35
Agosto	139 737.20	43 702	96 035.20	126 908.01	50 410	76 498.01	90 088.63	52 900	37 188.63
Septiembre	152 999.79	50 506	102 493.79	85 879.43	47 759	38 120.43	89 219.50	57 794	31 425.50
Octubre	144 432.92	39 271	105 161.92	112 266.10	42 856	69 410.10	95 061.36	50 320	44 741.36
Noviembre	125 079.56	44 006	81 073.56	96 511.66	39 307	57 204.66	96 511.66	51 863	44 648.66
Diciembre	128 482.85	45 238	83 244.85	101 216.74	45 382	55 834.74	106 845.61	58 616	48 229.61
Total	811 989.77	269 623.00	542 366.77	1 284 565.04	531 570.00	752 995.04	1 119 101.29	608 420.00	510 681.29
Promedio	135 331.63	44 937.17	90 394.46	107047.09	44 297.50	62 749.59	93258.44	50 701.67	42 556.77

De acuerdo a esto, se presenta un diagrama de barras con los caudales inyectados, registrados e incontrolados, de manera anual, en la figura 6.

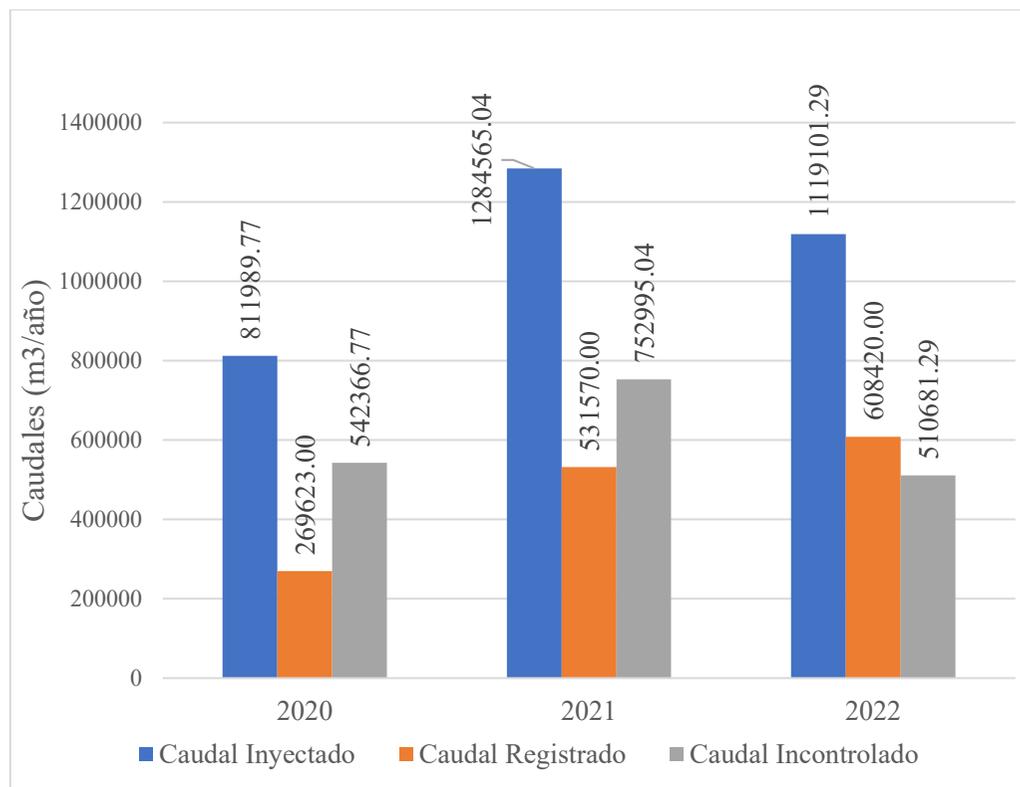


Figura 6. Balance hídrico anual del cantón Chimbo

Como se evidencia en la figura 6, en los años 2020 y 2021, los caudales registrados son muy inferiores a los caudales incontrolados, sin embargo, en el año 2022 esto cambia, lo que significa una gran mejora en el manejo de la red y reduce las pérdidas producidas por el caudal fugado en el cantón.

4.1.1.2 Caudal de agua fugada (porcentaje)

En la tabla a continuación, se presentan los valores obtenidos caudal incontrolado fugado (Qif) obtenido a partir de la aplicación de la ecuación 2.

Tabla 18.

Porcentaje de agua fugada cantón Chimbo

Mes	2020				2021				2022			
	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]
Enero	-		-	-	64 495.33		60 306.73	55%	48 421.04		44 232.44	47%
Febrero	-		-	-	67 958.04		70 601.88	64%	50 846.44		51 656.90	57%
Marzo	-		-	-	78 863.72		74 675.12	63%	54 674.88		50 486.28	53%
Abril	-		-	-	55 832.11		53 364.96	54%	37 426.49		34 345.82	37%
Mayo	-		-	-	65 802.58		61 613.98	57%	35 082.19		30 893.59	36%
Junio	-		-	-	60 023.82	4 188.60	57 696.40	54%	29 683.14	4 188.60	26 344.36	29%
Julio	74 357.45		70 168.85	58%	62 951.50		58 762.90	53%	48 313.35		44 124.76	47%
Agosto	96 035.20		91 846.60	66%	76 498.01		72 309.41	57%	37 188.63		33 000.03	37%
Septiembre	102 493.79	4 188.60	101 582.03	66%	38 120.43		35 062.89	41%	31 425.50		28 144.79	32%
Octubre	105 161.92		100 973.32	70%	69 410.10		65 221.50	58%	44 741.36		40 552.76	43%
Noviembre	81 073.56		79 447.79	64%	57 204.66		54 783.26	57%	44 648.66		41 808.73	43%
Diciembre	83 244.85		79 056.25	62%	55 834.74		51 646.14	51%	48 229.61		44 041.01	41%
Total	542 366.77	25 131.60	523 074.84	385%	752 995.04	50 263.20	716 045.17	664%	510 681.29	50 263.20	469 631.45	502%
Promedio	90 394.46	4188.60	87 179.14	64%	62 749.59	4 188.60	59 670.43	55%	42 556.77	4 188.60	39 135.95	42%

Con los datos obtenidos se presenta en la figura 7 una línea de tendencia de los valores obtenidos, contrastando el caudal inyectado, el registrado y el incontrolado fugado.

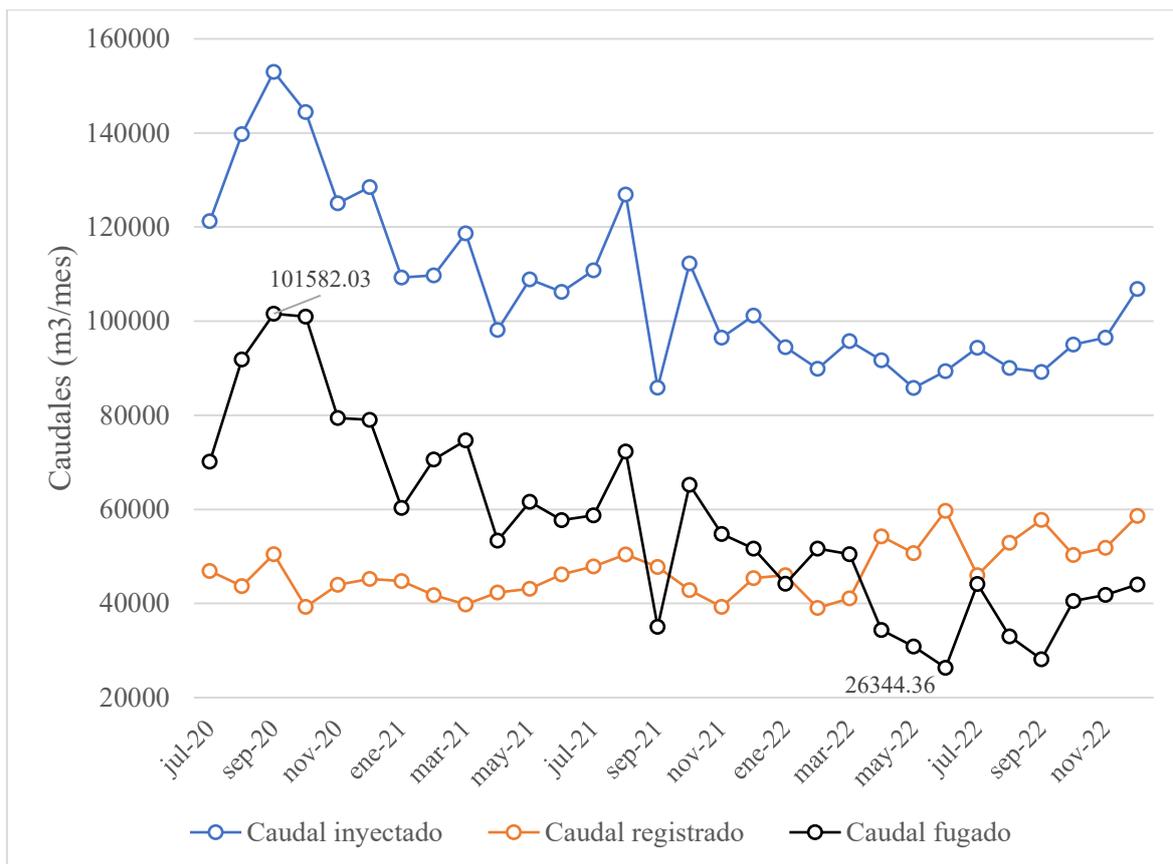


Figura 7. Balance hídrico y caudal fugado del cantón Chimbo

4.1.1.3 Rendimiento de la red

Con los datos previamente obtenidos, se calculan los porcentajes de rendimiento global, de la red, y de la medición técnica-administrativa, mostrados en la tabla 19.

A más de eso, se otorga una calificación cualitativa al estado del sistema de acuerdo a lo planteado por Cabrera et al. (1999), considerando únicamente el porcentaje de rendimiento global, tal como se presenta en la tabla 19 y en la figura 8.

Tabla 19.

Rendimientos volumétricos de la red cantón Chimbo.

Año	Global (η_s)	De red (η_r)	Medición técnica – administrativa (η_g)	Estado global del sistema
2020	33.21%	35.58%	93.32%	Inaceptable
2021	41.38%	44.26%	93.50%	Inaceptable
2022	54.37%	58.03%	93.68%	Malo

Mostrando en la figura 8 mediante un diagrama de barras los resultados obtenidos, evidenciando que en el año 2020 y 2021 poseen un estado inaceptable, y mejora en el año 2022 hasta un estado malo.

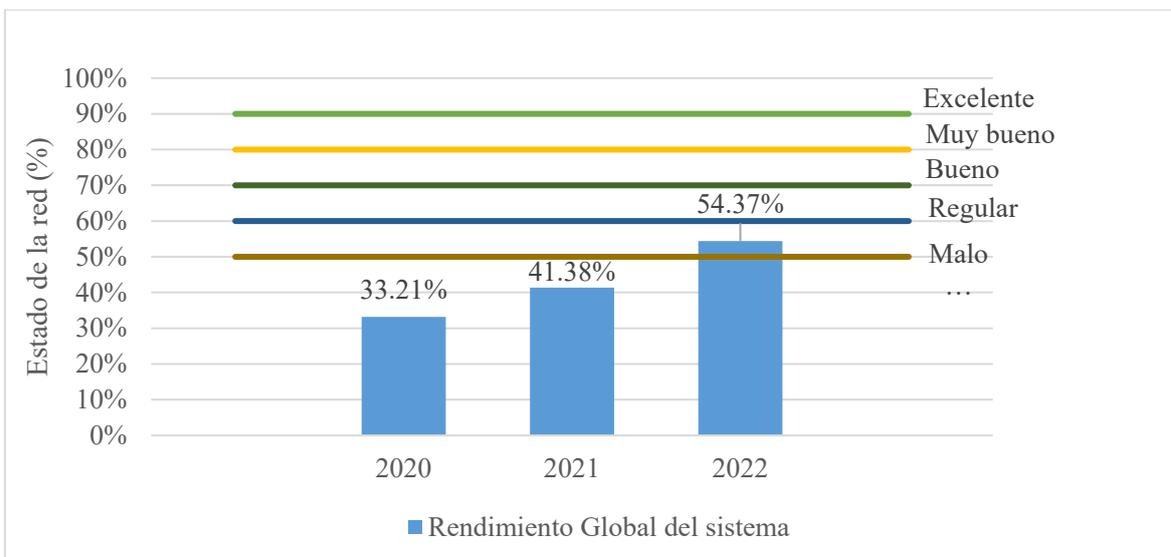


Figura 8. Estado de la red y rendimientos, cantón Chimbo.

4.1.1.4 Cálculo del índice de agua no contabilizada (IANC)

En la figura 9 se presenta los índices de agua no contabilizada de período 2020-2022 del cantón Chimbo y los límites de clasificación de los rangos impuestos por el ARCA, así como del promedio a nivel nacional.

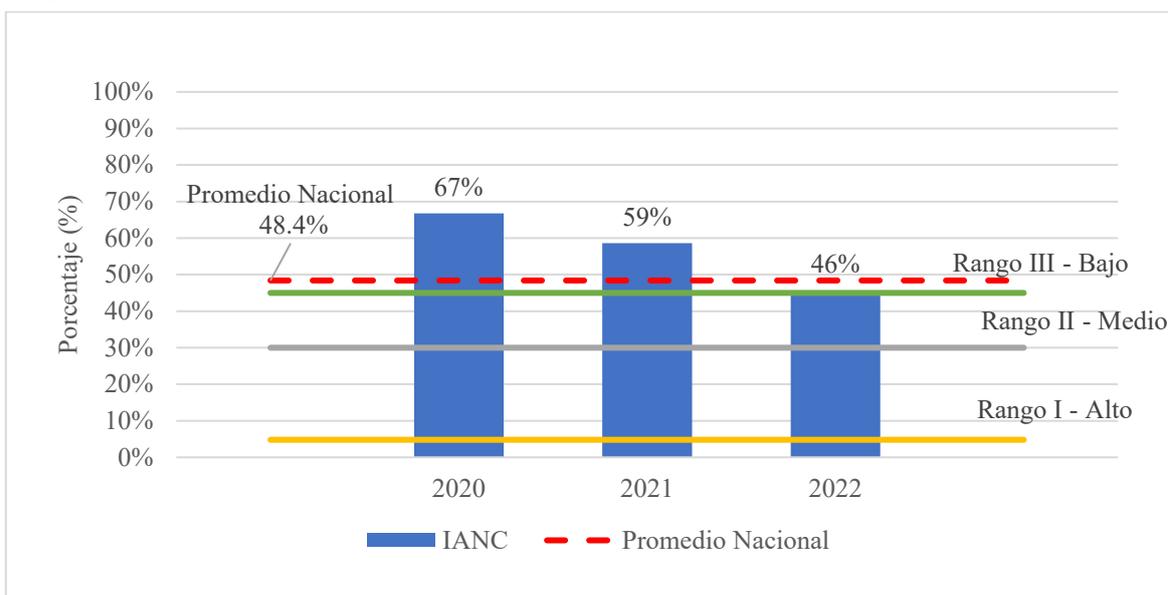


Figura 9. Índice de agua no contabilizada por año – Chimbo.

