



**Seguimiento y evaluación del programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA),
enfocado a la disminución de pérdidas de agua en la red de distribución y conducción en el
municipio de Fredonia Antioquia.**

Mario Lennen Vallejo Díaz

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniero Sanitario

Asesor Interno

Camilo Andrés Valderrama Benítez, MSc en ingeniería Ambiental

Asesor externo

Verónica Katherine Zapata Arboleda, Esp en Manejo y Gestión de Aguas.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Sanitaria
Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	(Vallejo Diaz, 2023)
Referencia	Vallejo Diaz, M. (2023). <i>Seguimiento y evaluación del programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), enfocado a la disminución de pérdidas de agua en la red de distribución y conducción en el municipio de Fredonia Antioquia</i> . [Trabajo de grado profesional.]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Nombres y Apellidos.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia en especial a mis padres, siempre estuvieron de manera incondicional mostrándome el camino a la superación, su apoyo, consejos y dedicación, fue fundamental para mi crecimiento personal y académico, también a mis hermanos y familiares más cercanos, esto no habría sido posible sin la fortaleza y ánimos que ustedes me brindaron, a mis amigos y compañeros de estudio a quienes valoro y valorare les deseo éxito en sus vidas tanto personal como profesionalmente.

Agradecimientos

El primer agradecimiento va destinado a Dios por estar presente en cada momento de la vida, además quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la empresa Operadores de Servicios S.A E.S.P., junto con todos sus colaboradores, fue el mejor escenario para realizar este proceso de aprendizaje, también a mis asesores de prácticas el Ingeniero Camilo Andrés Valderrama Benítez y en especial a la Ingeniera Verónica Katherine Zapata Arboleda gracias por orientarme en el desarrollo y realización de este trabajo.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos	12
2 Marco teórico	12
3 Metodología	14
4 Resultados	17
5 Análisis	39
6 Conclusiones	45
7 Recomendaciones	47
Referencias	48
Anexos	50

Listado de Tablas:

Tabla 1	17
Tabla 2	23
Tabla 3	25
Tabla 4	26
Tabla 5	28
Tabla 6	29
Tabla 7	30
Tabla 8	31
Tabla 9	32
Tabla 10	33
Tabla 11	36
Tabla 12	37
Tabla 13	43
Tabla 14	43

Listado de Figuras:

Figura 1	21
Figura 2	24
Figura 3	27
Figura 4	38
Figura 5	38
Figura 6	39
Figura 7	39
Figura 8	40
Figura 9	40
Figura 10	41
Figura 11	42
Figura 12	47
Figura 13	49
Figura 14	49

Listado de Anexos:

Anexo 1	56
Anexo 2	57
Anexo 3	58
Anexo 4	59
Anexo 5	59
Anexo 6	61
Anexo 7	62

Listado de Gráficas:

Gráfica 1	34
Gráfica 2	34
Gráfica 3	35

Listado de Ecuaciones:

Ecuación 1, Balance de materia 16

Ecuación 2, IANC 16

Ecuación 3, IPUF 17

Siglas, acrónimos y abreviaturas:

PUEAA	Plan de uso eficiente y ahorro del agua
IANC	Índice de agua no contabilizada
IPUF	Índice de pérdida de agua por suscriptor facturado
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
m³	Metros cúbicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
IWRA	Asociación Internacional de Recursos Hídricos
FAO Water	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
UN Water	Agua de las Naciones Unidas
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación
PVC	Policloruro de vinilo
PF + UAD	Polietileno para uso en domiciliarias de Acueducto
GMS	Grados minutos y segundos

Resumen

Este trabajo buscó realizar un seguimiento y evaluación del Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), enfocado en la disminución de pérdidas de agua en la red de conducción y distribución del municipio de Fredonia Antioquia, para ello se realizó la cuantificación de agua producida de la planta de potabilización del municipio y el agua facturada, mediante la identificación de averías y reportes de daños, se buscó efectuar de manera eficiente las reparaciones en la red de conducción y distribución con el objetivo de disminuir las pérdidas de agua, se utilizó las lecturas de controladores y micromedidores instalados en la red de acueducto, se logró identificar los sectores con mayor pérdida de agua sectorizando la red para realizar la búsqueda de daños y averías.

Además, se logró concluir que la estabilidad del suelo y las condiciones óptimas de trabajo de la tubería y dispositivos hidráulicos de sectorización, medidores de consumos, válvulas aliviadoras de presión, válvulas reductoras de aire son herramientas que permiten optimizar y favorecer los programas de usos eficiente y ahorro del agua, también permite proteger y cuidar la parte económica y rentable de las empresas prestadoras de servicios de acueducto, asimismo permiten conservar y disminuir los impactos ambientales del inadecuado uso y aprovechamiento del agua. Para finalizar y de manera general, el enfoque en disminuir las pérdidas de agua, genera una base estratégica que permite gestionar diferentes alternativas favoreciendo y garantizando el recurso hídrico, esto permite disminuir el impacto negativo que genera la extracción de agua de las cuencas abastecedoras, garantizando un caudal óptimo de las fuentes de agua superficiales, donde la vida de las especies involucradas pueda desarrollarse de manera natural sin afectaciones por sobre extracciones y contaminaciones que sean el resultado de la influencia de pérdidas de agua en los sistemas de acueducto urbanos y rurales.

Palabras clave: PUEAA, pérdidas, seguimiento, evaluación, agua producida y facturada, daños en la red, conducción, distribución, ahorro del agua, medidores, controladores, red

Abstract

This work sought to monitor and evaluate the Program for Efficient Use and Saving of Water (PUEAA), focused on reducing water losses in the conduction and distribution network of the municipality of Fredonia Antioquia, for this purpose the quantification of water was carried out. produced from the municipality's purification plant and the billed water, by identifying breakdowns and damage reports, it was sought to efficiently carry out repairs in the conduction and distribution network with the aim of reducing water losses, it was used The readings of controllers and micrometers installed in the aqueduct network, it was possible to identify the sectors with the greatest water loss by sectorizing the network to search for damages and breakdowns.

In addition, it was concluded that the stability of the soil and the optimal working conditions of the pipeline and hydraulic sectorization devices, consumption meters, pressure relief valves, air reducing valves are tools that allow optimizing and promoting efficient use programs. and saving water, also allows protecting and caring for the economic and profitable part of the companies that provide aqueduct services and allows conserving and reducing the environmental impacts of inadequate use and exploitation of water. Finally and in general, the focus on reducing water losses generates a strategic basis that allows managing different alternatives favoring and guaranteeing the water resource, this allows reducing the negative impact generated by the extraction of water from the supply basins, guaranteeing an optimal flow of surface water sources, where the life of the species involved can develop naturally without effects from over-extractions and contamination that are the result of the influence of water losses in urban and rural aqueduct systems.

Keywords: PUEAA, losses, monitoring, evaluation, produced and billed water, network damage, conduction, distribution, water savings, meters, controllers, network.

Introducción

No se puede pensar en vida sin tener como protagonista el agua, este recurso es indispensable para cada organismo viviente dentro del planeta tierra, pero el ciclo hidrológico del agua enmarca una serie de factores y procesos en los que el actor fundamental es ella en los distintos estados en los que se puede desenvolver, en cada estado se desarrollan relaciones donde los seres vivos se ven influenciados y necesitan del agua para realizar con éxito el metabolismo celular. (Minambiente, 2021).

En la actualidad el mundo consume cantidades gigantescas de agua, esto lleva a reflexionar sobre la renovabilidad del recurso hídrico partiendo desde el uso adecuado, este uso, debe estar gobernando por la responsabilidad en el aprovechamiento y beneficio que se obtiene de ella.

La Organización Mundial de la Salud afirma que los humanos deberíamos consumir entre 50 y 100 litros diarios de agua, esta cantidad es más que suficiente para satisfacer las necesidades de alimentación y aseo, puesto que, al incrementar el consumo, se genera un desbalance hídrico junto con detrimento de cuencas y afectaciones a ecosistemas dependientes del agua. (Naciones Unidas, 2014).

En el planeta se habla sobre los impactos ambientales que se generan cada segundo por actividades antrópicas, estos impactos repercuten fuertemente sobre el único lugar donde por ahora podemos considerar la existencia de vida, es por esto que en la actualidad diferentes organizaciones promueven la sostenibilidad del recurso hídrico, como es el caso de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos conocido por sus siglas en inglés IWRA, entidad que bajo el lineamiento de la ciencia e investigación, se enfoca en el buen uso y gestión sostenible de los recursos hídricos del mundo, además existen otras organizaciones y programas que también promueven la sostenibilidad del consumo adecuado del agua, entre ellas se destacan; La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en el apartado del agua conocido por sus siglas en inglés FAO Water, Agua de las Naciones Unidas UN Water, y Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación UNESCO entre otras. Así bien el interés por el uso eficiente y ahorro del agua en Colombia tiene sus inicios desde el Decreto – Ley 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables, posteriormente los Decretos 1449 de 1977 y 1541 de

1978 reiteran estos lineamientos, este último compilado en el Decreto único reglamentario 1076 de 2015 del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En la actualidad el programa de uso eficiente y ahorro del agua conocido por sus siglas PUEAA es uno de los programas que se destacan por tener como fin y objetivo general la conservación de cuencas hídricas, junto con la conservación de los ecosistemas que recargan los acuíferos, además de gestionar el uso responsable y renovable del agua, este programa debe ser presentado y puesto en marcha por todo aquel ente que disponga de una concesión de agua, de esta forma, en la actualidad se exige que se cumplan metas y actividades para la conservación y renovación del recurso hídrico, uno de los parámetros que más impactos negativos genera al medio ambiente y específicamente al recurso hídrico, son las pérdidas de agua, los sistemas de acueductos formalete inscritos y entidades prestadoras del servicio de acueducto suelen tener pérdidas de agua en la red y tubería que administran, estas pérdidas se presentan indiscriminadamente en cualquier parte del sistema y en cualquier momento en el tiempo, puede ser; en aducción, conducción, almacenamiento o distribución, de ahí que es importante la implementación de un programa o metodología que permita minimizar esta característica negativa, trayendo consigo mejoras en el sistema y prestación del servicio, conservación de cuencas abastecedoras, uso responsable y sostenible del recurso hídrico y finalmente reducción de pérdidas monetarias para las entidades prestadoras del servicio público. (FAO, 2022; IWRA, 2023; Minambiente, 1974; UNESCO, 2023; Naciones Unidas, 2014).

