

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE PERDIDA EN EL SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL SUBSECTOR 27  
DE LA CIUDAD DE TACNA”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CARLOS EDUARDO TARQUI CABANA**

**TACNA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE PERDIDA EN EL SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL SUBSECTOR 27  
DE LA CIUDAD DE TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 07 de Diciembre del 2022; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtro. EDGAR HIPÓLITO CHAPARRO QUISPE**  
**SECRETARIO : Mtro. ULIANOV FARFÁN KEHUARUCHO**  
**VOCAL : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRÍAS**  
**ASESOR : Mtro. JIMMI YURI SILVA CHARAJA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Carlos Eduardo Tarqui Cabana en calidad de: Grado Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI N°71226277 declaro bajo juramento que:

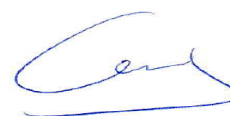
1. Soy autor de la tesis titulada: “Análisis del índice de pérdida en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna” la misma que presento para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

En consecuencia, no hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 07 de diciembre del 2022



Bach. Carlos Eduardo Tarqui Cabana  
DNI N°71226277

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia, sobre todo a mis padres quienes han estado impulsándome a seguir adelante, pero sobre todo a mi madre que es la persona mas importante en mi vida, mi ejemplo a seguir.

A cada integrante de mi familia los quiero mucho con todo mi corazón.

Carlos Eduardo Tarqui Cabana

## AGRADECIMIENTO

Agradecer principalmente a dios por darme las fuerzas de seguir adelante y porque siempre esta presente en mi vida, por la fortaleza y perseverancia para poder culminar esta tesis.

A mi madre Angela, que es el ejemplo para mi y mis hermanos, por su apoyo y cariño para poder alcanzar nuestras metas que nos proponemos. La única persona de poder demostrarme que el amor de una madre va mucho más allá de lo que cualquier persona pueda imaginar. Gracias por demostrármelo, te amo mamá.

A mi padre David, que estoy bien orgulloso que sea mi padre y que siempre este pendiente por nosotros, por demostrarme que con esfuerzo y dedicación todo se puede lograr.

A mis amigos, que siempre han estado ahí en los momentos importantes y mucho mas en los momentos más difíciles, gracias por el gran apoyo y los buenos momentos que pasamos a lo largo de mi vida.

A mi asesor Ing. Jimmy Silva, por el apoyo en la realización de mi tesis.

A la escuela Profesional de Ingeniería Civil, por formarme como persona y profesional, durante el transcurso de mi carrera profesional.

Carlos Eduardo Tarqui Cabana

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	7
1.2.1. Problema general .....	7
1.2.2. Problemas específicos.....	7
1.3. Justificación e importancia de la investigación .....	7
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general .....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. Hipótesis .....	9
1.5.1. Hipótesis general .....	9
1.5.2. Hipótesis específica .....	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1 Antecedentes del estudio .....	10
2.2 Bases teóricas .....	14
2.3. Definiciones de términos.....	23
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO .....	26
3.1 Tipo y nivel de la investigación.....	26

3.1.1	Tipo de investigación .....	26
3.1.2	Nivel de la investigación .....	26
3.2	Población y muestra de estudio .....	26
3.2.1	Población .....	26
3.2.2	Muestra .....	27
3.3	Operacionalización de variables.....	27
3.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	28
3.4.1	Técnicas para la recolección de datos.....	28
3.4.2	Instrumentos para la recolección de datos.....	28
3.5	Procesamiento y análisis de datos .....	28
CAPITULO IV: RESULTADOS .....		35
4.1	Ubicación .....	36
4.2	Facturación .....	40
4.3	Red de distribución del sub sector 27.....	40
4.4	Continuidad y presión de servicio.....	41
4.5	Macro y micro medición .....	41
4.6	Volumen distribuido al sistema ( $q_i$ ).....	44
4.7	Consumo autorizado ( $q_a$ ).....	44
4.8	Consumo autorizado facturada ( $q_{af}$ ) .....	45
4.9	Consumo autorizado no facturada ( $q_{anf}$ ) .....	46
4.10	Perdidas aparentes ( $q_{pa}$ ) .....	47
4.11	Pérdidas reales ( $q_{pr}$ ).....	49
4.12	Balance hídrico .....	54
4.13	Acciones para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27 .....	55
CAPITULO V: DISCUSION .....		57
CONCLUSIONES.....		60
RECOMENDACIONES .....		61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		62
ANEXOS .....		64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicador de Agua no Facturada.....	4
Tabla 2. Consumo medio por Subsectores.....	6
Tabla 3. Operacionalización de Variables .....	27
Tabla 4. Características del SubSector 27.....	35
Tabla 5. Nombres de las Asociaciones .....	38
Tabla 6. Facturación de Marzo 2020 a Febrero 2021 .....	40
Tabla 7. Consumo medio del Subsector 27 .....	40
Tabla 8. Longitud y diámetro de las Tuberías.....	41
Tabla 9. Volumen Proveniente del R15 al Subsector 27.....	44
Tabla 10. Consumo Autorizado Facturado .....	45
Tabla 11. Volúmen del lavado del reservorio 2020- 2021 .....	47
Tabla 12. Cálculo de porcentajes de conecciones clandestinas .....	48
Tabla 13. Cálculo de consumo no autorizado.....	48
Tabla 14. Volúmen de agua no facturada.....	53



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del sistema de abastecimiento de agua potable .....	5
Figura 2. Esquema de abastecimiento del Subsector 27.....	5
Figura 3. Ubicación del Subsector 27.....	6
Figura 4. Metodología del Balance Hídrico propuesto por el IWA.....	15
Figura 5. Balance Hídrico propuesto por el IWA.....	29
Figura 6. Diagrama del proceso de recolección de información .....	30
Figura 7. Estimación de bandas de exactitud.....	33
Figura 8. Sectores y Subsectores de la ciudad de Tacna.....	36
Figura 9. Sectorización del Subsector 27 .....	37
Figura 10. Macromedidor Siemens MAG5000.....	41
Figura 11. Micromedidor Zenners.....	42
Figura 13. Micromedidor marca DH.....	43
Figura 14. Volumen de Pérdidas Reales .....	50
Figura 15. Volumen de Pérdidas físicas vs Pérdidas reales .....	51
Figura 16. Volumen de Agua No Facturada .....	51
Figura 17. Descomposición de Agua No facturada.....	52
Figura 18. Resumen del balance hídrico .....	54
Figura 19. Resumen de acciones para reducir el índice de perdidas .....	55

## RESUMEN

Uno de los principales problemas de las Entidades Prestadores de Servicio – EPS es no conocer con exactitud su Índice de Perdida, esto conlleva a tener en el sistema altos índices de agua no facturada debido a diferentes tipos de fugas que afecta a los ingresos económicos de estas empresas, asimismo, esto hace que el servicio que se presta a la población sea deficiente. Para ello, es necesario realizar un balance hídrico del sistema determinando su caudal de ingreso, su consumo y su facturación para determinar las pérdidas en el sistema y plantear acciones de mejora que ayuden a optimizar el sistema y por ello mejorar el servicio a la población. Si los sistemas de abastecimiento de la EPS Tacna S.A. cuenta con índices elevados de agua no contabiliza hace que esta empresa no sea eficiente ya sea porque al momento de entregar agua a la población no cumple con su dotación como indica el reglamento y además sufre una considerable pérdida de agua tanto en la producción como en la recaudación. Luego de aplicar el método del balance hídrico, a través de la medición de cada uno de los indicadores, se determinó que el índice de Perdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna, con un porcentaje de ANF equivalente al 22,32 % aproximadamente.

**Palabras claves:** Balance hídrico, índice de pérdida, medición, agua facturada, agua no facturada y fugas.

## ABSTRACT

One of the main problems of the Service Provider Entities – EPS is not knowing exactly their loss index, this leads to having high levels in the system due to different types of leaks that affect the economic income of these companies, also this makes the service provided to the population is deficient. For this, it is necessary to carry out a water balance of the system determining its flow of income, its consumption and its billing to determine the losses in the system and propose improvement actions that help to optimize the system and therefore improve the service to the population. If the supply systems of EPS Tacna S.A. have high levels of water, it does not account for this company to be inefficient either because at the time of delivering water to the population it does not comply with its endowment as indicated by the regulations and also suffers a considerable loss of water in both production and collection. After applying the water balance method, through the measurement of each of the indicators, it is limited that the rate of Losses in the drinking water supply system in subsector 27 of the city of Tacna, with a percentage of ANF equivalent to approximately 22,32 %.

**Keywords:** Water balance, los rate, measurement, invoiced water, non-invoiced water and leaks.

## INTRODUCCIÓN

Tacna como ciudad, ha sufrido un crecimiento poblacional de 2,4 % (INEI) en los últimos años, lo que origina que el recurso hídrico sea limitado considerando que nuestras únicas fuentes de agua mantienen su volumen constante durante todo el año.

La Entidad Prestados de Servicio Tacna – EPS presenta deficiencias en su servicio, específicamente porque hay más demanda que producción y esto unido a los diferentes tipos de fugas que se presentan en el sistema acentúa la problemática. Al conocer el índice de pérdida del agua se puede mejorar dos aspectos importantes como incrementar el porcentaje del agua facturada que será un incremento económico para la empresa y otro aspecto para mejorar el servicio en forma oportuna y eficiente a la población.

Por ello, conocer los tipos de fugas que me permita conocer el Índice de Agua no facturada se podrá identificar las zonas en donde se debe realizar estudios para la ejecución de mejoras en el sistema, tal como se muestra en las siguientes páginas.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

Es difícil determinar el momento exacto en que la escasez de agua en el mundo se volvió uno de los principales problemas, pero si es real decir que empezó con la contaminación ambiental que originó el hombre. Estos factores han originado que en el mundo se tenga una grave escasez de agua dulce que es importante para diferentes necesidades y principalmente para el consumo humano, para lo cual es necesario evitar desperdicios y sobre todo continuar con la contaminación del mismo. Diversas investigaciones a nivel mundial indicaron que, es necesario no cambiar la forma del consumo de agua, dado que en la actualidad la población enfrenta una escasez de agua a nivel mundial del 40% aproximadamente, medido entre el suministro disponible y lo que la demanda requerirá en el periodo 2030 (Agatón et al., 2016; Salimi et al., 2018).

Algunos datos que se conocen en materia de operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y saneamiento (SAPS), son, por ejemplo, las experiencias recogidas en el taller internacional “Explorando el nexo entre el agua y la energía” desarrollado en Argentina con la participación de varios países de la región, donde se especificó que, el 45 % del agua destinada para el consumo, se pierde antes de llegar al usuario, en Latinoamérica; esto representa una pérdida de recursos para el estado y dificulta la administración de las diferentes entidades prestadoras del servicio de agua potable. Así mismo, la reducción de pérdidas de agua es vital para que las empresas de agua y saneamiento, generen mayores ingresos y aumenten el suministro de agua potable hacia los usuarios que lo requieren.

Dentro de su uso está el de consumo humano, para lo cual se han diseñado sistemas que abarcan la captación, producción, almacenamiento y distribución del agua para uso humano. Pero al mismo tiempo, en estos sistemas existen pérdidas de agua que afectan el servicio deben ser solucionadas y para eso se debe incrementar las tarifas para prestar un mejor servicio. Estas pérdidas pueden ser por robo de agua, falta de macromedición, micromedición, control de fugas, las cuales pueden ser tratadas de diferentes formas; donde la Asociación Internacional del Agua (IWA) propone realizar una evaluación de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento, a través del desarrollo eficiente y real sobre el desarrollo de un balance del sistema, que permite

establecer una línea base sobre las condiciones técnicas en las que opera el sistema. De esta manera, se determina cada uno de los índices de pérdidas de los subsistemas que constituyen el sistema; añadido a esto, se realiza la formulación de un programa para la disminución estas pérdidas de agua (Liemberger y Wyatt, 2018).

Según el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía del Banco Mundial (en inglés: ESMAP - Energy Sector Management Assistance Program), las medidas de eficiencia energética pueden ayudar a las empresas de agua y saneamiento a reducir el costo de energía entre el 5 y el 25 %.

En el Perú, el 97,7 % del agua se encuentra en la cuenca Amazónica (Cuenca del Atlántico), la cual tiene una característica de población, siendo esta menor que las cuencas del Titicaca y Pacífico, generando un desequilibrio en la distribución del agua en el país.

Cuando se habla de uso de agua potable se supone que el servicio debe ser eficiente, con cobertura, calidad, continuidad, cantidad y costos que deben dar solución a los problemas del sistema, lo que implica desarrollar procesos para mejorar el abastecimiento a través de la reducción de la pérdida del agua, las cuales no son facturadas generando pérdidas a la empresa. Estas fugas están en diferentes componentes del sistema como en la captación, tratamiento, conducción, almacenamiento y distribución, las cuales pueden ser visibles y no visibles originadas por la limpieza de los reservorios, reboses malogrados, roturas de tuberías, conexiones clandestinas, sub registro, etc.

En Tacna siendo una zona árida y gracias a un crecimiento poblacional desordenado, se cuenta con un déficit hídrico de más de 300 l/s que impide la continuidad del servicio. Esto se agrava por falta de una infraestructura adecuada, la cual es antigua. Por otra parte, se observa gran indiferencia por parte de la población con respecto a las prácticas de consumo (educación sanitaria); generando problemas de abastecimiento para el resto de usuarios; instalaciones clandestinas que afectan directamente la facturación y el mantenimiento del sistema; a la vez, se generan sobre costos debido a la morosidad de varios usuarios que también afectan la continuidad del servicio.

La falta de información actualizada de los índices de pérdidas en las EPS, no permite conocer realmente como se distribuyen y en qué porcentaje se encuentra lo que se refleja en el desconocimiento de las pérdidas económicas que se generan. Además, no se pudo determinar la influencia que se tiene en el funcionamiento del sistema y cómo afecta a los usuarios.

Si al tener control y conocimiento de las pérdidas de agua, se podría realizar acciones que mejoren el servicio optimizando el recurso para otras zonas de la ciudad.

Desde el año 2013 el porcentaje de Agua No Facturada ha ido incrementado considerablemente tal como se indica en la tabla 1, tendiendo un pico de 46,91 % en el año 2017 y manteniéndose los últimos tres años, siendo necesario realizar un estudio tanto operaciones como comercial para identificar los sectores en los cuales se viene presentando estas pérdidas.

**Tabla 1**

Indicador de agua no facturada

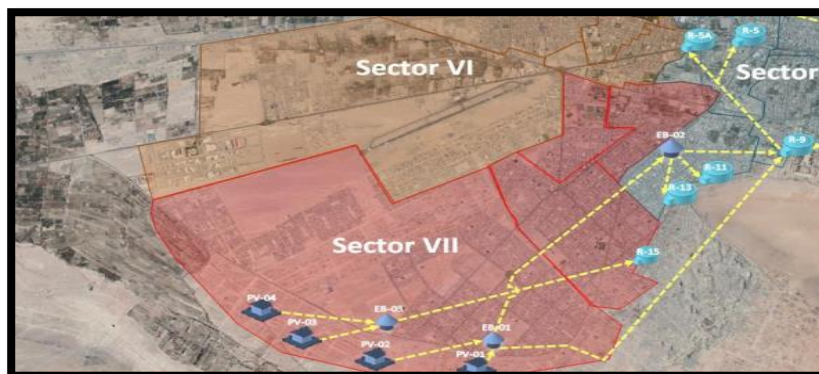
Nº	ESP	Agua no Facturada (%)							
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	EPS Tacna S.A.	25,85	29,06	29,35	30,93	36,91	31,19	31,59	31,69

*Nota Informe de Evaluación EPS Tacna S.A.*

En el subsector 27, ubicado en el Sector 7 Operacional (Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa), se abastece del reservorio “R.15 Viñani” que tiene una capacidad de 2 250 m<sup>3</sup>, el cual se ubica muy cerca de la Asoc. El Pedregal, que se localiza frente a la cantera Municipal, posee una sección circular y demás es de tipo apoyado como se indica en la figura 1.

