



**Programa para la reducción de pérdidas del suministro de agua potable de la empresa de
servicios públicos de Paipa S.A.S Red Vital E.S.P**

Adriana Sofia Benitez Camacho

21231713703

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Duitama, Colombia

2021

**Programa para la reducción de pérdidas del suministro de agua potable de la empresa de
servicios públicos de Paipa S.A.S Red Vital E.S.P**

Adriana Sofia Benitez Camacho

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

Ingeniera Jessica Lorena Cifuentes

Especialista en Gestión Ambiental

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Duitama, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Duitama, 17 de noviembre 2021

Preliminares

Dedicatoria

Dedicado a mis padres que con mucho esfuerzo y apoyo me han dado todo para lograr culminar mi carrera profesional y gracias a Dios mi guía y mi protector.

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. Justificación	4
4. Marco conceptual	5
4.1. Marco geográfico	5
4.2. Identificación de la empresa.....	7
4.2.1. Misión	7
4.2.2. Visión.....	8
4.2.3. Información general.....	8
4.3. Marco teórico	8
4.3.1. Pérdidas	8
4.3.2. Pérdidas técnicas.....	9
4.3.3. Pérdidas comerciales	9
4.3.4. Consumos operacionales	9
4.3.5. Acometida.....	10
4.3.6. Fuga visible.....	10
4.3.7. Fuga no visible.....	10
4.3.8. Catastro de redes.....	10
4.3.9. Red de distribución.....	10
4.3.10. Macro medición.....	11
4.3.11. Macro medidor	11
4.3.12. Micro medición.....	11
4.3.13. Red matriz.....	11
4.3.14. Usuario.....	12
4.3.15. Tanque de almacenamiento	12
4.3.16. Aforo.....	12
4.3.17. Índice de agua no contabilizada.....	12
4.3.18. Volumen facturado	13

4.3.19. Volumen producido	13
4.3.20. Balance hídrico	13
4.3.21. Balance de pérdidas	14
4.3.22. Programas de recuperación de pérdidas	14
4.4. Marco legal.....	16
5. Metodología.....	19
5.1. Identificación de la zona de estudio, PTAP's, captación de agua y distribución.....	19
5.2. Análisis de registros sobre cantidad de agua captada, agua tratada y agua distribuida	19
5.3. Cálculo de las pérdidas de agua en todas las etapas del sistema, comparación de los últimos tres años.....	20
5.4. Cálculo del Índice de Agua No Contabilizada.	20
5.5. Evaluación de las causas de pérdidas de agua.....	20
5.6. Formulación del programa para la reducción de pérdidas	20
6. Resultados.....	21
6.1. Suscriptores	22
6.1.1. Suscriptores y facturación	23
6.2. Análisis de registros de pérdidas de agua.....	24
6.4. Principales causas de las pérdidas de agua.....	29
6.4.1. Fugas.....	29
6.5. Medidores dañados.....	31
6.6. Captación ilegal de agua	32
6.7. Formulación de un programa para la reducción de pérdidas de agua potable	33
6.7.1. Acciones y/o proyectos para la reducción de pérdidas	34
6.7.2. Seguimiento del programa.	38
7. Conclusiones.....	39
8. Recomendaciones	40
9. Referencias	41
10. Anexos	47

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de pérdidas de agua 2018.....	5
Tabla 2. Datos generales de la empresa	8
Tabla 3. Balance de agua IWA	13
Tabla 4. Recuperación de pérdidas de agua.....	15
Tabla 5. Normatividad	16
Tabla 6. Fases de la metodología.....	19
Tabla 7. Comparación de agua facturada vs número de usuarios	23
Tabla 8. Porcentajes de pérdidas de agua en el sistema.....	24
Tabla 9. Estudio de pérdidas de agua 2018.....	25
Tabla 10. Estudio de pérdidas de agua 2019.....	26
Tabla 11. Estudio de pérdidas de agua 2020.....	27
Tabla 12. Índice de agua no contabilizada.....	29
Tabla 13. Evidencias de fugas	30
Tabla 14. Plan de acción	34
Tabla 15. Proyectos para la reducción de pérdidas comerciales	35
Tabla 16. Proyectos para la reducción de pérdidas técnicas.....	37

Índice de figuras

Figura 1. Localización Red Vital	6
Figura 2. Ubicación geografica del municipio de Paipa	7
Figura 3. Esquema general PTAP	21
Figura 4. Evidencia medidor dañado	31
Figura 5. Evidencia captación ilegal	33

Índice de gráficos

Gráfico 1. Suscriptores año 2020.....	22
Gráfico 2. Comparación pérdidas de agua 2018, 2019 y 2020.....	28
Gráfico 3. Medidores dañados año 2020	32

Resumen

Para la Empresa Red Vital acueducto del municipio de Paipa es importante la optimización del servicio de abastecimiento de agua potable. Durante el transcurso del año 2017 se realizó un estudio de pérdidas en la red de distribución de agua potable, el cual evidenció pérdidas en el sistema de acueducto de aproximadamente 50%. Por lo cual, se presenta la necesidad de formular un programa de pérdidas a través del cual se garantice una optimización en la red de distribución y mejoras en la prestación del servicio.

El programa se lleva a cabo planteando una metodología general ajustada a partir de elementos existentes en la empresa como datos, registros y contadores para así poder proponer siete proyectos que ayudarán a la minimización de las pérdidas teniendo como fundamento las estrategias propuestas por el Departamento Nacional de Planeación mediante la Metodología General Ajustada MGA.

Palabras Clave: pérdidas técnicas, pérdidas comerciales, agua potable, agua no contabilizada, consumo, facturación.

Abstract

Optimization of the drinking water supply service is important for the Red Vital Aqueduct Company of the municipality of Paipa. During the course of 2017, a study of losses in the drinking water distribution network was carried out, which showed losses in the aqueduct system of approximately 50%. Therefore, there is a need to formulate a loss program through which optimization in the distribution network and improvements in service provision are guaranteed.

The program is carried out by proposing a general methodology adjusted from existing elements in the company such as data, records and counters in order to propose seven projects that will help minimize losses based on the strategies proposed by the National Department of Planning using the Adjusted General Methodology MGA.

Keywords: technical losses, business losses, drinking water, water not counted, consumption, billing.

Abreviaturas

Símbolo	Término
ANF	Agua No Facturada
CRA	Comisión de Regulación de Agua potable y saneamiento básico
IANC	Índice de Agua No Contabilizada
IWA	International Wáter Asociation
IDEAM	Instituto de Higrología, Meteorología y estudios Ambientales
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
SIG	Sistema de Información Geográfica

1. Introducción

Las pérdidas en un sistema de abastecimiento de agua potable son básicamente ciertas cantidades de agua que son captadas para su posterior distribución, pero que por diversos factores como fallas en medidores, abastecimiento ilegal o ausencia de mantenimiento de las redes y medidores, entre otros, esta no llega a ser distribuida por la red de agua potable, sino que, en las diversas redes de distribución se va perdiendo lo cual puede generar un déficit económico esto dependiendo de las cantidades de agua que se desperdicien; de allí la importancia del programa para disminuir las pérdidas.

Para el estudio de estas pérdidas y formular posibles soluciones hacia la reducción de las mismas se hace necesario partir de las normas establecidas y de los estudios que argumenten la necesidad del programa para la gestión de estas, la empresa de servicios públicos domiciliarios Red Vital de Paipa realizó en el año 2017 un estudio de la cantidad de pérdidas en la red de abastecimiento de agua potable que arrojó como resultado un porcentaje de 50% de pérdidas, lo que es demasiado alto teniendo en cuenta que la Resolución 0330 de 2017 dicta que las pérdidas técnicas máximas aceptadas son del 25% como se puede evidenciar en el Artículo 44 de la resolución nombrada.

A partir de ello la Empresa ha venido realizando visitas en las redes, mantenimiento de los medidores y revisión de las estructuras que pueden verse afectadas por captaciones fraudulentas en algunas zonas donde las personas tienen acceso a los tubos de distribución del agua, pero aún no cuenta con un programa estricto para la gestión de las pérdidas, además también se debe realizar un estudio de pérdidas actualizado y de manera periódica para el control de las mismas, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, nuevos suscriptores y posibles

mejoras en los últimos cuatro años, por ello se elabora el presente documento con el fin de realizar un programa para la reducción de las pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Este proyecto se divide en las siguientes fases, primero reconocimiento de la zona de captación de agua y de las plantas de tratamiento, segundo revisión de información preexistente sobre pérdidas de agua, tercera recolección de información sobre usuarios, facturación y agua tratada y la fase final es un resultado de las pérdidas con posterior propuesta para minimizar las mismas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Formular un programa de gestión de pérdidas de agua potable en la red de distribución del acueducto del municipio de Paipa a cargo de la empresa de servicios públicos domiciliarios Red Vital S.A.S

2.2. Objetivos específicos

- Analizar los estudios existentes relacionados con las pérdidas y fugaz en la red de abastecimiento de agua de la empresa Red Vital de Paipa (Boyacá).
- Realizar los cálculos de índice de agua no contabilizada IANC para el acueducto del municipio de Paipa.
- Evaluar en que puntos y qué tipo de pérdidas de agua se están dando en la red de abastecimiento.
- Proponer acciones para la reducción de las pérdidas del sistema de abastecimiento de agua potable.

3. Justificación

Las pérdidas de agua potable en América Latina, representan un porcentaje mayor al 42% según un estudio realizado por la CEPAL, lo que demuestra la falta de estudios pertinentes alrededor del tema, el desinterés del estudio de pérdidas más allá del solo abastecimiento de la población y sobre todo la ausencia del mantenimiento eficiente y oportuno en los sistemas, por lo que se hace urgente y totalmente importante la gestión de estas pérdidas en la distribución de agua potable a nivel mundial.