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Aplicar el PUEAA para el sistema de acueducto del municipio de Fredonia teniendo como caso específico las pérdidas de agua en la red de conducción y distribución.

1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar el agua producida en la planta de potabilización del Municipio de Fredonia y el agua facturada.
- Definir e Identificar posibles averías o daños en la red de conducción y distribución que afecte el índice IANC.
- Identificar posibles conexiones erradas o fraudulentas que afecten al indicador de pérdidas IPUf.
- Utilizar las lecturas de controladores y micromedidores de agua en la red, para identificar posibles sectores con pérdidas de agua que pueden ser el resultado de conexiones fraudulentas, averías en la red y daños en macro y micro medición.
- Sugerir adecuaciones y estrategias para disminuir las pérdidas en el sistema de distribución

2 Marco teórico

En el año 1997, se expide la Ley 373 “Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua” (PUEAA). En el año 2002, la Dirección General Sectorial del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial publicó la Guía de ahorro y uso eficiente del agua, la cual incluyó estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua. EL PUEAA es una herramienta enfocada a la optimización de uso del recurso hídrico, está conformado por una serie de proyectos y acciones para garantizar y fomentar el adecuado manejo de todo lo que enmarca a la sostenibilidad del recurso hídrico, este Programa debe ser formulado por usuarios que soliciten concesión de agua, según lo descrito en el artículo 2.2.3.2.1.1.5. del decreto 1090 de 2018. (Minambiente, 1974; Acmineria, 2018; Minambiente, 2021).

Hablar de un programa en el que se optimice el recurso hídrico es atacar varios frentes, sin duda alguna, uno de los factores más negativos en la actualidad son las pérdidas de agua en la redes de distribución y conducción, estos son factores que pueden afectar negativamente la conservación del recurso hídrico, generan detrimento de las cuencas abastecedoras por el excesivo consumo de agua, a su vez este factor negativo repercute en Impactos económicos, puesto que el costo de explotar, tratar y transportar agua que puede ser pérdida en el tránsito de la red es alto, junto con

las conexiones no autorizadas o fraudulentas generan pérdidas económicas para la empresa prestadora del servicio. Los Impactos técnicos también provienen en gran medida de las pérdidas de agua, puesto que las fugas reducen la cobertura de la demanda existente, los sistemas dejan de operar continuamente y generan impactos sociales, afectando adversamente a los usuarios del servicio por fallas en el suministro, las cuales pueden ser baja presión, interrupciones del servicio, riesgos a la salud y a la calidad del agua que se suministra por posibles contaminaciones en la red, y todo esto agrupa impactos ambientales ya que las empresas se ven obligadas a compensar las pérdidas de agua aumentando cada vez más la extracción desde la fuente abastecedora para suplir la demanda de agua. (Acuae Fundación, 2023).

En la actualidad es de gran ayuda considerar balances de materia, los cuales se rigen por el principio de; la materia no se crea ni se destruye solo se trasforma. (García, 2015)

Aquí la ecuación general:

Ecuación 1, Balance de materia.

$$\text{Entradas} = \text{salidas} + \text{acumulaciones}$$

Además partiendo del Índice de Agua No Contabilizada (**IANC**) el cual se define como un indicador donde incluye las pérdidas técnicas y no técnicas, el consumo legal que no es facturado y las pérdidas comerciales, la reglamentación y regulación de pérdidas que se exigen a una empresa ha sido uno de los factores de sostenibilidad hídrica y manejo adecuado del agua, como estrategia de la preservación de los sistemas hídricos y naturales, se establece entonces que las pérdidas superiores al 30% deben ser asumidas por el prestador del servicio, esto ha generado que las empresas prestadoras del servicio de acueducto se preocupen e implementen medidas de mitigación. (CRA, 2015; SSPD, 2021).

Ecuación 2, IANC.

$$IANC = \frac{AGUA\ PRODUCIDA - AGUA\ FACTURADA}{AGUA\ PRODUCIDA} * 100$$

A su vez el Índice de Pérdidas de Agua por Suscriptor Facturado **IPUF** que se define por ser un indicador operacional el cual tiene por objeto medir la gestión operativa de los prestadores

en el manejo de las pérdidas, por lo cual los parámetros usados para su construcción buscan cuantificar en volumen y no en costos el nivel de pérdidas de un sistema. (SSPD, 2021).

su ecuación es:

Ecuación 3, IPUF.

$$IPUF = \frac{AGUA\ SUMINISTRADA - AGUA\ FACTURADA}{NUMERO\ DE\ SUSCRIPTORES}$$

Las pérdidas de agua (técnicas y comerciales) mayores a 6 m³ /suscriptor-mes no son reconocidas en la tarifa. En consecuencia, los costos generados por tener un nivel de pérdidas de agua superior al IPUF* debe ser asumido por el prestador. (CRA, 2015; SSPD, 2021).

3 Metodología

La metodología que se utilizó para llevar a cabo el seguimiento y evaluación del PUEAA enfocado a la disminución de pérdidas en la red de distribución del municipio de Fredonia comprendido una serie de investigaciones y recopilación de datos reales de consumo de agua, sumado a lecturas de macro medición y micro medición, evaluando así los índices IANC, IPUF, que definen las condiciones actuales de la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado en el municipio de Fredonia Antioquia, por parte de la empresa de servicios públicos Operadores de Servicios S.A E.S.P. suministro los datos de producción de agua consumo y facturación de los periodos de facturados, meses de consumo y facturación efectuada consignados en la siguiente tabla:

Tabla 1

Periodos de estudio

Periodo	Mes de consumo	Facturación
Enero 20 a Febrero 21	Febrero	Marzo
Febrero 21 a Marzo 22	Marzo	Abril
Marzo 22 a Abril 20	Abril	Mayo
Abril 20 a Mayo 20	Mayo	Junio
Mayo 20 a Junio 21	Junio	Julio

Fuente. Elaboración propia, datos suministrados por parte de Operadores de Servicios S.A E.S.P.

Por otro lado, se contó con datos históricos suministrados por la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado para el seguimiento y la evaluación de las pérdidas de agua actuales en el sistema.

Se ejecutaron 3 fases para el desarrollo del proyecto, estas fases estuvieron sujetas a cambios dependiendo de la disponibilidad de personal, de la priorización de daños y averías en el sistema, y de las condiciones óptimas de trabajo tanto de seguridad como climáticas.

3.1 Fase 1. Reconocimiento de la zona de estudio: Ubicación del estudio.

Para el reconocimiento de la zona de estudio se utilizaron las herramientas computacionales tales como: Google Earth, Google maps e, imágenes satelitales, las cuales permitieron obtener una información en cuanto a la ubicación, clima, y posicionamiento global, también, se utilizaron bases de datos oficiales como los censos del DANE del año 2018 con el ánimo de identificar la población atendida, páginas web oficiales del municipio de Fredonia, logrando obtener datos puntuales acerca de la actividad económica, social y cultural que se desarrollan o describen en el territorio de estudio. Se contó con los planos detallados de la red de distribución y conducción de agua potable, dicha información fue material técnico con el que contaba la empresa prestadora del servicio encargada de administrar el acueducto y el alcantarillado del municipio de Fredonia, con dicha información se hicieron planificaciones estratégicas para ubicar puntos necesarios para hacer los análisis correspondientes de pérdidas de agua en el sistema de distribución.

Los puntos de muestreo de calidad del agua son puntos concertados y registrados ante la autoridad nacional en jurisdicción. (Secretaría Seccional de Salud).

Estos puntos de muestreos de calidad del agua se ubican estratégicamente para registrar parámetros fisicoquímicos exigidos por la resolución 2115 del 2007 “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, sirven también para registrar la medición de presiones máximas y mínimas en la red de distribución de agua, permitiendo identificar los sectores donde se genera mayor presión de agua en el sistema, esto debido a que las presiones altas pueden ocasionar rupturas o averías en la red y estas consecuencias finalmente se traducen en pérdidas de agua, también fueron suministradas las bitácoras donde se especifican los instrumentos de macro medición los cuales permiten registrar las estadísticas de consumo en subdivisiones de los sectores

dentro de la zona urbana del municipio de Fredonia-Antioquia. Los datos permitieron planificar recorridos en búsqueda de daños o averías, además de posibles fraudes que se estaban cometiendo, en cuanto a los daños, fue posible realizar sondeos con Geófono, este, es uno de los equipos más utilizados para realizar la identificación y búsqueda de fugas de agua.