**Figura 1**

Esquema del sistema de abastecimiento de agua potable del Sector VII

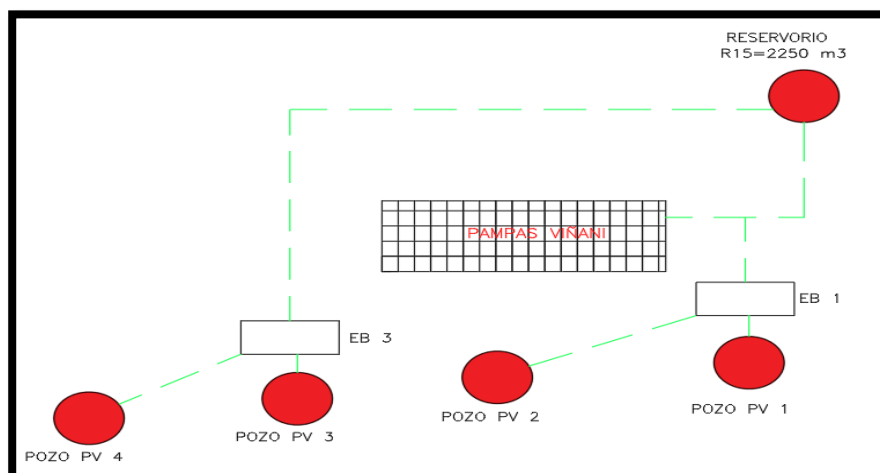


Nota Estudio Tarifario 2019 - 2023

Este subsector es abastecido con agua subterránea que proviene de los pozos PV3 y PV4 que pasan a la estación de bombeo EB3 ubicado en las faldas del cerro Arunta hacia el reservorio R15 indicado en la figura 2.

**Figura 2**

Esquema de abastecimiento del subsector 27



Nota Gerencia de Operaciones – EPS Tacna S.A

Está conformado por 50 asociaciones de vivienda divididas en cuatro etapas las cuales han ido creándose conforme se asentaba la población, siendo irregular su ampliación, se puede apreciar en la figura 3 la ubicación del subsector 27. En dicha zona se tiene categorías de consumo y no se ha generado un estudio sobre el agua no



facturada, pero se tiene un estudio aproximado de consumo como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2**

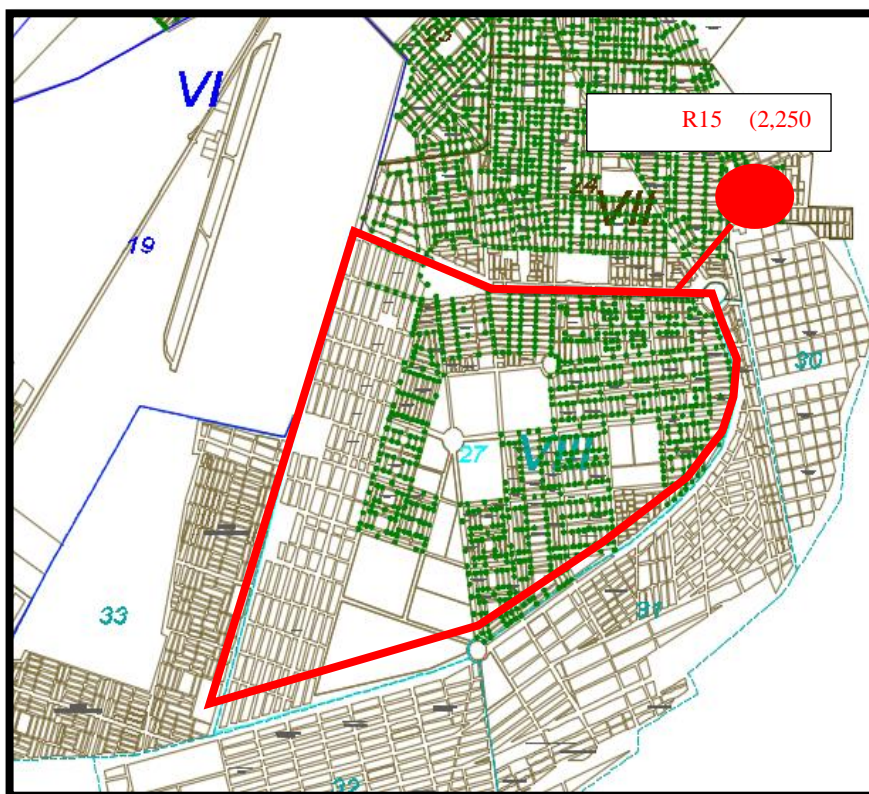
Consumo medio por sub sectores – 2017

<b>Categorías</b>	<b>Consumo Medio</b>
Domestico	0,00
Social	204,50
Comercial	747,50
Estatad	1775,00
Industrial	901,00
Total	1854,00

Nota Plan Maestro Optimizado de la EPS Tacna S.A. (2018 . 2023)

**Figura 3**

Ubicación del subsector 27



Nota Gerencia de Operaciones – EPS Tacna S.A

El incremento del agua no facturada de 25 % (2013) al 31 % (2020), determina claramente el desconocimiento que tiene la EPS Tacna S.A. ya que dicha información solo es la diferencia de lo producido con lo facturado, por lo cual no son valores reales de campo y por la tendencia se puede asumir que el porcentaje de ANF debe ser mayor.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo se puede determinar el Índice de Perdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna usando el método del balance hídrico?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuáles son los indicadores a ser usados con el método del balance hídrico para hallar el índice de pérdidas en el subsector 27?
- b. ¿Cuáles son los porcentajes de pérdidas de los indicadores del método del balance hídrico en el subsector 27?
- c. ¿Cuáles son las acciones de mejora que se deberían hacerse para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27?

## **1.3. Justificación e importancia de la investigación**

La EPS Tacna S.A. ha logrado identificar el agua no contabilizada – ANC (Tabla N°1) todos los años, siendo preocupante que este se eleve y no tenga un proceso de disminución afectando a la Empresa en forma económica y operacional. Para eso es necesario tener identificado el Índice de Agua no Contabilizada por sectores para identificar mejorar el funcionamiento de la EPS Tacna S.A.

Para ello realizar un Balance hídrico por sectores, permitirá determinar el agua no contabilizada – ANC real e identificar los indicadores que intervienen para mejorar el servicio de agua. De esta forma se podrá controlar los índices de pérdidas y optimizar el recurso hídrico, ampliando la cobertura del servicio para el beneficio de los usuarios. Por otra parte, los recursos de la entidad prestadora podrán orientarse a una mejora del servicio. Dado que, el volumen total recuperado del sistema de abastecimiento que pertenece al sub sector 27 podrá ser usado para abastecer a otras zonas que también requieren del servicio de agua potable.

Uno de los problemas más crudos de la Región de Tacna es el problema de abastecimiento por escasez de los recursos hídricos, dada su ubicación geográfica y naturaleza de sus principales afluentes de agua, los costos de captación son elevados, el lograr canalizar el agua hasta los usuarios es costoso y, además, existen constantes conflictos con el sector agrario por la distribución y uso del agua para el riego.

De manera específica, se buscó en primera instancia cuantificar las pérdidas ocurridas en el sistema de abastecimiento, para que luego sea posible realizar un mejor control del subsector 27. En ese sentido, se consideró el aprovechamiento máximo del equipamiento que funciona en el actual sistema, así como la prevención de los posibles riesgos y deficiencias halladas.

Si se llegan a aplicar las recomendaciones brindadas y se realiza una mejora del sistema de abastecimiento, en el futuro se podrá analizar la posibilidad de reajustar la tarifa por el consumo de agua potable y a la vez, obtener mayor continuidad del servicio.

Considerando que Tacna es una zona que tiene problemas del recurso hídrico, contar con el porcentaje de agua se pierde en las redes, ayudará primero a la EPS porque podrá facturar todo lo que produce y podrá ofrecer su servicio a nuevos clientes. También ayudará a la población ya que mejorará su servicio teniendo más horas de agua cuidando así la salud de las personas cubriendo sus necesidades y al optimizar este recurso se podrá cuidar el agua sin necesidad de sobreexplotarla cuidando el medio ambiente.

Al conocer los indicadores que intervienen en el balance hídrico, observamos que dentro de los diseños de los sistemas de producción, almacenamiento y distribución no contemplamos espacios que permitan evaluar los sistemas y mucho menos que permita realizar mejorar por perdidas. Si contáramos con esta información por procesos de mantenimiento se harían más rápido.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el índice de Pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna, usando el método del balance hídrico.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Identificar los indicadores que interviene en el método del balance hídrico para hallar el índice de pérdidas en el subsector 27
- b. Determinar los porcentajes de pérdidas de los indicadores del método del balance hídrico en el subsector 27
- c. Proponer acciones de mejora para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

El método del balance hídrico permitirá determinar el Índice de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna.

##### **1.5.2. Hipótesis específica**

- a. El método del balance hídrico permitirá identificar los indicadores para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27 de la ciudad de Tacna.
- b. El método del balance hídrico permitirá determinar el porcentaje de pérdidas de los indicadores en el subsector 27 de la ciudad de Tacna.
- c. La determinación del índice de pérdidas ayudará a la propuesta de mejoras para el subsector 27 de la ciudad de Tacna.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio

El trabajo de Navarro y Gonzalo (2020) titulado “Mejoramiento del Modelamiento Hidráulico para la Sectorización de redes de agua potable de la ciudad de Ilo”. Cuyo objetivo fue realizar la sectorización de la red de agua potable de la ciudad de Ilo, dando una propuesta para mejorar la entrega, distribución y control de caudales. Se menciona el uso del programa WaterGEMS en el que se realiza su análisis hidráulico teniendo en consideración los datos recopilados de la EPS ILO. Finalmente, se modeló la red con su alternativa del diseño de sectorización, separando sectores para que trabajen con su determinada zona de influencia con presiones aceptables de 10 m.c.a. la mínima y 35 m.c.a. la máxima y así con esta propuesta se plantea la eficiencia operativa del sistema hidráulico de la ciudad de Ilo.

La tesis de Ticona y Quiróz (2019) titulada “Reducción de pérdidas y agua no contabilizada del Sector II-B en la ciudad de Ilo”. Indica que el agua no facturada sirve como indicador para la evaluación de la eficiencia para las empresas prestadoras de servicio de saneamiento dentro del territorio peruano, dinámica bajo la cual, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento establece como que dentro del agua producida se acepta un 30 % de nivel de pérdida. Dentro de este contexto la tesis fundamenta su objetivo principal de reducir las pérdidas hídricas en el Sector IIB de la ciudad de Ilo. Para esta labor se implementó el balance hídrico estandarizado por la International Water Association (IWA). Se logró evidenciar que el índice de pérdidas para dicha región asciende a 41,94 %, la misma que se distribuye en pérdidas aparentes (no físicas) de 1,32 % y en pérdidas físicas (operaciones) de 40,62 %.

Alvarado y Cauna (2019) en su tesis “Análisis del Índice de Pérdidas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable del Sector VI de la ciudad de Tacna – Tacna”, tuvo como objetivo de determinar el agua no Facturada del sector operacional VI, además de calcular y analizar el índice propuesto por el IWA (Asociación Internacional del Agua). La recopilación de información se realizó en conjunto con la EPS TACNA S.A. con las diferentes gerencias y divisiones, a través de entrevistas constantes y visitas a los reservorios del sector VI. Se encontró un índice de pérdidas de 26.27 %, además se planteó propuestas de mejoras con su finalidad de minimizar

dichas pérdidas y poder optimizar el sistema de abastecimiento del Sector Operacional VI, del cual minimiza las pérdidas económicas para la EPSTACNA S.A.

Guarnizo y Sánchez (2019) en su tesis “Reducción de pérdidas de agua potable mediante el método de sectorización en el distrito de Salaverry, departamento La Libertad” busca minimizar las pérdidas de agua mediante un planteamiento de acciones en el ámbito comercial como operacional, buscar el incremento de la continuidad, aumento de cobertura de agua, reducción de agua no facturada e incremento de ingresos mensuales en la EPS. Se realizó mediante un análisis técnico y teórico, obteniendo los datos in situ y de la EPS, también se analizó la infraestructura actual, encontrándose déficits en las redes de agua existentes. Se puede concluir que reemplazando en unidades las partidas del rubro operacional, se reduciría las pérdidas de agua en un 70 % de la totalidad de pérdidas existentes.

Gutiérrez (2016) en su tesis “Análisis y determinación de agua no facturada (ANF) en el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona Larapa en la EPS SEDA CUSCO S.A., en la cual se pretende determinar el porcentaje de pérdidas de agua no facturada en las redes de distribución utilizando una metodología en la cual se realiza un inventario de pérdida de agua en la parte operativas y comerciales. En donde se desarrolló estudios en las tuberías, medidores, fuga en cajas, acometidas y abrazaderas, en donde se determinó que el ANF es del 69 % del volumen del agua que se distribuye en el sector.

Pérez (2016) en su tesis “El agua no facturada y pérdidas originadas en Sedapal - Comas 2016”, nos indicó que el agua no facturada y pérdidas alcanzo un volumen de un 34.35 % en Sedapal. Se utilizo una metodología de enfoque cuantitativo. La población estaba conformada por 150 clientes de la jurisdicción, de los que se realizó 60 preguntas con 2 alternativas de respuesta con el propósito de calcular la confiabilidad mediante el coeficiente alfa de Cronbach, teniendo 0.988 para variable pérdida y 0,959 para variable agua no facturada. Como resultado se obtuvo por estadística descriptiva que la mayor parte de clientes afirmar la existencia de Agua No Facturada.

Gómez (2014) en su tesis “Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar distribución de agua potable – Sector San Carlos. La Merced” Presenta la aplicación de un programa de reducción de pérdidas de caudal de agua, utilizando la

metodología como el balance hídrico, modelado de redes y la sectorización. Se concluyó que aplicando la metodología de sectorización nos ha permitido estimar la disminución de pérdidas de agua en un 40,5 %.

Duran (2014), en el Plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales de agua no contabilizada en el acueducto metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. establece que se identificó las causas de perdidas comerciales a mediante el análisis bibliográfico y a través de la participación del personal de confianza del Acueducto Metropolitano, logró desarrollarse un plan de acción dirigido a reducir las causas centrales de pérdidas comerciales. En la práctica empresarial se disminuyó el indicador de agua no contabilizada en 0,93 %, se evaluó la factibilidad económica para ello se realizó la estructura de costos del proyecto y por último se diseñó indicadores para acciones orientadas en programa de acciones para disminuir pérdidas de agua del componente comercial procedidas del agua no contabilizada en el Acueducto Metropolitano de Buacaramanga S.A.E.S.P.

En el Informe Técnico: “Análisis de pérdidas en la red de distribución de agua potable del Municipio del Líbano, Tolima - Colombia”, con un periodo de análisis de cinco años (2012-2016). Esta labor incluyó la comparación de las pérdidas hídricas reconocidas por parte de la empresa de servicios públicos de agua potable y alcantarillado, con los índices establecidos en la normatividad local e internacional; identificación de las repercusiones económicas resultantes de las pérdidas de aguda, así como la determinación de la metodología que permita detectar fugas e implementar medidas de control a fin de concretar reducciones de pérdidas (Herrera G., Alonso C. Y Zafra M., 2018). Ello permitió calcular el Índice de Agua No Contabilizada (IANC) el cual se basa en el análisis de pérdidas de agua tratada. El método implementado se centra en la comparación de la producción de agua potable en planta y la facturación generada por los usuarios, de este modo el indicador estimado tenderá a incrementarse en presencia de excesivas fugas en la red (Alegre H., Baptista J., y Parena R, 2000). Por lo tanto, es necesario contar con la información del caudal producido en la planta de tratamiento de agua potable, así como el caudal de facturación de la empresa, lo cual permita realizar la sustracción entre dichas cantidades para el cálculo del caudal de pérdida presente en el sistema de distribución, el mismo que pasará a ser dividido sobre el caudal producido para, de esta forma, calcular el IANC.