4.1.1.5 Cálculo de las pérdidas económicas producidas y estimación del incremento de cobertura en el sistema de abastecimiento

Con los valores previamente obtenidos del caudal fugado en la red, se visualiza la importancia de conocer el estimado económico de pérdidas que genera el problema de fugas.

En la tabla 20 se presentan los volúmenes de agua fugados y las pérdidas económicas anuales producidas por estos, considerando para su cálculo la tarifa básica de cobro por metro cúbico especificada y utilizada por la EPMAPA Cantón Chimbo (2022), siendo este valor de 0.08 \$/m³.

Tabla 20.

Pérdidas económicas anuales producidas en el cantón Chimbo.

Año	Volumen fugado anual [m³]	Tarifa básica [\$/m³]	Pérdidas económicas
2020	523 074.84	\$0.08	\$41 845.99
2021	716 045.17	\$0.08	\$57 283.61
2022	469 631.45	\$0.08	\$37 570.52
Total	1 708 751.46	\$0.08	\$136 700.12

Así mismo, utilizando la dotación propuesta por el GADM Chimbo (2019) en el PDyOT del cantón, misma que se basa en las dotaciones estipuladas en la NEC 11, capítulo 16, se estima el número de nuevos habitantes que podrían ser beneficiarios del servicio, a más de eso, utilizando el promedio de habitantes por casa dado en la INEC (2022), se calcula el número de usuarios nuevos, como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21.

Estimación de nuevos usuarios en el cantón Chimbo

Año	Volumen fugado anual [m³]	Dotación (l/hab/día)	Habitantes abastecidos	Usuarios nuevos	% incremento poblacional
2020	523 074.84	200	7 165.00	1 706	45.41%
2021	716 045.17	200	9 809.00	2 335	62.16%
2022	469 631.45	200	6 433.00	1 532	40.77%

Al tener un porcentaje de cobertura actual, de tan solo el 52.5% en la zona rural y, con el porcentaje obtenido en la tabla 21, se podría asumir que la cobertura del servicio podría ampliarse hasta más del 90% de la población rural.

Este resultado se obtiene considerando únicamente la dotación estipulada por la norma NEC 11 en el capítulo 16 y utilizada por la EPMAPA Cantón Chimbo en su PDyOT, sin embargo, de acuerdo a su población y clima, el valor de la dotación por habitante, pese a estar dentro del rango, se encuentra subdimensionado, según lo mencionado por Arellano et al. (2018), en donde proponen que, para una población de 20 000 habitantes la dotación debería ser entre 200 y 250 l/hab/día y, para una población de 10 000 habitantes la dotación máxima debería ser de 240 l/hab/día, e indican que, al realizar un diseño con el valor mínimo, el sistema no será capaz de abastecer las necesidades de los usuarios, puesto que, al ser cantones pequeños, los pobladores suelen regresar en varias ocasiones a sus domicilios, incrementando el valor diario de consumo de agua potable.

4.1.2 Cantón San Miguel

4.1.2.1 Período 2018-2021 datos generales del sistema

Balance hídrico anual

En la tabla 22 se presenta el balance hídrico obtenido para el período 2018-2021 del cantón San Miguel.

Tabla 22.

Balance hídrico período 2018-2021 cantón San Miguel [m³/mes].

Mes	2018			2019			2020			2021		
	Q	Qr	Qi	Q	Qr	Qi	Q	Qr	Qi	Q	Qr	Qi
Enero	93 744	43 729	50 015	93 208	48 460	44 748	93 744	53 967	39 777	92 404	56 273	36 131
Febrero	84 188	53 686	30 502	84 188	43 928	40 260	87 696	43 696	44 000	83 462	52 602	30 860
Marzo	92 404	37 158	55 246	93 208	46 927	46 281	93 208	43 629	49 579	92 404	51 719	40 685
Abril	90 720	48 580	42 140	90 720	43 010	47 710	90 720	50 169	40 551	89 424	59 826	29 598
Mayo	93 744	44 615	49 129	93 476	42 601	50 875	93 744	38 819	54 925	93 074	139 374	-46 299
Junio	88 128	45 991	42 137	90 720	39 732	50 988	88 128	34 602	53 526	90 072	46 324	43 748
Julio	92 404	46 618	45 786	93 744	38 932	54 812	93 449	52 562	40 887	93 074	50 021	43 053
Agosto	93 744	47 333	46 411	93 744	48 734	45 010	93 744	87 069	6 675	93 342	51 576	41 766
Septiembre	90 720	45 394	45 326	90 460	43 185	47 275	90 512	102 633	-12 120	90 331	52 069	38 262
Octubre	93 476	50 249	43 227	93 476	44 680	48 796	93 529	102 461	-8 931	93 342	44 047	49 295
Noviembre	90 460	48 755	41 705	90 460	53 088	37 372	88 387	289 805	-201 417	90 331	52 635	37 696
Diciembre	93 744	40 726	53 018	93 744	51 033	42 711	91 333	58 291	33 042	93 744	45 635	48 109

Se evidencian problemas en los valores de las tomas de mediciones, particularmente en los meses de septiembre, octubre y noviembre 2020 y en mayo del 2021, puesto que los caudales facturados superan a los inyectados, y en agosto del año 2021, donde el valor del caudal registrado es muy alto, lo que, incluyendo el caudal Qica, generarán resultados negativos, es decir, se inyecta menos volumen del que se consume, algo imposible.

Para la realización del balance hídrico, en el caso de los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre del año 2020, se tomó el promedio obtenido entre los valores dados del año anterior y del año siguiente en los meses respectivos, es decir, del 2019 y del 2021, para obtener un valor estimado.

Para el caso de mayo 2021, al ser tan solo un mes, se consideró el valor del caudal del mayo del 2020.

Una vez obtenidos estos valores corregidos, se procede a realizar el balance hídrico nuevamente mostrado en la tabla 23.

Tabla 23.

Balance hídrico corregido, período 2018-2021, cantón San Miguel.

Mes	2018			2019			2020			2021		
	Q	Qr	Qi									
Enero	93 744	43 729	50 015	93 208	48 460	44 748	93 744	53 967	39 777	92 404	56 273	36 131
Febrero	84 188	53 686	30 502	84 188	43 928	40 260	87 696	43 696	44 000	83 462	52 602	30 860
Marzo	92 404	37 158	55 246	93 208	46 927	46 281	93 208	43 629	49 579	92 404	51 719	40 685
Abril	90 720	48 580	42 140	90 720	43 010	47 710	90 720	50 169	40 551	89 424	59 826	29 598
Mayo	93 744	44 615	49 129	93 476	42 601	50 875	93 744	38 819	54 925	93 074	38 819	54 255
Junio	88 128	45 991	42 137	90 720	39 732	50 988	88 128	34 602	53 526	90 072	46 324	43 748
Julio	92 404	46 618	45 786	93 744	38 932	54 812	93 449	52 562	40 887	93 074	50 021	43 053
Agosto	93 744	47 333	46 411	93 744	48 734	45 010	93 744	50155	43 589	93 342	51 576	41 766
Septiembre	90 720	45 394	45 326	90 460	43 185	47 275	90 512	47627	42 885	90 331	52 069	38 262
Octubre	93 476	50 249	43 227	93 476	44 680	48 796	93 529	44363	49 166	93 342	44 047	49 295
Noviembre	90 460	48 755	41 705	90 460	53 088	37 372	88 387	52861	35 525	90 331	52 635	37 696
Diciembre	93 744	40 726	53 018	93 744	51 033	42 711	91 333	58 291	33 042	93 744	45 635	48 109
Total	1 097 478	552 834	544 644	1 101 150	544 310	556 840	1 098 196	570 742	527 454	1 095 007	601 546	493 461
Promedio	91 456	46 069	45 387	91 762	45 359	46 403	91 516	47 561	43 954	91 250	50 128	41 121

Representando los valores obtenidos en la figura 10, en donde se evidencia en el año 2019 el caudal incontrolado sobrepasó al caudal registrado.

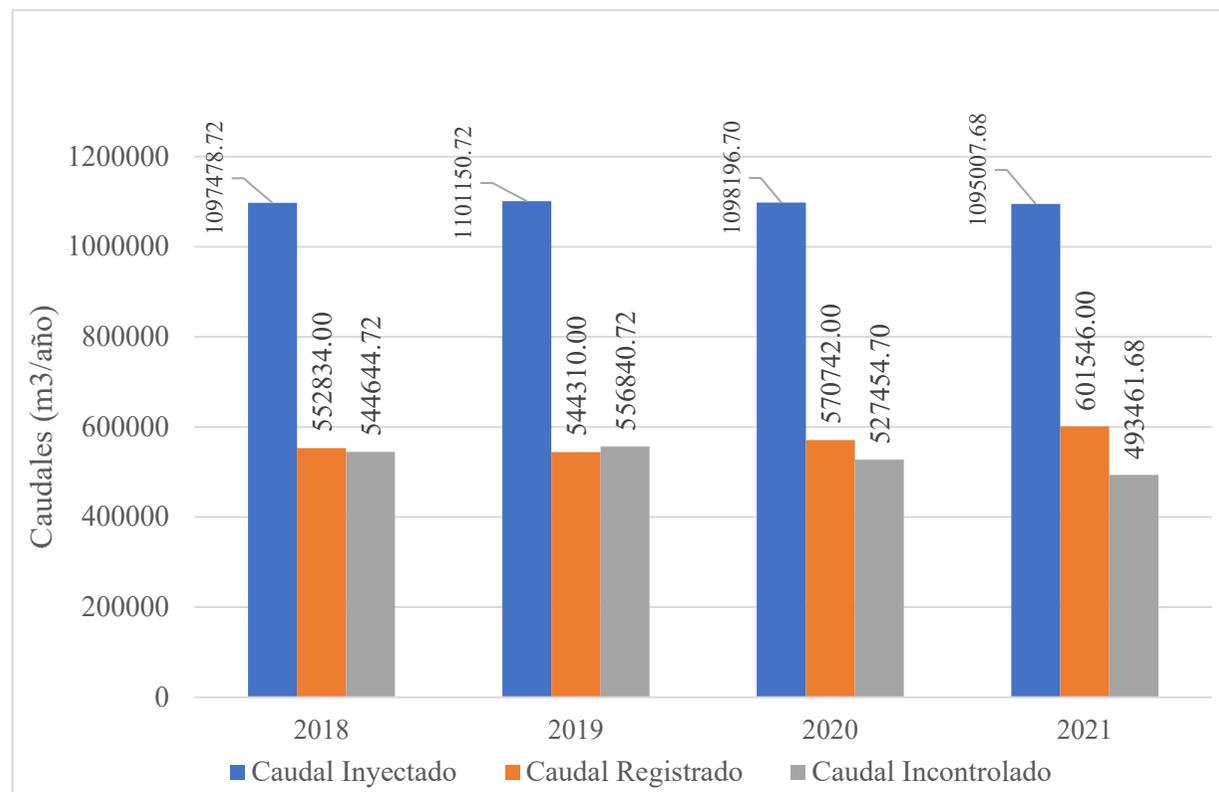


Figura 10. Balance hídrico anual corregido periodo 2018-2021.

Caudal anual de agua fugada (porcentaje)

En las tablas 24 y 25, se presentan los caudales incontrolados fugados (Q_{if}) obtenidos a partir de la ecuación 2.

Tabla 24.

Porcentaje de agua incontrolada fugada, periodo 2018-2019, cantón San Miguel.

Mes	2018					2019				
	Qi [m ³ /mes]	Qice [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qice [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]
Enero	50 015.00	4 687.20		26 598.92	28%	44 748.32	4660.42		21 359.02	23%
Febrero	30 502.16	4 209.41		8 374.29	10%	40 260.16	4209.41		19 177.79	23%
Marzo	55 246.80	4 620.24		31 897.68	35%	46 281.32	4660.42		22 892.02	25%
Abril	42 140.00	4 536.00		19 504.29	21%	47 710.00	4536.00		25 259.96	28%
Mayo	49 129.00	4 687.20		25 712.92	27%	50 875.16	4673.81		27 472.47	29%
Junio	42 137.00	4 406.40		19 635.11	22%	50 988.00	4536.00		28 647.22	32%
Julio	45 786.80	4 620.24	18 728.88	22 437.68	24%	54 812.00	4687.20	18 728.88	31 395.92	33%
Agosto	46 411.00	4 687.20		22 994.92	25%	45 010.00	4687.20		21 593.92	23%
Septiembre	45 326.00	4 536.00		22 796.49	25%	47 275.80	4523.04		24 824.68	27%
Octubre	43 227.16	4 673.81		19 824.47	21%	48 796.16	4673.81		25 393.47	27%
Noviembre	41 705.80	4 523.04		19 069.01	21%	37 372.80	4523.04		14 591.58	16%
Diciembre	53 018.00	4 687.20		29 601.92	32%	42 711.00	4687.20		19 294.92	21%
Total	544 644.72	54 873.94	224 746.56	268 447.70	292%	556 840.72	4660.42	224 746.56	281 902.97	307%
Promedio	45 387.06	4 572.83	18 728.88	22 370.64	24%	46 403.39	4209.41	18 728.88	23 491.91	26%

Tabla 25.

Porcentaje de agua incontrolada fugada, periodo 2020-2021, cantón San Miguel.