3.2 Fase 2. Seguimiento a las estadísticas de consumo e identificación de puntos de pérdidas de agua.

En esta fase se realizaron inspecciones en campo específicamente a la red de distribución, se identificó los controladores de macro medición de agua potable instalados en la red, la ubicación de hidrantes, además de puntos de muestreos de calidad del agua, donde se realizaron las lecturas de presión de agua en la red, además se identificaron puntos de pérdidas de agua en el sistema por fallas o averías en la red, y se realizaron análisis de los consumos de agua facturados, volúmenes de agua producidos y demanda actual según la población atendida, para este caso la población atendida es netamente urbana ya que la empresa solo administra la red de acueducto y alcantarillado de la zona urbana del municipio de Fredonia para esto se dispuso de las lecturas de macro medición, lecturas de controladores (instrumentos de macro medición que permiten registrar el volumen de agua en un sector) y lecturas de micro medidores, todo este conjunto de herramientas permitió sectorizar y definir puntos de fallas, pérdidas o posibles fraudes y mediante una planificación y seguimiento se realizaron las respectivas visitas identificando los puntos críticos de la red.

3.3 Fase 3. Análisis y presentación de resultados.

En la fase final se realizaron los análisis de los registros de consumo de agua, esto, fue posible por la comparación de estadísticas de consumo con el objetivo de obtener los cálculos para generar los indicadores de pérdidas de agua IANC e IPUF los cuales permitieron determinar las pérdidas de agua iniciales y las pérdidas de agua finales, después del desarrollo de la metodología planteada, se procede a realizar los cálculos de pérdidas respectivos, los cuales se consignan en el listado de **Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10.**

4 Resultados

4.1 Reconocimiento de la zona de estudio

Fredonia fue fundado en 1790, en el lugar llamado “Guarcitos”. El 2 de octubre de 1830, Fredonia fue elevada de categoría y se erigió como distrito municipal, año en el cual contaba con 3.372 habitantes. Esta petición fue encabezada por los señores Cristóbal Uribe Mondragón y don José Antonio Escobar Trujillo, a quienes se les considera oficialmente como los fundadores del municipio.

El territorio, en su mayor parte es montañoso, se localiza en las estribaciones de la cordillera Central de los Andes, en la vertiente derecha del río Cauca. Asimismo, posee parte de la cuenca hidrográfica del río Poblano, y las quebradas Combia, Sinifaná, y La Sucia, entre otras. Se encuentra a una altitud de 1800 metros sobre el nivel de mar y tiene una temperatura promedio de 20°C (clima templado). Presenta un terreno muy quebrado, especialmente sobre el eje de la vía de acceso principal al municipio, esto se debe a la presencia de la falla geológica de Romeral.

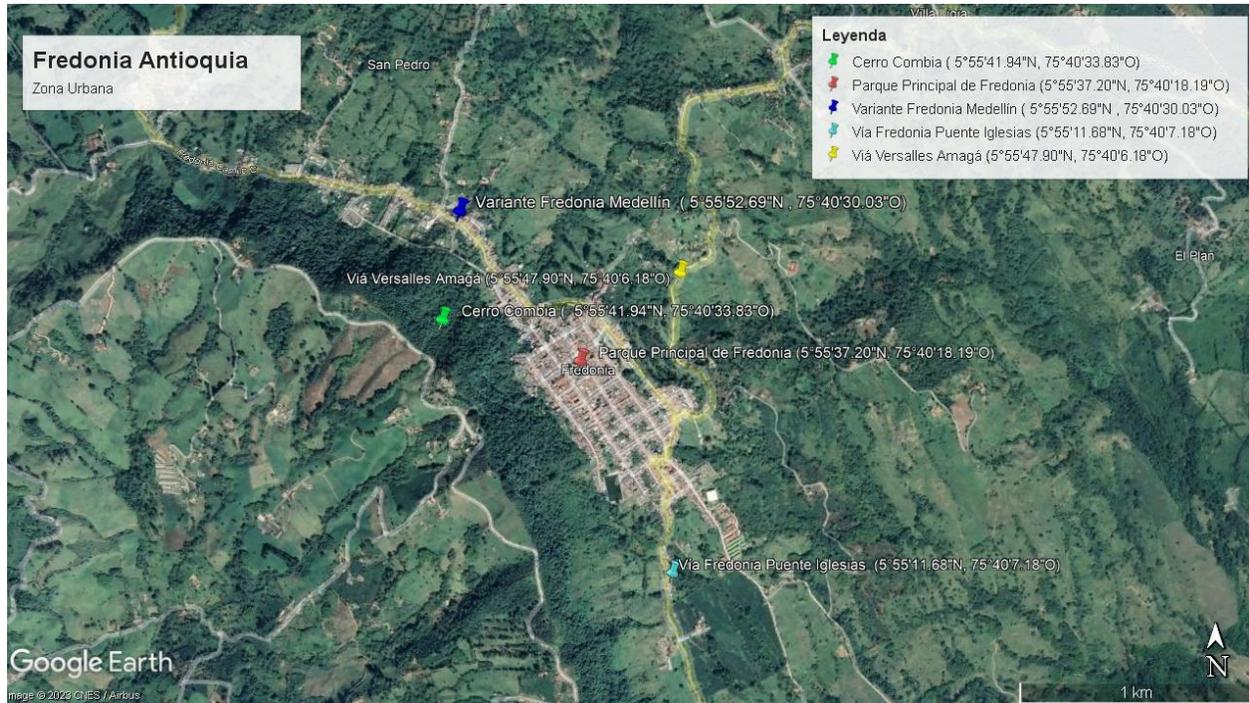
Fredonia actualmente se encuentra en jurisdicción de Corantioquia territorial Cártama (GOV, 2023). El suelo del territorio Municipal se clasifica en suelo urbano, suelo rural y suelo de expansión urbana. Al interior del suelo rural podrá establecerse la categoría del suelo suburbano y en todos los tipos de protección. La clasificación anterior se realiza acorde con las clases de suelo definidas por la ley 388 de 1.997 (Antioquia.gov.co, 2020).

Según proyección del DANE año 2018, el Municipio de Fredonia reporta una población de 24.754 habitantes: 12.451 hombres y 12.303 mujeres. Unas 8.279 personas habitan la zona urbana, mientras que 16.475 viven en la zona rural. Con ello, se evidencia que aproximadamente un 35% corresponde a la zona urbana, y un 65% a la zona rural; es decir, Fredonia, como la mayoría de los Municipios del departamento de Antioquia, es predominantemente rural (DANE, 2018) (GOV, 2023).

En cuanto a el número de suscriptores atendidos en la red de acueducto, la empresa prestadora del servicio reporta 3501 suscriptores a la fecha, suscriptores que como ya se mencionan anteriormente, son netamente urbanos, y el uso del agua suministrada es de carácter doméstico.

Figura 1

Ubicación de Fredonia Antioquia



Nota. Fuente Google Earth Creación Propia, Coordenadas Geográficas en grados minutos y segundos (GMS).

4.2 Red de distribución.

En la actualidad las redes de Distribución de agua potable del sistema de acueducto de Fredonia cuenta con diámetros para 3", 2", 1" y ½" pulgadas de diámetro, estas tuberías se manejan en materiales de PVC, Hierro Galvanizado, Polietileno (acometidas), PVC Blanco, PVC Gris, Bronce, Hierro fundido, para el caso de redes de conducción se cuenta con tubería en Asbesto cemento, American Pipe, y Acero al carbón se maneja diámetros de tubería de 12" y 10" y 8" con sus debidas transiciones y accesorios como, codos a 45°, 22°, uniones, ventosas válvulas de sectorización entre otras. La utilización de distintos tipos de tubería se debe a diferentes factores tales como son, manejo de presiones, ya que los materiales en las tuberías condicionan la resistencia a presión, corrosión, fácil instalación y transporte, aclarando de que ciertos materiales como el asbesto cemento fueron utilizados de manera masiva en épocas pasadas, cabe resaltar que en el año 2015 se llevó a cabo la tercera etapa del plan maestro de acueducto y alcantarillado, este plan maestro permitió la reposición de gran metraje y cobertura de tubería en la zona central del

municipio, en algunos casos la tubería requería ser cambiada por cuestiones de vida útil ya cumplida, aumento de capacidad hidráulica por el incremento de suscriptores del sistema y como estrategia en la mitigación y reducción de pérdidas de agua por averías, daños, fugas en agrietamiento de tubería y accesorios.

Por otro lado, en la tubería de aducción y conducción la empresa prestadora del servicio Operadores de Servicios S.A E.S.P. ha realizado reposición y repotenciación, en algunos casos debido a que aún se encuentran tramos de tubería en material de asbesto cemento, este material es muy frágil a movimientos de tierra por más mínimos que sean, y como ya fue mencionado, la ubicación de este municipio esta influenciada y afectada por distintas fallas geológicas entre las que se destacan la falla del Romeral, esta, genera inestabilidad del terreno y ha ocasionado problemas en el sistema, además este tipo de materiales en la tubería trae consecuencias a la salud humana, para finalizar las presiones de trabajo en este tipo de tubería son restringidas, siendo la tubería de acero al carbón o American pipe la seleccionada para el tipo de presiones que se manejan en la red de conducción aclarando que esta tubería tiende a deteriorarse en juntas o uniones entre tramos de tubería, estos daños incrementan también las pérdidas de agua pero específicamente en la red de conducción.