Ecuación 1. Caudal producido

$$QP=QT-Qf \quad (1)$$

Ecuación 2. Índice de Agua No Contabilizada

$$IANC= \frac{QP}{QT} * 100\% \quad (2)$$

Donde:

QP = Caudal de pérdidas en la planta de tratamiento

QT = Caudal producido en la planta de tratamiento

Qf = Caudal facturado por la empresa de servicios

*IANC* = Índice de Agua No Contabilizada

La investigación de Ojeda (2012), llevó como título “Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de ciudad Universitaria de la UNAM”. Este trabajo tomó en consideración a las fugas como uno de los factores de mayor relevancia en la afectación operativa de las redes de agua potable, siendo que estas pérdidas llegan a representar el 50 % del agua para suministro, condición que evidencia el lamentable estado del servicio. Las deficiencias en la distribución de recursos hídricos están asociados a problemáticas como los denominados “tandeos” los cuales vienen a ser medidas de discontinuidad en el servicio, situación que representa un riesgo a la salud pública, así como problemas sociales de satisfacción y apoyo a la gobernación local. Parte de los logros alcanzados estuvieron orientados a la promoción de la participación de los operadores de la red quienes, luego de un accidentado y largo proceso, lograron adherir las acciones del programa llevando, a su vez, el regular desarrollo de sus funciones. Esto permitió una mejora del 100 % en la reducción de fugas, beneficios alcanzados por la implementación del método de sectorización.

Apolo (2004) desarrolló la tesis titulada “Proyecto de evaluación y reducción de pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua EPS EMFATUMBES S.A.”. Este trabajo tuvo como objetivo el proveer un programa sistemático y permanente para la EPS mencionada la cual permita reducir y controlar las pérdidas físicas y no físicas suscitadas dentro del sistema de abastecimiento hídrico. Dentro de este trabajo se estableció un margen adecuado de pérdidas de entre 20 y 25 %. A su vez, se logró identificar que la EMFATUMBES S.A. solamente tenía la lectura de 520 medidores, la



cual representaba el 5,3 % del total de conexiones activas facturables, además de no contar con una política de mantenimiento, situaciones que implicaban condiciones de riesgo de pérdida por error de medición. Otros factores identificados fueron los consumos clandestinos y los usuarios inactivos, los mismos que representan una oportunidad de recuperación de ventas a través de la formalización de conexiones y correspondiente reducción de pérdidas. Finalmente, se establecieron propuestas de procedimientos para la medición del balance hídrico y el cálculo real del índice de pérdidas en la jurisdicción, en base a las condiciones latentes y las prácticas óptimas de control y reducción de fugas en domicilios.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.1.1 Balance Hídrico**

Este balance permite identificar y cuantificar cada elemento hídrico que se incorpora y se descuenta de un sistema de abastecimiento en base a un periodo de tiempo determinado. El balance hídrico está orientado al reconocimiento de los componentes de consumo y pérdida presentes en sistema estandarizado. Representa la etapa inicial de la evaluación del agua no facturada y el manejo de fugas dentro de una red de distribución hídrica.

Dentro del cálculo del balance hídrico es sumamente importante realizar un manejo preciso de los volúmenes, a través de la calidad de los datos, de forma que se estimen volúmenes de pérdida con exactitud. Es decir, la veracidad de la medición estará condicionada a los volúmenes de agua ingresantes y salientes del sistema de abastecimiento. Contar con datos que hayan pasado por eficaces procesos de validación es de suma importancia para la definición de volúmenes de pérdida de agua. Para esta labor se deben manejar distintas técnicas, puesto que la combinación de las mismas permitirá garantizar mejores resultados, entre las de mayor relevancia se tiene al balance hídrico anual desde arriba hacia abajo y la evaluación de pérdidas reales desde abajo hacia arriba. A continuación, se presenta una tabla que facilita la comprensión terminológica y sus respectivas abreviaturas.

**Figura 4**

Metodología del Balance Hídrico Propuesto por el IWA (International Water Association)

Volumen de entrada al sistema QI	Consumo autorizado QA	Consumo autorizado facturado QAF	Consumo facturado medido Consumo facturado no medido	Agua facturada (Consumos medidos no estimados)	
		Consumo autorizado no facturado QAuNF	Consumo no facturado medido Consumo no facturado no medido		
	Pérdidas de agua QP	Perdidas aparentes QPA	Consumo no autorizado Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos		Agua no facturada (Agua no contabilizada)
		Perdidas reales QPR	Fugas en las tuberías de aducción y distribución Fugas y reboses en tanques de almacenamiento Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente		

Nota Manosalvas (2011).

Los elementos que componen del balance hídrico pueden definirse así:

#### Volumen de entrada al sistema (Q<sub>I</sub>):

Es la cantidad de agua que se inyecta al sistema de agua potable para abastecer a la población, su unidad de medida es (m<sup>3</sup>).

Ecuación 3. Volumen de entrada al sistema

$$Q_I = Q_A + Q_P \quad (3)$$

Donde

Q<sub>A</sub> = Consumo autorizado

Q<sub>P</sub> = Perdidas de agua

#### A.- Consumo autorizado (Q<sub>A</sub>):

Este se divide en consumo autorizado facturado (como el consumo medido facturado, el consumo no medido facturado y el agua exportada) y en consumo autorizado no facturado (consumo medido no facturado y consumo no medido no facturado). Dentro del balance hídrico se consideran las fugas y reboses los cuales se suscitan posterior al punto de medición del usuario, como también los requerimientos hídricos para el desarrollo de limpieza de tuberías y filtros por parte de la empresa.

Ecuación 4. Consumo autorizado

$$Q_A = Q_{AF} + Q_{AuNF} \quad (4)$$

Donde

$Q_{AF}$  = Consumo autorizado facturado

$Q_{AuNF}$  = Consumo autorizado no facturado

- **Consumo autorizado facturado ( $Q_{AF}$ ):** Es aquel volumen de agua entregado y facturado al cliente, el mismo que representa ingresos para la empresa prestadora del servicio.

*Consumo facturado medido:*

Refiere al volumen de agua cuantificado a través del procesamiento contable y que implica un pago facturado; este puede ser considerado para consumo doméstico, comercial e industrial.

*Consumo facturado no medido:*

Refiere al volumen de agua que carece de un proceso propio de medición pero que, aún así, es considerado dentro del procesamiento contable y que implica un pago facturado; este puede ser considerado para consumo doméstico, comercial e industrial.

- **Consumo autorizado no facturada ( $Q_{AuNF}$ ):** Es aquel volumen de agua que ha pasado o no por una medición y por el cual no se ha realizado un pago por factura. Dentro de este consumo también se toma en consideración el agua usada para fines operativos de lavado o limpieza de filtros, como parte de la prestación del servicio público.

*Consumo no facturado medido:*

Refiere al volumen de agua cuantificado que no implica un pago de factura. Ejemplo de ello viene a ser los usuarios autorizados como edificios municipales o camiones cisterna.

*Consumo no facturado no medido:*

Refiere al volumen de agua que carece de un proceso propio de medición y que no implica un pago de factura. Ejemplo de ello viene a ser los usuarios autorizados como parques públicos, bomberos y sectores de asociaciones de vivienda en formación.

*Agua Facturada (AF):*

Considera el volumen de agua que es eficazmente distribuida al cliente y que cuenta con una facturación, proporcionando ingresos económicos a la empresa

prestadora del servicio hídrico. Posee atributos bastante similares al consumo autorizado facturado, con la diferencia que esta tiene un abordaje de interés financiero.

Ecuación 5. Agua Facturada

$$AF = QAF \quad (5)$$

### **B.- Pérdidas de agua (QP)**

Refiere al volumen de agua desaprovechado entre el punto de suministro y el medidor del cliente abarcando diferentes causales. Esta suele determinarse a través de la diferencia generada por el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado, además de implicar pérdidas aparentes y reales.

Ecuación 6. Pérdidas de agua

$$QP = QPA + QPR \quad (6)$$

- **Pérdidas Aparentes (Q<sub>PA</sub>):**

Comprende toda aquella agua que es distribuida con éxito al cliente, pero que no cumple con una medición o registro preciso, causando así una disparidad en la estimación del consumo de agua de los clientes. Por consiguiente, estas pérdidas representan afecciones de rentabilidad al dirigir costos que no generan ingresos correspondientes.

*Consumo no Autorizado:*

Hace referencia a aquella extracción hídrica que no cuenta con una autorización respectiva, implicando así, un generador de pérdidas que puede manifestarse de muchas formas, como en robos de agua, conexiones ilícitas, manipulación de medidores, extracción de agua en instalaciones para incendios, entre otros.

*Inexactitud de la micro medición y errores en el manejo de los datos:*

Son aquellas pérdidas debido a las inexactitudes de los medidores, son frecuentemente la pérdida más común de las pérdidas aparentes. La experiencia muestra que hay un porcentaje de agua no se mide o se mide de manera incorrecta debido a errores de medición o también a pérdidas crecientes en los medidores de agua. Este puede estar causado por seleccionar medidores inadecuados, medidores mal dimensionados, por una instalación no correcta y por la no calibración de los medidores,

así como debido a un deterioro progresivo en el desempeño de los medidores a lo largo del tiempo.

- **Pérdidas Reales ( $Q_{PR}$ ):**

Las pérdidas reales son cantidades de agua pérdidas durante un cierto período de tiempo debido a todo tipo de fugas, grietas y desbordamientos. Estas fugas se pueden clasificar según su ubicación dentro del sistema, tales como: fugas en las tuberías principales de transporte y distribución y fugas en las conexiones de servicio hasta el punto de medición al cliente.

*Fugas en tuberías de distribución o en líneas principales:*

Corresponde al agua que se pierde a causa de las grietas o quiebres en las tuberías, debido a la antigüedad, corrosión u algún otro factor; también en uniones (dada la antigüedad de las empaquetaduras, desconexiones); válvulas dañadas (debido a las fallas durante su mantenimiento u operación).

*Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente:*

Se refiere a aquellas fugas que ocurren desde las conexiones de servicio hasta el punto de medición del cliente, muchas veces se hace referencia a las conexiones de servicio como los puntos débiles de las redes de abastecimiento de agua; porque los accesorios y conexiones muestran un alto índice de fallas. Por otra parte, se sabe que Este tipo de fugas son difíciles de detectar debido a sus tasas de flujo relativamente bajas y, por lo tanto, tienen largos tiempos de pérdida.

**Agua no Facturada (ANF):**

Representa al volumen de agua que no se factura y no genera ingresos para la entidad prestadora del servicio. Se describe como la diferencia entre el volumen de agua que se ingresa al sistema y el consumo autorizado facturado.

Ecuación 7. Agua no Facturada

$$\begin{aligned} ANF &= Q_I - Q_{AF} \\ ANF &= Q_{AuNF} + Q_{PA} + Q_{PR} \end{aligned} \quad (7)$$

### **2.1.2 Desperdicio del Agua**

A pesar que este indicador no es considerado como parte de las pérdidas de agua dentro del balance hídrico de la IWA, se presenta luego del punto de medición del usuario. Así mismo, este desperdicio representa una proporción significativa del consumo (tanto medido como no medido) y divide en: Despilfarro intencionado (como vandalismo o cañerías expuestas) y pérdida de vivienda por conexiones incorrectas o grifos defectuosos. Esto último se puede reducir en gran medida instalando un sistema de medición de la conexión, que se factura a una tarifa fija, lo que ayudará a reparar las tuberías defectuosas. (Farley, M., Leakage Management and Control. WHO, 2001).

También se pueden generar residuos por el uso descuidado o excesivo del agua doméstica, por ejemplo, limpieza de cañerías y filtros y aumento del consumo no autorizado.

El desperdicio de agua es un grave problema económico para las empresas de agua que importan o compran agua, por lo que deben pagar el costo total de cada m<sup>3</sup> de desperdicio (sin medir).

Reducir el desperdicio en áreas con recursos hídricos limitados o escasos o áreas con suministro deficiente puede ayudar a mantener un suministro sostenible.

### **2.1.3 Reparación de Fugas**

Por lo general, varios departamentos dentro de una entidad prestadora del servicio de agua están involucrados en el proceso de recuperación de fugas. Por ejemplo:

- Departamento de Atención al Cliente (recepción de reclamos de clientes y órdenes de trabajo).
- Departamento de control (detecta consumos anómalos en la zona y avisa a los equipos de detección y reparación de fugas).
- Área de almacén (quienes brindan los materiales y suministros de reparación, así como la gestión del inventario).
- El personal de reparación de fugas es responsable directamente de las reparaciones.

Es importante organizar y documentar bien los procesos comerciales entre todas las áreas involucradas. Dado el tamaño de la fuga, la reparación de la fuga debe ser una prioridad. Es importante que el personal de reparación de fugas esté capacitado, motivado y equipado con todos los equipos, vehículos, comunicaciones y equipos de

seguridad adecuados. El número de equipos de reparación debe ser proporcional al número de fugas a reparar. Los almacenes deben asegurarse de que las piezas de repuesto usadas estén en stock y evaluar tiempos de entrega inaceptables. El análisis de la base de datos y la frecuencia de las fallas lo ayudará a identificar los tipos de tuberías y válvulas que se dañan con mayor frecuencia.

#### 2.1.4 Índice de Pérdidas

Es un indicador normalizado para el cálculo de pérdidas físicas y no físicas de agua, en los sistemas de abastecimiento de agua potable de las entidades prestadoras de servicios. El índice posee un Control de Pérdidas Efectiva y presenta valores entre un rango de 14 % y 20 %. Un índice entre 25 y 30 % es aceptable para empresas en Perú que han implementado y desarrollado programas de control de pérdidas.

El Índice de Pérdidas (IP) es una relación entre el Volumen Distribuido y el Volumen Consumido, de un sector en específico durante un mismo periodo de tiempo y en las mismas condiciones de continuidad de servicio. Se representa de la siguiente manera:

##### Ecuación 8. Índice de Pérdidas

$$IP \% = \frac{\sum (\text{Volumen de entrada al sistema} - \text{Consumo autorizado facturado})}{\sum \text{Volumen entrada al sistema}} \times 100 \quad (8)$$

$$IP \% = \frac{(Q_i - Q_{AF}) \times 100}{Q_i}$$

#### 2.1.5 Agua no Facturada

Agua no contabilizada representa la diferencia entre el agua producida (medida en la planta de tratamiento) y el uso medido (ej. Ventas más agua medida que no produjo ingresos). Esta cantidad de agua no contabilizada se puede expresar en millones de galones por día (mgd), pero generalmente se considera como un porcentaje de la producción de agua (Zacharia, 2009).

$$ANF \% = \frac{\sum (\text{Volumen Producido de agua} - \text{Volumen facturado de agua})}{\sum \text{Volumen Producido de agua}}$$

### 2.1.6 Dotación

Considerado como el valor promedio de todo el suministro de agua (hab/día), expresado en (litros/hab/día). Este resultado ayuda a determinar los costos de las redes de distribución utilizadas para el consumo público. El consumo de agua por días de la semana y horas del día varía según la estación y depende directamente de factores como el clima, el tamaño de la ciudad y su nivel industrial, la presión y la calidad del agua.

La Norma OS.100 especifica que la distribución diaria promedio anual por residente debe determinarse con base en un estudio de factibilidad de consumo respaldado por información estadística verificada.

### 2.1.7 Caudal Medio Diario

El caudal promedio se estima de la población durante un periodo de 24 horas:

Ecuación 9. Caudal Medio Diario

$$Q_p = \frac{D * P}{86400} \quad (9)$$

Donde:

P : Población

Q<sub>p</sub>: Caudal promedio

D : Caudal máximo diario

### 2.1.8 Caudal Máximo Horario

Se estima la población durante un periodo de 24 horas, Máximo anual de la demanda horaria: 1,8 a 2,5.

Ecuación 10. Caudal Máximo Horario

$$Q_{mh} = K * Q_p \quad (10)$$

Donde:

K : Coeficiente de amplificación

Q<sub>p</sub> : Caudal promedio

Q<sub>mh</sub>: Caudal máximo horario



### **2.1.9 Variaciones Horarias**

Son variaciones analizadas de forma horaria que se pronuncian en el desarrollo de cada día, estas variaciones son representadas por el Coeficiente de Máxima Demanda Horaria, conocido como  $k_2$ , que corresponde a la hora de mayor demanda horaria. Según el RNE se recomiendan valores que se encuentren entre 1.80 y 2.50.