Desde un proyecto para la reducción de pérdidas del suministro de agua potable de la empresa Red Vital de Paipa elaborado por una estudiante de ingeniería ambiental se pueden evidenciar procesos que fomentan la experiencia y amplían el conocimiento además incorporan la investigación y avances en procesos que, aunque están constituidos en las normas colombianas, no se dan con el rigor con que se deberían, lo que se pretende es mejorar la calidad en la prestación del servicio de la empresa de servicios públicos domiciliarios de Paipa Red Vital, ya que para el cumplimiento de las funciones de un acueducto debe contar con un programa para la gestión de las pérdidas en el sistema como lo dicta la Resolución CRA N° 287 de 2004, optimizando el funcionamiento de las actividades, de los costos y de la estructura física del sistema. Para prestar un buen servicio a los habitantes del municipio de Paipa debe evaluarse específicamente que zonas están teniendo mayores pérdidas, encontrar el porqué de las pérdidas y regular las que estén por debajo de lo que dicta la norma.

Cualquier proceso productivo debe basarse en la mejora continua, además de atender a nuevas necesidades y estar en constante estudio que mejore las condiciones en este caso del sistema de acueducto y abastecimiento de agua potable, encontrar las posibles irregularidades

como abastecimiento de agua de forma ilegal que son falencias a evaluar, pues generan coste económico a la empresa y a la comunidad que se abastece del líquido.

Tabla 1.

Análisis de pérdidas del sistema año 2018

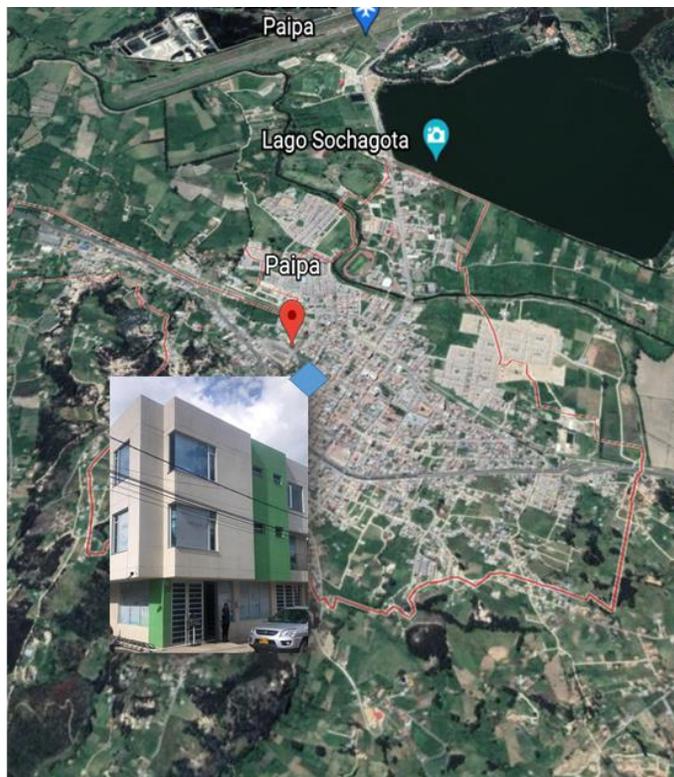
MES	REGISTRO MACRO 8 IN		REGISTRO SUMA MACRO SALIDAS		INCLUYE CORINTO			
	CONSUMO (m3)	CONSUMO (Lps)	ENTRADA** (m^3)	ENTRADA** (Lps)	ENTRADA* (m^3)	ENTRADA* (Lps)	% pérdidas**	% pérdidas*
jun-16	60640,9	23,4	110978,7	46,3	126050	52,1	49,5	55,1
jul-16	55756	20,82	111366,9	45,1	127651	51,2	53,8	58,3
ago-16	58810	21,96	114921,9	46,4	128766	51,6	52,7	57,4
sep-16	54372	20,98	113084,1	47,1	127917	52,9	55,5	60,3
oct-16	58296	21,77	119299,4	48	131491	52,6	54,7	58,6
nov-16	66549,7	25,68	114757,9	47,8	125720	52	46,3	50,6
dic-16	82565	30,83	117689,3	47,4	126799	50,8	35	39,4
ene-17	61358,2	22,91	127067,1	50,9	136406	54,4	55	57,9
feb-17	64831	26,8	107766,9	48	123560	54,6	44,2	50,9
mar-17	71034,1	26,52	119257,6	49,5	130045	52,1	46,4	49,1
abr-17	55945,7	21,58	119889,3	49,8	131999	54,4	56,6	60,3
may-17	77043,1	28,76	120081,6	48,3	129266	51,8	40,5	44,4
Promedio	63933,47	24,33		47,9		52,5	49,2	53,6

Nota. Esta tabla relaciona el agua que llega a las plantas de tratamiento con el agua consumida por cada usuario para tener un valor de pérdidas. Fuente: (Jimenez, 2018)

4. Marco conceptual

4.1. Marco geográfico

La empresa de servicios públicos domiciliarios Red Vital S.A.S Paipa E.S.P presta el servicio de suministro de agua potable a la zona urbana del municipio de Paipa, el cual se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá – Colombia, su localización está en el centro del Municipio

Figura 1.*Localización Red Vital*

Nota. La imagen fue tomada de *Google Earth* y editada para complementar con la imagen de la fachada de la empresa al año 2021. Fuente: Elaboración propia (2021).

El municipio de Paipa está localizado en la parte centro-oriental del país y noroccidental del departamento de Boyacá, sobre la Cordillera Oriental de Colombia, a 2525 msnm. Dista aproximadamente a 184 km de Bogotá y a 40 km de Tunja (Wikipedia, 2021) . Abarca una extensión de 30 592,41 ha, y presenta una temperatura promedio de 13 °C. Según el censo de 2018 este municipio cuenta con 31.141 habitantes.

Figura 2.

Ubicación geográfica municipio de Paipa



Nota. Esta figura muestra en donde queda ubicado el municipio de Paipa basados en el mapa de Colombia. Fuente: Google maps (2020).

El Municipio cuenta con una reserva natural llamada Ranchería con una extensión de 900 ha, esta es una riqueza natural importante, tanto así que de allí nace el agua que abastece a la población, pues el acueducto capta agua de la Quebrada Toibita proveniente de esta reserva.

4.2. Identificación de la empresa

4.2.1. Misión

Somos una empresa creada para contribuir al desarrollo de un ambiente sano y al

mejoramiento sustancial de la calidad de vida de los habitantes a través de la óptima prestación de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo.

4.2.2. Visión

Consolidar en el mediano plazo a Red Vital S.A.E.S.P., como una empresa eficiente en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, satisfaciendo las necesidades de nuestros usuarios, generando confianza y reconocimiento, para asegurar la calidad de vida de nuestras futuras generaciones.

4.2.3. Información general

Tabla 2.

Datos generales de la empresa

Nombre	Datos
Dirección	Carrera 17 A No. 23 A-05 Paipa-Boyacá
Telefono	7853051
E-mail	redvital@paipa-boyaca.gov.co
Nit	900259348-5
Fecha de constitución	10 de Diciembre de 2008
Responsable legal	Robinson Larrota
Cargo	Gerente

Nota. Esta tabla muestra datos relevantes de la empresa Red Vital, para su reconocimiento.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Marco teórico

4.3.1. Pérdidas

Suma de efectos, que se reflejan en un volumen de agua que ingresa al sistema de abastecimiento de agua, pero no es usado en el registro o factura. Estas pérdidas se pueden

dividir en técnicas, comerciales y de acometida (CRA, Pérdidas de agua en el sistemas de acueducto, 2008).

4.3.2. Pérdidas técnicas

Son fugas de ciertos volúmenes de agua que no están siendo medidos por los micro medidores del sistema y que depende de fallas físicas de la estructura como elementos propios de la red como conductos, conexiones, tanques de almacenamiento, válvulas o tuberías. Este tipo de pérdidas están asociadas a la presión, es la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen facturado (CRA, Pérdidas de agua en el sistemas de acueducto, 2008).

4.3.3. Pérdidas comerciales

Corresponden a cierto volumen de agua que no están facturando los usuarios, las posibles causas de este tipo de pérdidas son: errores en la medición (posible falta de mantenimiento), consumos o fugaz ilegales, clandestinos, subestimación del consumo y errores en facturación. Este tipo de pérdidas están asociadas al consumo, y es la diferencia entre el volumen de agua suministrada a la red de distribución y el volumen facturado por la empresa (CRA, Pérdidas de agua en el sistemas de acueducto, 2008).

4.3.4. Consumos operacionales

Corresponde a cierto volumen de agua usada para limpieza de máquinas, unidades e infraestructura, aunque en ocasiones esta agua puede ser medida o registrada en los medidores, no es distribuida en el abastecimiento de agua potable, por tanto, no facturada.

4.3.5. Acometida

Desviación de la red de acueducto que va a dar adelante del medidor esta puede ser operada por el usuario, en edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida puede llegar al registro de corte general (Uribe, 2011).

4.3.6. Fuga visible

Fuga o volumen de agua que se escapa y que se puede detectada por una persona, esta se puede dar tanto en redes públicas como privadas (Uribe, A. Monsalve, M, 2011).

4.3.7. Fuga no visible

Fuga o volumen de agua que se escapa, que se da en las redes de distribución o en una residencia y que no se puede detectar fácilmente, sino que necesita de instrumentos apropiados que usan métodos acústicos (Uribe, A. Monsalve, M, 2011).

4.3.8. Catastro de redes

Es un instrumento para inventariar todas las tuberías y accesorios que hacen parte de la red de distribución de todo el sistema, incluyendo características tales como localización, diámetro y material.