4.3 Válvulas y sectorización de la red de acueducto.

En el sistema de acueducto de Fredonia se cuenta con 204 válvulas compuestas por ventosas, válvulas de bola y válvulas reguladoras de presión entre otras, todas estas válvulas fueron instaladas dependiendo de los requerimientos del sistema, algunas de ellas, tienen como propósito el control del flujo para sectorizar el agua en ciertos tramos o sectores hidráulicos, con esto se puede administrar, restringir y gestionar los daños y posteriormente las reparaciones y en casos drásticos realizar la debida reposición cuando la tubería se encuentre muy deteriorada o afectada. Una de las ventajas de contar con diferentes y numerosas válvulas en sistemas de acueducto es que se facilita la optimización en cualquier tipo de contingencia o proyectos en pro de la mejora del sistema, de esta manera es posible realizar cualquier intervención sin afectar la continuidad del servicio a toda la población atendida, se mejora así los indicadores de continuidad del sistema, y la satisfacción con el servicio prestado al usuario final o suscriptor no se ve afectada.

En el sistema de distribución se dispone de dispositivos de macro medición de volumen de agua, estos adquieren un nombre de controladores los cuales se ubican con el fin de registrar el volumen de agua entregado a un sector en específico.

4.4 Controladores instalados en la red de distribución del municipio de Fredonia.

En el sistema de distribución del municipio de Fredonia se cuenta con 11 controladores, los cuales están sectorizados para registrar datos de volumen de agua potable que es entregada en distintos sectores del casco urbano. Estos controladores tienen un nombre distintivo para un manejo adecuado de la información que registran continuamente los operarios y la empresa encargada de realizar las lecturas de macro y micro medición, con el fin de realizar la debida facturación por el servicio de acueducto entregado. En la siguiente tabla se presentan las características más importantes de los controladores existentes.

Tabla 2

Controladores volumétricos de agua potable en la red de Distribución

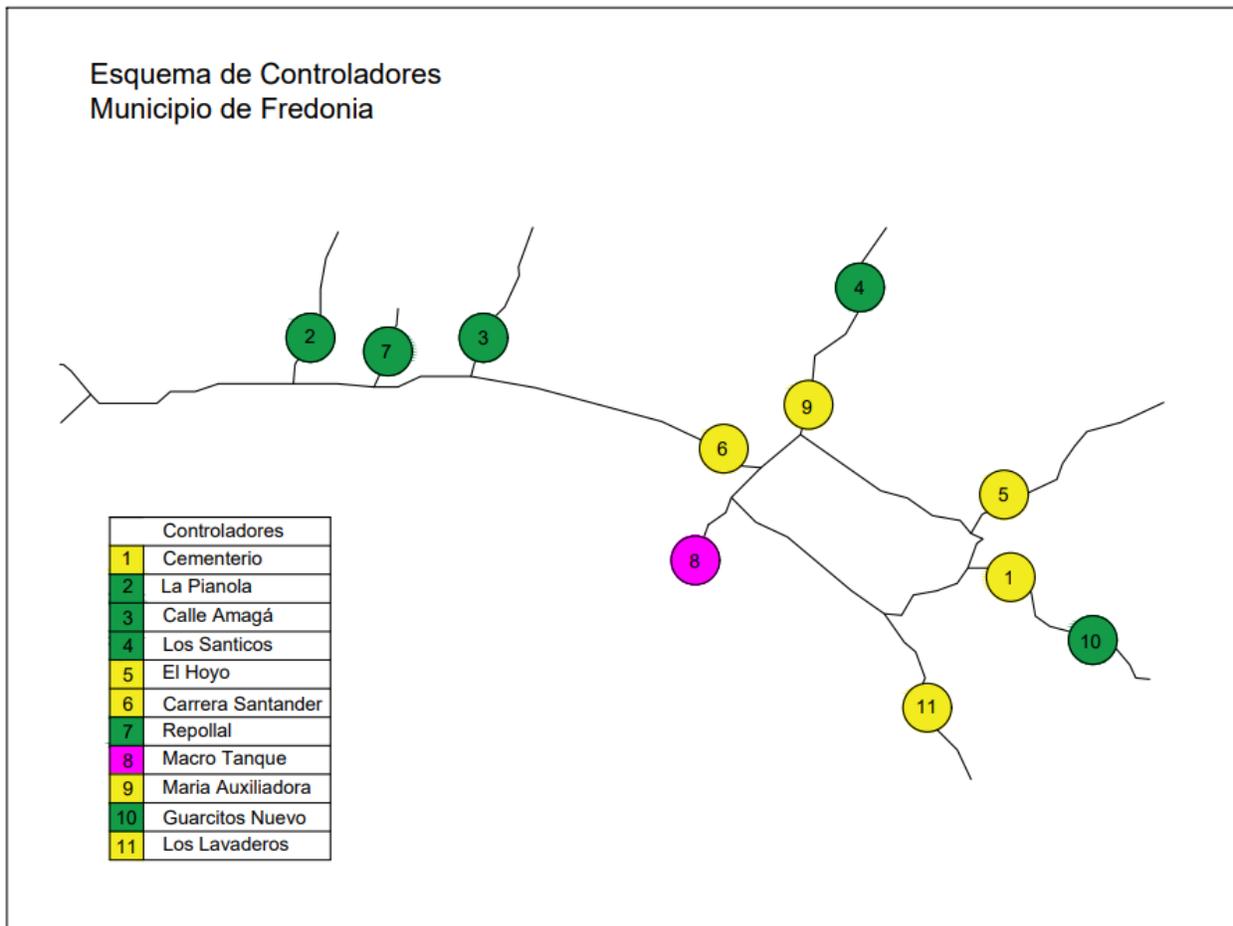
Nombre	Diámetro	Marca	Usuarios atendidos
1 Cementerio	1	Maddalena	127
2 La Pianola	3/4	Elster	30
3 Calle Amaga	1	Elster	40
4 Los Santicos	1	Elster	24
5 El Hoyo	1	Elster	17
6 Carrera Santander	3	Maddalena	482
7 Repollal	2	Elster	84
8 Macro del Tanque	6	E+H	2362
9 María Auxiliadora	2	Elster	176
10 Guarcitos – Viva	1	Elster	86
11 Los Lavadero	1	N/A	59
TOTAL 11			3501

Fuente. Elaboración Propia

Los controladores de la **Tabla 2** están ubicados estratégicamente a lo largo de toda la red de distribución, a continuación, se muestra la ubicación esquemática de los controladores en la red de distribución del municipio de Fredonia.

Figura 2

Esquema de ubicación de los controladores, FREDONIA



Nota. Fuente Operadores de Servicios S.A E.S.P.

Este esquema permite identificar de manera oportuna y adecuada la ubicación de cada controlador instalado, Con esto y mediante un balance de masas adecuando es posible determinar el consumo de agua de un sector, la planificación estratégica en la operación del servicio de acueducto para las empresas prestadoras del servicio genera una acción inmediata para actuar de manera oportuna y eficaz.

4.5 Datos de consumo y producción de agua.

Los datos de consumo y producción de agua fueron obtenidos de la macro medición y micro medición de agua, en los periodos facturados comprendidos entre los meses de marzo, abril, mayo, junio, y julio, estos datos fueron obtenidos, administrados y facilitados por parte de la empresa prestadora del servicio, Operadores de Servicios S.A E.S.P. La **Tabla 3**, muestra información puntual de producción de agua y facturación de los periodos descritos anteriormente.

Tabla 3

Datos de producción y facturación de agua

Periodo de Facturación	Mes de consumo	Caudal tratado m ³ /mes	Caudal Facturado m ³ /mes
Enero 20 a Febrero 21	Febrero	47945,45	31048
Febrero 21 a Marzo 22	Marzo	44783,25	25356
Marzo 22 a Abril 20	Abril	45087,50	28061
Abril 20 a Mayo 20	Mayo	45280,00	28268
Mayo 20 a Junio 21	Junio	43540,80	30129

Los datos registrados se obtuvieron de las lecturas mensuales para la facturación.

Fuente. Elaboración propia.

4.6 Medición de presión en la red de distribución.

Al igual que los datos de producción y consumo de agua potable se obtuvieron datos de medición de presiones en distintos puntos de la red de distribución en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio, estos datos son tomados por la empresa prestadora del servicio, para registrar un indicador de la calidad de la prestación del servicio. Las presiones máximas se registran en horas de bajo consumo de agua, para el caso de Fredonia entre las 10 am y las 11 am, y las presiones mínimas se toman en horas de alto consumo de agua, las horas de alto consumo son entre las 11am y 12:30 pm.