### **2.1.10 Medidor de flujo volumétrico**

Conocido también como medidor de agua o contador de agua, es un aparato que permite cuantificar el volumen de agua que pasa por él. Suele utilizarse en los ingresos por suministro de agua potable de instalaciones residenciales e industriales para calcular los costes correspondientes a los usuarios.

### **2.1.11 Clasificación de las redes de agua**

Se clasifican las redes según: su uso y topología.

- a.** Según su uso: Existen las redes generales, las de uso exclusivo en zona urbana, para servicios industriales, para uso exclusivo de riego y prevención de incendios.
- b.** Según su topología: Describen las redes según como estén conectadas las tuberías: ramificadas, malladas o mixtas:
  - Redes de distribución ramificadas: En las redes ramificadas, el agua solo circula en un sentido por la red. Las tuberías secundarias y terciarias están conectadas a través de una tubería principal, cada una de menor diámetro. También se les conoce como redes de distribución arboladas, por su parecido con las ramas de los árboles.
  - Redes de distribución malladas: Este tipo de redes se disponen en forma de malla o rejilla. A diferencia de las redes ramificadas, en estas redes el agua puede fluir en todas las direcciones, por lo que cada punto de la red puede ser atendido por diferentes tuberías. Una avería en una tubería no significa que parte de la red quede sin servicio.
  - Redes de distribución mixta: Como sugiere su nombre, las redes mixtas son una combinación de las características de las redes ramificadas y de malla. Surgen como consecuencia del cierre o creación de mallas de una red ramificada.

### **2.1.12 Sectorización**

El término sectorización se conoce como la formación de áreas de suministro autónomas, pero no independientes, dentro de una red de distribución. En otras palabras, dividir o dividir una red en varias redes más pequeñas para facilitar las

operaciones. De esta forma, es mucho más fácil controlar los caudales en cada sector, la presión interna en las tuberías, la demanda y el consumo, así como el consumo de agua durante fugas y usos no autorizados. Además, se puede enviar agua a través de la red primaria hasta el punto más alejado de la fuente de energía sin sobrecargar la red secundaria.

Las etapas que deben seguirse durante la sectorización son:

- Catastro del sistema de distribución de agua potable.
- Diseño preliminar del sistema, definición de puntos de potencia y posibles interconexiones controladas para protección contra fallas.
- Diseño e implementación de una matriz piloto, incluyendo las válvulas de aislamiento necesarias, mecanismos de regulación de presión, medición del costo de los alimentos, así como las fluctuaciones diarias de la demanda, ya sea asumida o inferida por ciertas mediciones.
- Se han establecido algunas reglas generales para el diseño de sectores, como las que se enumeran a continuación (Salguero, 2008).
- El diseño de un sector no debe incluir circuitos ni tanques de almacenamiento.
- Cada sector deberá ser alimentado desde un único punto, el cual deberá contar con un contador.
- Los límites de los sectores deben estar definidos por válvulas cerradas.
- Deben observarse las normas locales.
- Cerrar válvulas para aislar sectores puede hacer que aparezcan zonas muertas
- Porque la presión juega un papel muy importante en el tratamiento de fugas.

### **2.3. Definiciones de términos**

- Agua No Facturada: Mide la parte del volumen de agua potable producida que no es facturada por el usuario.
- Continuidad de servicio de agua: es el porcentaje de tiempo en que se dispone de agua potable (diaria, semanal y estacional).
- Balance hídrico: es el resultado de la comparación, en un período determinado, del volumen de agua suministrado a un sector de abastecimiento con el volumen de consumo medido por el 100 % de los usuarios del sector, en el mismo período.
- Índice de Perdida: Es la diferencia entre el volumen de entrada de la planta y el consumo permitido facturado, multiplicado por 100 y luego dividido por el

volumen de entrada de la planta, representa el porcentaje de agua que no percibe el beneficio económico de la EPS

- Macromedición: Es el conjunto de operaciones encaminadas a conocer y determinar los caudales y volúmenes producidos y distribuidos en los sistemas de abastecimiento de agua, así como registrar los niveles de agua en los tanques de almacenamiento y la presión en las tuberías de agua.
- Micromedición: Es el conjunto de acciones que permiten conocer las cantidades de agua consumidas por los usuarios, la medición es la base para la facturación, su instalación apunta a un uso racional del agua, así como a una cultura de pago y significado. de responsabilidad hacia el usuario.
- Fugas de agua: Las verdaderas fugas están formadas por fugas, son la fuga o escape de agua por una abertura, grieta, grieta o mala conexión, se dan en las tuberías de transmisión y distribución, en las conexiones de servicio y en los tanques.
- Pérdidas de agua: Es la cantidad de agua que se pierde entre el punto de entrega y el contador del cliente por diversas causas. Puede expresarse como la diferencia entre el volumen de ingresos del sistema y el consumo permitido y se compone de pérdidas aparentes y reales.
- Pérdidas comerciales: Corresponden a consumos ilegales, consumos ilimitados, consumos no facturados y errores micrométricos y de facturación. donde  $AP = \text{Volumen en m}^3 \text{ de agua potable medido a la salida de las plantas de tratamiento durante el período de análisis.}$
- Pérdidas físicas: Corresponden a las cantidades de agua pérdidas por fallas en la infraestructura física instalada: grietas, fracturas y filtraciones.
- Demanda: En el contexto de la hidráulica, se considera demanda al consumo de los usuarios del recurso hídrico, esta es variable según las 24 horas del día y las estaciones climáticas, generalmente se expresa en l/s.
- Dotación: Es la cantidad de agua que se asigna a una persona para su consumo, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual y sus unidades están dadas en l/h/día.
- Velocidad: La velocidad máxima según el estándar O.S.050. ser 3 m/s. En casos justificados, se acepta una velocidad máxima de 5 m/s.
- Presiones: Los sistemas hidráulicos funcionan bajo sobrepresión. Las presiones admisibles se especifican en la normativa nacional de edificación

según OS.050: La presión estática en la red no debe superar los 50 m. A máxima demanda horaria, la presión dinámica no es inferior a 10 m. En caso de suministro desde las piscinas, la presión mínima es de 3,50 m a la salida de la pileta.

## CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

### 3.1 Tipo y nivel de la investigación

#### 3.1.1 Tipo de investigación

Tipo de investigación: *Descriptivo*

Es un tipo de investigación descriptivo, ya que es necesario realizar las observaciones y describir la zona de abastecimiento y también es cuantitativo, ya que se debe obtener información de los caudales, consumos y presiones para analizar los índices de pérdida y mejorar el sistema de abastecimiento.

Diseño de investigación: *Documental*

En cuanto a su diseño de investigación es documental, ya que a partir de la información que se recaba se utilice como base del estudio.

#### 3.1.2 Nivel de la investigación

El nivel de investigación es Comprensivo, ya que explica el comportamiento del consumo del agua y propone acciones de mejoras.

### 3.2 Población y muestra de estudio

#### 3.2.1 Población

La población de estudio se encuentra ubicada en la Sector Operacional 7 en el Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, Tacna. Esta población cuenta con 145067 habitantes aproximadamente, según el Repositorio Único Nacional de Información en Salud (Ministerio de Salud, 2022).

La composición de los hogares, es de 24,65 % compuesto por una persona, del 19,35 % compuesto por 2 personas, de 20,63 % compuesto por 3 personas, de 19,04 % compuesto por 4 personas, de 9,41 % compuesto por 5 personas (INEI, 2018).

Las actividades socio económicas de la población de la zona son variadas; entre las actividades industriales, existen diferentes talleres de carpinterías, metal y soldadura, vidrierías, tiendas retail y centros de abasto, otros; actividades de servicios,

como entidades financieras, restaurantes, servicio técnico, algunas piscinas que pertenecen a diferentes asociaciones; los servicios públicos, que hay en la zona son luz, agua, desagüe, centros de educación básica regular y CETPRO, servicio de telefonía móvil y fija, internet, también hay centros de salud (ESSALUD y SIS), transporte público, losas deportivas comunales.

### 3.2.2 Muestra

A través de un muestreo por conveniencia, se trabajó con la población ubicada en el subsector 27 del sector operacional VII en la provincia y región de Tacna.

La Zona de estudio denominado Sub Sector 27, está ubicado en la zona final del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa la cual es una zona que se vino asentando desde el a 2002 y está conformada por cuatro etapas y un total de 75 Asociaciones de Vivienda.

Existe alrededor de 11137 conexiones; donde el 91,4 % es Doméstica con Beneficio, el 6,2 % es Doméstica, el 1,3 % es Comercial, el resto es Estatal, Industrial y Social (actualizado hasta mayo del 2021).

Continuidad horas de servicio por día es de 22 horas aproximadamente.

### 3.3 Operacionalización de variables

**Tabla 3**

Operacionalización De Variables

<b>VARIABLES</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
<b>Independiente:</b> Índice de Pérdidas	Es la determinación de las pérdidas en los sistemas de agua potable	- Caudal de Ingreso - Agua facturada - Agua No facturada - Pérdidas en el sistema	- Agua no contabilizadas - Tipo de pérdidas - Consumo
<b>Dependiente:</b> Sistema de abastecimiento	Determina las características del sistema de agua y su uso	- Topografía - Caudal de diseño - Tarifas comerciales	- Presiones en las redes - Velocidad en las redes

### **3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas para la recolección de datos**

Las técnicas para la recolección de datos utilizados fueron los siguientes:

##### **a) Información Bibliográfica**

Se recopiló información y documentación necesaria para ser procesada y llevada a cabo la evaluación. Se recopiló los datos de la ubicación, número de habitantes, número de viviendas; número de conexiones, lectura de micro y macro medidores.

##### **b) Estadísticas del crecimiento poblacional**

La investigación se realiza tomando en cuenta las normas vigentes del RNE en las cuales se han realizado visita a campo, recopilación de información y comparación de datos tal cual están indicados en el anexo 2.

#### **3.4.2 Instrumentos para la recolección de datos**

##### **a) Estadísticas con apoyo del Software Microsoft Excel**

Con el uso del programa Microsoft Excel visualizaremos y aplicaremos comando para poder filtrar la información dada por el EPS Tacna, obtendremos la recolección de datos por meses, los tipos de medidores y las asociaciones donde se encuentran instalados los micromedidores. A la vez se tomó en cuenta la matriz de consistencia en el Anexo 1.

##### **b) Autocad:**

Con el uso del programa AUTOCAD visualizaremos y definiremos la ubicación, avenidas y redes que existen en el subsector 27 del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa.

### **3.5 Procesamiento y análisis de datos**

El porcentaje de Índice de Perdidas del SECTOR VII de la ciudad de Tacna se obtuvo al analizar el balance hídrico del sistema de abastecimiento. Para el cálculo del balance

hídrico, se debe saber que la precisión de las cantidades de agua perdidas depende de la precisión de la toma de datos realizada. Por lo tanto, es necesario el diseño de una hoja de cálculo para realizar los cálculos del balance hídrico (referido a la Figura 5).

Se tuvo en cuenta los siguientes datos para hallar el porcentaje de pérdidas.

### Figura 5

Balance Hídrico propuesto por IWA

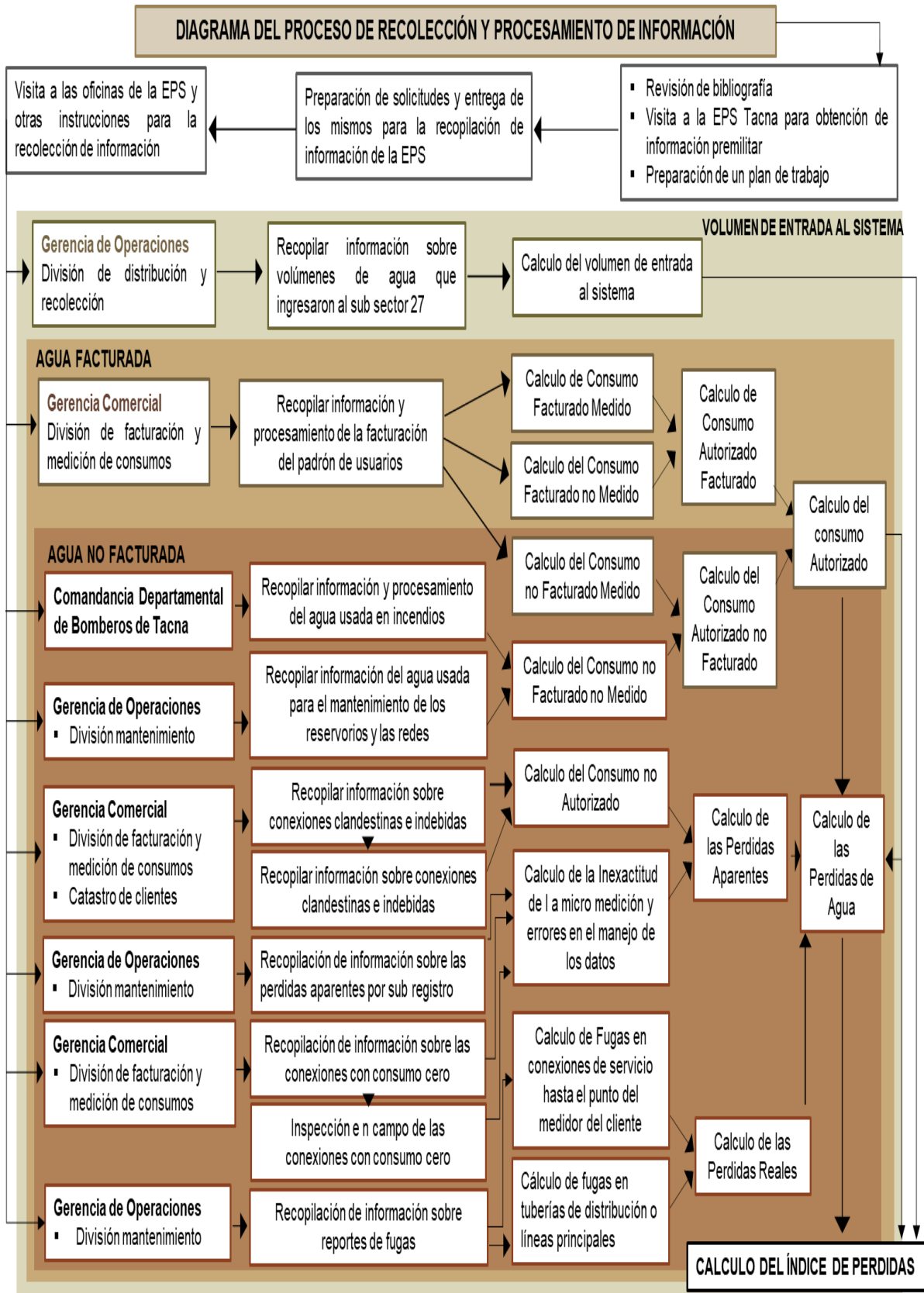
Volumen de entrada al sistema $Q_I$	Consumo autorizado $Q_A$	Consumo autorizado facturado $Q_{AF}$	Consumo facturado medido	Agua facturada	
			Consumo facturado no medido		
		Consumo autorizado no facturado $Q_{ANF}$	Consumo no facturado medido	Agua no facturada	
			Consumo no facturado no medido		
	Pérdidas de agua $Q_P$	Perdidas aparentes $Q_{PA}$			Consumo no autorizado
					Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos
Perdidas reales $Q_{PR}$			Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente		
		Fugas en las tuberías de distribución o líneas principales.			

En la Figura 6 se observa cómo se ha realizado el proceso de recolección y procesamiento de la información previa hasta el cálculo del Índice de Pérdidas.