Mes	2020					2021				
	Qi [m ³ /mes]	Qice [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qice [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]
Enero	39 777.00	4687.20		16 360.92	17%	36 131.80	4620.24		12 782.68	14%
Febrero	44 000.00	4384.80		23 124.14	26%	30 860.40	4173.12		8 811.09	11%
Marzo	49 579.32	4660.42		26 190.02	28%	40 685.80	4620.24		17 336.68	19%
Abril	40 551.00	4536.00	18 728.88	17 862.32	20%	29 598.00	4471.20	18 728.88	6 611.18	7%
Mayo	54 925.00	4687.20		31 508.92	34%	54 255.40	4653.72		30 872.80	33%
Junio	53 526.00	4406.40		31 403.74	36%	43 748.00	4503.60		21 199.37	24%
Julio	40 887.38	4672.47		17 486.03	19%	43 053.40	4653.72		19 670.80	21%

Agosto	43 589.00	4687.20	20 172.92	22%	41 766.24	4667.11	18 370.25	20%		
Septiembre	42 885.64	4525.63	20 285.50	22%	38 262.20	4516.56	15 517.32	17%		
Octubre	49 166.23	4676.49	25 760.86	28%	49 295.24	4667.11	25 899.25	28%		
Noviembre	35 525.70	4419.36	12 790.04	14%	37 696.20	4516.56	14 932.45	17%		
Diciembre	33 042.44	4566.67	9 746.89	11%	48 109.00	4687.20	24 692.92	26%		
Total	527 454.70	54909.84	224 746.56	252 692.31	276%	493 461.68	54750.38	224 746.56	216 696.79	236%
Promedio	43 954.56	4575.82	18 728.88	21 057.69	23%	41 121.81	4562.53	18 728.88	18 058.07	20%

Del mismo modo, con los datos obtenidos se presenta en la figura 11 líneas de tendencia en donde se contrasta el caudal inyectado, el registrado y el incontrolado fugado

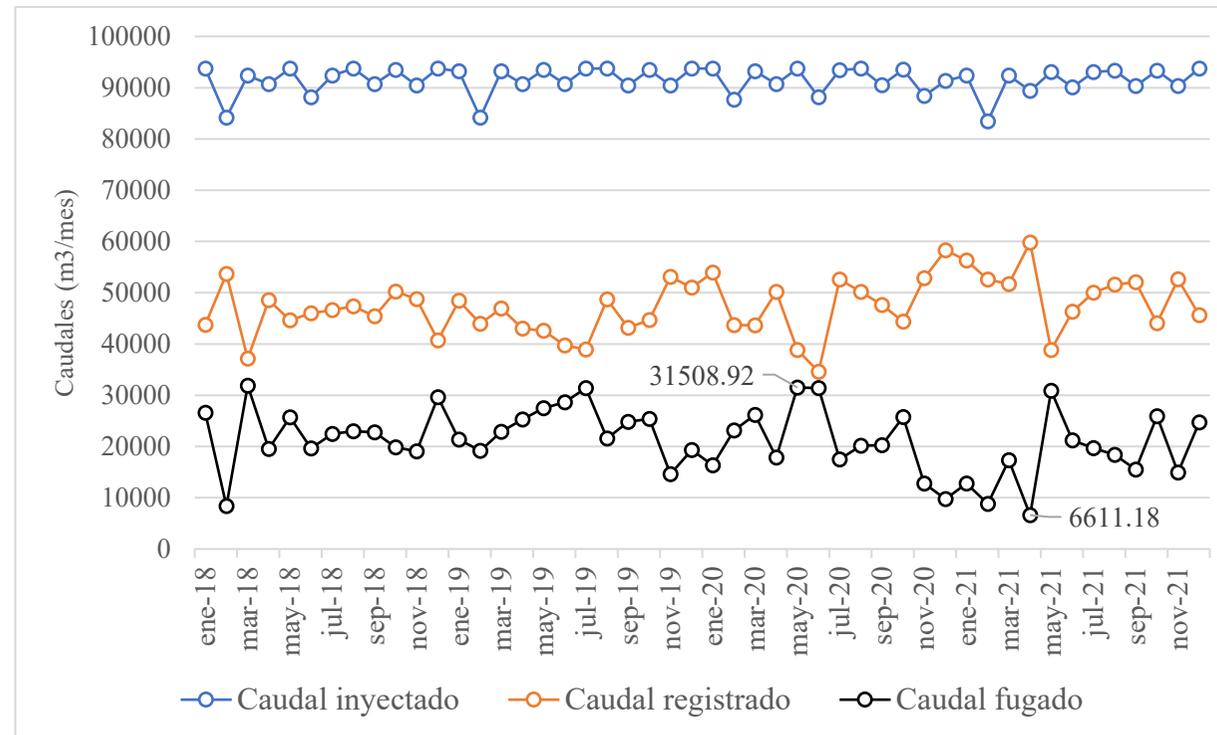


Figura 11. Tendencia del caudal fugado, periodo 2018-2021.

Rendimiento de la red

Una vez obtenidos los datos necesarios en el balance hídrico, se calculan los porcentajes de rendimiento global, de la red, y de la medición, mostrados en la tabla 26.

Posteriormente, se otorga una evaluación cualitativa al estado del sistema, teniendo en cuenta únicamente el porcentaje de rendimiento global, tal como se presenta en la figura 12.

Tabla 26.

Rendimientos volumétricos den el periodo 2018-2021, cantón San Miguel.

Año	Global (η_s)	De red (η_r)	Medición técnica – administrativa (η_g)	Estado global del sistema
2018	50.37%	75.54%	66.68%	Malo
2019	49.93%	74.40%	66.44%	Inaceptable
2020	51.97%	76.99%	67.50%	Malo
2021	54.49%	80.21%	68.49%	Malo

Mostrando los resultados obtenidos en la figura 12, en donde se evidencia que el año 2019 tuvo el rendimiento más bajo, otorgándole la categoría de inaceptable.

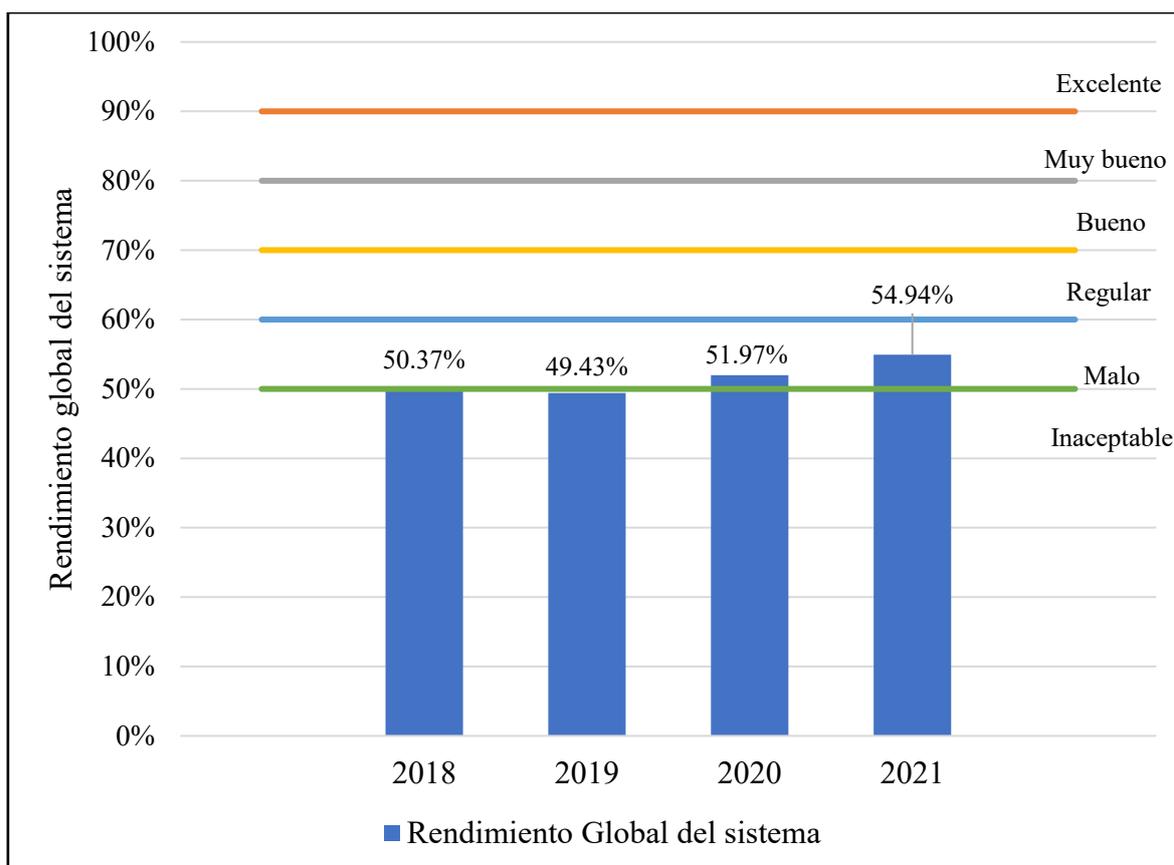


Figura 12. Estado de red y rendimiento global, periodo 2018-2021.

Cálculo del índice de agua no contabilizada (IANC)

En la figura 13 se presenta los índices de agua no contabilizada para el periodo 2018 - 2021 del cantón San Miguel y los límites por los que se clasificaran según los rangos impuestos por el ARCA, así como del índice nacional de agua no contabilizada.

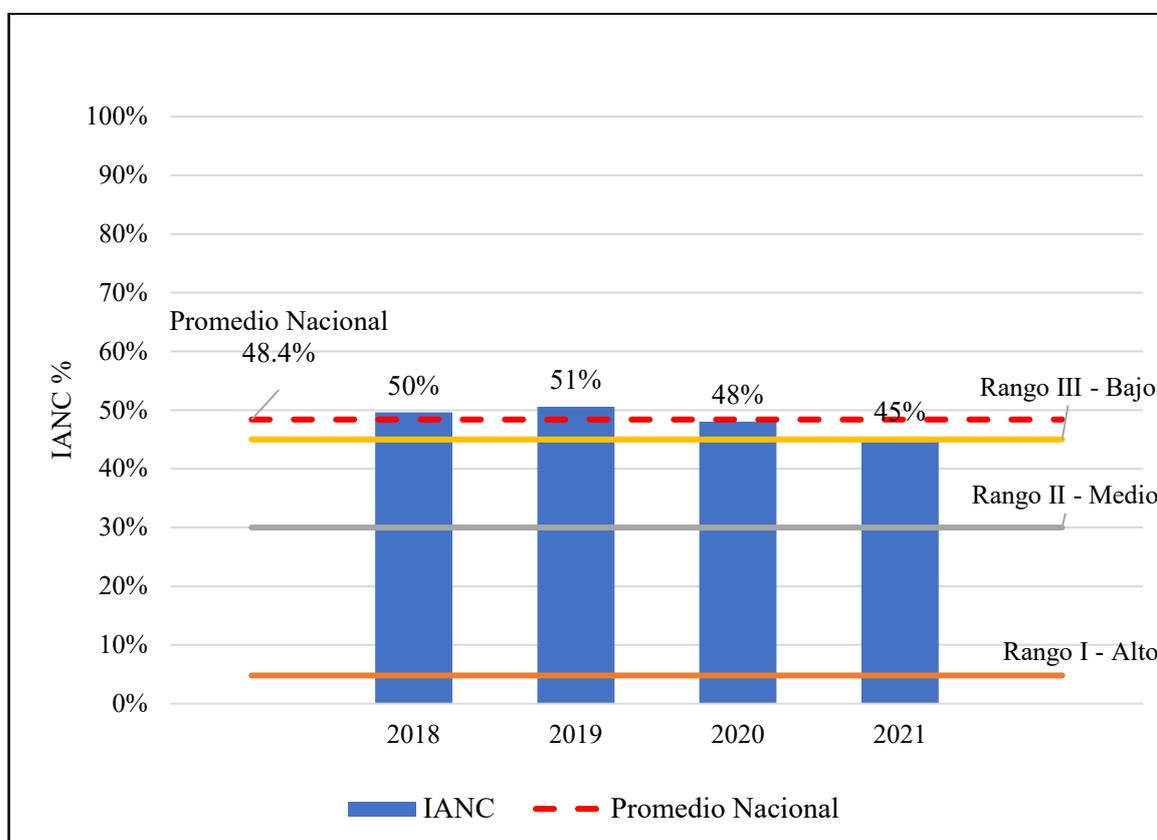


Figura 13. Índice de agua no contabilizada anual – San Miguel periodo 2018-2021.

Estimación del incremento de cobertura en el sistema de abastecimiento y cálculo de las pérdidas económicas producidas

Con los valores previamente obtenidos del caudal fugado en la red, se plantea la importancia de conocer el estimado económico de pérdidas que genera el problema de fugas.

En la tabla 27 se presentan los volúmenes de agua fugados anualmente, y la tarifa básica de cobro especificada por la EPMAPA San Miguel (2022) para realizar el cálculo de las pérdidas económicas anuales producidas.

Tabla 27.

Pérdidas económicas anuales producidas en el cantón San Miguel, periodo 2018- 2021.

Año	Volumen fugado anual [m ³]	Tarifa básica [\$/m ³]	Pérdidas económicas
2018	268 447.70	0.41	\$ 110 063.56
2019	281 902.97	0.41	\$ 115 580.22
2020	252 692.31	0.41	\$ 103 603.85
2021	216 696.79	0.41	\$ 88 845.68
Total	1 019 739.77	0.41	\$ 418 093.31

Así mismo, utilizando la dotación propuesta por el GADM San Miguel de Bolívar (2020) en el PDyOT del cantón, se estima el número de nuevos habitantes que podrían ser beneficiarios del servicio, a más de eso, utilizando el promedio de habitantes por casa dado en la INEC (2022), se calcula el número de usuarios nuevos, como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.

Estimación de nuevos usuarios en el cantón San Miguel, periodo 2018- 2021

Año	Volumen fugado anual [m³]	Dotación (l/hab/día)	Habitantes abastecidos	Usuarios nuevos	% incremento poblacional
2018	268 447.70	200	3 677.37	875	13.50%
2019	281 902.97	200	3 861.68	2335	14.17%
2020	252 692.31	200	3461.54	1532	12.71%
2021	216 696.79	200	2 968.50	707	10.90%

Lo que, al tener un porcentaje de cobertura actual del 84% en la zona urbana y, con el porcentaje obtenido en la tabla 28, se podría asumir que la cobertura del servicio podría ampliarse hasta más del 90% en este sector.

De la misma manera, para el cantón San Miguel, los resultados se obtienen considerando únicamente la dotación estipulada por la norma NEC 11 en el capítulo 16 y utilizada por la EPMAPA San Miguel en su PDyOT, sin embargo, pese a estar dentro del rango mencionado por Arellano et al. (2018), de acuerdo a su población y clima, se encuentra subdimensionado, puesto que para una población de 20 000 habitantes la dotación debería ser entre 200 y 250 l/hab/día, pero no recomiendan realizar un diseño con el valor mínimo, puesto que el sistema no será capaz de abastecer las necesidades de los usuarios, ya que, al ser cantones pequeños, los pobladores tienden a regresar en varias ocasiones a sus domicilios, incrementando el valor diario de consumo de agua potable.

4.1.2.2 Año 2022, datos del sistema por redes

Balance hídrico anual

En las tablas 29, 30 y 31, se presenta el balance hídrico para las 7 redes de distribución durante el año 2022, cantón San Miguel.

Tabla 29.

Balance hídrico redes 1, 2 y 3, año 2022, cantón San Miguel.

Mes	Red 1 – Guabuloma Bajo			Red 2 – Guabuloma Alto			Red 3 - Tangará		
	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]
Enero	28 034.00	18 877.27	9 156.73	17 754.00	12 273.15	5 480.85	7 989.00	5 240.44	2 748.56
Febrero	25 321.00	15 448.57	9 872.43	16 036.00	10 043.96	5 992.04	7 216.00	4 288.61	2 927.39
Marzo	28 034.00	16 258.09	11 775.91	17 754.00	10 570.28	7 183.72	7 989.00	4 513.34	3 475.66
Abril	27 130.00	16 252.76	10 877.24	17 181.00	10 566.81	6 614.19	7 732.00	4 511.86	3 220.14
Mayo	28 034.00	15 753.88	12 280.12	17 754.00	10 242.46	7 511.54	7 989.00	4 373.37	3 615.63
Junio	27 130.00	15 255.01	11 874.99	17 181.00	9 918.12	7 262.88	7 732.00	4 234.88	3 497.12
Julio	27 994.00	13 782.68	14 211.32	17 729.00	8 960.88	8 768.12	7 978.00	3 826.15	4 151.85
Agosto	27 992.00	16 741.56	11 250.44	17 731.00	10 884.60	6 846.40	7 975.00	4 647.55	3 327.45
Septiembre	27 091.00	17 242.81	9 848.19	17 157.00	11 210.49	5 946.51	7 721.00	4 786.70	2 934.30
Octubre	27 996.00	16 019.18	11 976.82	17 727.00	10 414.95	7 312.05	7 970.00	4 447.02	3 522.98
Noviembre	27 091.00	17 167.81	9 923.19	17 157.00	11 161.73	5 995.27	7 721.00	4 765.88	2 955.12
Diciembre	28 074.00	16 881.47	11 192.53	17 780.00	10 975.57	6 804.43	8 001.00	4 686.39	3 314.61
Total	329 921.00	195 681.09	134 239.91	208 941.00	127 223.00	81 718.00	94 013.00	54 322.20	39 690.80
Promedio	27 493.42	16 306.76	11 186.66	17 411.75	10 601.92	6 809.83	7 834.42	4 526.85	3 307.57

Tabla 30.