En la Tabla 4 se registran los datos obtenidos:

Tabla 4

Datos de presiones máximas y mínimas en distintos puntos de la red de distribución

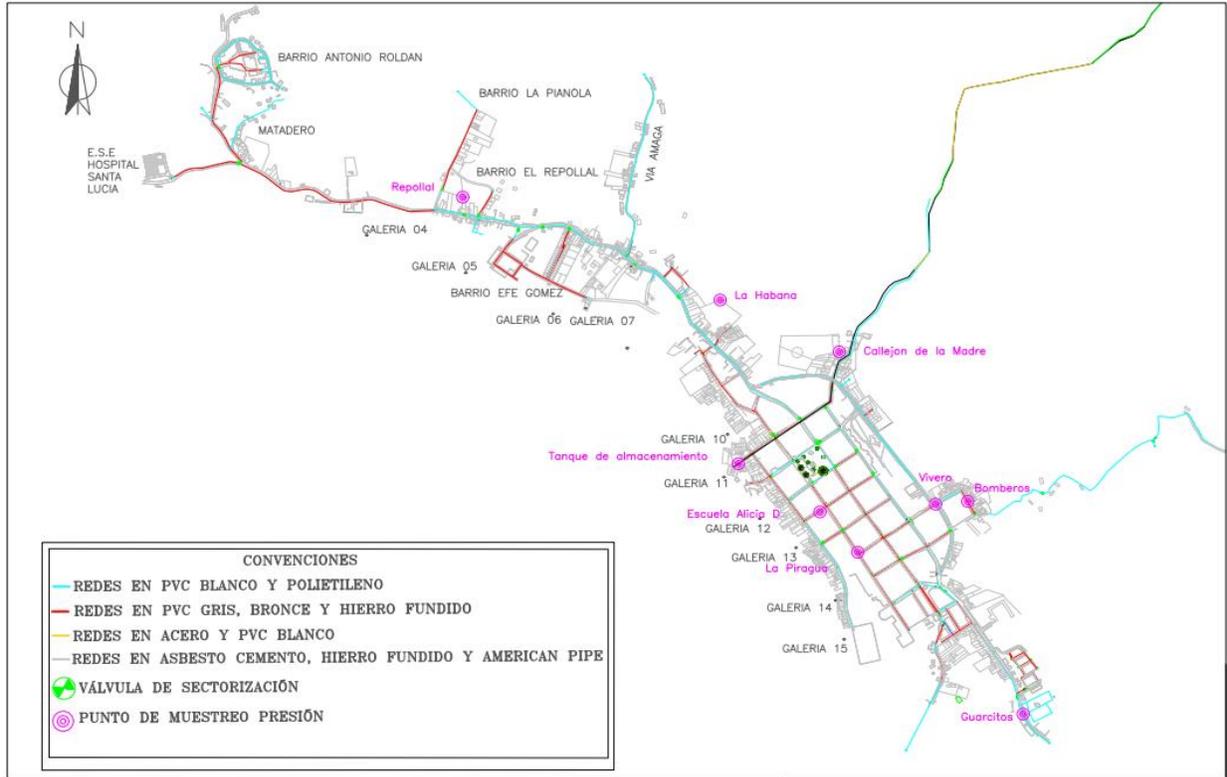
Numero de caja y Sector	Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio	
	Mínima (mca)	Máxima (mca)								
La Habana	28,17	35,21	24,65	28,17	31,69	38,73	38,73	42,25	26,76	28,87
Escuela Alicia Diez	35,21	38,73	31,69	35,21	28,17	35,21	31,69	35,21	42,25	49,30
La Piragua	52,82	59,86	42,25	49,30	56,34	59,86	56,34	59,86	44,37	45,77
Callejón de La Madre	56,34	63,38	45,77	49,30	49,30	52,82	42,25	49,30	52,82	56,34
Vivero	91,55	98,59	77,46	84,51	77,46	84,51	80,99	88,03	83,10	85,92
Bomberos	88,03	88,03	66,90	70,42	70,42	77,46	70,42	80,99	80,99	88,03
Guarcitos	95,07	102,11	80,99	84,51	63,38	84,51	70,42	77,46	77,46	84,51
Cra 50 Repollal	56,34	63,38	49,30	52,82	52,82	59,86	52,82	56,34	54,23	59,86
La Florida	63,38	70,42	56,34	59,86	59,86	63,38	63,38	66,90	66,90	77,46

Presiones mínimas en Fredonia de 11:00 am a 12:30 pm y Presiones máximas de 10:00 am a 11:00 am.

Fuente. Elaboración propia.

Figura 3

Red de distribución y puntos de muestreos concertados, FREDONIA



Nota. Fuente Operadores de Servicios S.A E.S.P.

Se anexa el plano de la red de conducción y distribución del municipio de Fredonia donde se puede visualizar más detalles de la red de acueducto, por ejemplo, los puntos de: La Habana, Escuela Alicia Diez, La Piragua, Callejón de La Madre, Vivero, Bomberos, Guarcitos, Repollal y La Florida son los puntos registrados y autorizados para la medición de la presión en la red de distribución del municipio de Fredonia, por normativa el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS establece que las presiones mínimas y máximas en la red de distribución son mínima 10 mca y máxima 50 mca para poblaciones menores de 12500 habitantes, para poblaciones con poblaciones mayores de 12500 habitantes las presiones mínimas se deberían ubicar mínimo 15mca y máximo 55 y 60 mca pero con condiciones especiales definidas por la norma, cabe resaltar que la red de distribución del municipio de Fredonia, fue diseñada bajo la anterior normatividad del RAS donde las presiones a cumplir por normativa eran 10 y 60 mca respectivamente.

4.7 Cálculo de IANC e IPUF.

A continuación, se presentan los cálculos realizados de los indicadores de pérdidas de agua en la red o sistema, se calcularon los índices en 5 meses consecutivos, tomando como base los a información suministrada por Operadores de Servicios S.A E.S.P. Los resultados obtenidos para cada mes de consumo se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 5

Cálculo del IANC de febrero

Controlador	Número de usuarios	Porcentaje de la población	Consumo del Controlador(m ³)	Consumo facturado usuarios (m ³)	Pérdida de agua sector (m ³)	IANC %
Cementerio	127	3,64	1791	1182	609	34,00
La Pianola	30	0,86	474	335	139	29,32
Calle Amaga	40	1,15	553	524	29	5,24
Los Santicos	24	0,69	543	300	243	44,75
El Hoyo	17	0,49	788	273	515	65,36
Carrera Santander	483	13,86	16196	5093	11103	68,55
Repollal	83	2,38	778	684	94	12,08
Macro del Tanque	2356	67,60	26325,00	19766	6559	24,92
Maria Auxiliadora	178	5,11	1872,00	1576	296	15,81
Guarcitos-VIVA	87	2,50	861	785	76	8,83
Los Lavaderos	60	1,72	629	530	99	15,74
TOTAL	3485	100,00	50810	31048	19762	38.89%

Fuente. Elaboración propia.

El índice de agua no contabilizada que se considera pérdida para el mes de febrero fue de 38.89%, el controlador de la carrera Santander registra la pérdida más grande con 11103 m³, seguido del controlador Macro tanque con pérdida de 6559 m³. En l **Tabla 6**, se presenta el cálculo del índice IANC para el mes de marzo.

Tabla 6

Cálculo del IANC de marzo

Controlador	Número de usuarios	Porcentaje de la población	Consumo del Controlador(m ³)	Consumo facturado usuarios (m ³)	Pérdida de agua sector (m ³)	IANC %
Cementerio	127	3,64	1497	986	511	34,13
La Pianola	30	0,86	503	336	167	33,20
Calle Amaga	40	1,15	471	384	87	18,47
Los Santicos	24	0,69	371	256	115	31,00
El Hoyo	17	0,49	657	254	403	61,34
Carrera Santander	483	13,85	10854	4041	6813	62,77
Repollal	84	2,41	598	515	83	13,88
Macro del Tanque	2357	67,59	26973,25	16105	10868	40,29
Maria Auxiliadora	178	5,10	1610,00	1379	231	14,35
Guarcitos-VIVA	87	2,49	750	670	80	10,67
Los Lavaderos	60	1,72	499	430	69	13,83
TOTAL	3487	100,00	44783,25	25356	19427,25	43.38%

Fuente. Elaboración propia.

El índice de agua no contabilizada que se considera pérdida para el mes de marzo fue de 43.38%, el controlador Macro Tanque registra la pérdida más grande con 10686 m³, seguido del controlador de la Carrera Santander con pérdida de 6813 m³. En la **Tabla 7**, se presenta el cálculo del índice IANC para el mes de abril.

Tabla 7

Cálculo del IANC de abril

Controlador	Número de usuarios	Porcentaje de la población	Consumo del Controlador(m ³)	Consumo facturado usuarios (m ³)	Pérdida de agua sector (m ³)	IANC %
Cementerio	127	3,64	1724	1068	656	38,05
La Pianola	30	0,86	507	326	181	35,70
Calle Amaga	40	1,15	440	389	51	11,59
Los Santicos	24	0,69	593	351	242	40,81
El Hoyo	17	0,49	493	206	287	58,22
Carrera Santander	483	13,86	13079	4489	8590	65,68
Repollal	84	2,41	648	549	99	15,28
Macro del Tanque	2357	67,63	24631,50	18090	6542	26,56
Maria Auxiliadora	178	5,11	1718,00	1494	224	13,04
Guarcitos-VIVA	86	2,47	726	664	62	8,54
Los Lavaderos	59	1,69	528	435	93	17,61
TOTAL	3485	100,00	45087,5	28061	17026,5	37.76%

Fuente. Elaboración propia.

El índice de agua no contabilizada que se considera pérdida para el mes de abril fue de 37.76 %, el controlador de la Carrera Santander registra la pérdida más grande con 8590 m³, seguido del controlador de Macro Tanque con pérdida de 6542 m³. En la **Tabla 8**, se presenta el cálculo del índice IANC para el mes de mayo.

Tabla 8

Cálculo del IANC de mayo

Controlador	Número de usuarios	Porcentaje de la población	Consumo del Controlador (m³)	Consumo facturado usuarios (m³)	Pérdida de agua sector (m³)	IANC %
Cementerio	127	3,64	1616	1033	583	36,08
La Pianola	30	0,86	500	277	223	44,60
Calle Amaga	40	1,15	513	455	58	11,31
Los Santicos	24	0,69	500	333	167	33,40
El Hoyo	17	0,49	385	240	145	37,66
Carrera Santander	482	13,81	13094	4859	8235	62,89
Repollal	84	2,41	742	629	113	15,23
Macro del Tanque	2362	67,70	25046,00	17888	7158	28,58
Maria Auxiliadora	178	5,10	1590,00	1396	194	12,20
Guarcitos-VIVA	86	2,46	743	673	70	9,42
Los Lavaderos	59	1,69	551	485	66	11,98
TOTAL	3489	100,00	45280	28268	17012	37,57%

Fuente. Elaboración propia.