4.3.9. Red de distribución

Es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendios (Comisión Nacional del Agua , 2019)

4.3.10. Macro medición

Es un proceso que sirve para controlar o registrar los valores hidráulicos para la buena operación del sistema de acueducto o distribución de agua potable las mediciones que se llevan a cabo son de caudal, volumen, presión y variación de niveles. Esta macro medición puede ser fija o móvil, permite la realización de controles mensuales esto para controlar posibles pérdidas en el sistema (Uribe, A. Monsalve, M, 2011).

4.3.11. Macro medidor

Es un aparato (medidor) que se instala en puntos estratégicos de la red de distribución como entradas, salidas, puntos de captación y puntos de bombeo. Este aparato puede medir tanto el flujo instantáneo como un registro del flujo que ha pasado en cierto periodo de tiempo (Uribe, A. Monsalve, M, 2011).

4.3.12. Micro medición

Es un aparato (medidor), que se encuentra en la acometida y registra el volumen de agua consumida para determinado periodo de tiempo para cada usuario o suscriptor (Uribe, A. Monsalve, M, 2011).

4.3.13. Red matriz

Flujo de agua desde la captación, planta de tratamiento y distribución, esta red matriz es la red primaria o principal y es la que tiene el control de presiones para que todo el sistema funcione de manera correcta (Uribe, A. Monsalve, M, 2011).

4.3.14. Usuario

Es el receptor directo del servicio, puede ser persona natural jurídica, este se beneficiario del servicio público de agua también se puede llamar suscriptor.

4.3.15. Tanque de almacenamiento

Es un tanque dispuesto para almacenar determinado volumen de agua, este volumen tiene que darse según la demanda de la población a abastecer y además cumple la función de regular las presiones del sistema.

4.3.16. Aforo

Proceso para determinar la cantidad o capacidad de algo, para el área específica de aguas en la ingeniería ambiental es común la realización de aforos de agua para conocer la cantidad de agua de un cuerpo hídrico. (Insepet, 2021)

4.3.17. Índice de agua no contabilizada

Es el indicador que se usa en Colombia, para la evaluación de las pérdidas de agua potable en las redes de abastecimiento del líquido (CRA, Pérdidas de agua en el sistemas de acueducto, 2008),

Ecuación 1.

$$IANC = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen Facturado}}{\text{Volumen producido}} * 100$$

Donde:

4.3.18. Volumen facturado

Volumen de agua que es facturado por la empresa durante el año inmediatamente anterior.

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, esos valores deben encontrarse en un 20% y para la Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico CRA, debe estar en el 30%.

4.3.19. Volumen producido

Volumen que salió de los tanques de almacenamiento registrado en el año inmediatamente anterior, a este volumen se le quitan posibles usos de agua para mantenimiento (CRA, Pérdidas de agua en el sistemas de acueducto, 2008).

4.3.20. Balance hídrico

El balance hídrico es una herramienta que permite realizar un diagnóstico integral sobre la situación de las pérdidas de agua en la gestión operacional y comercial de la prestación del servicio (MMAyA, 2013). Este proceso está dado por la Asociación Internacional del Agua (IWA) y es una herramienta fundamental para la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento.

Tabla 3

Balance de agua propuesto por la IWA

Volumen de entrada al sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado facturado	$\frac{\text{Consumo facturado medido}}{\text{Consumo facturado no medido}}$	Agua Facturada
		Consumo autorizado no facturado	$\frac{\text{Consumo no facturado medido}}{\text{Consumo no facturado no medido}}$	Agua no facturada

		Consumo no autorizado
	Pérdidas aparentes (Comerciales)	Inexactitud de la medición y errores en el manejo de los datos de lectura de medidores.
Pérdidas de agua		Falla en la medición y error en el manejo de los datos de lectura de medidores
	Pérdidas reales (Físicas)	Fugas y desbordamiento en taques de almacenamiento
		Fugas en acometidas

Nota. Esta tabla contiene la explicación del balance de agua en consumo de agua autorizado y pérdidas de agua para poder realizar un programa de reducción de pérdidas. Fuente:

(Manosalvas, 2011)

4.3.21. Balance de pérdidas

Es un proceso realizado para identificar las pérdidas, cuáles son las causas de las mismas y plantear soluciones para mejorar el funcionamiento del sistema, este es realizado de manera global pero también específica para cada parte del sistema como conducción, tanque de almacenamiento, distribución entre otros.

4.3.22. Programas de recuperación de pérdidas

Las empresas prestadoras del servicio deben hacer frente a estas pérdidas mediante planes y programas para su reducción, dentro de las cuales se identifican, entre otras, el control activo de fugas (detección y reparación), la gestión de presiones, sectorización,

medición, renovación y rehabilitación de infraestructura (medidores y redes). (CRA, Resolución CRA 688 de 2014, 2014)

Los programas planteados para la recuperación de pérdidas se encuentran en el siguiente cuadro.

Tabla 4

Recuperación de pérdidas de agua

PROGRAMAS DE RECUPERACIÓN DE PÉRDIDAS	INCREMENTO DE LA FACTURACIÓ N	REDUCCIÓN DE PRODUCCIÓ N
	(m ³ /oper/mes)	(m ³ /oper/mes)
Revisión facturación cuentas institucionales.	x	x
Facturación presuntiva de daños ocasionados por terceros.	x	o
S+A5:C22 supervisión de cuentas inactivas (cortado, coactivo, predio demolido, suspendido, acometida por instalar, depuración cartera, inhabilitado).	x	o
Instalación de dispositivos antifraude.	x	x
Lectura remota a grandes consumidores.	x	x
Facturación de predio con inspecciones por cruces de información comercial y geográfica.	x	x
Manejo de fraudes.	x	x
Análisis sistemáticos de bajos consumos.	x	
Facturación presuntiva a comunidades ilegales.	x	o
Redes provisionales a comunidades ilegales.	x	x
Gestión del plano de presiones.	o	x
Impermeabilización de tanques.	o	x
Atención a daños.	o	x
Búsqueda sistemática de fugas y conexiones clandestinas.	x	x
Sustitución de medidores residenciales.	x	x
Macromedición en conjuntos habitacionales.	x	x
Programa de reposición de redes.	o	x

Nota. Esta tabla describe las actividades que se deben realizar para la reducción de pérdidas de agua en el sistema. Fuente: (Manosalvas, 2011).

4.4. Marco legal

Este proyecto se realiza bajo las normas colombianas encaminadas al ahorro y cuidado del agua, teniendo en cuenta los reglamentos de la CRA en cuanto a pérdidas de agua potable, porcentajes de pérdidas de agua permitidos y bajos los cálculos establecidos estas normas se resumen en la siguiente tabla

Tabla 5

Normatividad para pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento de agua potable

Normatividad	Descripción
Ley 142 de 1994	<i>Artículo 163</i> “Por la cual se definen tarifas para empresas de acueducto y alcantarillado y se contempla el nivel de pérdidas aceptables” (Senado, Ley 142 de 1994, 2021).
Ley 373 de 1997	“Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua” (MINAMBIENTE, 1997).
Ley 489 de 1998	“Por la cual se regula el ejercicio de la función administrativa, determina la estructura y define los principios y reglas básicas de la organización y funcionamiento de la administración pública.” (Senado, Ley 489 de 1998, 1998)
CRA 151 de 2001	<i>Artículos 2.3.4.14</i>

	<p>La comisión de agua potable y saneamiento básico define que el nivel máximo aceptable de agua no contabilizada es de 30%, considerando este como un límite en la eficiencia de los programas de gestión de pérdidas.</p>
CRA 287 de 2004	<p><i>Artículo 26</i></p> <p>“Se considera inversión aquellos gastos encaminados a la reducción de pérdidas y están contemplados en la metodología tarifaria vigente la cual las reconoce como costo eficiente susceptible a ser recuperado por la vía de tarifa”. (CRA.2004).</p>
Resolución CRA 632 de 2013	<p>“La presente resolución tiene por objeto establecer la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado, en el ámbito de su aplicación”. (CRA.2013).</p>
Resolución CRA 688 de 2014	<p>“Por la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en el área urbana”. (CRA.2014).</p>
Ley 1450 de 2011	<p><i>Artículo 216</i></p> <p>“Por la cual se fijan tasas de uso de agua por acueductos municipales”. (Senado.2014).</p>
Artículos 356 y 357 de la constitución política de Colombia	<p>“la cual establece el deber del estado de asegurar la prestación eficiente de los servicios públicos domiciliarios a todos los habitantes del territorio nacional, se crea el Sistema General de Participaciones de los</p>

	<p>Departamentos, Distritos y Municipios, con el fin de atender los servicios a cargo de estas entidades y proveer los recursos para financiar adecuadamente su prestación”. (Constitución.1991).</p>
<p>Plan regional de inversiones en ambiente y salud</p>	<p>Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia, cuyos objetivos principales de éste sector están encaminados a contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana, mediante: 1. La prestación eficiente y óptima de los servicios de agua potable y saneamiento básico que coadyuve a reducir la morbilidad y mortalidad originadas por enfermedades producidas por consumo de agua no apta y por la contaminación de excretas y 2. La extensión de coberturas y ampliación de la infraestructura física como factor indispensable para el desarrollo urbano, el crecimiento económico, la reducción de la pobreza y el desarrollo ambientalmente sostenible. (Fernando, R.2018)</p>

Nota. Esta tabla resume once leyes, resoluciones y reglamentos que se debieron tener en cuenta para la realización del presente proyecto. Fuente: Elaboración propia.

5. Metodología

Para la realización de este proyecto de grado se realiza una metodología general explicada en las siguientes fases:

Tabla 6.