Balance hídrico redes 4, 5 y 6, año 2022, cantón San Miguel.

Mes	Red 4 – El Mirador			Red 5 – La Comunidad			Red 6 – Arcángel de San Miguel		
	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]
Enero	8 390.00	6 097.61	2 292.39	888.00	603.92	284.08	12 972.00	8 824.98	4 147.02
Febrero	7 578.00	4 990.10	2 587.90	802.00	494.23	307.77	11 717.00	7 222.09	4 494.91
Marzo	8 390.00	5 251.58	3 138.42	888.00	520.12	367.88	12 972.00	7 600.53	5 371.47
Abril	8 120.00	5 249.86	2 870.14	859.00	519.95	339.05	12 554.00	7 598.04	4 955.96
Mayo	8 390.00	5 088.72	3 301.28	888.00	503.99	384.01	12 972.00	7 364.82	5 607.18
Junio	8 120.00	4 927.57	3 192.43	859.00	488.03	370.97	12 554.00	7 131.60	5 422.40
Julio	8 378.00	4 451.99	3 926.01	886.00	440.93	445.07	12 953.00	6 443.30	6 509.70
Agosto	8 379.00	5 407.75	2 971.25	888.00	535.59	352.41	12 953.00	7 826.55	5 126.45
Septiembre	8 108.00	5 569.66	2 538.34	858.00	551.63	306.37	12 536.00	8 060.88	4 475.12
Octubre	8 381.00	5 174.41	3 206.59	891.00	512.48	378.52	12 953.00	7 488.84	5 464.16
Noviembre	8 108.00	5 545.43	2 562.57	858.00	549.23	308.77	12 536.00	8 025.82	4 510.18
Diciembre	8 402.00	5 452.94	2 949.06	889.00	540.07	348.93	12 991.00	7 891.96	5 099.04
Total	98 744.00	63 207.62	35 536.38	10 454.00	6 260.18	4 193.82	152 663.00	91 479.39	61 183.61
Promedio	8 228.67	5 267.30	2 961.37	871.17	521.68	349.49	12 721.92	7 623.28	5 098.63

Tabla 31.

Balance hídrico red 7, año 2022, cantón San Miguel.

Mes	Red 7 – Arrayanes		
	Q [m ³ /mes]	Qr [m ³ /mes]	Qi [m ³ /mes]
Enero	17 582.00	11 766.64	5 815.36
Febrero	15 881.00	9 629.45	6 251.55
Marzo	17 582.00	10 134.04	7 447.96
Abril	17 015.00	10 130.72	6 884.28
Mayo	17 582.00	9 819.76	7 762.24
Junio	17 015.00	9 508.80	7 506.20
Julio	17 557.00	8 591.06	8 965.94
Agosto	17 557.00	10 435.40	7 121.60
Septiembre	16 991.00	10 747.84	6 243.16
Octubre	17 557.00	9 985.12	7 571.88
Noviembre	16 991.00	10 701.09	6 289.91

Diciembre	17 607.00	10 522.61	7 084.39
Total	206 917.00	121 972.52	84 944.48
Promedio	17 243.08	10 164.38	7 078.71

Representando en la figura 14 los resultados obtenidos, contrastando el comportamiento de cada una de las redes.

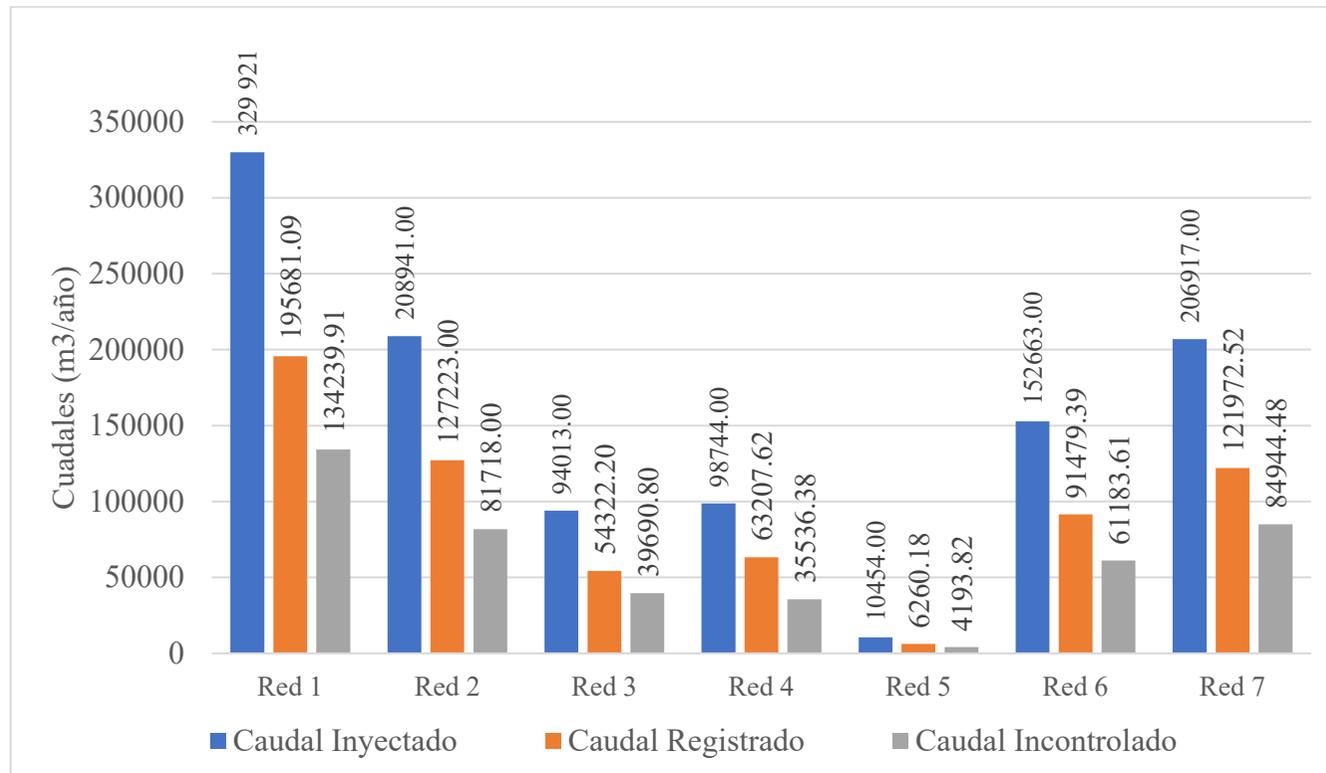


Figura 14. Balance hídrico por redes en el año 2022, cantón San Miguel.

Caudal anual de agua fugada (porcentaje)

De igual manera se puede apreciar el agua incontrolada fugada que se pierde por cada red en el año 2022.

Tabla 32.

Caudal incontrolado fugado para el año 2022, redes 1, 2 y 3 cantón San Miguel.

Mes	Red 1 – Guabuloma Bajo				Red 2 – Guabuloma Alto				Red 3 - Tangará			
	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]
Enero	9 156.73		4 859.59	17%	5 480.85		638.31	4%	2 748.56		1 440.56	18%
Febrero	9 872.43		6 172.64	24%	5 992.04		1 272.66	8%	2 927.39		1 792.89	25%
Marzo	11 775.91		7 478.77	27%	7 183.72		2 341.18	13%	3 475.66		2 167.66	27%
Abril	10 877.24		6 799.44	25%	6 614.19		1 830.71	11%	3 220.14		1 975.88	26%
Mayo	12 280.12		7 982.98	28%	7 511.54		2 669.00	15%	3 615.63		2 307.63	29%
Junio	11 874.99	4 297.14	7 830.45	29%	7 262.88	4 842.54	2 501.02	15%	3 497.12	1 308.00	2 262.09	29%
Julio	14 211.32		9 914.18	35%	8 768.12		3 925.58	22%	4 151.85		2 843.85	36%
Agosto	11 250.44		6 953.30	25%	6 846.40		2 003.86	11%	3 327.45		2 019.45	25%
Septiembre	9 848.19		5 736.09	21%	5 946.51		1 140.77	7%	2 934.30		1 680.51	22%
Octubre	11 976.82		7 679.68	27%	7 312.05		2 469.51	14%	3 522.98		2 214.98	28%
Noviembre	9 923.19		5 813.58	21%	5 995.27		1 191.15	7%	2 955.12		1 702.02	22%
Diciembre	11 192.53		6 895.39	25%	6 804.43		1 961.89	11%	3 314.61		2 006.61	25%
Total	134 239.91	51 565.68	84 116.09	306%	81 718.00	58 110.48	23 945.64	137%	39 690.80	15 696.00	24 414.13	311%
Promedio	11 186.66	4 297.14	7 009.67	25%	6 809.83	4 842.54	1 995.47	11%	3 307.57	1 308.00	2 034.51	26%

Tabla 33.

Caudal incontrolado fugado para el año 2022, redes 4, 5 y 6 cantón San Miguel.

Mes	Red 4 – El Mirador				Red 5 – La Comunidad				Red 6 – Arcángel San Miguel			
	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]
Enero	2 292.39		1 182.39	14%	284.08		110.08	12%	4 147.02		919.02	7%
Febrero	2 587.90	1 110.00	1 636.25	22%	307.77	174.00	148.11	18%	4 494.91	3 228.00	1 402.65	12%
Marzo	3 138.42		2 028.42	24%	367.88		193.88	22%	5 371.47		2 143.47	17%

Abril	2 870.14	1 818.81	22%	339.05	170.55	20%	4 955.96	1 785.56	14%			
Mayo	3 301.28	2 191.28	26%	384.01	210.01	24%	5 607.18	2 379.18	18%			
Junio	3 192.43	2 151.84	27%	370.97	203.53	24%	5 422.40	2 267.55	18%			
Julio	3 926.01	2 816.01	34%	445.07	271.07	31%	6 509.70	3 281.70	25%			
Agosto	2 971.25	1 861.25	22%	352.41	178.41	20%	5 126.45	1 898.45	15%			
Septiembre	2 538.34	1 475.95	18%	306.37	136.79	16%	4 475.12	1 288.69	10%			
Octubre	3 206.59	2 096.59	25%	378.52	204.52	23%	5 464.16	2 236.16	17%			
Noviembre	2 562.57	1 500.99	19%	308.77	139.26	16%	4 510.18	1 324.92	11%			
Diciembre	2 949.06	1 839.06	22%	348.93	174.93	20%	5 099.04	1 871.04	14%			
Total	35 536.38	13 320.00	22 598.85	274%	4 193.82	2 088.00	2 141.13	245%	61 183.61	38 736.00	22 798.40	179%
Promedio	2 961.37	1 110.00	1 883.24	23%	349.49	174.00	178.43	20%	5 098.63	3 228.00	1 899.87	15%

Tabla 34.

Caudal incontrolado fugado para el año 2022, red 7 cantón San Miguel.

Mes	Red 1 – Guabuloma Bajo			
	Qi [m ³ /mes]	Qica [m ³ /mes]	Qif [m ³ /mes]	Qif [%]
Enero	5 815.36		2 178.16	12%
Febrero	6 251.55		2 894.46	18%
Marzo	7 447.96		3 810.76	22%
Abril	6 884.28		3 355.32	20%
Mayo	7 762.24		4 125.04	23%
Junio	7 506.20		3 997.97	23%
Julio	8 965.94	3 637.20	5 328.74	30%
Agosto	7 121.60		3 484.40	20%
Septiembre	6 243.16		2 692.83	16%
Octubre	7 571.88		3 934.68	22%
Noviembre	6 289.91		2 741.13	16%
Diciembre	7 084.39		3 447.19	20%
Total	84 944.48	43 646.40	41 990.68	243%
Promedio	7 078.71	3 637.20	3 499.22	20%

En la figura 15 se muestran los caudales incontrolados fugados de cada una de las redes existentes en el sistema de abastecimiento de agua potable del cantón San Miguel en el año 2022, contrastando los resultados de cada una de estas.

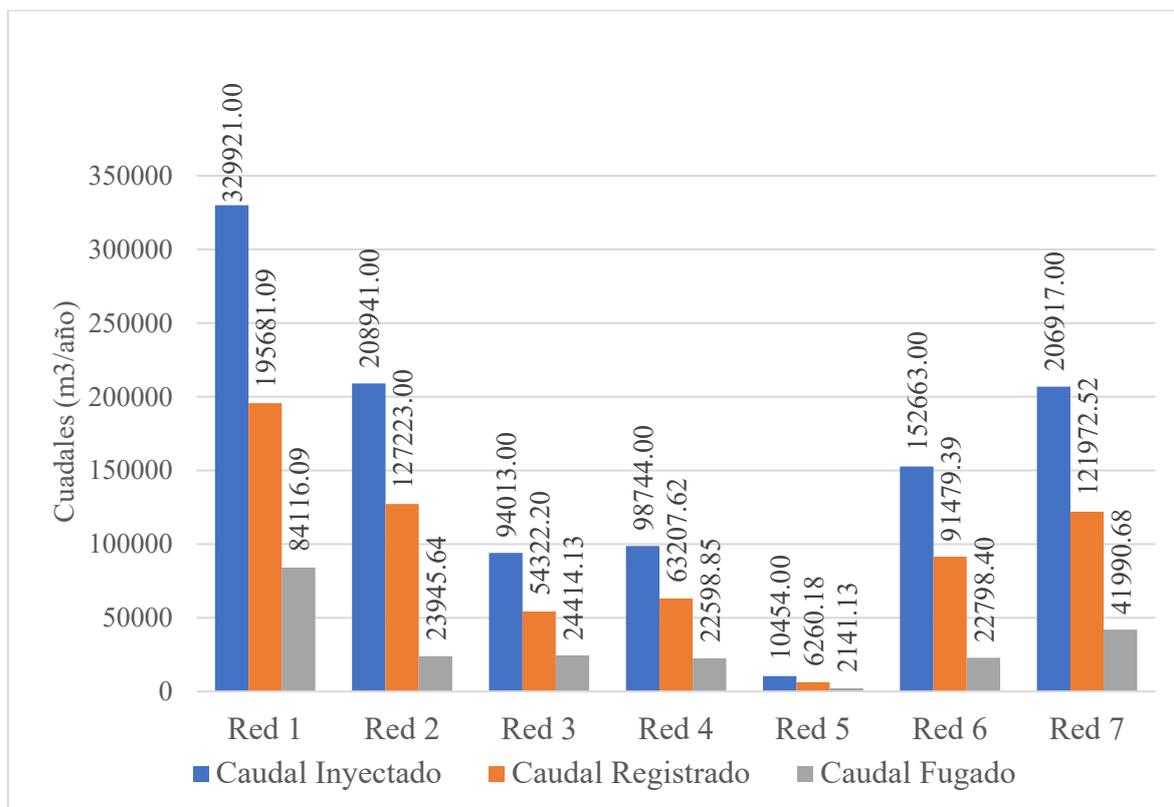


Figura 15. Caudal incontrolado y fugado durante el año 2022, cantón San Miguel.