El índice de agua no contabilizada que se considera pérdida para el mes de mayo fue de 37.57 %, el controlador de la Carrera Santander registra la pérdida más grande con 8235 m³, seguido del controlador de Macro Tanque con pérdida de 7158 m³. En la **Tabla 9**, se presenta el cálculo del índice IANC para el mes de junio.

Tabla 9

Cálculo del IANC de junio

Controlador	Número de usuarios	Porcentaje de la población	Consumo del Controlador(m³)	Consumo facturado usuarios (m³)	Pérdida de agua sector (m³)	IANC %
Cementerio	127	3,63	2053	1162	891	43,40
La Pianola	30	0,86	500	365	135	27,00
Calle Amaga	40	1,14	586	488	98	16,72
Los Santicos	24	0,69	350	275	75	21,43
El Hoyo	17	0,49	391	226	165	42,20
Carrera Santander	492	14,05	11842	4820	7022	59,30
Repollal	84	2,40	743	643	100	13,46
Macro del Tanque	2365	67,55	23871,80	19340	4532	18,98
Maria Auxiliadora	178	5,08	1773,00	1532	241	13,59
Guarcitos-VIVA	86	2,46	799	731	68	8,51
Los Lavaderos	58	1,66	632	547	85	13,45
TOTAL	3501	100,00	43540,8	30129	13411,8	30.80%

Fuente. Elaboración propia.

El índice de agua no contabilizada que se considera pérdida para el mes de junio fue de 30.80 %, el controlador de la Carrera Santander registra la pérdida más grande con 7022 m³, seguido del controlador de Macro Tanque con pérdida de 4532 m³. En la **Tabla 10**, se presentan los cálculos del índice IPUF para los meses estudiados.

Tabla 10

IANC, IPUF de FREDONIA Febrero, marzo, abril, mayo y junio

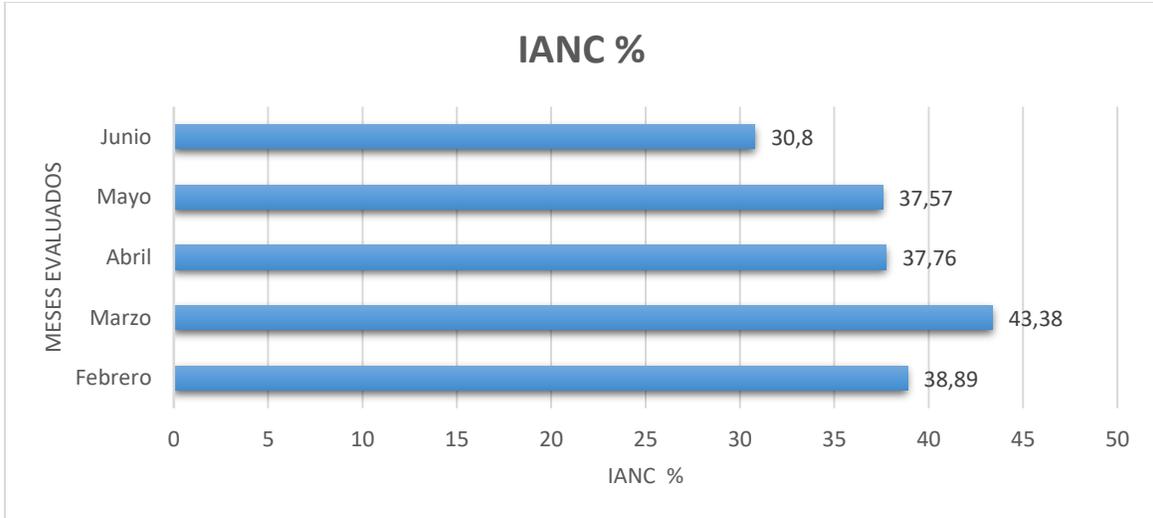
MES DE CONSUMO	AGUA PRODUCIDA (m³)	AGUA FACTURADA (m³)	INDICE IPUF	INDICE IANC %
Febrero	50810,00	31048	5,67	38,89
Marzo	44783,25	25356	5,57	43,38
Abril	45087,50	28061	4,89	37,76
Mayo	45280,00	28268	4,56	37,57
Junio	43540,80	30129	3,83	30,80

Fuente. Elaboración propia.

El mes con el indicador IPUF más alto fue febrero con índice de 5.67 m³/suscriptor, el más bajo fue junio con índice de 3.83 m³/suscriptor. Se procede a realizar una gráfica con los resultados obtenidos que permita visualizar el comportamiento de los índices en los meses de estudio.

Gráfica 1

IANC% mes de febrero, marzo, abril, mayo y junio

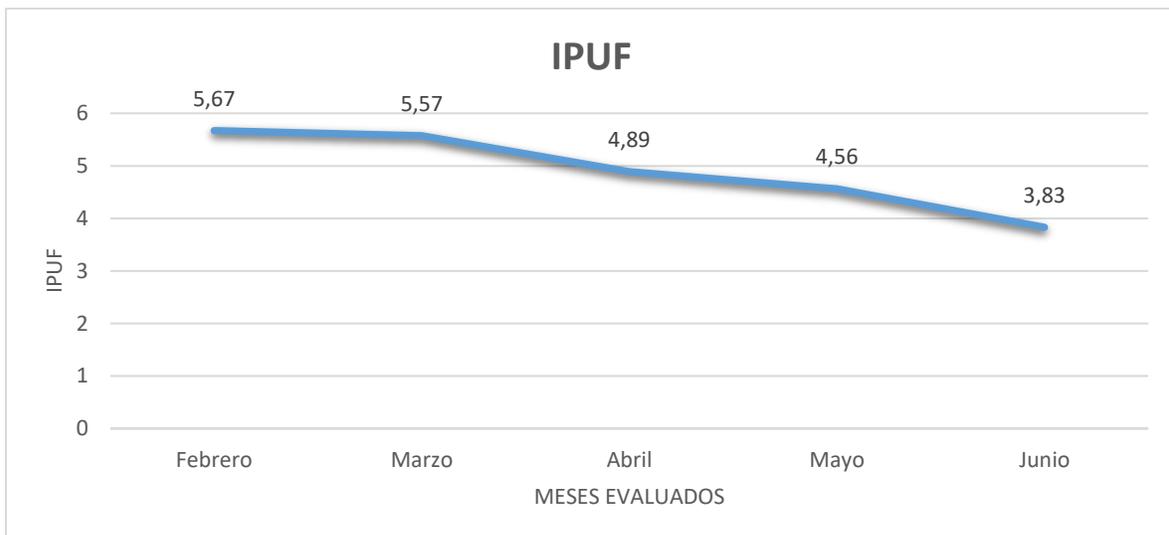


Fuente. Elaboración propia.

Se observa un comportamiento decreciente en el índice de pérdidas de agua IANC, en la grafica 1 se puede observar que el mayor porcentaje de pérdida fue en el mes de marzo con un 43.38%, en cuanto al menor porcentaje de pérdidas se registra en el último mes estudiado junio con 30.8% de índice de agua por suscriptor facturado.

Gráfica 2

IPUF % mes de febrero, marzo, abril, mayo y junio



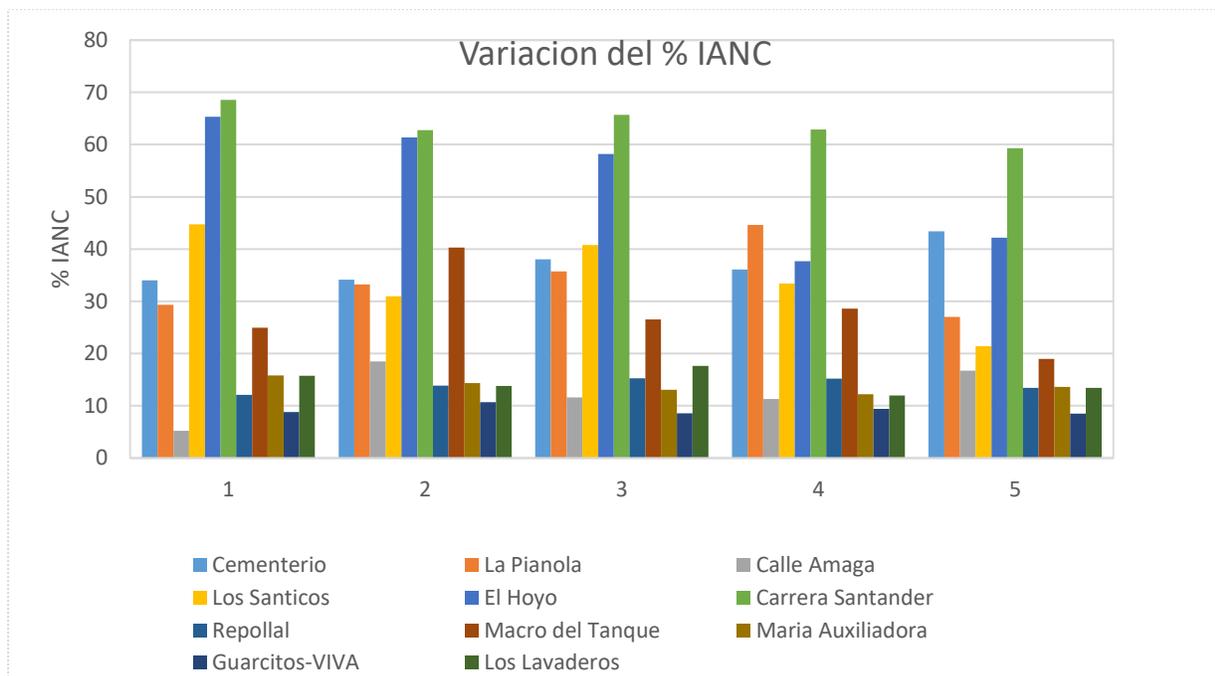
Fuente. Elaboración propia.