Fases de la metodología del proyecto

Fases del Proyecto	
Fase 1	Identificación de la zona de estudio, PTAP, zona de captación de agua y distribución.
Fase 2	Análisis de registros sobre cantidad de agua captada, agua tratada y agua distribuida.
Fase 3	Cálculo de las pérdidas de agua en todas las etapas del sistema, comparación de los últimos tres años.
Fase 4	Cálculo del Índice de Agua No Contabilizada.
Fase 5	Evaluación de las causas de pérdidas de agua.
Fase 6	Formulación del programa para la reducción de pérdidas de agua

Nota. Esta tabla describe cada una de las fases en las que se divide el proyecto para su desarrollo.

Fuente: Elaboración propia.

5.1. Identificación de la zona de estudio, PTAP's, captación de agua y distribución

Red Vital cuenta con tres PTAP, se realizarán las visitas a cada una de estas plantas para observar el funcionamiento y la capacidad de las mismas, también se visitará la zona de captación para conocer cuánta agua se está captando y en qué condiciones, así mismo para la distribución del agua pues cada planta distribuye distintas zonas.

5.2. Análisis de registros sobre cantidad de agua captada, agua tratada y agua distribuida

Se determinará con que información cuenta la empresa en cuanto a registros de aforos, para saber cuánta agua se está captando, además de los registros que existan de entradas y salidas

del desarenador, y de las PTAP's y finalmente se realizará la comparación con el agua que se factura mes a mes.

5.3. Cálculo de las pérdidas de agua en todas las etapas del sistema, comparación de los últimos tres años.

Se realizará una comparación de la cantidad de pérdidas de agua según los registros existentes de los últimos tres años esto con el fin de tener un estudio más amplio y confiable, además que para el último año no se tiene un registro muy amplio por lo que es de mucha ayuda el conocer el comportamiento de los años anteriores.

5.4. Cálculo del Índice de Agua No Contabilizada.

Por medio del Índice de agua no contabilizada IANC, se realizarán los cálculos pertinentes con respecto al año inmediatamente anterior para conocer qué porcentaje de pérdidas tienen en el acueducto Red Vital de Paipa.

5.5. Evaluación de las causas de pérdidas de agua.

En esta fase se tiene en cuenta que las pérdidas las podemos dividir en dos tipos como lo son pérdidas comerciales y pérdidas técnicas de esta manera se evidencian las causas de las pérdidas que son principalmente por fugas, contadores en mal estado y fraudulentos.

5.6. Formulación del programa para la reducción de pérdidas

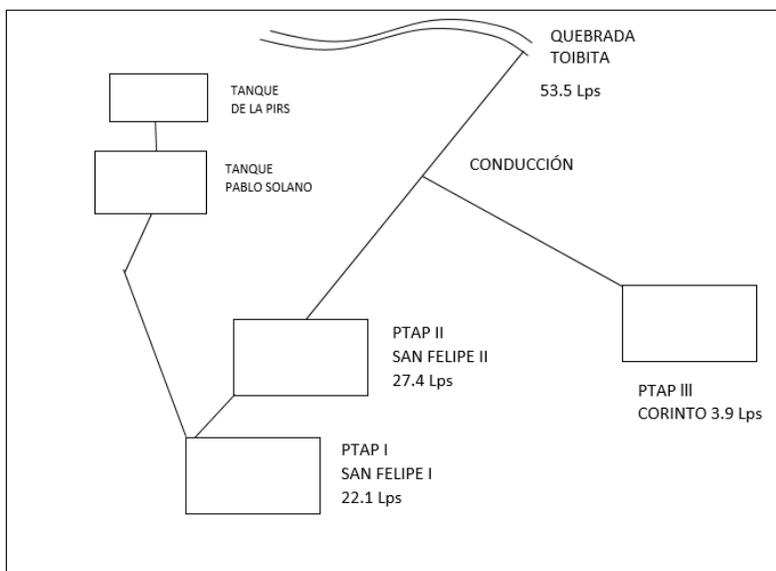
De acuerdo al porcentaje de pérdida que arrojan los cálculos de la fase anterior, basados en los datos del año inmediatamente anterior 2020, se elaborará un plan con actividades específicas que debe implementar Red Vital para la reducción de las pérdidas de agua.

6. Resultados

La empresa de servicios públicos domiciliarios Red Vital de Paipa se abastece de agua de la quebrada Toibita que hace parte de la Reserva Natural Ranchería de este municipio, de la quebrada se captan aproximadamente 51,43 L/s, esta agua es distribuida en las tres plantas de tratamiento (PTAP), que son la planta San Felipe I, que distribuye por gravedad hacia el centro del Municipio y también por bombeo abastece el tanque Pablo Solano, la segunda PTAP es San Felipe II que distribuye por gravedad hacia la zona hotelera y diferentes barrios, y la tercera PTAP es la de Corinto se denomina así porque abastece al barrio Corinto, es la planta más pequeña con la cuenta el acueducto de Paipa.

Figura 3

Esquema general PTAP



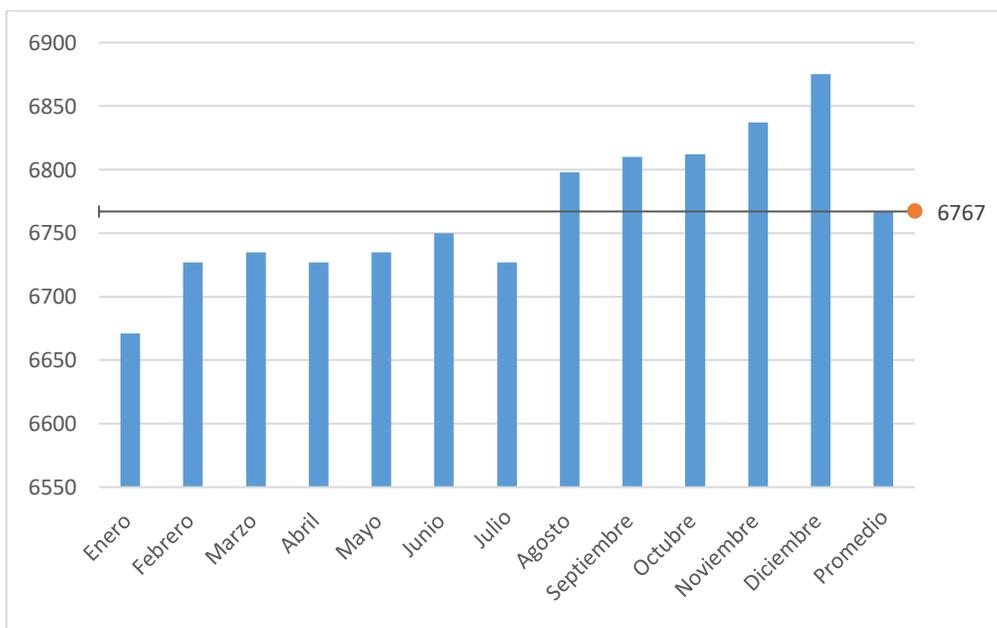
Nota. Este esquema describe la captación del agua y su aducción a las tres plantas de tratamiento, así como la cantidad de agua promedio que recibe cada planta. Fuente: Elaboración propia (2021).

6.1. Suscriptores

La empresa de servicios públicos de Paipa S.A.S Red Vital E.S.P en el área de prestación de servicio de suministro de agua potable cuenta con un promedio de 6.762 suscriptores divididos en uso comercial, industrial, oficial y residencial, a partir de un promedio de los suscriptores del año 2020, el cual fue seleccionado para estudio de pérdidas de agua. A continuación, se presenta un gráfico que muestra la variabilidad de suscriptores mes a mes:

Gráfico 1.

Suscriptores año 2020



Nota. En el grafico se muestra el aumento de suscriptores a lo largo del año 2020, siendo el mes de enero con menos suscriptores en comparación con el mes de diciembre. Registro de facturación Red Vital. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la cantidad de suscriptores se realiza para el cálculo de las pérdidas de agua teniendo en cuenta que el incremento de suscriptores va de la mano con el aumento de consumo y distribución de agua potable. Red Vital ha venido implementando unos macro medidores por

sectores para así tener un mayor control del agua que se distribuye en cada sector de la ciudad y poder identificar de manera eficiente las fugas o errores de medición, pero estos aún no se encuentran calibrados ni se lleva un registro de los datos que estos arrojan para poder emplearlos en el desarrollo del presente proyecto.

6.1.1. Suscriptores y facturación

Se realiza la comparación entre la cantidad de usuarios que hay mes a mes y la cantidad de agua facturada en todos los meses del año 2020, para poder analizar si coinciden estos valores o en que ocasiones pueden estar presentándose mayor cantidad de pérdidas de agua, en la siguiente tabla se muestran los valores

Tabla 7.

Comparación de número de usuarios con el agua facturada

Usuarios vs facturación			
Mes	Usuarios	Cant de agua facturada (m3)	Cant. Agua facturada (L/s)
Enero	6671	63127	24,01
Febrero	6727	65423	24,88
Marzo	6735	54428	20,70
Abril	6727	76907	29,25
Mayo	6735	73707	28,03
Junio	6750	59383	22,58
Julio	6727	71349	27,13
Agosto	6798	68223	25,94
Septiembre	6810	63479	24,14
Octubre	6812	70495	26,81
Noviembre	6837	65952	25,08
Diciembre	6875	69652	26,49
Promedio	6767	66843,75	25,42

Nota. Según tabla se puede concluir que el número de usuarios va en aumento a lo largo del año, lo contrario pasa con la cantidad agua facturada pues es variable la mayor facturación se da en el mes de mayo seguido de junio, pero no coincide con el mes de mayor número de usuarios por lo

que puede haber un menor número de medidores dañados o fugaz que explica esa variable. Datos de facturación Red Vital. Fuente: Elaboración propia.