Rendimiento de la red

Con los datos previamente obtenidos, se calculan los porcentajes de rendimiento global, de la red, y de la medición técnica-administrativa, mostrados en la tabla 35.

Adicionalmente, se plantea una calificación cualitativa al estado del sistema, considerando únicamente el porcentaje de rendimiento global, tal como se presenta en la figura 16.

Tabla 35.

Rendimientos globales y estado de las redes durante el año 2022, cantón San Miguel.

Redes	Rendimientos volumétricos			Estado global del sistema
	Global (ηs)	De red (ηr)	Medición técnica – administrativa (ηg)	
Red 1	59.31%	74.50%	79.61%	Malo
Red 2	60.89%	88.54%	68.77%	Regular
Red 3	57.78%	74.03%	78.05%	Malo
Red 4	64.01%	77.11%	83.01%	Regular
Red 5	59.88%	79.52%	75.31%	Malo
Red 6	59.92%	85.07%	70.44%	Malo
Red 7	58.95%	79.71%	73.96%	Malo

En la figura 16 se muestran los porcentajes de rendimiento global de las 7 redes, lo que permite visualizar que la red que posee un mejor rendimiento es la red 4, y la red con el rendimiento más bajo es la red 3.

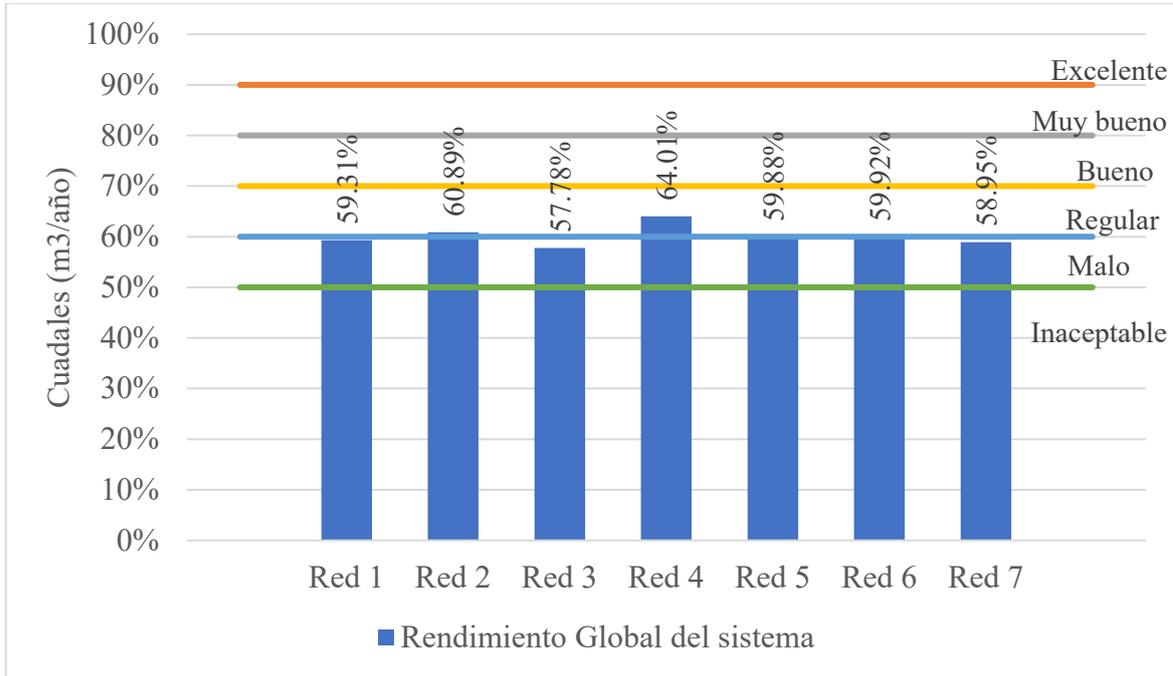


Figura 16. Estado de las redes durante el año 2022.

Cálculo del índice de agua no contabilizada (IANC)

En la figura 17 se presenta los índices de agua no contabilizada del año 2022 del cantón San Miguel y los límites por los que se clasifican según los rangos impuestos por el ARCA, así como del índice nacional de agua no contabilizada.

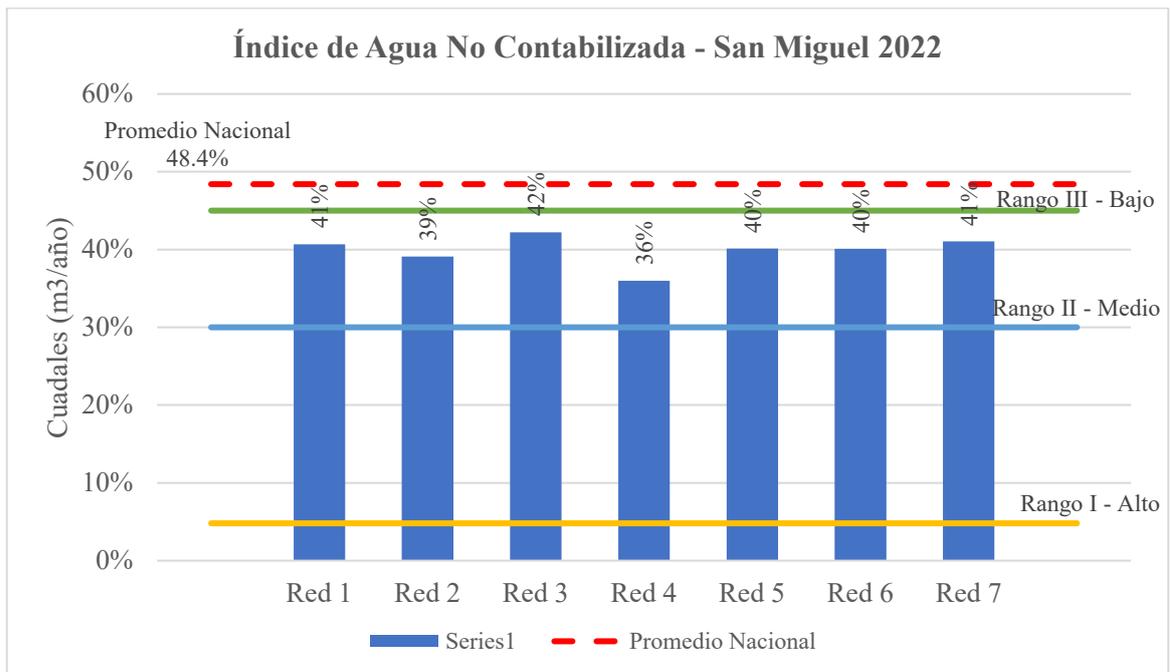


Figura 17. Índice de agua no contabilizada anual – San Miguel año 2022.

Estimación del incremento de cobertura en el sistema de abastecimiento y cálculo de las pérdidas económicas producidas

Con los valores previamente obtenidos del caudal fugado en la red, se plantea la importancia de conocer el estimado económico de pérdidas que genera el problema de fugas.

En la tabla 36 se presentan los volúmenes de agua fugados anualmente, y la tarifa básica de cobro especificada por la EPMAPA San Miguel (2022) para realizar el cálculo de las pérdidas económicas anuales producidas.

Tabla 36.

Pérdidas económicas anuales producidas en el cantón San Miguel, periodo 2018- 2021.

Año	Volumen fugado anual [m³]	Tarifa básica [\$/m³]	Pérdidas económicas
Red 1	84 116.09	0.41	\$34 487.60
Red 2	23 945.64	0.41	\$9 817.71
Red 3	24 414.13	0.41	\$10 009.79
Red 4	22 598.85	0.41	\$9 265.53
Red 5	2 141.13	0.41	\$877.86
Red 6	22 798.4	0.41	\$9 347.34
Red 7	41 990.68	0.41	\$17 216.18
Total	222 004.92	0.41	\$91 022.02

Así mismo, utilizando la dotación propuesta por el GADM San Miguel de Bolívar (2020) en el PDyOT del cantón, se estima el número de nuevos habitantes que podrían ser beneficiarios del servicio, a más de eso, utilizando el promedio de habitantes por casa dado en la INEC (2022), se calcula el número de usuarios nuevos, como se muestra en la tabla 37, únicamente con el total del volumen fugado del sistema.

Tabla 37.

Estimación de nuevos usuarios en el cantón San Miguel, periodo 2018- 2021.

Año	Volumen fugado anual [m³]	Dotación (l/hab/día)	Habitantes abastecidos	Usuarios nuevos	% incremento poblacional
San Miguel	222004.92	200	3041	724	11.16%

Al tener un porcentaje de cobertura actual del 84% en la zona urbana y, con el porcentaje obtenido en la tabla 37, se asume que la cobertura del servicio podría ampliarse hasta más del 90% en este sector.

4.1.3 Identificación de sectores problema con presencia de fugas

4.1.3.1 Rastreo de fugas en el cantón Chimbo

De acuerdo a la EPMAPA Cantón Chimbo (2022) en el año 2020 se empezó con la construcción del nuevo Plan Maestro del cantón, por lo que el porcentaje de caudal fugado incrementó de manera abrupta al tener nuevas salidas del sistema, muchas veces no selladas completamente.

A más de eso, debido a la construcción como tal, en su inicio, se produjeron varias roturas de las tuberías en funcionamiento, por lo que se tuvo que interrumpir el servicio constantemente, por lo que, en el año 2022 se muestra una reducción considerable de Qic.

Sumado a lo anterior, debido a la existencia de un número considerable de conexiones irregulares, la red presentaba problemas de manera periódica, puesto que, al realizar dichas conexiones sin el personal adecuado, generaba fugas y roturas de las tuberías secundarias (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022).

Considerando esto, en la figura 18 se muestra la categoría bajo la cual se encuentra el sistema de abastecimiento del cantón Chimbo en el año 2022 y el índice de agua no controlada.

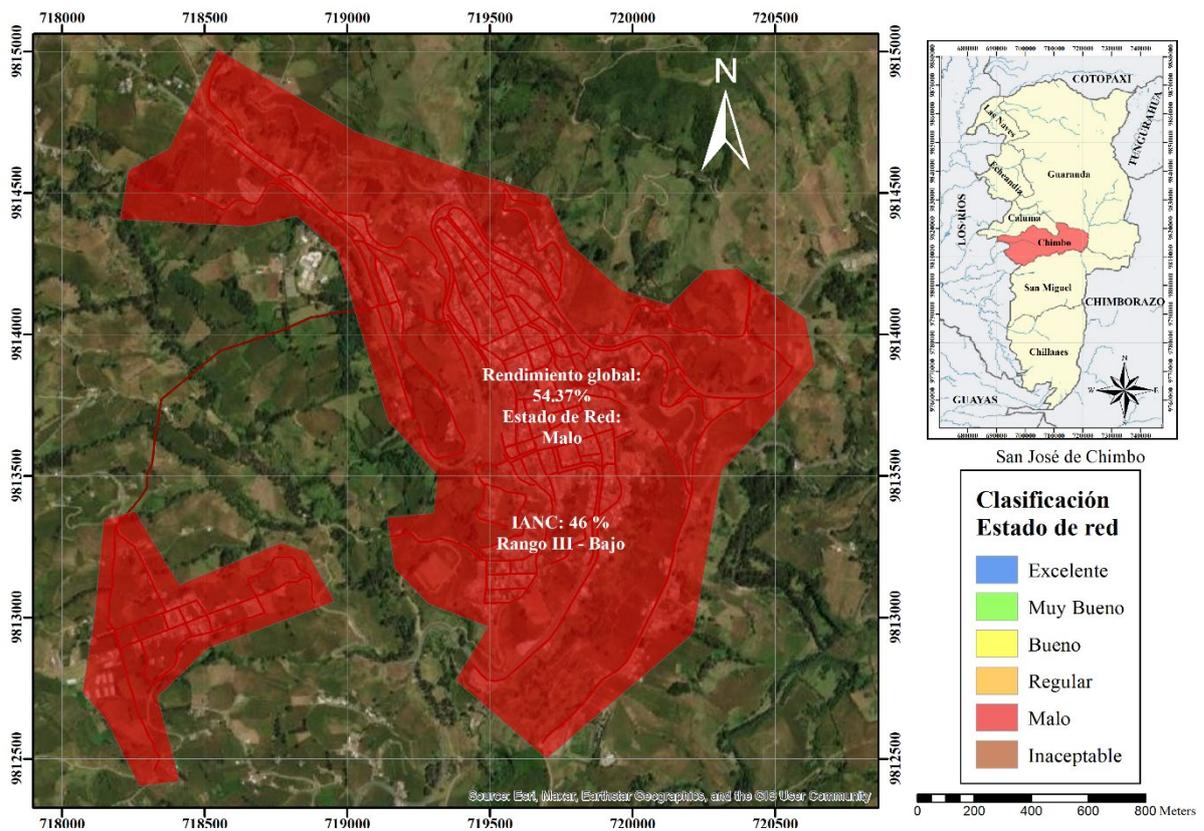


Figura 18. Estado de la red, cantón Chimbo.

Sumado a lo anterior, de acuerdo a los registros existentes en la EPMAPA Cantón Chimbo (2022), se han ubicado las zonas en las que más fugas han existido desde el año 2021 en la figura 19, considerando que únicamente se tiene la base de datos de fugas en acometidas domiciliarias y en el sistema de abastecimiento, colocado como red principal.