**Figura 6**

Diagrama del proceso de recolección y procesamiento de información



- Ejecución paso a paso del balance hídrico:
  - a. Determinación del volumen de ingreso del sistema  $Q_I$   
Se identificaron los conductos de ingreso de agua al sector, para luego calcular el volumen total, utilizando las mediciones tomadas de los medidores de flujo principales (macromedidores).
  - b. Determinación / estimación del consumo autorizado facturado  $Q_{AF}$   
Se determinó el número de todos los usuarios inscriptos en los registros de facturación (domésticos, comercios y consumidores industriales, etc.) para determinar con ello el consumo autorizado, también se identificó los usuarios que cuentan con micromedidor y los que se les facturó por asignación y por promedio.
  - c. Determinación / estimación del consumo autorizado no facturado  $Q_{ANF}$   
Se tuvo que determinar por medio de una estimación apropiada; en primera instancia, todos los usuarios tienen que ser identificados, estos pueden ser viviendas, edificios municipales, parques, servicios de bomberos, reservorios de agua o áreas de barrios marginales. Se hizo un estimado del consumo para cada grupo de usuario, en algunos casos, se pudo realizar pruebas en una investigación de campo. Finalmente, se identificó que el volumen de agua utilizado por la empresa prestadora del servicio de agua para propósitos operativos (limpieza de tuberías, lavados, etc.); se realizó una estimación calificada en el caso de no contar con valores medidos.
  - d. Cálculo del consumo autorizado  $Q_A = Q_{AF} + Q_{ANF}$   
El consumo autorizado  $Q_A$  puede calcularse sumando el consumo autorizado facturado  $Q_{AF}$  y el consumo autorizado no facturado  $Q_{ANF}$ . Las pérdidas totales de agua  $Q_P$  se puede calcular luego de  $Q_I - Q_A$
  - e. Estimación de las pérdidas aparentes  $Q_{PA}$   
Se realizó una estimación de las pérdidas aparentes  $Q_{PA}$ ; a pesar que es bastante complicado y está sujeta a un alto grado de incertidumbre; se desglosaron las pérdidas aparentes en sus componentes para lograr un estimado conveniente. En primera instancia, se estimó el consumo no autorizado, esto se pudo realizar consultando los registros anteriores y conduciendo una investigación casa por casa dentro de una zona muestral, luego se estimaron las pérdidas debido a la inexactitud de la micromedición y errores en el manejo de los datos.
  - f. Cálculo de las pérdidas reales  $Q_{PR} = Q_P - Q_{PA}$   
Finalmente, las pérdidas reales de agua  $Q_{PR}$  se calcularon restando las pérdidas aparentes  $Q_{PA}$  de las pérdidas de agua generales  $Q_P$ .

El resultado del cálculo del balance hídrico fue un estimado para las pérdidas de agua globales reales  $Q_{PR}$ . Las pérdidas de agua se desglosaron más aún en los diferentes componentes del sistema, utilizando los resultados del proceso de evaluación y cuantificación de las pérdidas de agua reales.

El balance hídrico se basó en una serie de estimaciones. Por consiguiente, la confiabilidad y exactitud de la información deberá ser evaluada de manera crítica. Esto puede realizarse a través del método del límite de confianza de 95 %.

- **Límite de confianza del 95 %**

El balance hídrico basado en estimaciones para determinar las pérdidas aparentes y reales del sistema crea un clima de incertidumbre, los errores en la estimación o determinación pueden conducir a una estrategia inadecuada para reducir las pérdidas de agua. Por lo tanto, tiene sentido evaluar críticamente los resultados del balance hídrico; Un enfoque práctico para lidiar con la incertidumbre es tratar de cuantificarla. Se estableció el uso del límite de confianza del 95 % como método para evaluar el nivel de incertidumbre de cada uno de los componentes del balance hídrico.

- **Bandas de exactitud**

Es un área definida por consideraciones estadísticas, en la que un valor real puede surgir con cierta probabilidad. Al establecer bandas de precisión, se deben considerar los datos de confiabilidad y precisión.

- **Límite de confianza del 95 %**

Esta expresa que el valor real se encuentra dentro de la banda de exactitud definida con una probabilidad del 95 %.

En términos estadísticos, esto significa que el 95 % de las observaciones se encuentran situadas en una zona alrededor del valor promedio con una desviación estándar ( $\sigma$ ) de  $\pm 1.96$ .

- **Procedimiento de trabajo**

1. **Estimación de bandas de exactitud para cada componente del balance hídrico**

Para cada valor medido y estimado del balance hídrico, se ha definido una banda de exactitud. En la Figura 7, se muestra la relación entre el origen y la exactitud de los datos:

**Figura 7**

Estimación de bandas de exactitud para cada componente del balance hídrico

Origen de los datos	Descripción	Banda de exactitud
Volumenes medidos	Agua que ingresa al sistema, consumo medido, exportación medida	+/- 0,1 a 2,0%
Volumenes estimados	Consumo no medido, pérdidas aparentes	+/- 5 a 50%
Volumenes derivados	Agua no facturada, pérdidas reales	Depende de la exactitud de los datos de entrada medidos y estimados

*Nota* Guía para la reducción de las pérdidas de agua

## 2. Determinación de la desviación estándar para cada componente del balance hídrico

La desviación estándar se calcula para cada componente esto se realiza de la siguiente forma:

Ecuación 11. desviación estándar para cada componente del balance hídrico

$$\frac{\sigma = Q * BE}{1,96} \quad (11)$$

$\sigma$  = Desviación estándar.

Q = Componente del balance hídrico en m<sup>3</sup>.

BE = Banda de exactitud del componente.

## 3. Determinación de la varianza de cada componente del balance hídrico

La varianza para cada componente se calcula como sigue:

Ecuación 12. Varianza de cada componente del balance hídrico

$$V = \sigma^2 \quad (12)$$

V = Varianza.

$\sigma$  = Desviación estándar.

#### 4. **Determinación de la incertidumbre acumulada**

- Las varianzas calculadas de cada componente individual del balance hídrico, tienen que sumarse para dar como resultado la incertidumbre acumulada (por ejemplo, tienen que sumarse las varianzas de todos los componentes facturados y autorizados del consumo).
- Se define la desviación estándar de los valores determinados
- Se define la zona de exactitud de los valores determinados

#### 5. **Análisis de los resultados**

- El resultado del método del 95 % de confianza es una banda de exactitud derivada de volúmenes de pérdidas reales. La entidad prestadora del servicio de agua siempre debe verificar la certeza del resultado.
- Si se considera necesario mejorar la confiabilidad de los estimados, debería darse la más alta prioridad al componente del balance hídrico con la mayor varianza.
- La exactitud de los volúmenes de pérdidas reales puede verificarse independientemente mediante un cálculo en sentido inverso o un análisis de componentes.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

El desarrollo del Balance Hídrico fue el resultado de un conjunto de procedimientos; se han identificado los elementos necesarios para su desarrollo, en base al conteo y estimación de los porcentajes de pérdidas de agua potable, tanto por pérdidas operativas de la empresa como por pérdidas comerciales sufridas en la zona que suponen una merma en la continuidad de la servicios a la población del sector, una disminución del volumen de producción y una pérdida económica activa que pesa sobre la empresa prestadora del servicio.

El análisis se desarrolló a lo largo del sistema de distribución de agua potable del Sector VII Sub Sector 27, estudiando las fugas existentes en redes principales y conexiones y fugas en cajas de registro así indicado en la tabla 4.

De este modo se elaboró un inventario de pérdidas que permite recopilar información sobre las pruebas predominantes en el estudio, tales como la macromedición, lectura de volumen de producción, inspección de subsectores, análisis de submedidas en micromedición y detección de conexiones irregulares.

**Tabla 4**

Características del Sub Sector 27

Factores	Sector 27	Tacna
Conexiones activas	13489	93754
% Usuarios	14,3 %	100 %
Edad de la red	15	65
Longitud de la red (m)	149 871,89	835 707,00
Existencia de aislamiento	Si	si
Numero de medidores leídos	12750	56815
Nivel de micro medición (%)	13,5	60,6
Continuidad de servicio (horas/día)	21	16
Presión de servicio (m.c.a.)	24	17,8

*Nota* EPS Tacna – Estudio Tarifario 2019-2024

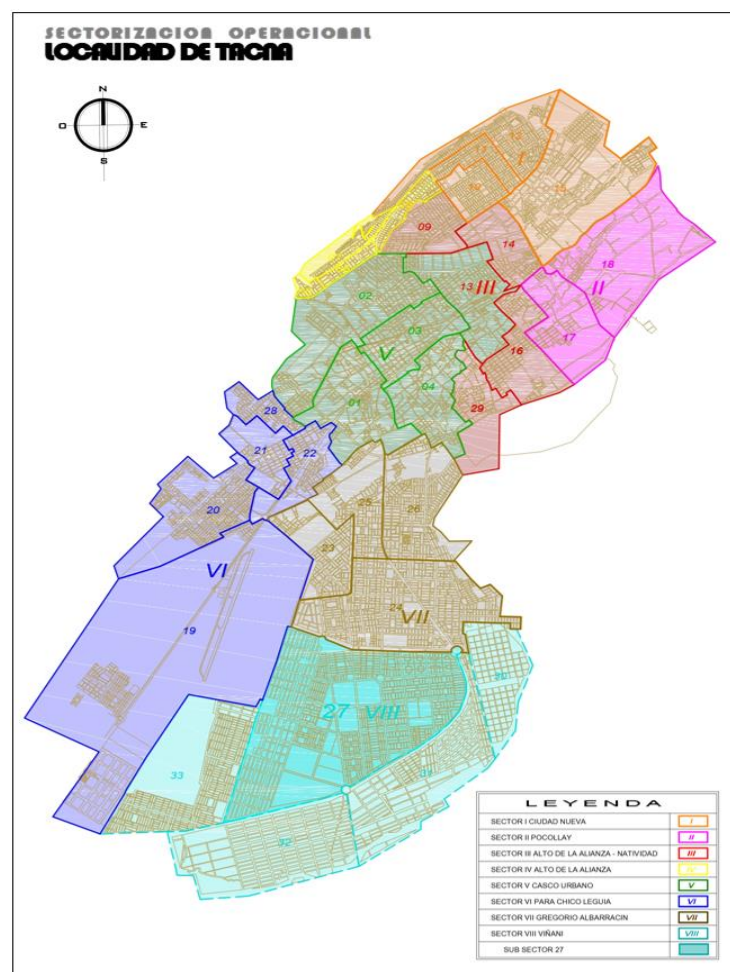
Para poder aplicar todos los métodos y estrategias propuestos para la elaboración de un balance hídrico indicados anteriormente en este proyecto, es necesario que el sector a seleccionar, además de cierto aislamiento (límites del sector), tenga una continuidad de nivel y presión mayor a 15 horas o 18 m.c.a. Sin estos niveles de calidad de servicio, los contadores residenciales registrarían incorrectamente las cantidades consumidas, lo que no permitiría establecer los balances necesarios para cuantificar las pérdidas de agua.

#### 4.1 Ubicación

El sistema de abastecimiento de la ciudad de Tacna está conformado por 7 sectores y 33 subsectores como se indica en la Figura 8.

**Figura 8**

Sectores y sub sectores de la ciudad de Tacna



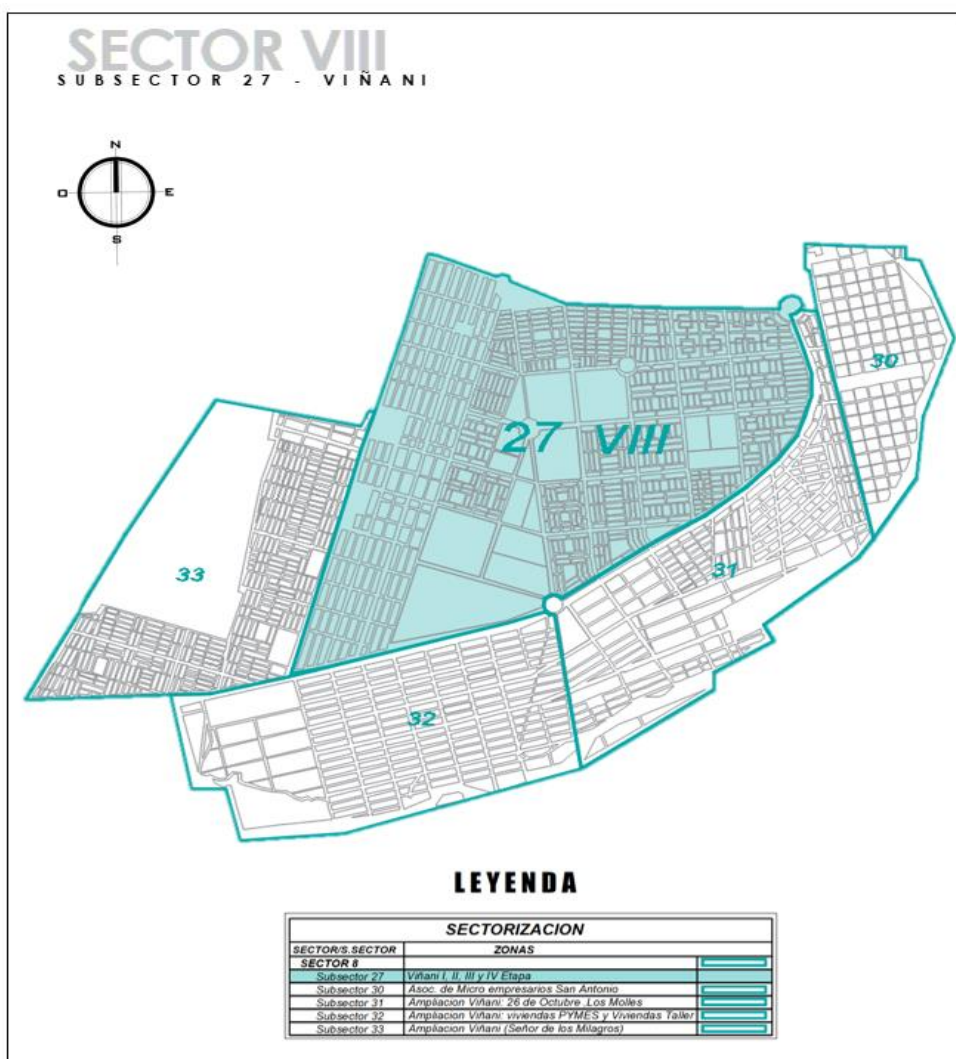
*Nota* Catastro Operaciones de la ESP Tacna S.A.

El Sector operacional VII se encuentra ubicada al sur de la ciudad, el cual está conformado por los sub sectores 23, 24, 25, 26, 27 y 31. La mayoría de los predios en este sector son destinados para vivienda, por lo que es una zona representativa de los sectores domésticos como se indica en la figura 9.

La Zona de estudio denominado Sub Sector 27, está ubicado en la zona final del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa la cual es una zona que se vino asentando desde el a 2002 y está conformada por cuatro etapas y un total de 75 Asociaciones de Vivienda, así indicado en la tabla 5.

**Figura 9**

*Sectorización del Sub sector 27*



*Nota.* Catastro Operaciones de la ESP Tacna S.A.