6.2. Análisis de registros de pérdidas de agua

Por la ausencia de registros verídicos y exactos tanto de la cantidad de agua que está siendo captada, como la que entra y sale de las PTAP's y de la cantidad exacta de fugaz, se toma como base un estudio de pérdidas realizado en el año 2019 donde se tiene un promedio de pérdidas para cada fase desde la captación y luego al desarenador hasta la salida de cada una de las plantas de tratamiento hasta la facturación, a partir de esos datos se realiza una comparación con los años siguientes años para poder realizar cálculos confiables en cuanto a pérdidas, en la siguiente tabla se muestra el promedio de pérdidas que arrojó el PUEAA realizado en 2019 por la Empresa

Tabla 8.

Promedio de pérdidas en el sistema

% Pérdidas Aduc-Desar	% Pérdidas Desarenador	% Pérdidas Desar-PTAP	% En las PTAP's
2	5,26	9,25	5,9

Nota. Aquí se encuentran los porcentajes de pérdida que se da en cada fase del sistema.

Información PUEAA Red Vital 2019. Fuente: Elaboración propia.

En base a estos porcentajes se realiza un análisis de pérdidas de agua durante el periodo comprendido entre 2018 y 2020, inicialmente el año 2018 como lo muestra la siguiente tabla

Tabla 9.*Estudio de pérdidas año 2018*

AÑO 2018											
Mes	Total agua captada (m3)	Total, agua captada(L/s)	% de pérdidas del DESAR	Salida del DESAR (L/s)	% Pérdidas Desar-PTAP	Total agua PTAP (L/s)	Pérdidas en PTAP's (L/s)	Total agua salida PTAP's (L/s)	Cant de agua facturada (m3)	Cant. Agua facturada (L/s)	% pérdidas distribución
Enero	140206,4	53,32	5,26	50,51	9,25	45,84	2,70	43,14	63127	24,01	44,35
Febrero	126098	47,95	5,26	45,43	9,25	41,23	2,70	38,53	65423	24,88	35,43
Marzo	141702	53,88	5,26	51,05	9,25	46,33	2,70	43,63	54428	20,70	52,56
Abril	134782	51,25	5,26	48,56	9,25	44,07	2,70	41,37	76907	29,25	29,30
Mayo	130610,6	49,67	5,26	47,05	9,25	42,70	2,70	40,00	73707	28,03	29,93
Junio	145191	55,21	5,26	52,31	9,25	47,47	2,70	44,77	59383	22,58	49,56
Julio	142494	54,19	5,26	51,34	9,25	46,59	2,70	43,89	71349	27,13	38,18
Agosto	151191,6	57,49	5,26	54,47	9,25	49,43	2,70	46,73	68223	25,94	44,48
Septiembre	143834	54,70	5,26	51,82	9,25	47,02	2,70	44,32	63479	24,14	45,54
Octubre	144184	54,83	5,26	51,94	9,25	47,14	2,70	44,44	70495	26,81	39,68
Noviembre	137271	52,20	5,26	49,45	9,25	44,88	2,70	42,18	65952	25,08	40,54
Diciembre	150835,5	57,36	5,26	54,34	9,25	49,31	2,70	46,61	69652	26,49	43,18

Nota. Esta tabla contiene datos desde la captación hasta la distribución aplicando pérdidas de agua. Información PUEAA Red Vital.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.*Estudio de pérdidas año 2019*

AÑO 2019											
Mes	Total agua captada (m3)	Total agua captada(L/s)	% de pérdidas del DESAR	Sálida del DESAR (L/s)	% Pérdidas Desar-PTAP	Total agua PTAP (L/s)	Pérdidas en PTAP's (L/s)	Total agua sálida PTAP's (L/s)	Cant de agua facturada (m3)	Cant. Agua facturada (L/s)	% pérdidas distribución
Enero	140029	53,25	5,26	50,45	9,25	45,78	2,70	43,08	63127	24,01	44,28
Febrero	124382	47,30	5,26	44,81	9,25	40,67	2,70	37,97	65423	24,88	34,47
Marzo	134373	51,10	5,26	48,41	9,25	43,93	2,70	41,23	54428	20,70	49,80
Abril	121423	46,17	5,26	43,74	9,25	39,70	2,70	37,00	76907	29,25	20,95
Mayo	135264,3	51,44	5,26	48,73	9,25	44,22	2,70	41,52	73707	28,03	32,50
Junio	134128	51,00	5,26	48,32	9,25	43,85	2,70	41,15	59383	22,58	45,13
Julio	133659	50,83	5,26	48,15	9,25	43,70	2,70	41,00	71349	27,13	33,82
Agosto	134732	51,23	5,26	48,54	9,25	44,05	2,70	41,35	68223	25,94	37,26
Septiembre	129641	49,30	5,26	46,70	9,25	42,38	2,70	39,68	63479	24,14	39,17
Octubre	129475	49,23	5,26	46,65	9,25	42,33	2,70	39,63	70495	26,81	32,36
Noviembre	129735	49,33	5,26	46,74	9,25	42,42	2,70	39,72	65952	25,08	36,85
Diciembre	125353	47,67	5,26	45,16	9,25	40,98	2,70	38,28	69652	26,49	30,81

Nota. Información Red Vital. Elaborado propia.

Tabla 11.*Estudio de pérdidas 2020*

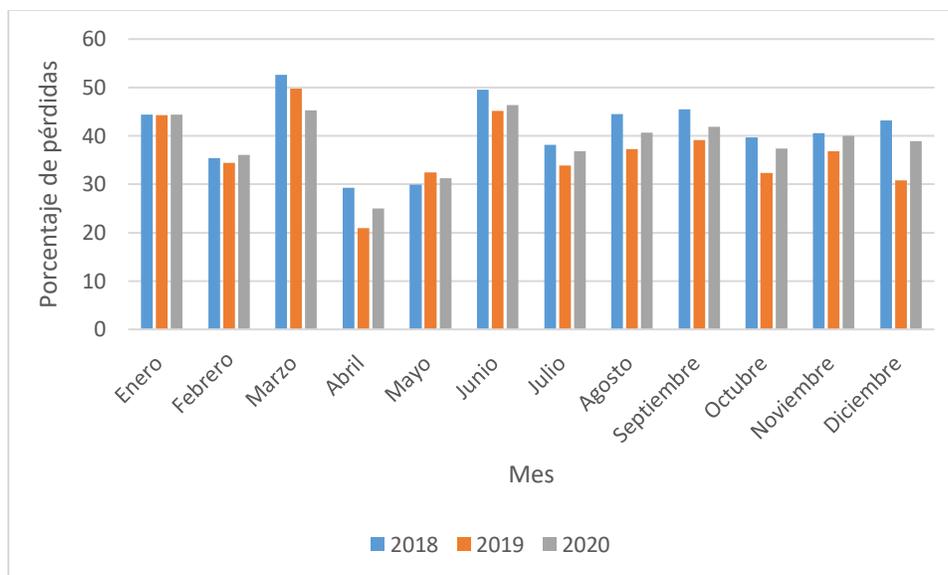
AÑO 2020											
Mes	Total agua captada (m3)	Total agua captada(L/s)	% de pérdidas del DESAR	Sálida del DESAR (L/s)	% Pérdidas Desar-PTAP	Total agua PTAP (L/s)	Pérdidas en PTAP's (L/s)	Total agua sálida PTAP's (L/s)	Cant de agua facturada (m3)	Cant. Agua facturada (L/s)	% pérdidas distribución
Enero	140399	53,39	5,26	50,58	9,25	45,90	2,70	43,20	63127	24,01	44,44
Febrero	127193,3	48,37	5,26	45,82	9,25	41,58	2,70	38,88	65423	24,88	36,02
Marzo	123897	47,11	5,26	44,64	9,25	40,51	2,70	37,81	54428	20,70	45,26
Abril	127480,3	48,48	5,26	45,93	9,25	41,68	2,70	38,98	76907	29,25	24,97
Mayo	132957,3	50,56	5,26	47,90	9,25	43,47	2,70	40,77	73707	28,03	31,25
Junio	137005	52,10	5,26	49,36	9,25	44,79	2,70	42,09	59383	22,58	46,35
Julio	139644,8	53,10	5,26	50,31	9,25	45,66	2,70	42,96	71349	27,13	36,84
Agosto	142045,5	54,01	5,26	51,17	9,25	46,44	2,70	43,74	68223	25,94	40,69
Septiembre	135281	51,44	5,26	48,74	9,25	44,23	2,70	41,53	63479	24,14	41,87
Octubre	139118,4	52,90	5,26	50,12	9,25	45,48	2,70	42,78	70495	26,81	37,34
Noviembre	136197,2	51,79	5,26	49,07	9,25	44,53	2,70	41,83	65952	25,08	40,04
Diciembre	140954,6	53,60	5,26	50,78	9,25	46,08	2,70	43,38	69652	26,49	38,95

Nota. Información registro Red Vital. Elaboración propia.

A continuación, se comparan las pérdidas que se dieron en los último tres años

Gráfico 2.

Pérdidas de agua mes a mes años 2018, 2019 y 2020



Nota. Este gráfico muestra las pérdidas de los tres años se puede evidenciar que el año con un nivel más alto de pérdidas fue 2018 y el de menos pérdidas el año 2019 aunque los tres años manejan valores cercanos. Registro facturación Red Vital. Fuente: Elaboración propia.