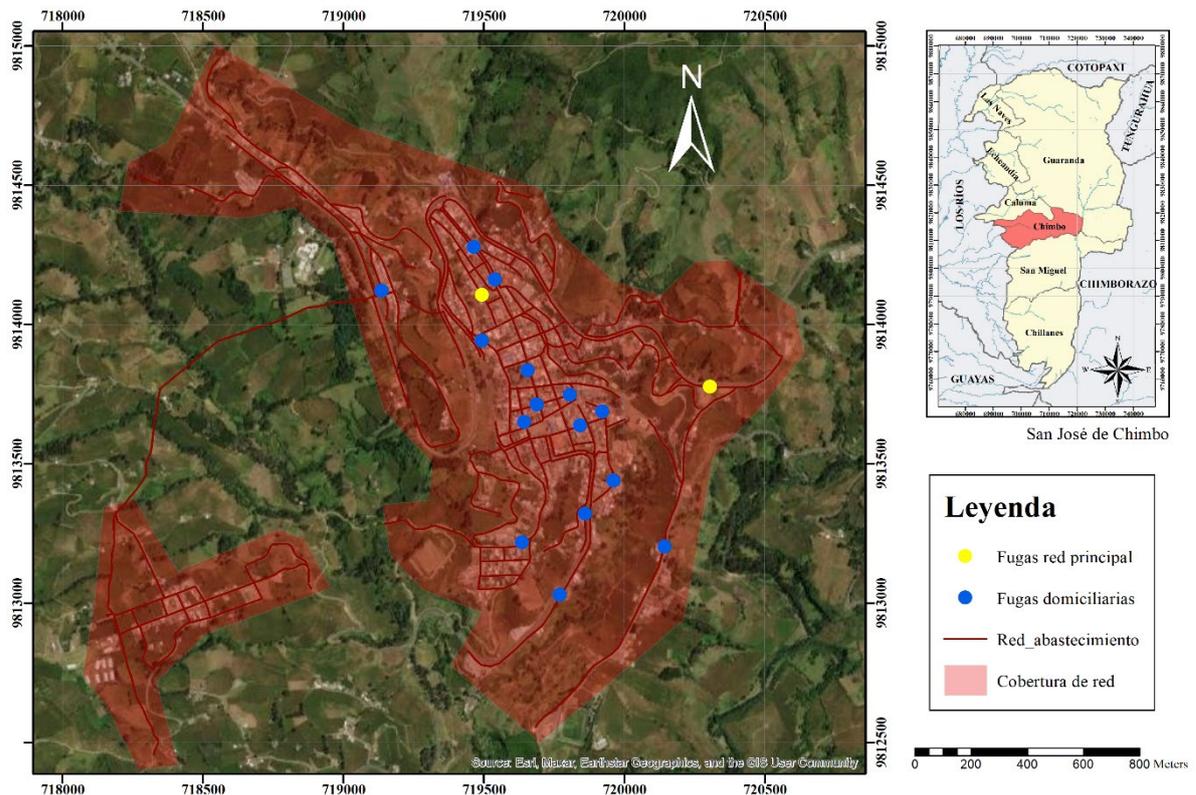


Figura 19. Ubicación fugas, cantón Chimbo.

4.1.3.2 Rastreo de fugas en el cantón San Miguel

El sistema de abastecimiento de la red de San Miguel fue construido hace más de 40 años, lo que hace que muchos elementos del sistema fallen. Según el EPMAPA San Miguel (2022) el mayor conflicto existente es con la cristalización del pegamento utilizado en uniones, lo que facilita la existencia de fugas.

A su vez, la construcción del nuevo sistema de abastecimiento de agua potable empezó su construcción en el año 2021, lo que ocasionó que el porcentaje de caudal incontrolado fugado incrementa (EPMAPA San Miguel, 2022).

Como se mencionó, no se pudo hacer solo un análisis al no tener acceso a los catastros de años previos, por lo que se dividió en dos períodos, el primero desde el año 2018 hasta el año 2021, y el segundo del año 2022, siendo este último aquel en el que si se pudo dividir y realizar el balance por redes.

Con base en los análisis realizados, se toman los resultados obtenidos en el año 2021 y 2022 para la colocación del rendimiento y rango de IANC en las figuras 20 y 21, respectivamente.

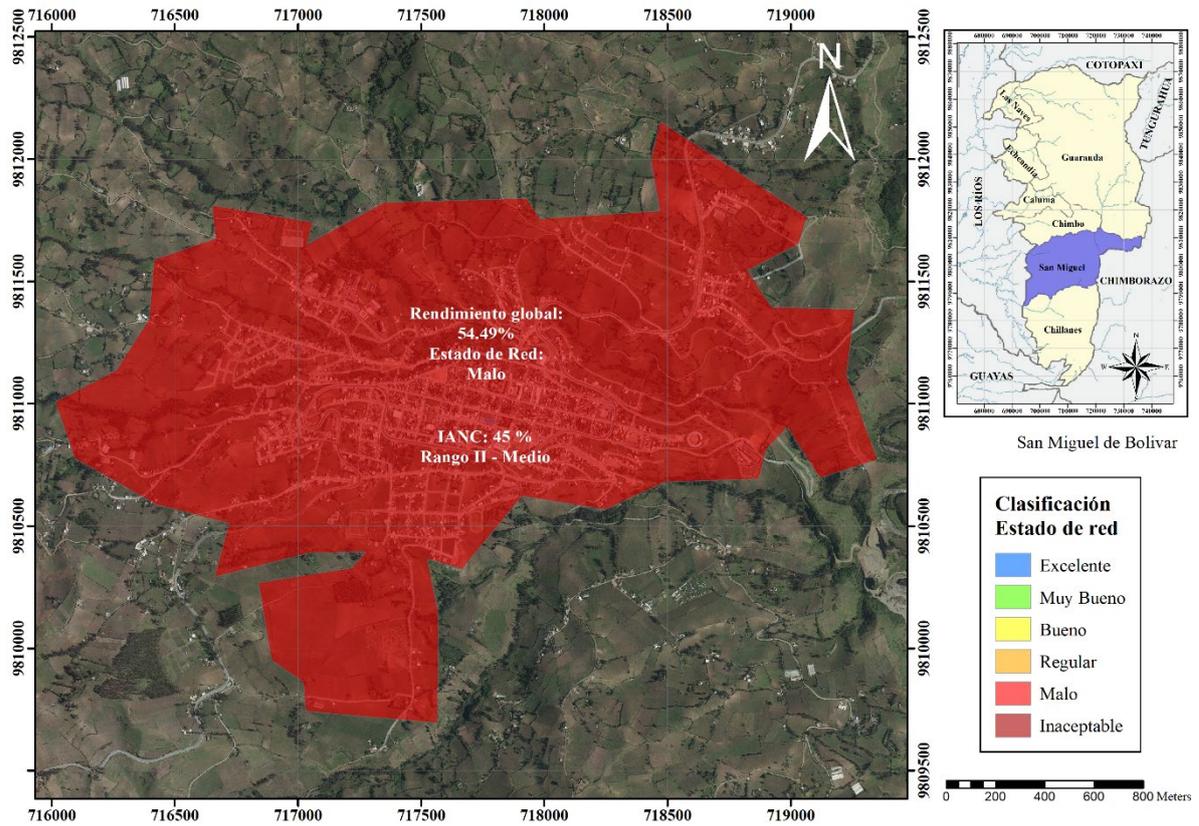


Figura 20. Estado del sistema, cantón San Miguel, año 2021.

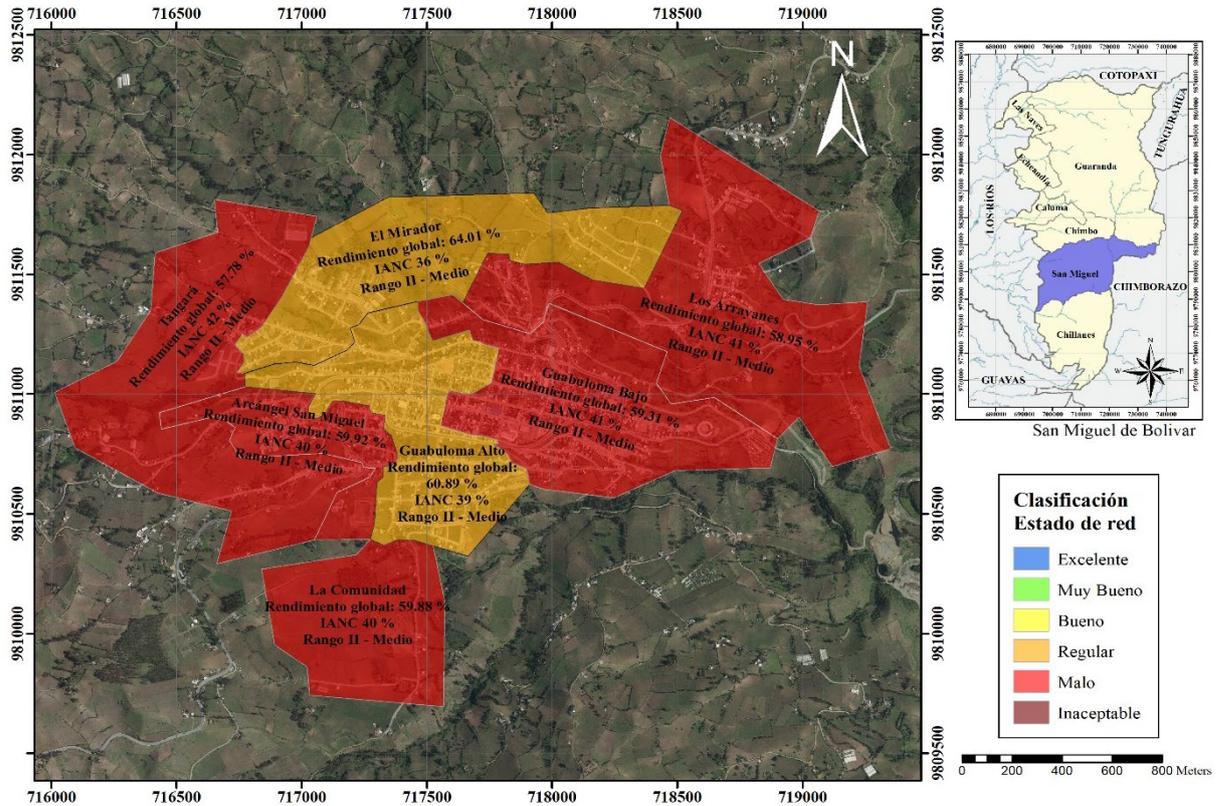


Figura 21. Estado de las redes, cantón San Miguel, año 2022.

En base a los registros existentes en la EPMAPA San Miguel (2022), se han ubicado las redes en las que más fugas han existido en el año 2022, mostrados en la figura 22, considerando que únicamente se tiene la base de datos de fugas en acometidas domiciliarias y en las diferentes redes principales.

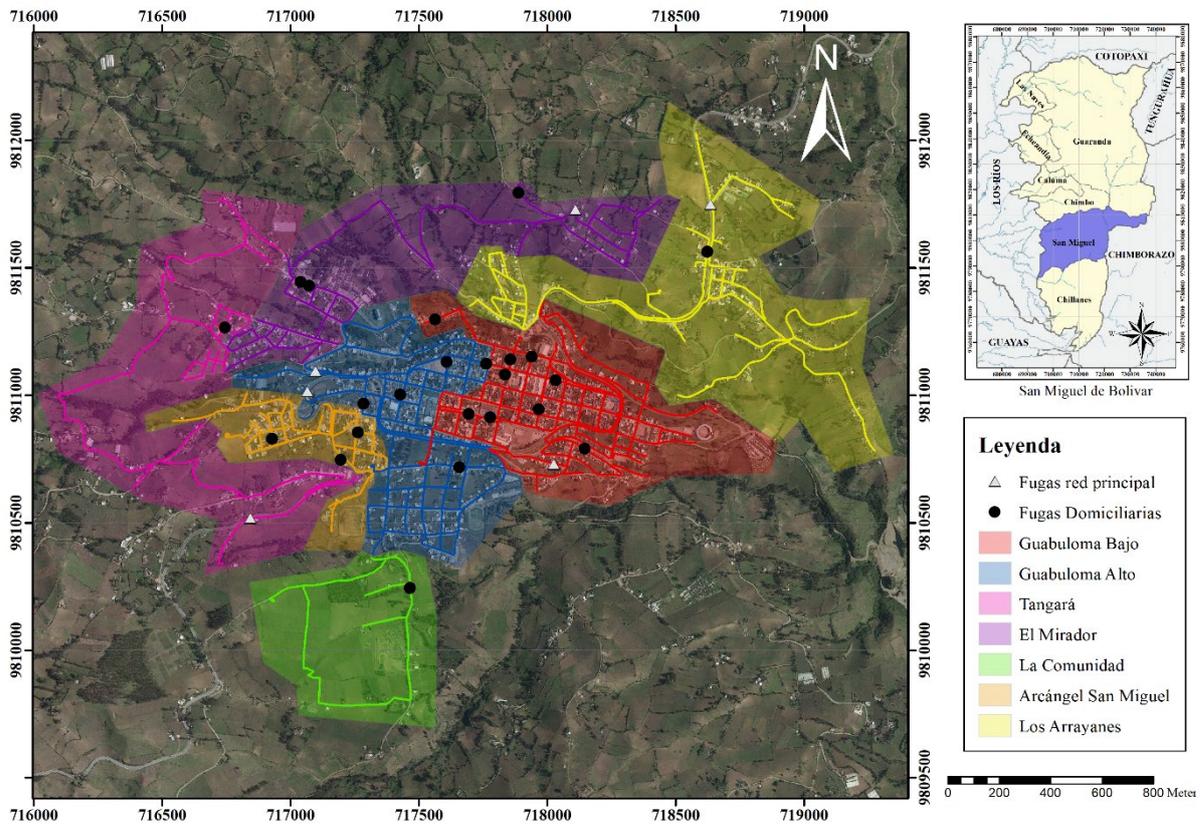


Figura 22. Ubicación de fugas, cantón San Miguel, año 2022.

En la figura 22 se evidencia que la red en la que más fugas se han reportado fue en la red 1 – Guabuloma Bajo, y las redes con menos incidencia de fugas son, red 3 – Tangará, red 4 – El Mirador, red 5 – El Mirador y red 7 – Los Arrayanes.

4.1.3.3 Reparación y monitoreo de fugas

En el cantón Chimbo se realiza el mantenimiento de la red de distribución una vez por año y, en ocasiones especiales, cuando se necesite algún arreglo por daños producidos en el sistema (EPMAPA Cantón Chimbo, 2022), así mismo para el cantón San Miguel el mantenimiento de las redes se programan 2 veces por año y, de igual manera, en momentos donde lo ameriten, usualmente por crecidas del río que es la fuente del sistema, o por el ingreso de materia orgánica (EPMAPA San Miguel, 2022).

Por otro lado, en el control de fugas de ambos cantones, coinciden en su manera de gestionarlas, ya sean para fugas en tuberías de las redes de abastecimiento o en las acometidas domiciliarias.

Dicha gestión empieza por la notificación a la empresa de alguna demanda de agua fugada por parte de los usuarios, una vez recibida esta información un técnico se acercará a evaluar el tipo de daño que se presente, con el fin de solicitar a la empresa los equipos y herramientas necesarias, así como de la cuadrilla que requiera para cubrir dicho trabajo. Una vez finalizada

la reparación, se revisa el funcionamiento del sistema para corroborar que no exista algún daño consecuente.

Para obras menores, como la reparación de micromedidores, un equipo de 3 personas, un técnico y 2 peones, son los encargados de reparar aquel mal funcionamiento.

En caso de roturas mayores, consideradas en tramos principales de las redes, se utilizan en varios casos hasta 2 operadores; teniendo en cuenta que el proceso muchas veces provocará inconvenientes con los usuarios, por lo que se les notifica con antelación del tiempo necesario para ejecutar dicho trabajo.

En el caso de Chimbo el proceso se alarga, puesto que existe solo una red y deben cortar el servicio a todos los usuarios.

Desde el año 2022 la EPMAPA Cantón Chimbo asume todo el costo de la reparación de las fugas, caso contrario en la EPMAPA San Miguel, en donde hasta la actualidad se generan órdenes de trabajo con los presupuestos de las reparaciones, mismos que son cancelados por los usuarios demandantes o beneficiarios del arreglo.