**Tabla 5***Nombres de las Asociaciones*

Ítem	Asociación de vivienda	
1	Asoc. De Viv.	Costa verde
2	Asoc. De Viv.	Pequeños Industriales Costa Sol
3	Asoc. De Viv.	Tacna Unida
4	Asoc. De Viv.	José Gálvez
5	Asoc. De Viv.	El triunfo
6	Asoc. De Viv.	De pequeños Industriales Jorge Chávez
7	Asoc. De Viv.	De talleres microempresariales Buenos Aires
8	Asoc. De Viv.	PYMES Zona Franca
9	Asoc. De Viv.	Cielo Azul
10	Asoc. De Viv.	Pedro Huillca Tecse
11	Asoc. De Viv.	Paraíso Azul
12	Asoc. De Viv.	22 de Julio
13	Asoc. De Viv.	23 de junio B
14	Asoc. De Viv.	Los Manantiales
15	Asoc. De Viv.	Corazón de María
16	Asoc. De Viv.	El Manantial
17	Asoc. De Viv.	Villa El reservista
18	Asoc. De Viv.	Sant. Trinidad
19	Asoc. De Viv.	Los independientes IV
20	Asoc. De Viv.	Aero Azul
21	Asoc. De Viv.	15 de Julio
22	Asoc. De Viv.	Ciudad de la Paz
23	Asoc. De Viv.	Los Arenales
24	Asoc. De Viv.	Roca Eterna
25	Asoc. De Viv.	Libertadores
26	Asoc. De Viv.	Villa la Cantuta
27	Asoc. De Viv.	Virgen del Carmen
28	Asoc. De Viv.	Albert Einstein
29	Asoc. De Viv.	Virgen de la Candelaria
30	Asoc. De Viv.	Paseo de los Héroes
31	Asoc. De Viv.	Monterrey B
32	Asoc. De Viv.	Nueva Tacna
33	Asoc. De Viv.	La Unión Viñani
34	Asoc. De Viv.	Alto Monterrey
35	Asoc. De Viv.	Eliane Karp
36	Asoc. De Viv.	La libertad II
37	Asoc. De Viv.	Jubilados
38	Asoc. De Viv.	Rio Azul
39	Asoc. De Viv.	29 de Mayo

Tabla 5 (Continuación)

Ítem	Asociación de vivienda	
40	Asoc. De Viv.	San Juan Bautista
41	Asoc. De Viv.	Los Independientes III
42	Asoc. De Viv.	Villa Los Ángeles
43	Asoc. De Viv.	06 de Enero
44	Asoc. De Viv.	Ciudad Futura
45	Asoc. De Viv.	Villa Colonial
46	Asoc. De Viv.	Villa El Comerciante
47	Asoc. De Viv.	Cuatro Suyos
48	Asoc. De Viv.	Independientes
49	Asoc. De Viv.	Campo de Marte
50	Asoc. De Viv.	Los Molles
51	Asoc. De Viv.	Cuatro Pozos
52	Asoc. De Viv.	Colonia
53	Asoc. De Viv.	Kabul
54	Asoc. De Viv.	Callito
55	Asoc. De Viv.	Villa La Joya
56	Asoc. De Viv.	Los Florales
57	Asoc. De Viv.	Villa Nazareno
58	Asoc. De Viv.	La Perla
59	Asoc. De Viv.	28 de Octubre
60	Asoc. De Viv.	23 de Junio A
61	Asoc. De Viv.	Villa 28 de Octubre
62	Asoc. De Viv.	Héroes del Cenepa
63	Asoc. De Viv.	Los Geranios
64	Asoc. De Viv.	Jardines de Viñani
65	Asoc. De Viv.	Barrio Nuevo
66	Asoc. De Viv.	Transportista Ruta 1-A
67	Villa	De Tacna
68	Villa	Los Taxistas
69	Villa	Los Graduados Basadrinos
70	Villa	Del Norte
71	Villa	Viñani
72	Villa	Del Transportista Etapa I
73	Villa	Del Transportista Etapa II
74	Villa	Del Transportista Etapa III
75	Villa	Independientes

## 4.2 Facturación

De acuerdo a la facturación de un año desde marzo del 2020 a marzo del 2021 se tiene una facturación promedio de 1577073,99 m<sup>3</sup> como se muestra indicado en la tabla 6, además se tiene un promedio del consumo medio indicado en la tabla 7.

**Tabla 6**

*Facturación marzo 2020 a marzo 2021*

Mes	Volumen por mes facturado (m <sup>3</sup> )
mes de marzo 2020	115149,60
mes de abril 2020	122655,24
mes de mayo 2020	128216,74
mes de junio 2020	116078,47
mes de julio 2020	137121,30
mes de agosto 2020	128637,00
mes de setiembre 2020	128753,82
mes de octubre 2020	126327,60
mes de noviembre 2020	130558,50
mes de diciembre 2020	150142,50
mes de enero 2021	160829,92
mes de febrero 2021	132603,30

*Nota.* Gerencia Comercial – EPS Tacna S.A.

**Tabla 7**

*Consumo medio del Sub Sector 27*

Categoría	Consumo medio
domestico	15,50
social	120,00
comercial	49,68
estatal	0,00
industrial	11,00

*Nota* Plan Maestro Optimizado ESP Tacna 2019- 2021

## 4.3 Red de distribución del sub sector 27

El subsector 27 cuenta con un total de 80358.24 m. de tubería de 3", de 64112.11 m. de tubería de 4" y de 5401.54 m. de tubería de 6" indicado en la tabla 8.

**Tabla 8***Longitud y diámetro de tuberías*

<b>Tubería</b>	<b>Metros lineales</b>
Tubería 6"	5401.54
Tubería 4"	64112.11
Tubería 3"	80358.24

Este sector se encuentra totalmente independizada con un ingreso definido por el reservorio 15 según la Gerencia de Operaciones de la EPS TACNA S.A.

#### **4.4 Continuidad y presión de servicio**

El subsector 27 cuenta con 21 h/día con una presión de 24 m.c.a.

#### **4.5 Macro y micro medición**

En el Sector VII se cuenta con los siguientes tipos de micromedidores:

##### **Macromedidor electromagnético siemens mag5000** (Figura 10)

Este equipo mide la salida de agua del reservorio R15 de capacidad de 2250 m<sup>3</sup>, el cual se ubica en la Asoc. De Viv. El Pedregal eL cual es semienterrado.

**Figura 10***Macromedidor Electromagnetico Siemens MAG5000*

*Nota* Página Web Oficial de Productos Siemens

## Micromedidores

- **ZENNER:** MTKD-S Medidor de chorro múltiple de esfera seca «small» (Figura 11)

Características del producto:

Caudal = 1,6 a 4

- Alta estabilidad
- Barrido sin retroacción
- Homologado según MID

Opciones de datos:

- Emisor de impulsos (MTKD-S-N)
- M-Bus, wM-Bus (MTKD-S-M)

### Figura 11

*Micromedidor Marca ZENNER*



*Nota Página Web Oficial de Productos Zenner*

- **ELSTER:** S120 Medidor para Agua del Tipo chorro Único (Figura 6)
  - Es un medidor de chorro único, tipo velocimétrico, transmisión magnética, lectura directa, relojería super seca. Cuerpo de latón fundido en una aleación de un 60 % de cobre, norma ABNT NBR 6941

Figura 12

*Micromedidor Marca ELSTER*



*Nota Página Web Oficial de Elster-iberconta*

• **DH LXSGY 15E:**

- Es un medidor de chorro múltiple, de transmisión magnética, lectura recta, relojería extra seca, tiempo de vida útil de 10 años.

**Figura 13**

*Micromedidor Marca DH*



*Nota Pagina web app.otass.gob.pe*

#### 4.6 Volumen distribuido al sistema (q<sub>I</sub>)

El volumen de ingreso al Sub sector 27 se ha obtenido de la Gerencia de Operaciones de la EPS TACNA S.A. a través del Aplicativo SINCO, correspondiente a los reservorios R15. Para calcular el caudal diario se determinó mediante a suma de los caudales horarios (en 24 horas). Además, se calcula el volumen de entrada al sistema en m<sup>3</sup>, mediante la suma de los caudales diarios (en todo el mes), durante los 12 meses de estudio. Indicado en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Volumen proveniente del R15 al sub sector 27*

Ingreso proveniente del r15	Caudal promedio del mes (l/s)	Volumen por mes (l)	Volumen del mes (m <sup>3</sup> )
MES DE MARZO 2020	42,99	115149600,00	115149,60
MES DE ABRIL 2020	47,32	122655240,00	122655,24
MES DE MAYO 2020	47,87	128216736,00	128216,74
MES DE JUNIO 2020	44,78	116078472,00	116078,47
MES DE JULIO 2020	51,20	137121300,00	137121,30
MES DE AGOSTO 2020	48,03	128637000,00	128637,00
MES DE SETIEMBRE 2020	49,67	128753820,00	128753,82
MES DE OCTUBRE 2020	47,17	126327600,00	126327,60
MES DE NOVIEMBRE 2020	50,37	130558500,00	130558,50
MES DE DICIEMBRE 2020	56,06	150142500,00	150142,50
MES DE ENERO 2021	60,05	160829922,86	160829,92
MES DE FEBRERO 2021	54,81	132603300,00	132603,30

Se observa que en el mes de Enero 2021 se obtuvo el mayor caudal con un 160829,92 m<sup>3</sup> y a la vez se observa que en el mes de Junio del 2020 es el mes que menos caudal ingresó proveniente del R15. Esta situación puede deberse al cambio de la demanda por temporada de verano e invierno; en el verano los usuarios hacen un mayor consumo de agua que en invierno.

#### 4.7 Consumo autorizado (q<sub>a</sub>)

Es la cantidad de agua, medida o no, extraída por los clientes registrados, así como por la propia empresa de agua y por otros organismos debidamente autorizados. Incluye consumo autorizado facturado.

#### 4.8 Consumo autorizado facturada (qaf)

Para la determinación del volumen autorizado facturado mensual, se obtuvo la información a partir de la base de datos recopilada por la Gerencia Comercial. Dicha información se clasificó de acuerdo el tipo de facturación de los meses de marzo del 2020 a marzo del 2021. La síntesis de ello, muestra la facturación mensual, según tipo de facturación en los meses mostrados en la Tabla 10.

**Tabla 10**  
*Consumo Autorizado Facturada*

2021	Total Volumen Facturado	Medido	Asignado	Promedio
Enero	86,074	64,526	3,454	18,094
Febrero	83,348	62,805	3,534	17,009
Marzo	77,484	59,491	3,540	14,453
2020	Total Volumen Facturado	Medido	Asignado	Promedio
Enero	75,570	62,623	2,562	10,385
Febrero	76,577	64,169	2,750	9,658
Marzo	67,910	57,250	2,677	7,983
Abril	68,873	2,704	2,645	63,524
Mayo	67,799	2,514	2,661	62,624
Junio	70,967	40,292	2,693	27,982
Julio	70,212	42,400	3,143	24,669
Agosto	73,294	46,148	3,292	23,854
Septiembre	72,910	47,835	3,306	21,769
Octubre	71,689	52,693	3,290	15,706
Noviembre	73,918	56,646	3,308	13,964
Diciembre	76,969	55,361	3,326	18,282

*Nota EPS TACNA S.A*

#### A) Consumo facturado medido

Se realiza la lectura de consumo pertenecientes a los usuarios de tipos: Doméstico, Social Comercial, Industrial, Estatal. La lectura se hace a través de los micro medidores instalados.

La suma de los consumos mensuales de los registros individuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.

#### B) Consumo facturado no medido: consumo facturado por promedio



Se refiere a las conexiones con medidor donde el mismo por diferentes razones no ha podido ser leído, por lo que se factura de acuerdo al promedio de consumo de los últimos seis meses hasta que se cambie el medidor.

Se suman los consumos promedios mensuales de todas las conexiones para obtener el consumo promediado total del mes.

Se suman los consumos totales mensuales para obtener el consumo en el período del balance hídrico.

### **Consumo facturado por asignación**

Se refiere a un consumo estimado de las conexiones que no cuentan con medidor de agua.

A cada usuario sin medidor de agua se le asigna un consumo, el cual es facturado mensualmente.

Se suman los consumos asignados mensuales de todos los usuarios sin medidor para obtener el consumo en el período del balance hídrico.

## **4.9 Consumo autorizado no facturada (qanf)**

### **Consumo no facturado medido**

Esta es la cantidad de agua medida y no medida por la que no se ha pagado ninguna factura. Este componente está compuesto por el consumo no facturado y el consumo no facturado. Es el consumo de los establecimientos cuyo pago se reduce debido a un convenio firmado. En la subárea 27 no hay servicio gratuito.

### **Consumo no facturado no medido**

Se refiere al consumo autorizado de agua que no tiene registro alguno, siendo esto los consumos propios de la EPS, Las recargas de las cisternas de bomberos para la atención de incendios entre otros.

### **Limpieza y mantenimiento del reservorio**

El agua tratada es almacenada en de un reservorio apoyado R15, de acuerdo a la programación vigente los reservorios son limpiados cada 6 meses.

Se calcula el volumen de agua de lavado con la sumatoria del agua usada en el proceso de limpieza, sedimentación, desinfección y enjuague, multiplican por el número de lavados realizados en el período contemplado. Como nos indica la tabla 11

**Tabla 11**

*Volumen de lavado del reservorio 2020 - 2021*

		Del lavado			
Reservorio	Fecha	Hora		Duración	Frecuencia
R15	06/12/2020	8:30	16:30	08:00 horas	6 MESES
		Del consumo de agua			
Reservorio	Limpieza	Sedimentación	Desinfección	Enjuague	Volumen de lavado
R15	6 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>	.05 m <sup>3</sup>	6 m <sup>3</sup>	52,05 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>					<b>52,05 m<sup>3</sup></b>

Se determinó que el consumo no Facturado no Medido es 52,05 m<sup>3</sup> donde el volumen usado en el servicio contra incendio no existe y para la limpieza y mantenimiento de reservorios se hace dos veces al año.

#### **Perdidas de agua (agua no comercializada) ( $q_p$ )**

Las pérdidas de agua, se expresan como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema ( $Q_i$ ) y el consumo autorizado ( $Q_A$ ), y consiste en pérdidas aparentes y reales.

$Q_P = \text{Volumen de ingreso al sistema} - \text{Consumo autorizado}$

$Q_P = Q_i - Q_A$

$Q_P = 1577073,99 \text{ m}^3 - 884067,10 \text{ m}^3$

$Q_P = 693006,89 \text{ m}^3$

Obteniendo como resultado de pérdidas de agua un volumen de **693006,89 m<sup>3</sup>**, representando este resultado un **43,94 %** del volumen de agua de ingreso al sistema.

#### **4.10 Perdidas aparentes ( $q_{pa}$ )**

Las pérdidas aparentes, están comprendidas por toda el agua que se entrega exitosamente al cliente, pero dada ciertas circunstancias no es medida o registrada con exactitud, la cual puede causar un error en la determinación de la cantidad de agua que consumen los clientes. Debido a esto, los tipos de pérdidas crean costos en la producción sin generar ingreso para la empresa.

Para nuestro estudio se ha considerado dos componentes para este tipo de pérdida:

- Consumo no autorizado
- Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos.

#### A) Consumo no autorizado:

El consumo no autorizado, es aquella cuya extracción no está autorizada, constituye una fuente importante de pérdidas, aquí se consideró las conexiones clandestinas y las conexiones ilegales, la forma de trabajo se detalla a continuación en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Cálculo de porcentajes de conexiones clandestinas e indebidas*

Estado/Situación	Estudio		%
	Conex. halladas	Muestra	
Conexiones indebidas			

Para las conexiones indebidas se realizó un estudio en campo, es decir se visitó las viviendas, encontrándose 5 viviendas de las 40 tomadas como muestra, que si mostraban evidencia de tener consumo de agua.

**Nota:** Según la guía para la reducción de las pérdidas de agua, para las conexiones clandestinas, un primer estimado para países en desarrollo es:

Q clandestino  $\approx$  5 % de las Conexiones.

**Tabla 13.**

*Cálculo de consumo no autorizado*

Variables	Calculo
% Clandestinas	
% Reconexiones indebidas	
N <sup>a</sup> Conexiones totales	
N <sup>o</sup> Conexiones inactivas	
Consumo promedio mensual (con medidor) m <sup>3</sup> /mes	
Conexiones clandestinas	
Conexiones indebidas	
Pérdida por consumo no autorizado	

**Dónde:**

Clandestinos = (% CLANDESTINOS) X (Nº CONEXIONES TOTALES) X (CONSUMO PROMEDIO MENSUAL) X (Nº DE MESES DE ESTUDIO)

Clandestinos = (5,0 %) x (11137) x (7,48) x (12)

Clandestinos = 49982,86 m<sup>3</sup>

Del análisis detallado se determina que las conexiones clandestinas tienen un volumen de 49982,86 m<sup>3</sup>, representando este resultado un **3,17 %** del volumen de agua de ingreso al sistema.

**B) Inexactitud de medidores y errores de manejo de datos:**

Son pérdidas debido a las inexactitudes de los medidores, son frecuentemente la pérdida más común de las pérdidas aparentes. La experiencia muestra que un pequeño porcentaje de agua no se mide o se mide de manera incorrecta debido a errores de medición o a pérdidas crecientes en los medidores de agua.

**4.11 Pérdidas reales (qpr)**

Las pérdidas reales, son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses. Como se observa en la figura 14.

En este estudio dichas pérdidas se clasificaron en:

- A. Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente
- B. Fugas en tuberías de distribución o líneas principales.