6.3. Índice de Agua No Contabilizada (IANC)

Para este cálculo de pérdidas de agua potable, se tiene en cuenta la siguiente ecuación dictada por la CRA, que relaciona el volumen de agua producido o distribuido, con el volumen de agua facturado a los usuarios, este valor se da en porcentaje, la ecuación se muestra a continuación:

Ecuación 1.

$$IANC = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen Facturado}}{\text{Volumen producido}} * 100$$

Los resultados del cálculo IANC para cada mes del año 2020, se muestra a continuación:

Tabla 12*Índice de Agua No Contabilizada año 2020*

% IANC			
Mes	Vol. agua producida	Vol. agua facturada	% IANC
Enero	43,2	24,01	44,42
Febrero	38,88	24,88	36,01
Marzo	37,81	20,7	45,25
Abril	38,98	29,25	24,96
Mayo	40,77	28,03	31,25
Junio	42,09	22,58	46,35
Julio	42,96	27,13	36,85
Agosto	43,74	25,94	40,70
Septiembre	41,53	24,14	41,87
Octubre	42,78	26,81	37,33
Noviembre	41,83	25,08	40,04
Diciembre	43,38	26,49	38,93
Promedio	41,50	25,42	38,66

Nota. Esta tabla muestra el porcentaje de agua no contabilizada para el año 2020. Fuente:

Elaboración propia.

6.4.Principales causas de las pérdidas de agua

Las causas principales de las pérdidas de agua en el acueducto de Paipa Red Vital son: fugas en las tuberías desde la captación hasta la distribución, medidores dañados y Captación ilegal de agua.

6.4.1. Fugas

Las fugas se presentan por ruptura en las tuberías puede ser por fallas en las presiones del sistema o tuberías averiadas y por válvulas y accesorios en mal estado principalmente por falta de mantenimiento, las fugas que se registran el último año, se presentan en la siguiente figura

Tabla 13.*Evidencias de la fugas del sistema*

Fuga en válvulas y accesorios	Fuga en conexión de sedi. PTAP San Felipe II
	
Fuga en la conexión del macro medidor	Fuga en tanque de alcement. Divino Niño
	
Fuga en tanque de almacenamiento Pablo	Fuga en conexión tanque de almacenamiento
Solano	Urapanes
	

Nota. La tabla muestra la evidencia y el registro fotográfico de las fugas existentes en el sistema de abastecimiento de agua potable de Red Vital. Información de coordinación operativa Red Vital. Elaboración propia.

6.5. Medidores dañados

Para la localización de los medidores dañados, mes a mes los operarios encargados de las lecturas de consumo elaboran un reporte a través del cual se informa al propietario registrado la presencia de fallas en el medidor y la solicitud de cambio; de esta manera el usuario debe hacer el cambio de medidores en determinado tiempo, este puede ser financiado por la empresa o comprado por el usuario.

Figura 4.

Medidor dañado



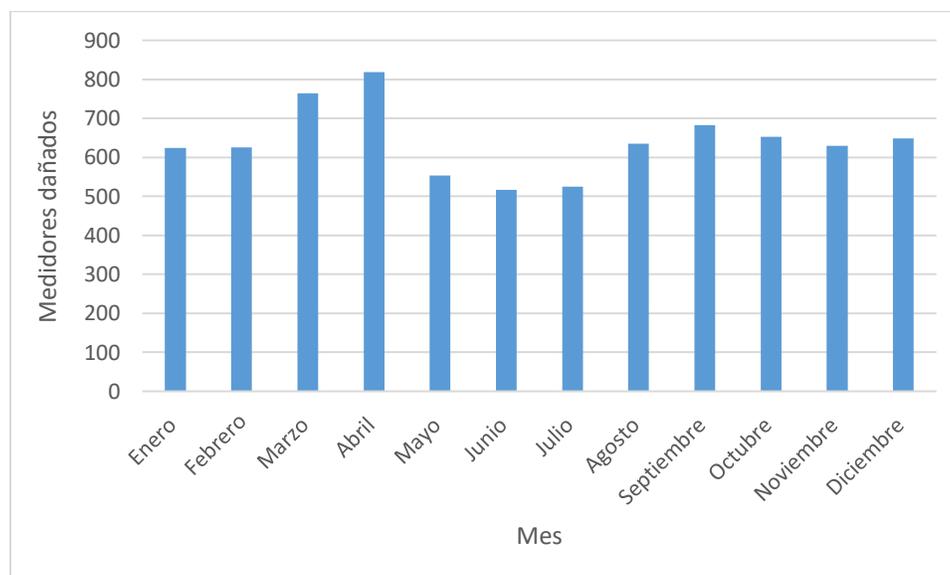
Nota. Este medidor por el tiempo de uso y las condiciones de exposición en las que se encuentra requiere cambio ya que no está midiendo de manera precisa.

El registro de los medidores dañados es un reporte necesario para la realización del programa de este proyecto, ya que estos son una de las causas de pérdidas de agua comerciales, debido a que el usuario este pagando menos agua de la que usa por medidores dañados. En

promedio para el año 2020 los medidores dañados fueron 641, lo cual se presenta a través del siguiente grafico

Gráfico 3.

Promedio medidores dañados 2020



Nota. Este grafico muestra la cantidad de medidores dañados mes a mes en el año 2020.

Información proporcionada por facturación Red Vital. Fuente: Elaboración propia.

6.6. Captación ilegal de agua

La captación ilegal de agua se presenta en la parte alta del Municipio, luego de la captación en la Quebrada Toibita, en la línea de aducción que se encuentra en zona rural, las tuberías están expuestas en algunos predios, lo que facilita que las personas que residen allí adapten mangueras y consuman el agua sin tener ninguna atribución legal pues en ese tramo el agua aún no está tratada por lo que no hay norma que lo prohíba. En casos en que se encuentran

fugaz o daño de alguno de los accesorios de la estructura, las personas aprovechan y extraen de manera fraudulenta el agua.

Figura 5.

Captación ilegal



Nota. Fotografía tomada de una captación ilegal en la vereda Toibita sector Tobato. Red Vital (2020).

6.7. Formulación de un programa para la reducción de pérdidas de agua potable

Teniendo en cuenta el porcentaje de pérdidas que arrojó el cálculo de IANC que fue 38,7% para el año 2020, los registros de pérdidas de agua potable de los años anteriores 2018 y 2019 que exceden los límites permitidos, y el estudio de la cantidad de medidores dañados, fugas y clandestinos que se evidencia a lo largo del sistema de abastecimiento de agua, se proponen

programas para la reducción de pérdidas de la empresa Red Vital establecidos para cumplirse en cinco años (2021-2026).

6.7.1. Acciones y/o proyectos para la reducción de pérdidas

Se establecen proyectos o acciones a seguir en un tiempo de cinco años para corregir procedimientos y minimizar las pérdidas de agua que se están dando en la actualidad en la empresa Red Vital, mediante un programa como lo dicta la Resolución CRA N° 287 de 2004, este programa se establece en acciones hacia la reducción de pérdidas comerciales y pérdidas técnicas.

Tabla 14.

Proyectos y/o acciones para la reducción de pérdidas

	Plan de acción
Pérdidas comerciales	Detección de fraudes.
	Optimización de micro medición y facturación.
	Incorporación de clandestinos.
Pérdidas técnicas	Detección de fugas y reparaciones en las redes.
	Instauración de macro medidores y mantenimiento de los existentes.
	Eficacia en reparaciones y mantenimiento.
	Mejoramiento y control a los accesorios de medición y sistemas de gestión de presión.

Nota. Se plantean siete acciones y/o proyectos que se dividen por el tipo de pérdida que es ya sea comercial o técnica. Elaboración propia del autor.

6.7.1.1. Acciones y/o proyectos para la reducción de pérdidas comerciales.

Este tipo de pérdidas se genera por agua no medida o no facturada originada por múltiples razones como por ejemplo un medidor dañado que este arrojando un valor menor a lo

que está consumiendo el usuario, o también por conexiones clandestinas personas que están captando agua de las redes sin autorización.

Tabla 15.

Proyectos para reducción de pérdidas comerciales.

Programa	Descripción
Detección de fraudes.	<p>La empresa debe realizar un estudio de caso para encontrar las zonas que pueden estar en estado crítico, ya que en estas se encuentran de manera constante situaciones por conexiones fraudulentas, de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contar con un historial de casos de fraude para poder realizar análisis de las zonas críticas, donde de manera constante surgen estas situaciones. • Realizar visitas de revisiones a estas zonas de manera periódica para poder llevar un control de la zona. • Notificar a los usuarios que están involucrados en fraudes y llevar seguimiento del proceso (Registro fotográfico, notificación al usuario, firma de usuario y reportes). • Cortes de servicio a deudores morosos a seis meses de deudas.
Optimización de micro medición y facturación.	<p>Optimización de micro medición: Consiste en un mantenimiento correctivo, reemplazar de la manera más rápida posible los micro medidores que no estén funcionando de manera adecuada ya sea por daños, por tiempo de uso o por des calibración de estos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar el listado de los medidores en malas condiciones (Dañados), para realizar visitas y efectuar el cambio del medidor en un tiempo relativamente corto de al menos seis meses, en este tiempo se vuelve a realizar la visita para revisión de medidor nuevo. • Llevar a cabo visitas y revisión a los predios que se tienen notificados como desocupados o bloqueados para corroborar información o actualizarla de ser el caso. • Efectuar mantenimientos a los medidores que lo requieran y que no han cumplido su tiempo de uso. • Crear campañas de sensibilización a los usuarios para la detección de pérdidas domiciliarias y ahorro de agua.

Optimización de facturación:

- El término de usuarios bloqueados no debe ser permanente, se debe realizar un informe con el tiempo acordado con el usuario.
- Realizar cronograma de visita a los grandes consumidores.
- Tener un estudio de denuncias y reclamos de los usuarios para poder tener la frecuencia y causas estipulados.
- Revisión de consumos institucionales como, colegios, hospitales, también a consumos de centros, canchas, centros deportivos, hoteles.
- Instalación de dispositivos anti fraude.
- Actualización de usuarios industriales y comerciales con cámara de comercio.