4.1.3.4 Soluciones planteadas

Se considera necesario para los 2 cantones la incorporación de un plan de manejo, control y seguimiento, que tenga como objetivo reducir considerablemente la cantidad de agua fugada, con medidas preventivas y correctivas destinadas a mejorar la calidad del control de fugas y reducir el tiempo de respuesta y reparación de las fugas.

Dicho plan debe contar con capacitaciones enfocadas en el personal encargado de dar seguimiento a las fugas, así como de charlas hacia los usuarios sobre los cuidados del agua, y del reporte oportuno de fugas visibles.

A más de eso, se cree conveniente realizar inspecciones periódicamente para detectar fugas a tiempo y así las pérdidas y los daños no sean tan graves, y llevar un mejor control del caudal inyectado, de manera que se puedan detectar variaciones bruscas en su comportamiento.

Adicionalmente se debería contar con un registro adecuado de las reparaciones realizadas en las redes, debido a que, en ambos cantones, únicamente se contabilizan los materiales utilizados, mas no se realiza un seguimiento para encontrar el problema de fondo o se determina el estado de los elementos.

También se considera oportuno la incorporación de equipos automatizados a la salida de los tanques, y en lugares estratégicos, con el fin de poder mantener un flujo adecuado y correcto de presiones a lo largo de las tuberías, para así evitar pérdidas de agua innecesarias y reducir daños.

A su vez, también se plantea la necesidad de revisiones a los micromedidores que se encuentran en uso, de manera que se pueda minimizar errores de medición y cambiar aquellos que ya se encuentren obsoletos, principalmente en el cantón San Miguel, en donde la red se encuentra en funcionamiento desde hace más de 40 años.

De la misma manera, se evidencia la necesidad de llevar registros de toma de medidas, los cuales sean accesibles a todo el personal, evitando inconvenientes de doble medición o

no medición, especialmente en el cantón San Miguel, en donde existen 7 redes de distribución.

Para el cantón Chimbo se evidencia la necesidad de colocar macromedidores a la salida de los tanques, de manera que los datos obtenidos tengan un mayor porcentaje de confiabilidad.

4.2 Discusión

Con los resultados obtenidos, se evidencia que en el cantón Chimbo hubo una regulación y mejora con respecto al agua incontrolada, y el caudal fugado, pasando del 55% de Qif en el año 2021 a un 42% en el año 2022. Del mismo modo se puede corroborar estos resultados en la figura 7, en la que se evidencia que el caudal fugado ha ido menorando, teniendo como punto más alto de fugas en septiembre de 2020 con 101582.03 m³/mes, y el punto más bajo en junio de 2022 con apenas 26344.36 m³/mes.

Mientras que, para el cantón San Miguel en el periodo 2018 a 2021 los porcentajes de caudal fugado son menores, puesto que para el año 2021 se tiene apenas un 20% de Qif. En este período el punto máximo se ubica en el mes de mayo del 2020 con 31508.92 m³/mes y un mínimo de 6611.18 m³/mes en el mes de abril de 2021.

Del mismo modo se realizó el análisis para el año 2022 en el que los datos permitieron la clasificación por redes, visualizando que es la red de Guabuloma Bajo aquella con mayor porcentaje de Qif al tener un 25%, con un máximo de caudal fugado en el mes de julio con 9914.18 m³/mes, mientras que el mes con menor caudal fugado lo tiene la red de La Comunidad con 110.08 m³/mes en enero, representando un 12% de Qif.

De esta forma se contrasta los valores anuales obtenidos, tanto para el cantón Chimbo con para San Miguel en la figura 21, mostrada a continuación.

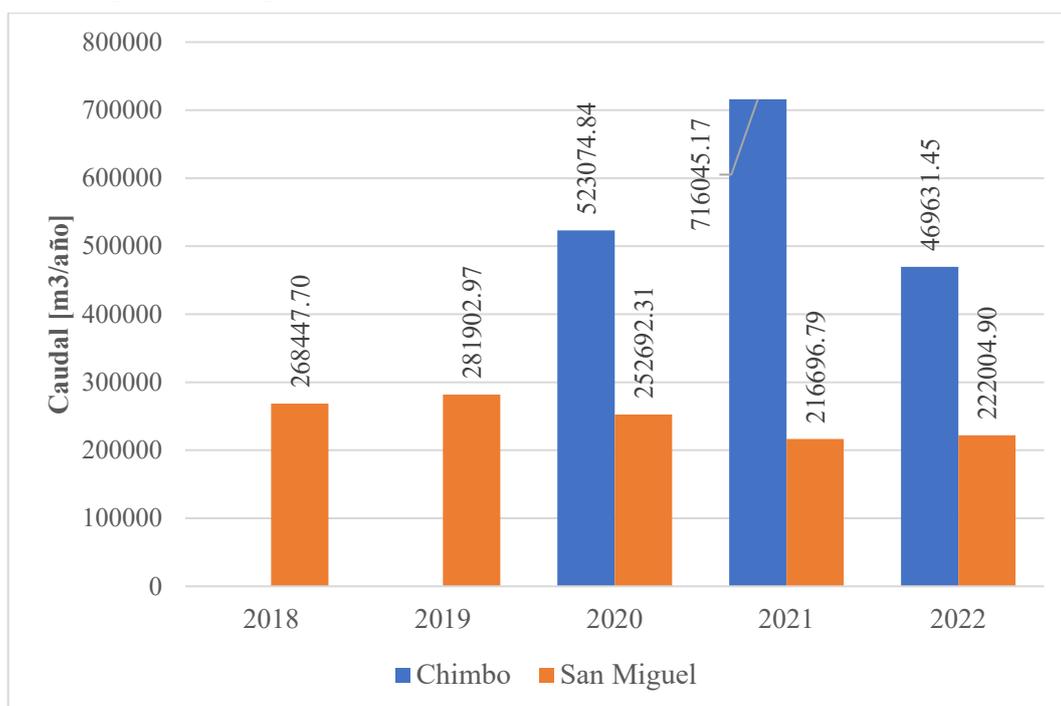


Figura 23. Caudal incontrolado fugado, cantones Chimbo y San Miguel

Al correlacionar los resultados de IANC de esta investigación con respecto a los datos por el ARCA (2018) se puede corroborar una gran disparidad puesto que en el ARCA muestra un 100% de IANC mientras que se obtuvo un resultado del 50% para el 2018.

El ARCA (2019) no evidencia valores de IANC para San Miguel ya que los datos registrados están fuera de rango. De igual manera en el ARCA (2020), se mencionan que los datos registrados de IANC para ambos cantones están fuera de rango.

En la publicación del ARCA (2021) se obtiene un resultado coincidente con esta investigación, del 59%, mientras que, para el cantón San Miguel los porcentajes entre el ARCA y este informe son de 46.77% y 45% respectivamente.

Para el periodo 2022, en el cantón Chimbo se obtuvo un 46% de IANC mientras que, en San Miguel las distintas redes evidenciaron altos promedios, teniendo al más bajo que es la red de Tangará con 58% y el más elevado con 64% en el sector de La Comunidad.

De esta forma se evidencian los porcentajes anuales obtenidos en los cantones de estudio, mostrados en la figura 24.

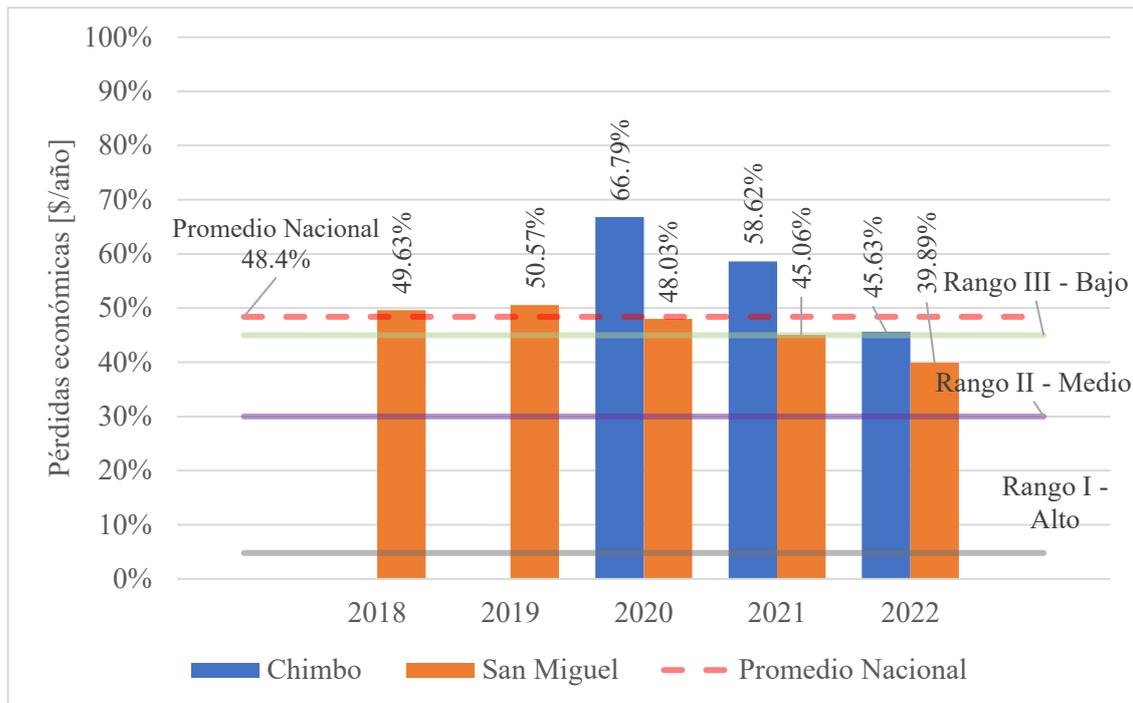


Figura 24. Índice de agua no contabilizada, cantones Chimbo y San Miguel.

Con los datos del caudal Q_{ic} y Q_{if} se obtiene el rendimiento volumétrico global de la red y la categorización del estado de la misma, donde se visualiza que San Miguel supera al cantón Chimbo, al tener un rendimiento del 58.95% en el año 2022 en contraste con el 54.37% obtenido en el cantón Chimbo.

El rendimiento mínimo obtenido es del 49.43% en el año 2019 del cantón San Miguel, mientras que en Chimbo el valor mínimo es del 33.21% en el año 2020.

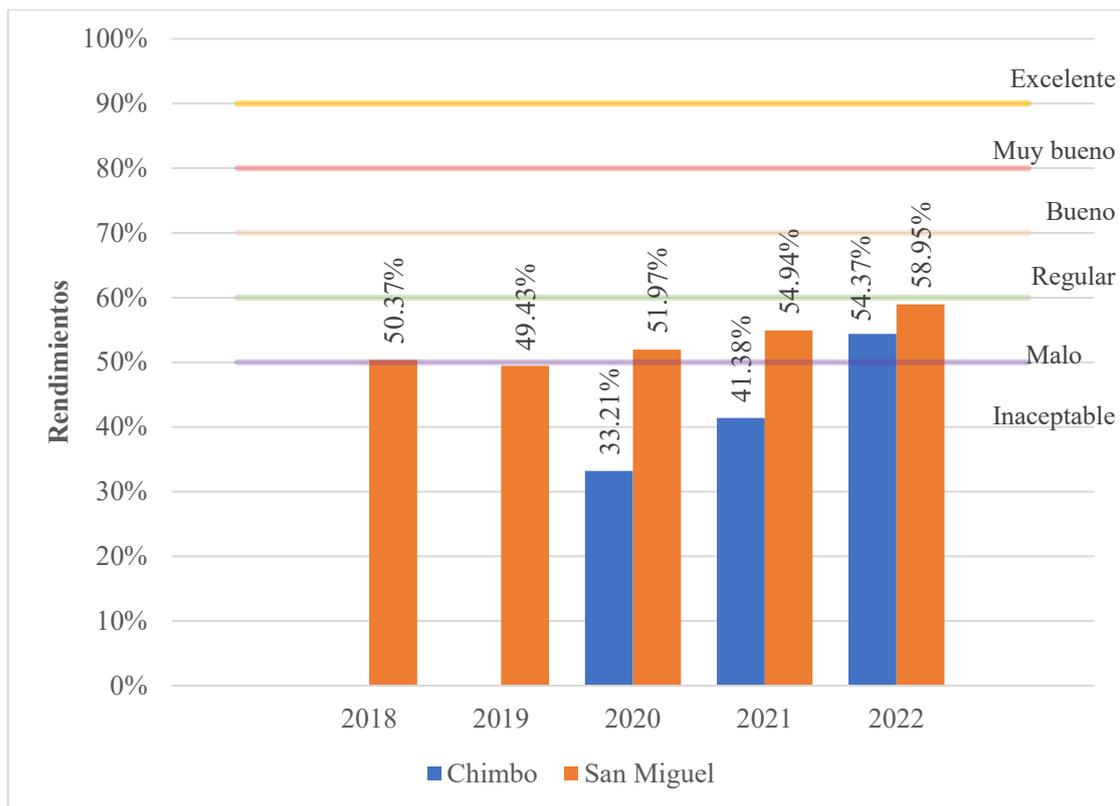


Figura 25. Estado de la red y rendimientos globales, cantones Chimbo y San Miguel.

En la figura 25 se muestran los rendimientos obtenidos, y se evidencia una gran mejora en el cantón Chimbo, donde inicia en un estado inaceptable de la red y ha llegado hasta un estado malo. Por otro lado, en San Miguel la variación es menor, no obstante, también se muestra una mejora del estado de la red en el último año.

Así mismo estos valores de agua incontrolada y fugada nos permiten obtener una visión desde un punto de vista económico, por lo que, conociendo el déficit en las redes y las tarifas básicas de cobranza por metro cúbico, resultó en que el cantón Chimbo tuvo pérdidas de alrededor de \$136 700.12 durante el periodo de estudio, siendo \$37 570.52 el monto tan solo del año 2022.

De igual manera para el cantón San Miguel las pérdidas económicas alcanzaron un total de \$509 115.33 en el periodo analizado, teniendo únicamente en el año 2022, mermas que alcanzaron los \$91 022.02.

Los valores de las pérdidas obtenidos son de acuerdo al plan tarifario manejado por las empresas encargadas de brindar el servicio de agua potable, por lo que el costo por metro cúbico es distinto.

De esta manera se muestran los resultados obtenidos en la figura 26.