Las pérdidas reales se calcularon con la siguiente fórmula:

$Q_{PR} = (\text{Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente}) + (\text{Fugas en tuberías de distribución o líneas principales})$

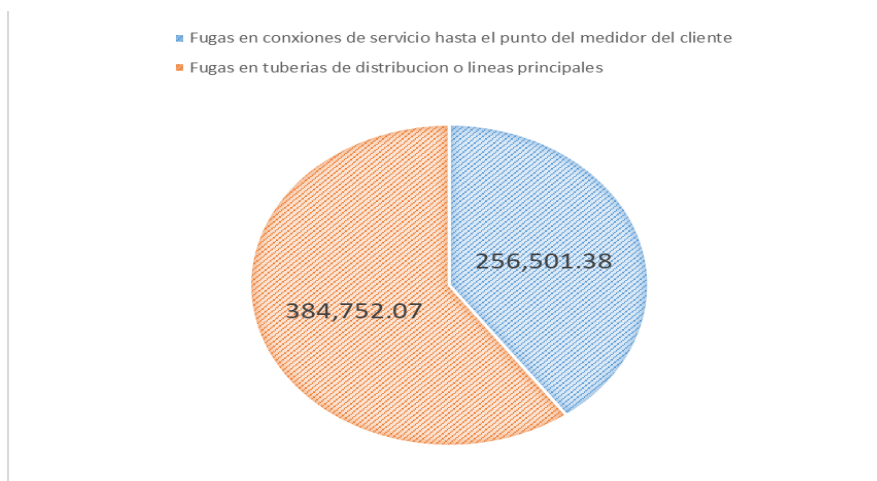
$Q_{PR} = 256501,38 \text{ m}^3 + 384752,07 \text{ m}^3$

$Q_{PR} = 641253,45 \text{ m}^3$

Luego de determinar las fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente y en las tuberías de distribución o líneas principales, se obtuvo como resultado de Pérdidas Reales de agua un volumen de 641253,45 m<sup>3</sup>; representando este resultado un 40,66 % del volumen de entrada al sistema.

**Figura 14**

*Volumen de Pérdidas Reales en el periodo marzo 2020– febrero 2021 del Subsector 27*



Para nuestro estudio se tomó en cuenta el reporte de reclamos proporcionado por el área de mantenimiento, separando únicamente aquellos que estaban relacionados a fugas, en dicho reporte se podía saber las cantidades de eventos relacionados a fugas, incluso su tipo (si es en la red principal o en las conexiones domiciliarias) y hasta su ubicación (dirección), pero lo que no nos permitía conocer es el volumen de agua que se perdía en cada uno de dichos eventos, ahora debemos comprender que el volumen de agua perdida, está vinculado directamente con varios factores (tamaño de la rotura, tiempo de respuesta a solucionar dicha rotura, presión de agua en la tubería, etc.), para los cuales no hay una información de referencia, siendo complicada la estimación del volumen de agua que se pierde en las pérdidas reales.

Como nuestro método de análisis para el balance hídrico es de “Arriba hacia abajo”, es decir se partió de un volumen inicial al cual se le fue restando volúmenes a medida que se desarrollaba el balance, quedó así un volumen restante, y al ser este componente el último (Pérdidas reales), se puede asumir y/o asignar dicho volumen de agua restante, quedando entonces 119 317 m<sup>3</sup> correspondiendo a Pérdidas Reales, luego éste a su vez tiene dos subdivisiones que son: Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente y Fugas en tuberías de distribución o líneas principales, entonces asignamos la mitad de dicho volumen a cada uno de estos, es decir 59 658 m<sup>3</sup> para ambos. Como se observa en la figura 15.

Luego de realizar el análisis de los componentes de las pérdidas de agua procedemos a determinar el volumen total de pérdidas de agua, obteniendo lo siguiente:

$$Q_P = \text{Pérdidas Aparentes} + \text{Pérdidas Reales}$$

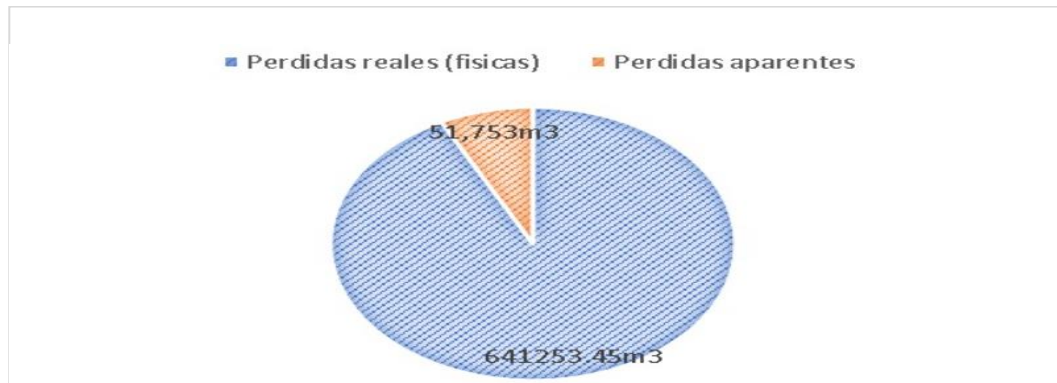
$$Q_P = Q_{PA} + Q_{PR}$$

$$Q_P = 51753,44 \text{ m}^3 + 641253,45 \text{ m}^3$$

$$Q_P = 693006,89 \text{ m}^3$$

**Figura 15**

*Volumen de pérdidas de agua aparentes Vs Volumen de pérdidas de agua reales, en el periodo de marzo 2020 – febrero 2021 en el subsector 27*



### **Agua no facturada (anf)**

Volumen total de agua que permanece sin facturarse y que por lo tanto no genera ningún ingreso para la empresa. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado o como la suma del consumo autorizado no facturado y de las pérdidas de agua. Como se observa en la figura 16 y figura 17.

$$ANF = Q_I - Q_{AF} / Q_I$$

$$ANF = Q_{AUNF} + Q_{PA} + Q_{PR}$$

$$ANF = Q_I - Q_{AF}$$

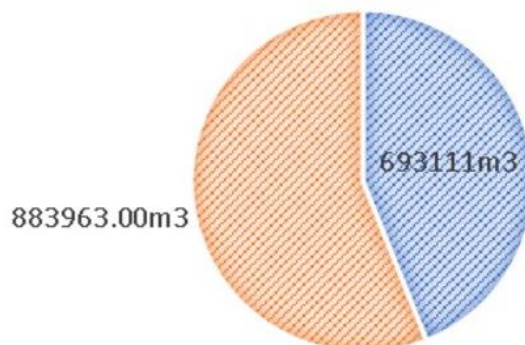
$$ANF = 1577073,99 \text{ m}^3 - 883963 \text{ m}^3$$

$$ANF = 693110,99 \text{ m}^3$$

**Figura 16**

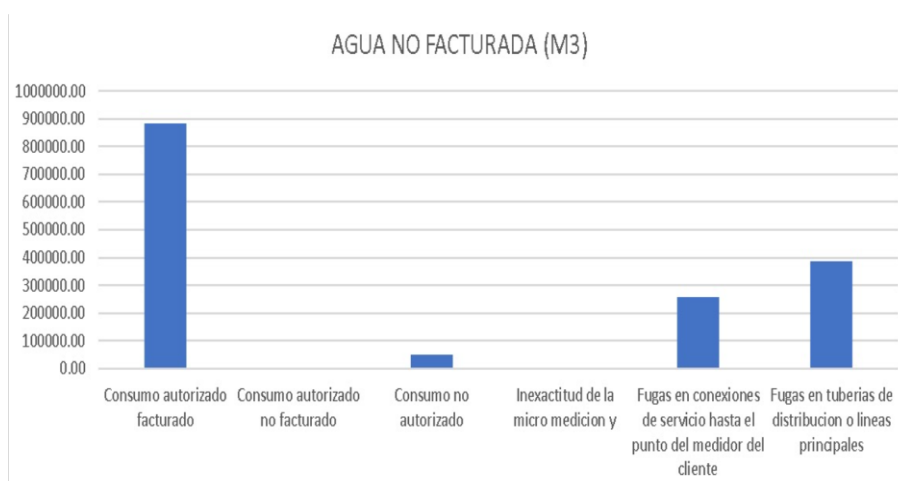
*Volumen de agua no facturada en el periodo de marzo 2020 – febrero 2021 del subsector 27*

■ Agua no facturada    ■ Consumo autorizado facturado



**Figura 17**

*Descomposición del volumen de Agua No Facturada en el periodo de marzo 2020 – febrero 2021 en el subsector 27*



Además, para la determinación del %ANF, en el cálculo del volumen de entrada al sector (volumen de distribución), se intenta hacer coincidir el periodo de facturación con el periodo de distribución de agua, siendo calculado dicho caudal como valor total durante un mes, remontándose desde la fecha de lectura (periodo de facturación)

El periodo de facturación sería la lectura de los medidores que realiza el contratista de acuerdo con el programa de lectura mensual.

Teniendo los volúmenes de distribución y de facturación total, se puede determinar el índice de %ANF en el cual se calcula del siguiente modo:

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

A continuación, se presentará los cálculos de los porcentajes de Agua no Facturada para los meses de marzo 2020 a mayo 2020.

### MARZO 2020

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

$$\%ANF = 41,02 \%$$

### ABRIL 2020

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

$$\%ANF = 43,85 \%$$

### MAYO 2020

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

$$\%ANF = \frac{(VDISTRIBUCION - VFACTURADO TOTAL)}{VDISTRIBUCION} \times 100$$

$$\%ANF = 47,12 \%$$

En resumen, se tiene %ANF en los meses de marzo 2020 a febrero 2021 del subsector 27, se presenta en la siguiente tabla 14 y a la vez un resumen en la figura 18:

**Tabla 14**

#### *Volumen de agua no facturada*

Meses	Volumen Distribuido	Volumen facturado				Volumen and m <sup>3</sup> y %anf	
		con medidor		volumen facturado asignado	volumen total facturado	volumen anf m <sup>3</sup>	%anf (%)
		volumen facturado por micromedicion	volumen facturado por promedio				
Mar-20	115149,60	57250,00	7983,00	2677,00	67910,00	47239,60	41,02
Abr-20	122655,24	2704,00	63524,00	2645,00	68873,00	53782,24	43,85
May-20	128216,74	2514,00	62624,00	2661,00	67799,00	60417,74	47,12
Jun-20	116078,47	40292,00	27982,00	2693,00	70967,00	45111,47	38,86
Jul-20	137121,30	42400,00	24669,00	3143,00	70212,00	66909,30	48,80
Ago-20	128637,00	46148,00	23854,00	3292,00	73294,00	55343,00	43,02
Set-20	128753,82	47835,00	21769,00	3306,00	72910,00	55843,82	43,37
Oct-20	126327,60	52693,00	15706,00	3290,00	71689,00	54638,60	43,25
Nov-20	130558,50	56646,00	13964,00	3308,00	73918,00	56640,50	43,38
Dic-20	150142,50	55361,00	18282,00	3326,00	76969,00	73173,50	48,74



Ene-21	160829,92	64526,00	18094,00	3454,00	86074,00	74755,92	46,48
Feb-21	132603,30	62805,00	17009,00	3534,00	83348,00	49255,30	37,14
TOTAL	1577073,99	531174,00	315460,00	37329,00	883963,00	693110,99	43,75

#### 4.12 Balance hídrico

- Zona de estudio: Subsector 27
- Periodo de balance hídrico: marzo 2020 – febrero 2021
- Días: 365 días

**Figura 18**

*Resumen del balance hídrico del Subsector 27*

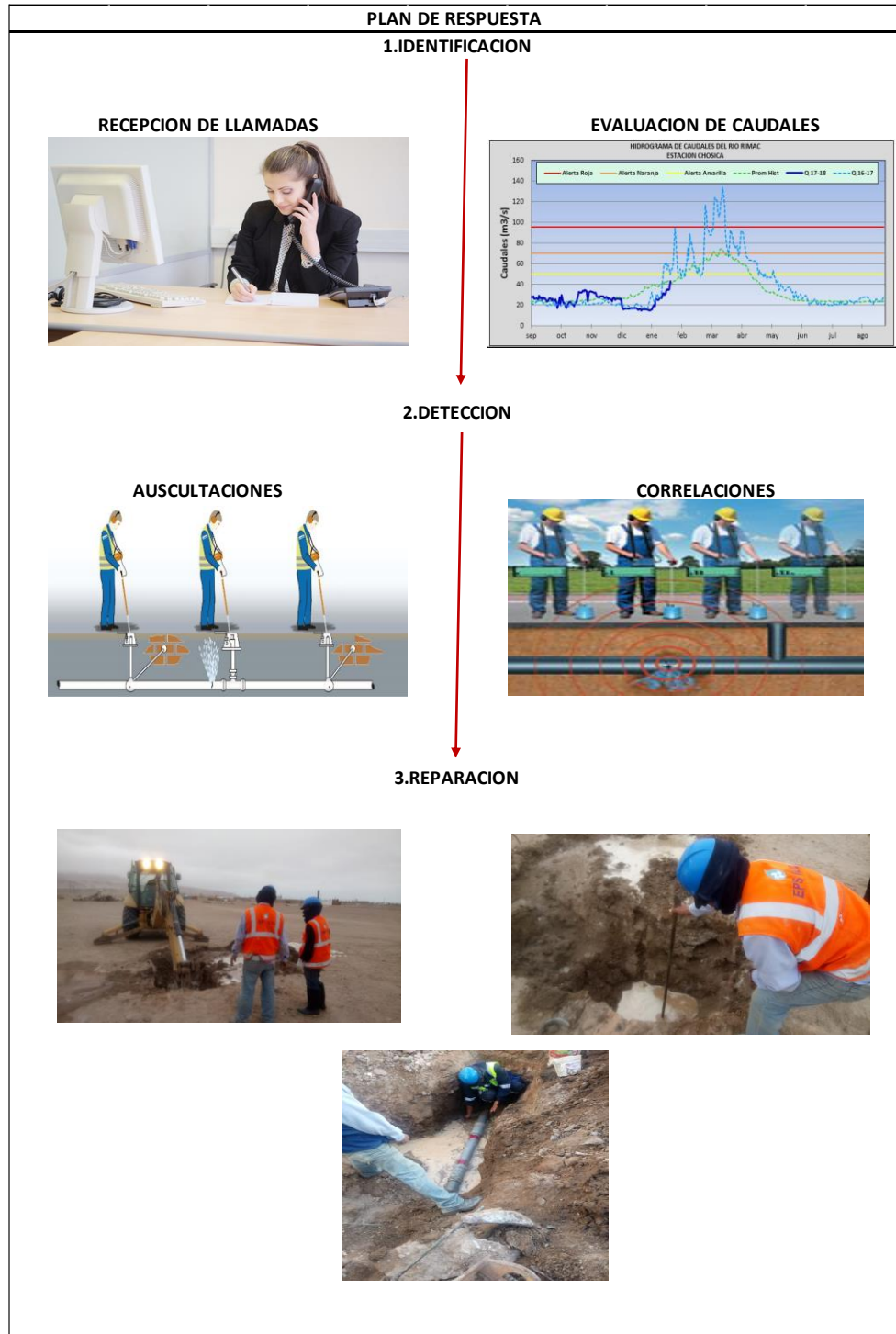
Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado (Agua Comercializada)	Consumo autorizado facturado	Consumo facturado medido	Agua Facturada
		883963.00 m3	531174.00 m3	
	884067.10 m3	56.05%	Consumo facturado no medido	883963.00 m3
		56.06%	104.10 m3	
	1577073.99 m3	Consumo autorizado no facturado	Consumo no facturado medido	Agua no facturada
		104.10 m3	104.10 m3	
100.00%	Perdidas de Agua (Agua No Comercializada)	Perdidas aparentes (comerciales)	Consumo no autorizado	693111 m3
		51,753 m3	49,983 m3	
	693006.89 m3	3.28%	Inexactitud de la micro medicion y errores en el manejo de datos	43.95%
		43.94%	1,771 m3	
Perdidas reales (fisicas)	Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente	641253.45 m3	256501.38 m3	
	40.66%			16.26%
Fugas en tuberias de distribucion o lineas principales	384752.07 m3	24.40%	24.40%	
				24.40%

4.13 Acciones de mejora para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27

Las acciones de mejora se muestran en la figura 19.