Incorporación de clandestinos	<p>La legalización de usuarios es un requisito exigido por la superintendencia de servicios públicos domiciliarios con la norma 142 de 1994, algunas acciones a realizar son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección a nuevos proyectos urbanísticos y residenciales. • Revisión por zonas de usuarios para actualización de base de datos.
-------------------------------	--

Nota. Aquí se describen las actividades a realizar en cada programa propuesto para la reducción de pérdidas comerciales en el acueducto de Paipa. Fuente: Elaboración propia.

6.7.1.2. Acciones y/o proyectos para la reducción de pérdidas técnicas.

Este tipo de pérdidas no están relacionadas a los medidores de los usuarios sino a pérdidas que se dan en la infraestructura, por fugas y falta de mantenimiento en la mayoría de los casos.

Tabla 16.*Descripción de los proyectos para la reducción de pérdidas técnicas*

Programa	Descripción
Detección de fugas y reparaciones en las redes.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión a sectores que se puedan catalogar como de altos y bajos consumos. • Realizar jornadas de detección de fugas periódicas tanto diurnas como nocturnas. • Mantenimiento a la infraestructura en la PTAP esto con el fin de encontrar filtraciones, fisuras, fugas en válvulas y accesorios.
Instauración de macro medidores y mantenimiento de los existentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de los registros de macro medición existentes para descartar o encontrar errores en los valores que está arrojando la macro medición. • Mantenimiento y reparaciones a los macro medidores existentes, el mantenimiento de estos se debe dar al menos una vez al año. • Instalación de macro medidores en todo el municipio en zonas estratégicas, barrios grandes, urbanizaciones edificios y demás. • Realizar lectura y registro de los macro medidores mensualmente para poder encontrar posibles fallas o pérdidas que se dan en algunos sectores del Municipio.
Eficacia en reparaciones y mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un listado de las causas que ocasionan las rupturas en redes, además de identificar las tuberías o sitios específicos que pueden presentar rupturas con frecuencia. • Estipular tiempos para la respuesta a daños y reparaciones ocasionales, si es necesario este debe estipularse con el contratista encargado. • Llevar a cabo el seguimiento a daños (tiempo, costos, cronograma de mantenimientos periódicos requeridos, cálculo de volumen de agua que se pierde en los daños).

Mejoramiento y control a los accesorios de medición y sistemas de gestión de presión.	<p>El control de las presiones a lo largo de toda la red de abastecimiento es importante para reducir las fugas en las tuberías o accesorios, y de la misma manera reducir pérdidas de agua para este caso se requiere la sectorización de las redes. Algunas acciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicación de puntos de control de presión. • Reparación de válvulas de presión ventosas y purgas (mantenimiento preventivo). • Realizar el plano de presiones en toda la red. • Mantenimiento de la infraestructura.
---	---

Nota. Se describe cada uno de los cuatro programas planteados para reducir las pérdidas técnicas, por medio de acciones concretas que debe realizar la empresa Red Vital. Fuente: Elaboración propia.

6.7.2. Seguimiento del programa.

Las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios deben presentar ante la Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico un informe del programa planteado con las acciones, cronograma, metas y costos a llevarse a cabo para la reducción de pérdidas de agua potable.

La revisión de cumplimiento de las acciones propuestas en el programa se debe realizar máximo cada seis meses y se debe reportar las mejoras realizadas ante la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, pues este programa será objeto de verificación por los entes encargados.

7. Conclusiones

- Se evidenció que, aunque aún no se ha puesto en marcha un programa de reducción de pérdidas de agua potable en el acueducto del municipio de Paipa, según los cálculos y análisis realizados desde el año 2018 hasta el año 2020 el número de pérdidas ha venido disminuyendo.
- El Índice de Agua no contabilizada calculado para el año 2020 según los datos registrados en la empresa evidencian que el porcentaje de pérdidas esta sobre el nivel aceptado, pero no se encuentra en un nivel demasiado alto y puede ser controlado con revisiones periódicas y en especial cambio de medidores dañados.
- Luego de revisar las pérdidas según el tipo se logra evidenciar que la mayor pérdida de agua se da para pérdidas comerciales, por consumos fraudulentos o ilegales y medidores en malas condiciones y para pérdidas técnicas mantenimiento de macro medidores y ausencia de sectorización.
- Se propone un programa de reducción de pérdidas a cinco años desde la realización del proyecto, pero se prevé que por costos este pueda extenderse unos años más.

8. Recomendaciones

- Se recomienda de manera importante el cumplimiento de las actividades propuestas en el programa de reducción de pérdidas de agua potable, con el único fin de tener el valor permitido de pérdidas para el año 2026.
- Se propone el llevar un registro juicioso de los datos de arrojan los macro medidores tanto de las PTAP como los existentes en algunos sectores de la ciudad, pues estos fueron adecuados, pero no se realiza la lectura y esta es importante para encontrar posibles fugas y pérdidas de agua de manera inmediata.
- Es necesario el mantenimiento periódico de micro y macro medidores, también de accesorios y de infraestructura PTAP.
- Se sugiere aumentar el personal para poder cumplir con todas las acciones propuestas en el programa de reducción de pérdidas de agua potable.

9. Referencias

- Alkaseh, J. M., Adlan, M. N., Abustan, I., Aziz, H. A., & Hanif, A. B. (2013). Applying Minimum Night Flow to Estimate Water Loss Using Statistical Modeling: A Case Study in Kinta Valley, Malaysia.
- Alkaseh, J. M., Adlan, M. N., Abustan, I., Aziz, H. A., & Hanif, A. B. (2013). Applying Minimum Night Flow to Estimate Water Loss Using Statistical Modeling: A Case Study in Kinta Valley, Malaysia.
- Alvisi, S., Luciani, C., & Franchini, M. (2019). *Using water consumption smart metering for water loss assessment in a DMA: a case study.*
- AL-Washali, T., Sharma, S., & Kennedy, M. (2016). Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review.
- AL-Washali, T., Sharma, S., Lupoja, R., AL-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. (2020). Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply.
- Ananda, J. (2019). Determinants of real water losses in the Australian drinking water sector.
- Becciu, G., Mambretti, S., & Martins, P. (2015). Evolutionary optimization for water losses recognition in water supply networks.
- Becciu, G., Mambretti, S., & Martins, P. (2016). Evolutionary optimization for water losses recognition in water supply networks.
- Brea-Solis, H., Perelman, S., & S. Saal, D. (2017). Regulatory incentives to water losses reduction: the case of England and Wales.

- Britton, T. C., Stewart, R. A., & O'Halloran, K. R. (2013). *Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management.*
- Campana, P. E., Zhu, Y., Brugiati, E., Li, H., & Yan, J. (2014). PV Water Pumping for Irrigation Equipped with a Novel Control System for Water Savings.
- Chowdhury, S., Chowdhury, I. R., Mazumder, M. A., & Al-Suwaiyan, M. S. (2020). Predicting risk and loss of disability-adjusted life years (DALY) from selected disinfection byproducts in multiple water supply sources in Saudi Arabia.
- Comisión Nacional del Agua . (2019). *Manual de Agua Potable.* México.
- CRA. (2008). *Pérdidas de agua en el sistemas de acueducto.* Bogotá.
- CRA. (2014). *Resolución CRA 688 de 2014.*
- Dawidowicz, J. (2018). Evaluation of a pressure head and pressure zones in water distribution systems by artificial neural networks.
- Fraga, C. C., Medellín-Azuara, J., & Marques, G. F. (2017). Planning for infrastructure capacity expansion of urban water supply portfolios with an integrated simulation-optimization approach.
- Gomes, R., Marques, A. S., & Sousa, J. (2013). District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis.
- Grimmeisen, F., Lehmann, M., Liesch, T., Goeppert, N., Klinger, J., Zopfi, J., & Goldscheider, N. (2017). Isotopic constraints on water source mixing, network leakage and contamination in an urban groundwater system.

- Guarnizo Paz, M. A. (2019). Reducción de pérdidas de agua potable mediante el método de sectorización en el distrito de Salaverry, departamento la libertad.
- Gumbo, B., & van der Zaag, P. (2002). Water losses and the political constraints to demand management: the case of the City of Mutare, Zimbabwe.
- Gungor, M., Beneficio, H., & Firat, M. (2017). Reduction of water losses by rehabilitation of water distribution network.
- Güngör, M., Yazar, U., & Firat, M. (2017). *Reduction of water losses by rehabilitation of water distribution network*. Chicago .
- Hu, X., Han, Y., Yu, B., Geng, Z., & Fan, J. (2021). Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks.
- Insepet. (2021). <http://www.insepet.com/>. Obtenido de <http://www.insepet.com/noticias/aforo-volumetrico-tanques.html>
- Jiménez, A. (2018). *Optimización y sectorización de las redes de distribución de acueducto del casco urbano del municipio de paipa*.
- Jimenez, W. (2018). *Optimización y sectorización de redes de distribución de acuedo del casco urbano del municipio de Paipa* . Paipa.
- Julián Thornton, F. G. (2006). Influencia de la presión e las pérdidas.
- Karadirek, I., Kara, S., Yilmaz, G., Muhammetoglu, A., & Muhammetoglu, H. (2012). Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management.