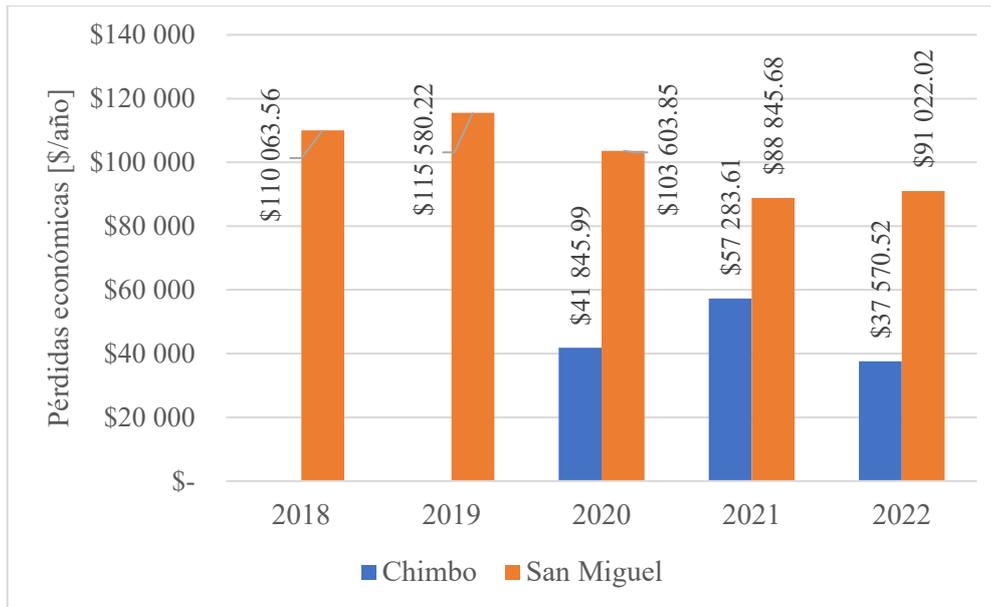


Figura 26. Pérdidas económicas, cantones Chimbo y San Miguel.

De igual manera se calcula el incremento poblacional que pueden tener las redes de abastecimiento si se utilizara óptimamente el caudal inyectado, basándose en la dotación específica de cada uno de los municipios.

De esta forma se evidencia que el cantón Chimbo, en su punto más alto, podría incrementar la cobertura de la red de abastecimiento en un 62.16% con el caudal fugado del año 2021, mientras que en el cantón San Miguel tan solo se podría incrementar en un 14.17% su cobertura en el año 2019.

Actualmente, tomando los últimos resultados obtenidos, en el año 2022, en los cantones Chimbo y San Miguel, se muestra que podría incrementarse la cobertura en un 40.77% y 11.16% respectivamente, como se muestra en la figura 27.

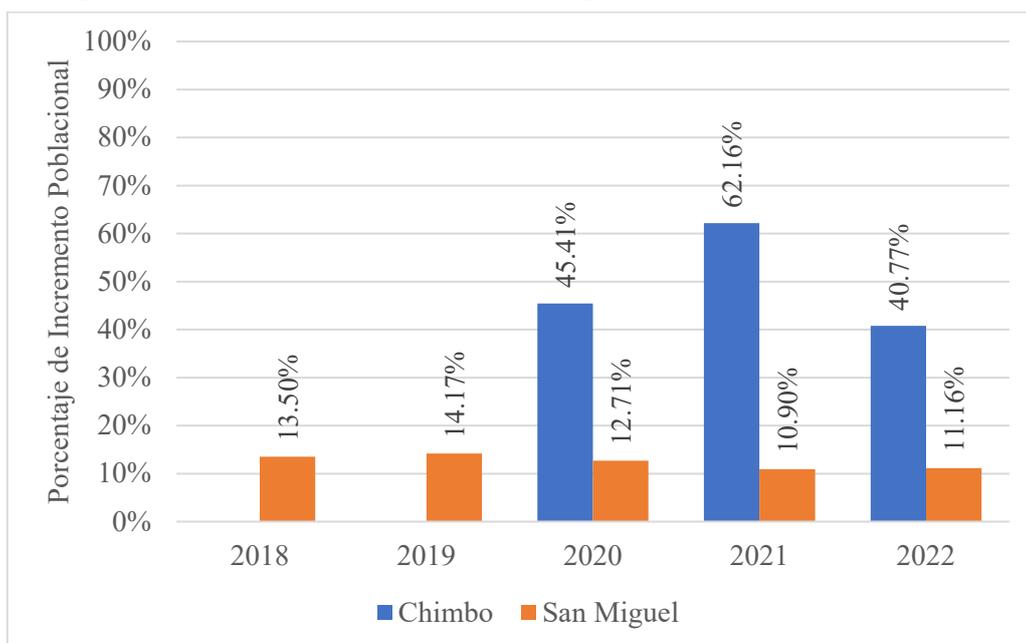


Figura 27. Incremento de cobertura estimado, cantones Chimbo y San Miguel.

En base a los resultados obtenidos y los datos mostrados por el ARCA (2021) podemos decir que existe una gran diferencia, puesto que en el documento mencionado se coloca al cantón Chimbo en una categoría superior al resto de cantones de la provincia de Bolívar, mientras que en el cálculo realizado se evidencia que San Miguel posee un mejor rendimiento y por ende un mejor estado de red.

En cuanto al índice de respuesta por parte de las empresas si existe concordancia con la información proporcionada por el ARCA (2021), puesto que fue corroborada con las visitas de campo realizadas.

En la provincia de Chimborazo, para el cantón Riobamba, Achache & Gómez (2022) muestran que existe un 45.31% de IANC en marzo del año 2021. En cuanto a los cantones Guano y Chambo, Jaramillo & Oleas (2022) indican que el IANC es de 50.79% y 75.75% respectivamente y, en los cantones Alausí y Colta, Saigua & Vimos (2023) muestran que se tienen porcentajes de 37.77% y 65.08% de IANC, respectivamente.

Dentro de la provincia de Bolívar actualmente no se han realizado investigaciones similares.

Una vez obtenidos los resultados de esta investigación, se evidencia la existencia de similitudes con los valores indicados en otras investigaciones, puesto que los porcentajes de IANC son muy altos y, en su mayoría, se obtuvo un estado malo o regular de las redes de abastecimiento de agua potable.

Sin embargo, los cantones con los que más se encuentran similitudes son Colta y Guano, puesto que la demografía es similar y los valores de IANC obtenidos son muy cercanos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Tras el análisis, se puede deducir que la existencia de distintas redes en el sistema de abastecimiento es de gran importancia y representan una gran ayuda, puesto que facilitan su mantenimiento y disminuyen tiempos de reparación, lo que se evidencia en el comportamiento existente en San Miguel, en donde el sistema cuenta con 7 redes, y en Chimbo, el cual posee una sola red de abastecimiento.

De igual manera, la información presentada nos lleva a concluir que, a pesar de contar con una respuesta pronta por parte de las entidades a los llamados de fugas, este proceso se considera deficiente debido a que en ninguno de los cantones se realizan mantenimientos preventivos.

Por otra parte, tal y como hemos podido comprobar, las pérdidas económicas producidas por el mal manejo de los sistemas y el gran porcentaje de Qif, representan un monto importante, lo que afecta directamente al usuario y encarece el servicio prestado, impidiendo realizar mejoras a la red actual.

Teniendo en cuenta el análisis expuesto, se observó que, particularmente en el cantón San Miguel, al haber cumplido el sistema con su vida útil, los problemas son cada vez más constantes, sin embargo, la no programación o la falta de un plan de acción con la que se ha ejecutado la construcción del nuevo sistema de abastecimiento acentuó el problema, puesto que se incrementaron las fugas y roturas de tuberías durante el inicio de dicho proyecto.

Adicionalmente, se puede concluir, que el cantón Chimbo, a pesar de estar calificado en una categoría aceptable por el ARCA, presenta muchos problemas, esto ya que, en comparación al caudal incontrolado fugado obtenido de San Miguel, su Qif es mayor, pese a tener una población y área menor, lo cual acentúa lo mencionado ya que los problemas per cápita incrementan.

En el cantón San Miguel, la red con el mayor Qif es la red 1, Guabuloma Bajo, y la red con el menor Qif es la red 5, La Comunidad, sin embargo, la red con el mejor rendimiento es la red 4, el Mirador, un el 64.01% de rendimiento global, y la que posee el peor rendimiento es la red 3, Tangará, con el 57.78%, mientras que el cantón Chimbo posee un rendimiento del 54.37%.

Para finalizar, con base a la cobertura actual del sistema de abastecimiento de las redes de agua potable de los cantones Chimbo y San Miguel, y con el porcentaje de incremento de la cobertura obtenido, se puede asumir que, aplicando un plan adecuado y corrigiendo los problemas ya mencionados, se alcanzaría casi el 100% de cobertura de los cantones, algo sumamente importante para mejorar la calidad de vida de la población.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a las instituciones socializar el plan de manejo existente en las entidades a todos los trabajadores de las mismas, con el fin de que se logre gestionar de manera adecuada y en el menor tiempo posible las actividades a realizar, para evitar fugas prolongadas y un mayor daño a las redes.

Se recomienda, para ambos cantones, que los planes de mejoramiento y planes maestros de agua potable, sean entregados a las entidades competentes, ya que necesitan de dicha información para seguir programando y ejecutando las medidas necesarias para que el cambio de sistemas no sea abrupto y, sobre todo, no genere inconvenientes a los usuarios o derive en interrupciones prolongadas del servicio.

Realizar un estudio complementario donde se identifique o realice el modelo matemático adecuado para la optimización de recursos hídricos, puesto que en la actualidad el volumen de caudal inyectado es excesivo, comparándolo con el caudal consumido.

Procurar que los datos registrados sean correctos, y vayan acompañados de equipos automatizados con el fin de que el error sea mínimo, debido a que, durante el proceso de esta investigación, se encontraron inconsistencias en los datos de las mediciones proporcionados por las entidades

Realizar un análisis completo del sistema, principalmente de los micromedidores, puesto que, muchos de estos ya han cumplido con su vida útil o presentan problemas, lo cual afecta en la toma de mediciones en las conexiones existentes.

Tener respaldos de la información recabada mensualmente, puesto que existieron conflictos al fallar el sistema que maneja actualmente la EPMAPA San Miguel, y no poder acceder a los catastros de años anteriores y, de esta manera, tener un mejor control de la información existente.

Se debe realizar un seguimiento periódico de los sistemas de abastecimiento, tanto en el cantón Chimbo como en San Miguel, con el fin de evitar la maximización del problema, de manera que se reduzcan los gastos que genera.

BIBLIOGRAFÍA

- Achache, N., & Gómez, S. (2022). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Riobamba* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10205>
- 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
- ARCA. (2019). *Benchmarking de prestadores 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
- ARCA. (2020). *Benchmarking de prestadores 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
- ARCA. (2021). *Benchmarking de prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento en el Ecuador*. http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/Boleti%CC%81n-estadi%CC%81stico-APS-2021_fn_v02.pdf
- Arellano, A., Bayas, A., Meneses, A., & Castillo, T. (2018). Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- Baader, J., Fallis, P., Hubschen, K., Klingel, F., Knobloch, A., Laures, C., Oertlé, E., Trujillo Alvarez, R., & Ziegler, D. (2011). *Guidelines for water loss reduction- a focus on pressure management*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://www.researchgate.net/publication/318792810>
- Benavides, H. M. (2013). *El agua no cobrada en sistemas de abastecimientos urbanos*. <https://www.researchgate.net/publication/323613171>
- Campaña, J., & Ortega, W. (2016). *Evaluación de la red de distribución de agua potable para determinar pérdidas y fugas de la urbanización La Colina del cantón Rumiñahui*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15217>
- Cedeño, C., Molina, X., & Perero, M. (2021). Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2736>
- Cervantes Tafur, H. (2012). *Detección de fugas en la tubería de la red principal del sistema de agua potable de la junta administradora de agua potable Sumak Yaku- Araque-Otavalo* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1061>
- EPMAPA Cantón Chimbo. (2022). *Reporte de Usuarios EPMAPACCH*.
- EPMAPA San Miguel. (2022). *Catastro- Usuarios EPMAPA San Miguel*.

- Fuentes Mariles, O. A., Palma Nava, A., & Rodríguez Vázquez, K. (2011). Estimación y localización en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XII(2), 235–242. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200012
- GADM Chimbo. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Chimbo*.
- GADM San Miguel de Bolívar. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón San Miguel de Bolívar*.
- INEN. (2014). *NTE INEN 1108 Agua potable. Requisitos*. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1108-AGUA-POTABLE.-REQUISITOS.pdf?x42051>
- Jaramillo, J., & Oleas, F. (2022). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones Chambo y Guano* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10118>
- MIDUVI. (2011). *NEC-11, Norma Hidrosanitaria NHE AGUA* (p. 38).
- Osejos Vásquez, A., Merino Murillo, J., Ponce Cedeño, O. S., & Cañarte Quimis, L. T. (2018). Análisis del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Jipijapa (Manabí - Ecuador) año 2015. *SATHIRI*, 13(2), 152–165. <https://doi.org/10.32645/13906925.762>
- Rosero, C. (2019). *Agua potable no contabilizada en el cantón Pagua y programa de control de pérdidas* [ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15834>
- Saigua, H., & Vimos, J. (2023). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable de los cantones de Alausí y Colta* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10507>
- Tapia, D. (2023). *Incidencia de fugas en la red de abastecimiento de agua potable del cantón Logroño, provincia Morona Santiago*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10713>
- Zúñiga, M. (2019). *Análisis y diagnóstico de la red del sistema de agua potable de la cabecera cantonal del cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador*. Universidad Politécnica de Valencia.

ANEXOS

Anexo 1.

Visita de campo a la planta de tratamiento en San Miguel.



Anexo 2.

Ficha de solicitud de reparación de fugas EPMAPA Chimbo.

EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL CANTÓN CHIMBO EP-MAPA-CCH "Nos esmeramos por brindarles un buen servicio"					
FECHA N°	0	SERVICIO SOLICITADO	TIPO DE INSTALACIÓN		
FECHA DE SOLICITUD:					
ORDEN DE TRABAJO N°	0				
DATOS DEL CLIENTE		REPARACION DE ACOMETIDA DOMICILIARIA DE AGUA			
NOMBRES Y APELLIDOS	SILVA BOSQUEZ ALICIA DEL CARMEN	CROQUIS			
C.I.	0201044005				
NUMERO DE TELF:					
DIRECCIÓN:	CHIMBO				
NUMERO DE CASA:	S/N				
SECTOR:	CENTRO				
RUTA:					
MANZANA:					
SECUENCIA:		INSPECCIÓN			
CALLE PRINCIPAL:	AV. TRES DE MARZO	FECHA DE INSPECCIÓN: 08 DE SEPTIEMBRE 2020			
CALLE SECUNDARIA:	S/N	CUADRILLA: SR. ANDRES SILVA			
DIÁMETRO DE TUBERÍA		Observaciones:			
Agua (X)	Alcantarillado ()	MEDIDOR			
90mm a 1/2					
MEDIDOR DE AGUA POTABLE				MARCA: HIDROMETER	
MATERIALES:	33.56			DIÁMETRO: 1/2	
COSTOS INDIRECTOS	6.71			NUMERO:	
RUBROS ALICUOTALES:	113.93				
TOTAL	154.22				
FORMA DE PAGO					
CANTIDAD (X)	CREDITO ()			CUOTA INICIAL	PLAZO: 12 MESES
SALDO: 154.22				0	
VALOR DE CUOTA MENSUAL:		12.85			
INGRESO AL SISTEMA					
CODIGO DE USUARIO:		000057			
FECHA DE INGRESO					
ELABORADO POR: ING. ALICIA LEDESMA					
AUTORIZADO POR: ING. CARLITA SANTILLAN					
 ING. CARLITA SANTILLAN C. GERENTE DE LA EP-MAPA-CCH.		EMPRESA PUBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL CANTON CHIMBO RECIBIDO HORA: 09 MAY 2022 San José de Chimbo, Cantón Chimbo, Ecuador			