Se observa un comportamiento decreciente en el índice IPUF, el mes que mayor pérdida de agua por suscriptor facturado se registra es en febrero con 5.67 m^3 / suscriptor facturado, la tendencia de la pérdida es decreciente y el mes con menor IPUF es el mes de junio con 3.83 m^3 / suscriptor facturado.

El resultado parcial y el comportamiento del índice IANC por cada controlador en los meses de estudio se muestran en la **Gráfica 3**

Gráfica 3

IANC % por cada controlador



Fuente. Elaboración propia.

Se ve el diferente comportamiento que tienen los controladores en los periodos estudiados, el controlador que muestra una tendencia creciente es cementerio donde en el mes de febrero el IANC estaba en el 35% y para el mes de junio sobrepasa el 40% en pérdidas, en cuanto a los controladores que no registran variabilidad en pérdidas se destacan los lavaderos, Guarcitos Viva, El Hoyo y el repolla, Las Pérdidas no incrementan ni disminuyen.

4.8 Daños y reparaciones en la red de Distribución y Conducción del municipio de Fredonia

Reportes de daños en la red de Distribución.

Se presentaron 13 daños en la red de distribución en los meses de investigación, a continuación, se detallan algunos parámetros importantes de los daños presentados consolidados en la **Tabla 11**.

Tabla 11

Daños presentados en la red de distribución

Sector	Fecha (dd/mm/aaaa)	Tubería		Tiempo reparación (horas)	Volumen de agua pérdida (m ³)
		MATERIAL	DIAMETRO (pulgadas)		
Cra 49 María Auxiliadora	24/02/2023	PVC	1"	2	20,2
AV Santander	14/02/2023	PVC	3"	4	144,0
Efe Gómez	17/02/2023	PVC	3"	6	144,0
AV Santander	07/03/2023	PVC	4"	10	302,4
Pianola	14/03/2023	PVC	¾"	1	30,2
Sodoma	27/03/2023	PVC	¾"	1	648,0
El Hoyo	27/03/2023	PVC	1"	1	259,2
Pianola	29/03/2023	PVC	¾"	1	N/A
Variante Repollal	22/04/2023	PVC	2"	2	12,0
El Hoyo	28/04/2023	PF+UAD	½"	2	82,9
El Hoyo	08/05/2023	PVC	¾"	1	13,8
Antonio Roldan	26/06/2023	PVC	1"	4	70
Pianola	29/06/2023	PVC	1"	3	52
Total				38 h	1778.5 (m ³)

Los daños fueron reportados por personal de la empresa, o por usuarios del sistema, las reparaciones fueron realizadas y supervisadas por personal de Operadores de Servicios S.A E.S.P.

Fuente. Elaboración propia.

4.9 Daños en la red de Conducción.

Tabla 12

Daños presentados en la red de Conducción

Sector	Fecha	Tubería		Tiempo reparación (horas)
		MATERIAL	DIAMETRO (pulgadas)	
Sodoma	02/04/2023	Acero	12"	15
El Plan	31/05/2023	Acero	12"	7
El Plan	26/07/2023	American pipe	12"	15.5
Concentración del Plan	29/07/2023	Acero	12"	7
El Plan	29/08/2023	American pipe	12"	15
El Plan	30/08/2023	American pipe	12"	21

Fuente. Elaboración propia.

4.10 Acciones y trabajos realizados para disminuir las pérdidas de agua en la red de conducción y distribución del municipio de Fredonia.

Implementación de geofonia en la zona urbana del municipio de Fredonia, se buscaron averías o daños que no son perceptibles y mediante la herramienta llamada geófono es posible identificar con gran exactitud los posibles daños. A continuación, se muestra evidencia fotográfica de las búsquedas de daños o averías en la red de mediante la implementación del geófono, se aclara que las pérdidas que se consideran desviaciones de los consumos promedios registrados de los usuarios, los cuales se caracterizan como pérdidas imperceptibles en ocasiones se perdonan o se dejan de cobrar alguna parte del consumo total, está pérdida es asumida por las empresas de servicios públicos y se consideran pérdidas a nivel comercial.

Figura 4

Búsqueda Daño en red de distribución con geófono, sector centro urbano, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Figura 5

Daño en red de distribución búsqueda con geófono. FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Figura 6

Daño en red de distribución búsqueda con geófono, Avenida Santander, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

Figura 7

Prueba de anilina para descartar daño de la red administrada por la empresa, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

Figura 8

Daño en red de conducción El Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Figura 9

Daño en red de conducción sector El Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Figura 10

Daño en red de conducción sector Camino a la Concentración del Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Se evidencia las etapas que tiene un daño luego de ser identificado, la tubería en este caso es de 12 pulgadas en acero al carbón, se procede a realizar un collar de acero y posteriormente unir mediante soldadura eléctrica, finalmente se refuerza las costuras realizadas con soldadura y se aplica recubrimiento de pintura aislante anticorrosiva, la manipulación de este tipo de tubería requiere más trabajo y las reparaciones deben realizarse por un especialista en el tema de soldadura eléctrica.

Figura 11

Deslizamientos de terrenos en red de conducción sector Camino a la Concentración del Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Los movimientos y deslizamiento de suelos que son el soporte de la estabilidad y la integridad de la tubería de conducción, en ocasiones presentan condiciones de alerta en las cuales se debe optar por realizar trabajos para repotenciar la estabilidad de la tubería mediante obras y construcciones, en este caso particular se presentaron movimientos de terreno, se optó por realizar soporte con bolsacreto, los cuales permiten dar estabilidad a la tubería y contener taludes evitando así daños en la tubería que desencadenen pérdidas de agua en la red afectando también la continuidad del servicio prestado a la comunidad de la zona urbana de Fredonia. En la sección de anexos se entrega más registros fotográficos de diferentes situaciones de reposición, reparación, repotenciación y

adecuación de tuberías y terrenos realizados como una estrategia integral para disminuir las pérdidas de agua y gestionar un programa de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA) en la red de conducción y distribución del municipio de Fredonia Antioquia.

5 Análisis

5.1 Medición de presión en la red de distribución.

La medición de presión en la red de distribución es un indicador operativo fundamental, este permite garantizar el suministro de agua en viviendas ubicadas en cotas de elevaciones altas, pero también la presión puede desencadenar problemas como fugas y estallidos de tubería, que perjudicaría la continuidad, calidad y suministro del servicio de agua potable, además esto afecta directamente a las pérdidas de agua y por ende no se estaría cumpliendo con los objetivos del programa de Uso eficiente y ahorro de agua (PUEAA), se evidencia en los datos obtenidos que la presión máxima está por encima de los 60 mca esto se reporte se encuentra en los datos de la **Tabla 3**, las cajas: Vivero, Bomberos, Guarcitos, Cra 50 Repollal y la Florida son los lugares donde se registraron los valores máximos de presión en la red de distribución, esto es consecuente debido a que, son los lugares y sectores más bajos en la cota altitudinal del sistema de acueducto del municipio de Fredonia, a su vez, en las **Tablas 4, 5, 6, 7 y 8** se calcularon las pérdidas sectorizadas en cada controlador, la siguiente tabla expone los sectores con las pérdidas de agua en cada mes:

Tabla 13

Pérdida de agua en cada Controlador

Controlador	Febrero (m ³)	Marzo (m ³)	Abril (m ³)	Mayo (m ³)	Junio (m ³)	Total (m ³)
Cementerio	609	511	656	583	891	3250
La Pianola	139	167	181	223	135	845
Calle Amaga	29	87	51	58	98	323
Los Santicos	243	115	242	167	75	842
El Hoyo	515	403	287	145	165	1515
Av Santander	11103	6813	8590	8235	7022	41763
Repollal	94	83	99	113	100	489
Macro Tanque	6559	10868	6542	7158	4532	35659

Maria Auxiliad	296	231	224	194	241	1186
Guarcitos Viva	76	80	62	70	68	356
Los Lavaderos	99	69	93	66	85	412
Total (m3)	19762	19427,25	17026,5	17012	13411,8	86639,55

Fuente. Elaboración propia.