- Kizito, F., Ngirane-Katashaya, G., & Thunvik, R. (2018). Exploring “commercial” water losses in an urban water supply system in Uganda: A geostatistical modeling approach.
- Lemnitzer, A., Arduino, P., Dafni, J., Franke, K., Martínez, A., Mayoral, J., . . . Yashinsky, M. (2021). The September 19, 2017 MW 7.1 CENTRAL-Mexico earthquake: Immediate observations on selected infrastructure systems.
- Li, Y., Chiu, Y.-H., Li, Y., Cen, H., & Lin, T.-Y. (2021). Dynamic analysis of residential and enterprise water supply and leakage efficiencies.
- Ma, Y.-J., Li, X.-Y., Wilson, M., Wu, X.-C., Smith, A., & Wu, J. (2016). Water loss by evaporation from China’s South-North Water Transfer Project.
- Malm, A., Moberg, F., Rosén, L., & Pettersson, T. J. (2015). Cost-Benefit Analysis and Uncertainty Analysis of Water Loss Reduction Measures: Case Study of the Gothenburg Drinking Water Distribution System.
- Manosalvas. (2011). *Balance hidrico* .
- Mario Ramos Joseph, A. J. (2016). Gestión integral de pérdidas de agua: un caso de estudio.
- MINAMBIENTE. (1997). *Ley 373 de 1997*. Bogotá.
- MMAyA. (2013). *Ministerio de Medio Ambiente y Agua - Balance hidrico*.
- Mohapatra, H., & Rath, A. K. (2019). Detection and avoidance of water loss through municipality taps in India by using smart taps and ICT.
- Morais, D. C., de Almeida, A. T., & Figueira, J. R. (2014). A Sorting Model for Group Decision Making: A Case Study of Water Losses in Brazil.

- Ortiz, L. H. (2001). Reducción integral de pérdidas de agua potable .
- Pillot, J., Catel, L., Renaud, E., Augeard, B., & Roux, P. (2016). Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks.
- Roa Cubides, R. D. (2021). Alternativas para mitigación de pérdidas de agua en red de conducción río Chitamena desde la bocatoma hasta la entrada a la planta de tratamiento de agua potable.
- Rosero Armijo, C. D. (2019). Agua potable no contabilizada en el cantón Pangua y programa de control de pérdidas.
- Senado. (1998). *Ley 489 de 1998*. Bogotá.
- Senado. (2021). *Ley 142 de 1994*. Bogotá.
- Shirzad, A., Tabesh, M., & Heidarzadeh, M. (2015). A New Method for Quasi-Optimal Design of Water Distribution Networks.
- Tam, V. T., & Nga, T. T. (2018). Assessment of urbanization impact on groundwater resources in Hanoi, Vietnam.
- Trutié-Carrero, E., Cabrera-Hernández, Y., Hernández-González, A., & Ramírez-Beltrán, J. (2020). Automatic detection of burst in water distribution systems by Lipschitz exponent and Wavelet correlation criterion.
- Uribe, A. Monsalve, M. (2011). *Programa de reducción de pérdidas de agua en la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de San Gil*. Bucaramanga.

- Uribe, M. P. (2011). *PROGRAMA DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE AUCEDUCTO DE SANGIL*. Bucaramanga.
- Vela, A., Martínez, F., García-Serra, J., & Pérez, R. (1994). Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento .
- Xin, K., vida, I. l., Tao, T., Xiang, N., & Yin, Z. (2015). Water losses investigation and evaluation in water distribution system - the case of SA city in China.
- Xu, Q., Chen, Q., Qi, S., & Cai, D. (2015). Improving water and energy metabolism efficiency in urban water supply system through pressure stabilization by optimal operation on water tanks.
- Zyoud, S. H., Kaufmann, L. G., Shaheen, H., Samhan, S., & Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS.

10. Anexos

PROYECTOS DEL PROGRAMA DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

Tipo de pérdidas	Programa	Actividades	Metas					Indicador de cumplimiento	Costos	Responsable
			2022	2023	2024	2025	2026			
Pérdidas comerciales	Detección de fraudes.	Contar con un historial de casos de fraude para poder realizar análisis de las zonas críticas, donde de manera constante surgen estas situaciones.		x	x	x	x	Número de fraudulentos/Número de usuarios.	Los costos serán evaluados por la empresa cuando se decida la cantidad de visitas y dependiendo de los casos que se presenten.	Coordinación operativa acueducto
		Realizar visitas de revisiones a estas zonas de manera periódica para poder llevar un control de la zona.			x	x	x	Número de visitas/Un año		
		Notificar a los usuarios que están involucrados en fraudes y llevar seguimiento del proceso (Registro fotográfico, notificación al usuario, firma de usuario y reportes).			x	x	x	Número de notificaciones/Número de casos		
		Cortes de servicio a deudores morosos a seis meses de deudas.	x	x	x	x	x	Número de cortes/Número de deudores		
		Optimización de micro medición								
		Optimización de micro medición y facturación.	Realizar el listado de los medidores en malas condiciones (Dañados), para realizar visitas y efectuar el cambio del medidor en un tiempo relativamente corto de al menos seis meses, en este tiempo se vuelve a realizar la visita para revisión de medidor nuevo.		x	x	x	x	Número de medidores dañados/Número medidores buenos	\$ 280.000 V/u
		Realizar visitas y revisión a los predios que se tienen notificados como desocupados o bloqueados para corroborar información o actualizarla de ser el caso.			x	x	x	Número de usuarios bloqueados/Número de usuarios activos	No se cuenta con la información de cantidad de predios bloqueados y desocupados para hacer	Coordinación operativa acueducto

								análisis de costos.	
	Realizar mantenimientos a los medidores que lo requieran y que no han cumplido su tiempo de uso.		x	x	x	x	Número de mantenimientos/Número de medidores.	\$156.000 V/u	
	Realizar campañas de sensibilización a los usuarios para la detección de pérdidas domiciliarias y ahorro de agua.		x	x	x	x	Número de campañas/Un año	Los costos se evaluarán cuando sean programadas las campañas.	
	Optimización de facturación								
	El término de usuarios bloqueados no debe ser permanente, se debe realizar un informe con el tiempo acordado con el usuario.		x		x		Número de bloqueados/Número de usuarios activos	No se evalúan costos porque se requieren datos exactos desde la empresa con los que aún no se cuenta.	Área de facturación
	Realizar cronograma de visitar a los grandes consumidores.			x	x	x	Número de visitas/Número de grandes consumidores		
	Tener un estudio de denuncias y reclamos de los usuarios para poder tener la frecuencia y causas estipulados.		x	x	x	x	Número de denuncias y causas		
	Revisión de consumos institucionales como: colegios, hospitales, también a consumos de centros, canchas, centros deportivos, hoteles.			x	x	x	Número de consumos institucionales		
	Instalación de dispositivos anti fraude.				x	x	Número de dispositivos instalados.	\$40.000 V/u	Coordinación operativa de acueducto

		Actualización de usuarios industriales y comerciales con cámara de comercio.			x		x	Número de usuarios industriales y comerciales.	No se evalúan costos hasta que la empresa no tenga los datos exactos necesarios y así se conozca el número de visitas y estudios a realizar.	Área de facturación.	
Incorporación de clandestinos		Inspección a nuevos proyectos urbanísticos y residenciales.	x	x	x	x	x	Listado de los proyectos en seguimientos.		Área administrativa y comercial.	
		Revisión por zonas de usuarios para actualización de base de datos.						Número de usuarios por sector/total de usuarios			
Pérdidas técnicas	Detección de fugas y reparaciones de redes	Revisión a sectores que se pueden catalogar como de alto y bajo consumo.		x	x	x		Listado de bajos y altos consumos	Los costos se conocerán luego del estudio que se le realice a la infraestructura	Coordinación operativa de acueducto y sub gerente financiera.	
		Realizar jornadas de detección de fugas periódicas tanto diurnas como nocturnas.		x	x	x	x	Número de jornadas/Fugas encontradas			
		Mantenimiento a la infraestructura en la PTAP esto con el fin de encontrar filtraciones, fisuras, fugas en válvulas y accesorios.		x				x			% de mantenimiento realizado/% Infraestructura en mal estado
	Instauración de macro medidores y mantenimiento de los existentes.		Estudio de los registros de macro medición existentes para descartar o encontrar errores en los valores que está arrojando la macro medición.		x	x	x	x	Número de registros/Días del año	Se requieren datos de la empresa.	Coordinación operativa de acueducto.
			Mantenimiento y reparaciones a los macro medidores existentes, el mantenimiento de estos se debe dar al menos una vez al año.		x	x	x	x	Número de mantenimientos/Número de macro medidores	\$250.000 V/u	
			Instalación de macro medidores en todo el municipio en zonas estratégicas, barrios grandes, urbanizaciones edificios y demás.						x	Número de macro medidores instalados/Total macro medidores.	\$1'200.000 V/u

	Realizar lectura y registro mensual de los macro medidores para poder encontrar posibles fallas o pérdidas que se dan en algunos sectores del Municipio.	x	x	x	x	x	Número de fallas/Días del año	Es requerido personal extra por la empresa para llevar a cabo estas actividades, esta misma evaluará los requisitos, capacitaciones y tiempos necesarios por el personal, sin información exacta aún no se evalúan costos.	Coordinación operativa de acueducto.
Eficacia en reparaciones y mantenimiento.	Realizar un listado de las causas que ocasionan las rupturas en redes, además de identificar las tuberías o sitios específicos que pueden presentar rupturas con frecuencia.	x	x				Causas y zonas específicas		
	Estipular tiempos para la respuesta a daños y reparaciones ocasionales, si es necesario este debe estipularse con el contratista encargado.				x		Reportes de tiempos de respuesta.		
	Realizar el seguimiento a daños (tiempo, costos, cronograma de mantenimientos periódicos requeridos, cálculo de volumen de agua que se pierde en los daños).				x	x	Número de seguimientos/Número de daños		
Mejoramiento y control a los accesorios de medición y sistemas de gestión de presión.	Ubicación de puntos de control de presión.				x		Número de puntos de presión	Sub operativa	
	Reparación de válvulas de presión ventosas y purgas (mantenimiento preventivo).	x	x	x	x	x	Número de mantenimientos/Total de accesorios.	Coordinación operativa y sub gerencia financiera.	
	Realizar el plano de presiones en toda la red.			x	x		Catastro de presiones.	Sub operativa	
	Mantenimiento de la infraestructura y cambios oportunos cuando se requieran.			x		x	% de infraestructura con mantenimiento.	Coordinación operativa y sub gerencia financiera.	