**Figura 19**

*Resumen de acciones para reducir el Índice de Pérdidas en el Subsector 27*



En la figura 19, se observan las acciones consideradas, las cuales, se subdividen en tres fases, que se detallan a continuación:

– Identificación:

Esta fase consiste en la identificación de pérdidas de agua, sea a través de las llamadas realizadas por los usuarios y recepcionadas mediante el call center. Otra forma de identificar las pérdidas es a través del software, que permiten evaluar los caudales mínimos nocturnos.

– Detección:

Posterior a la identificación de las pérdidas de agua, en zonas de fugas de agua; se determinan los puntos de monitoreo en casos de evaluación de caudales mínimos nocturnos.

– Reparación:

Una vez que se identificó y detectó las pérdidas de agua, se realiza una intervención en los puntos dañados, se realizan las reparaciones pertinentes en la infraestructura dañada.

## CAPITULO V: DISCUSION

A continuación, se realiza un análisis del proceso y obtención de resultados de la investigación, a través de la experiencia del autor y el contraste con otras investigaciones.

Con respecto a las limitaciones encontradas en el proceso de recolección de datos; se esperó un largo periodo, para que Entidad Prestadora de Servicios pueda brindar la documentación necesaria sobre los datos de la ubicación, número de habitantes, número de viviendas; número de conexiones, lectura de micro y macro medidores. Sin embargo, no se halló toda la información esperada, en el caso de las conexiones indebidas que corresponden a consumo no autorizado; ante ello, se consideró un 5 % de las conexiones, lo cual fue corroborado al realizar una visita a campo y al comparar los datos.

Es importante mencionar que el cálculo de las conexiones indebidas requiere de personal y planificación por parte de la Entidad Prestadora de Servicios, para que realicen esta tarea. Y a través de esta investigación se está realizando un aporte a la entidad, que antes desconocía sobre esta información.

Con respecto a los resultados obtenidos, se halló que la Zona de estudio denominado Sub Sector 27 está conformada por cuatro etapas y un total de 75 Asociaciones de Vivienda. La red de distribución del Sub sector 27 tiene un total de 80358,24 m. de tubería de 3", de 64112,11 m. de tubería de 4" y de 5401,54 m. de tubería de 6".

Al evaluar su la facturación entre marzo del 2020 y marzo del 2021 se obtuvo una facturación total de 883963 m<sup>3</sup>. Cuenta con una continuidad y presión de servicio 21 h/día con una presión de 24 m.c.a.

Para la macro medición se cuenta con un Macromedidor Electromagnetico modelo MAG5000 marca SIEMENS con capacidad de 2250 m<sup>3</sup>; para la micro medición, se cuenta con un Micromedidor modelo MTKD-S de chorro múltiple de esfera seca marca ZENNER, un Micromedidor modelo S120 para Agua del Tipo chorro Único marca ELSTER, un Micromedidor modelo LXSGY 15E de chorro múltiple marca DH.

El volumen distribuido al sistema muestra que el mayor caudal fue en enero del 2021 con un valor de 160829,92 m<sup>3</sup> y el menor caudal fue en el mes de marzo del 2020 con un valor de 115149,60 m<sup>3</sup> proveniente del R15. Por otra parte, el consumo autorizado, está compuesto por el volumen de agua tanto medido como no medido tomado por los clientes registrados, también la misma empresa de agua y otras instituciones debidamente autorizadas.

Por el lado del Consumo autorizado no facturado. El Consumo no facturado medido fue del 0,00 % ); a la par, se determinó que el Consumo no facturado no medido es 104,10 m<sup>3</sup> donde el volumen usado en el servicio contra incendio no existe y para la limpieza y el mantenimiento de reservorios se hace dos veces al año. Mientras tanto, el Consumo no facturado no medido, fue de 0,00 % (con un margen de error del 0,0 %). De esta forma, el Consumo autorizado no facturado fue de 0,01 %

Las pérdidas de agua (agua no comercializada) mostró un volumen de **693110,99** m<sup>3</sup>, representando este resultado un 43,94 % del volumen de agua de ingreso al sistema. Mientras tanto, las pérdidas aparentes, considerando que representa un 5 % de las conexiones; dieron como resultado que existe una pérdida de 49982,86 m<sup>3</sup> por parte de las conexiones clandestinas y una pérdida de 1770,58 m<sup>3</sup> de errores en la medición en la toma de registro; obteniéndose un total de 51753,44 m<sup>3</sup> para el consumo no autorizado, representando este resultado un 3,28 % del volumen de agua de ingreso al sistema.

Con respecto a las Pérdidas reales (físicas); las Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente asciende a 24,40 %; mientras tanto, las Fugas en las tuberías de distribución ascienden a un 16,26 %. Es decir, las Pérdidas reales alcanzaron un valor de 40,66 %.

Por tanto, las Pérdidas reales de agua (Agua No Comercializada) representan un volumen de 641253,4509 m<sup>3</sup>, este resultado es aproximadamente un 40.66 % del volumen de entrada al sistema. El agua no facturada, considerando los volúmenes de distribución y de facturación total, se determinó que el índice de %ANF es equivalente al 43,95 % aproximadamente.

De manera general, se puede afirmar que es propicio un plan de mejora, que permita reducir las deficiencias halladas en esta investigación, bajo los diferentes criterios planteados; lo cual, abre paso a la implementación de un Modelamiento Hidráulico para las redes de agua potable del sector, tal como lo menciona, Navarro, y Gonzalo (2020) en su tesis titulada “Mejoramiento del Modelamiento Hidráulico para la Sectorización de redes de agua potable de la ciudad de Ilo”.

Dicho sea de paso, la ciudad de Ilo muestra características un tanto similares a las del sector evaluado, como lo demuestra Ticona y Quiróz (2019) en su tesis “Reducción de pérdidas y agua no contabilizada del Sector II-B en la ciudad de Ilo”. Teniendo como resultado un índice de pérdidas de 41,94 % (mayor al hallado en el subsector 27). Siendo esto una referencia para la implementación de estrategias que busquen la eficiencia operativa.

En comparación con la investigación de Alvarado y Cauna (2019) en su tesis “Análisis del Índice de Pérdidas para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable del Sector VI de la ciudad de Tacna – Tacna” se encontraron resultados similares al hallar un índice de pérdidas de 26,27 % en el Sector Operacional VI. Ante ello, si se compara con otros sectores, como el evaluado por Gutiérrez (2016) en su tesis “Análisis y determinación de agua no facturada (ANF) en el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona Larapa en la EPS SEDACURSCO S.A.” quien halla, un ANF es del 69 %, lo cual triplica el resultado hallado en esta investigación.

## CONCLUSIONES

Luego de aplicar el método del balance hídrico, a través de la medición de cada uno de los indicadores, se determinó que el índice de Pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna, con un porcentaje de ANF equivalente al 43,95 % en un periodo de evaluación de marzo 2020 a febrero del 2021.

Se identificaron los indicadores que interviene en el método del balance hídrico para hallar el índice de pérdidas en el subsector 27. Las pérdidas de agua, se dividen en Pérdidas aparentes y Pérdidas reales; las Pérdidas aparentes se componen de Consumo no autorizado y de Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos; las Pérdidas reales, se componen de Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente y de Fugas en las tuberías de distribución.

Los porcentajes de pérdidas de los indicadores del método del balance hídrico en el subsector 27, son: el Consumo autorizado no facturado fue de 0,01 %, su componente Consumo no facturado medido fue del 0.00 % y el Consumo no facturado no medido fue de 0,01 %; las Pérdidas aparentes fue de 3,28 %, su componente Consumo no autorizado fue de 3,17 % y la Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos fue de 0,11 %; las Pérdidas reales fue de 40,66 %, compuesto por las Fugas en conexiones de servicio fue de 24,40 % y las Fugas en las tuberías 16,26 %; las Pérdidas de agua (no comercializada) fue de 43,94 %.

Las principales acciones de mejora para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27 son: identificación de las pérdidas a través de la atención de avisos de los clientes y de la evaluación constante; detección de posibles pérdidas en campo; reparación de posibles pérdidas, en campo.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un seguimiento constante sobre el balance hídrico; inicialmente de forma anual, hasta llegar al seguimiento mensual, con la finalidad de reducir las pérdidas existentes, optimizar la distribución y consecuentemente, mejorar la recaudación. Así mismo, se debe contar con información sobre los demás sectores de Tacna, para prevenir posibles pérdidas, incrementando la eficiencia del sistema de abastecimiento.

Realizar una campaña para detectar conexiones clandestinas; específicamente en las zonas que registren mayor número de incidencias; a la par, se deben inspeccionar las conexiones inactivas, cortadas o dadas de baja, porque se corre el riesgo que estas se reconecten a la red. Cabe resaltar que se debe contar con mayor número de personal y que cuenten con capacitación.

Para la toma de decisión y ejecución de campaña, se debe contar con información verídica y exacta; en ese sentido, es necesario actualizar el catastro de las conexiones domiciliarias por lo menos de manera mensual. De esta manera, se reduce la posibilidad de una asignación tarifaria errónea. A la par, se recomienda rotar al personal que realiza las micromediciones, así como, una supervisión constante de su labor, considerando muestras.

Ante la fuga de tuberías, la entidad prestadora debe hacer uso de recursos para realizar una renovación de las tuberías, en las zonas más afectadas. Del mismo modo, se debe verificar la operatividad de los macromedidores, para tener un monitoreo adecuado del agua que circula por los sectores y subsectores.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, N. M. y Cauna Aguilar, H. A. (2019). Análisis del Índice de Pérdidas para Mejorar el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Sector VI de la Ciudad de Tacna – Tacna [Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/821>
- Comisión De Regulación De Agua Potable Y Saneamiento (Cra). (2007). Proyecto de Reducción de Pérdidas de Agua Potable y Reforma del Marco Regulador. Informe Final.
- Duran, L. A. (2014). Plan de acción para la reducción de pérdidas comerciales de agua no contabilizada en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. [Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/155626.pdf>
- Empresa Prestadora De Servicio Tacna S.A. Plan Maestro Optimizado (2013-2043). Informe Final.
- Farley, M. (2001). Leakage Management and Control.
- Guarnizo, M. A. y Sánchez, A. T. (2019). Reducción de pérdidas de agua potable mediante el método de sectorización en el distrito de Salaverry, departamento la libertad [Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5897>
- Gutiérrez, E. F. (2016). Análisis y determinación de agua no facturada (ANF) en el sistema de abastecimiento de agua potable en la sub zona Larapa en la E.P.S. Seda Cusco S.A. [Universidad Andina del Cusco]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3042921>
- INEI. (2018). Censo Nacional 2017: Sistema de consulta de base de datos. Censos 2017. <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Lambert, A. O. Y Hirner, W. (2000). Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. International Water Association.
- Ministerio De Planificación Y Cooperación De Chile (Mideplan). Pontificia Universidad Católica De Chile (PUCC). (1997). Programa de adiestramiento en preparación y evaluación de proyectos. Proyecto Reducción de Pérdidas en Sistemas de Agua Potable.

- Ministerio De Medio Ambiente Y Agua (MMAyA). Estado Plurinacional de Bolivia. (2013). Plan Maestro Metropolitano de agua Potable y Saneamiento La Paz – El Alto Bolivia. Informe sobre demandas futuras y estrategias de expansión. Volumen III – Escenarios y Estrategias.
- Ministerio de Salud. (2022). Población estimada. Repositorio Único Nacional de Información en Salud. <https://cutt.ly/KVit6Jo>
- Navarro, E. y Gonzalo, S. L. (2021). Mejoramiento del modelamiento hidráulico para la sectorización de redes de agua potable de la ciudad de Ilo [Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1661>
- Ojeda, M. (2012). Repositorio de Tesis DGBSDI: Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de Ciudad Universitaria de la UNAM [Universidad Nacional Autónoma de México]. [https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB\\_UNAM/TES01000697122](https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000697122)
- Pérez, W. A. (2017). El agua no facturada y pérdidas originadas en Sedapal Comas 2016 [Universidad César Vallejo]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2955057>
- Porras, O. H. (2014). Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar distribución de agua potable—Sector San Carlos—La Merced [Universidad Nacional del Centro del Peru]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2402471>
- Thornton, J., Sturm, R. Y Kunkel, G. (2008). Water Loss Control. McGrawHill.
- Thornton, J., Sturm, R. Y Kunkel, G. (2008). Water Loss Control. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología, Zimbabwe.
- Ticona, E. M. y Quiróz, J. A. (2019). Reducción de Pérdidas y Agua No Contabilizada del Sector II-B en la Ciudad de Ilo [Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1208>

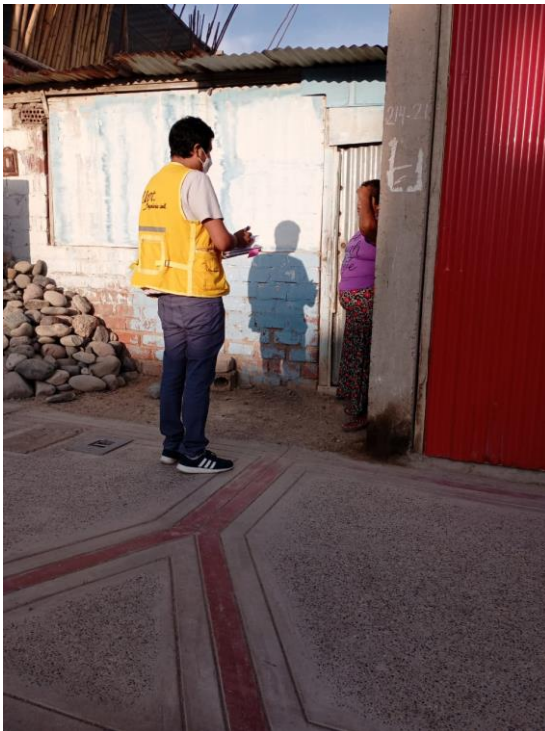
## **ANEXOS**

### Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b> ¿Cómo se puede determinar el Índice de Perdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna usando el método del balance hídrico?</p> <p><b>Problema Específico</b> d. ¿Cuáles son los indicadores a ser usados con el método del balance hídrico para hallar el índice de pérdidas en el subsector 27? e. ¿Cuáles son los porcentajes de pérdidas de los indicadores del método del balance hídrico en el subsector 27? f. ¿Cuáles son las acciones de mejora que se deberían hacerse para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar el índice de Perdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna, usando el método del balance hídrico.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> - Identificar los indicadores que interviene en el método del balance hídrico para hallar el índice de pérdidas en el subsector 27 - Determinar los porcentajes de pérdidas de los indicadores del método del balance hídrico en el subsector 27. - Proponer acciones de mejora para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El método del balance hídrico permitirá determinar el Índice de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable en el subsector 27 de la ciudad de Tacna.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> - El método del balance hídrico permitirá identificar los indicadores para reducir el índice de pérdidas en el subsector 27 de la ciudad de Tacna. - El método del balance hídrico permitirá determinar el porcentaje de pérdidas de los indicadores en el subsector 27 de la ciudad de Tacna. - La determinación del índice de pérdidas ayudará a la propuesta de mejoras para el subsector 27 de la ciudad de Tacna.</p>	<p><b>Variables</b> <b>Independiente:</b> Índice de perdidas <b>Indicadores:</b> Consumo autorizado facturado Consumo autorizado no facturado Pérdidas de agua aparentes Pérdidas de agua reales Agua no contabilizada</p> <p><b>Variables</b> <b>Dependiente:</b> Sistema de abastecimiento</p> <p><b>Indicadores:</b> Caudal Número de conexiones Velocidad Presiones</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Se pretende realizar un tipo de estudio explicativo, ya que a través del estudio de los caudales, consumos y costumbres de la población se pretende encontrar el agua no facturada y realizar las acciones de mejorar para optimizar el agua en el sector.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> El nivel de investigación es comprensivo, ya que se debe explicar el comportamiento del sistema para poder proponer las mejoras en el sistema de abastecimiento del sector.</p>

## Anexo 2. Evidencias Fotográficas

Fotos del recojo de información a través de las encuestas





## Fotos de la lectura de los medidores