5.2 Pérdida de agua en cada Controlador.

Los sectores de la red de distribución que aportan negativamente al tema de pérdidas de agua y por ende al PUEAA Son: Av Santander con 48% de la pérdida global en promedio de cada mes, seguido del controlador del Macro Tanque con 41% en promedio entre estos dos sectores se pierde cerca de un 89% del total de agua en promedio, según los datos suministrados, el Controlador del Macro Tanque es el que registra el volumen y consumo que se entrega a la mayor parte de la población urbana de Fredonia, justamente registra 2365 de 3501 suscriptores del servicio de acueducto, cabe resaltar que es el sector mas grande de la red de distribución, y el controlador de Avenida Santander tiene asociado un total de 492 suscriptores, pero justamente es el sector que más pérdidas registra,

La Avenida Santander es la vía principal por la cual transitan todo tipo de vehículos que deciden salir o atravesar el casco urbano de Fredonia, esta avenida en el último año recibió mayor flujo vehicular debido al cierre total de la vía Santa Bárbara la Pintada kilómetro 17 + 650 m, en donde se presentó un hundimiento de banca vial por la falla presente del ROMERAL, esto ocasiono que todo el flujo vehicular tanto de tipo particular como de transporte de carga pesada recurriera a tomar vías alternas, lo cual desencadeno que las vías de la zona urbana de Fredonia reciban más peso y con mayor frecuencia del cual estaban diseñadas, esto incremento el reporte de daños y averías en el servicio de acueducto y alcantarillado, es posible que el desplazamiento de los vehículos de carga pesada hayan agrietado, fisurado y deteriorado la tubería existente y por ende esto contribuya a tener pérdidas considerables de agua, Con la reapertura de la vía panamericana el día 21 de abril disminuyo el alto flujo vehicular, con esto se puede ser más eficaz en las labores de búsqueda y reparación de daños en la carpeta asfáltica de la zona urbana de Fredonia.

5.3 Índice IANC.

El cálculo del indicador de pérdidas IANC tuvo un comportamiento decreciente, lo cual es un reporte positivo, se evidencia el comportamiento en la **Grafica 1**, donde para el mes de Febrero se registraba el índice en un 38.89 %, Marzo 43.38 %, Abril 37.76%, Mayo 35.57% y Junio un 30.80%, este resultado es consecuente y esperado ya que la empresa OPERADORES DE SERVICIOS S.A E.S.P. se encuentra comprometida con el adecuado usos del agua, la comunidad atendida y de la conservación de medio ambiente, se encuentra realizando repotenciación a la red, tanto en distribución como en conducción, se continúan realizando labores de búsqueda de fugas y daños, se ha realizado operación candado en los macromedidores y controladores para verificar las posibles fugas por sectores este plan se ha realizado con apoyo de los operarios y trabajadores los cuales han inspeccionado el movimiento y registro de consumo de agua en horas de la noche, asumiendo que el consumo de agua es mínimo casi nulo, se ha encontrado que los controladores Macro Tanque, Avenida Santander, El Repollal entre otros tienen un consumo desmesurado para la hora de la inspección, esto se asume como una confirmación de daños en la red y en el sector donde estos actúan, y posibles daños de los mismos controladores sumado a presencia de aire que puede estar alterando las mediciones metrológicas de estos dispositivos, en la parte de anexos se entrega registros fotográficos de los distintos controladores en la operación candado.

5.4 Índice IPUF.

Al igual que el comportamiento del índice IANC, el IPUF también decreció se evidencia el comportamiento en la **Gráfica 2**, lo cual indica que las pérdidas de agua disminuyeron, las labores de reposición y arreglo de daños fueron oportunas, además la disminución en la cantidad de vehículos de carga pesada también disminuyo con la reapertura de la vía Santa Bárbara La Pintada, esto permitió que los daños se disminuyeran y la posibilidad de ser mas efectivos y contundentes en la reparaciones y daños reportados y encontrados, el IPUF para el periodo de consumo de Febrero es de $5,67 \text{ m}^3 / \text{suscriptor}$, Marzo $5,57 \text{ m}^3 / \text{suscriptor}$, Abril $4,89 \text{ m}^3 / \text{suscriptor}$, Mayo $4,56 \text{ m}^3 / \text{suscriptor}$ y Junio $3,83 \text{ m}^3 / \text{suscriptor}$, este índice es cumplido por la empresa prestadora del servicio ya que por norma este no puede sobrepasar los $6 \text{ m}^3 / \text{suscriptor}$ facturado.

5.5 Daños en la red de Distribución y conducción.

Como se pudo observar, los daños reportados en la red de distribución fueron 13, cabe resaltar que además de estos se encontraron otros daños los cuales estaban reportados como daños en las acometidas domiciliarias, y también daños internos en las viviendas, estos daños y los consumos de agua relacionados son asumidos por el suscriptor y no hacen parte de las pérdidas de agua relacionadas al sistema, no obstante, se realiza el acompañamiento y seguimiento por parte del prestador del servicio, con el fin de integrar el adecuado uso al agua, disminuyendo impactos ambientales y económicos que desencadenaría los sobreconsumos de agua por cada suscriptor.

Los daños reportados fueron estudiados por parte de los operarios, los cuales determinan las posibles causas y evalúan las consecuencias, es de resaltar que gran parte de los daños son atribuidos a la presión de la red, vida útil cumplida de la tubería, sobrecarga en el peso que admite la carpeta asfáltica de las vías entre otros.

Los daños encontrados en la red de conducción se relacionan también a los mismo factores de la red de distribución, la única diferencia es en el diámetro de la tubería y las pérdidas considerables de agua que pueden ocasionar son de gran cuantía, esto debido a que la tubería de conducción es de diámetro considerable en 10" y 12" pulgadas sumado al caudal que transporta que en promedio ronda los 25 L/s, con este caudal, una fuga en la red de distribución se podría registrar pérdidas de perder 1 m³ en 40 segundos, poniendo en riesgo estabildades de terrenos y disminuyendo la continuidad en la prestación del servicio de acueducto, es por esto que la identificación de los daños es esencial y la oportuna respuesta en el menor tiempo debe ser gestionada in mediatamente, dando celeridad en el cierre o suspensión sectorizada del agua para reparar el daño o contingencia presentada, implementar válvulas de sectorización permite realizar cierres controlados disminuyendo así las pérdidas de agua, gestionando estrategias que beneficien los objetivos planteados en los programas de uso eficiente y ahorro del agua.

En el caso de la red de conducción, se tiene identificado varios factores que generan daños a la tubería existente, entre los que se destacan se resalta los movimientos de masa y temblores estos hacen que la tubería se despegue en las soldaduras, además de ocasionar fisuras por las cuales se pierde agua, se pone en riesgo la calidad de esta y la continuidad de la prestación del servicio, en la actualidad se encuentran tramos de tubería en materiales de American Pipe, Acero al Carbón y unos pocos tramos en Asbesto Cemento, esta tubería tiene alrededor de 50 años de instalación y

los daños presentados en el sector Camino a la Concentración del Plan y El Plan específicamente se han atribuido a corrosión y movimientos de masa, por su parte la corrosión está identificada, en su mayoría, se localiza en las campanas de la tubería esto justamente cada 4.5 metros ya que precisamente esta es la longitud de cada unidad de tubería, a continuación se expone la corrosión en registros fotográficos como lo muestra la **Figura 12**.

Figura 12

Corrosión en tubería American Pipe sector El Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Figura 13

Reparación en tubería American Pipe sector El Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

La longitud de la tubería de conducción alberga 3.5 kilómetros de los cuales se ha evidenciado en varias oportunidades donde se presentan daños que en su mayoría las fugas son localizadas en la unión, esto como resultado de la corrosión y desgaste en las campanas entre cada sección de tubería, como se especifica en la **Figura 12**, la corrosión genera orificios por donde el agua encuentra caminos y empieza a fugar, los pasos a seguir para la reparación y repotenciación de la tubería disminuyendo las pérdidas de agua en la red de conducción son:

- Despejar el recubrimiento de concreto externo que rodea la parte metálica de la tubería.
- Luego de identificadas las fisuras y corrosiones, se procede a la instalación de un cinturón de cierre con collares de tubería, en material de acero al carbón.

- Se debe instalar los cinturones de cierre collares de acero al carbón mediante soldadura eléctrica, esta proporciona las condiciones de fusión perfecta entre la parte metálica de la tubería American Pipe y el collar de acero al carbón.
- Posteriormente se procede a inspeccionar el collar soldado, posteriormente se finaliza con el recubrimiento de una capa de pintura anticorrosiva, con el objetivo, de evitar los deterioros en la tubería por humedad del suelo.
- Finalmente se recubre el cinturón con una mezcla de concreto de secado rápido mediante acelerantes que permite disminuir el tiempo de fraguado del recubrimiento en la tubería, en la **Figura 14** se aprecia el trabajo finalizado, dando reapertura al suministro de agua potable.

Figura 14

Repotenciación de tubería American Pipe sector El Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos.

Mediante la aplicación del recubrimiento de concreto se busca, impedir el contacto directo de la humedad del suelo y las sales que este contiene, evitando así futuras corrosiones en la tubería.

Finalmente para dar reapertura al suministro de agua potable se debe proceder con la purga del aire que se incorporó en la red de tubería tanto de conducción como de distribución, para ello las válvulas de ventosas permite extraer el aire de la tubería, en los casos donde no se disponga de este tipo de válvulas se puede purgar y reducir el aire en la tubería con la apertura de hidrantes, se recomienda abrir o efectuar este procedimiento en los puntos más bajos de la red, con esto disminuye los impactos que genera las bolsas de aire dentro de la tubería las cuales pueden agrietar, deteriora y hasta explotar la tubería con una sobrepresión de aire, en la sección de anexos se entrega registros fotográficos de una reapertura de hidrantes para purgar el aire incorporado en la red de distribución luego de un cierre por la reparación de la misma tubería.

6 Conclusiones

- Mediante la cuantificación del volumen de agua producida, y volumen de agua facturada es posible calcular el índice de agua no facturada (IANC), esta agua, es considerada como pérdida, las pérdidas repercuten directamente en la parte económica y en la rentabilidad de la prestación del servicio, además repercute directamente en la disminución de presión llegando al punto de reducir la cota de servicio de suministro de agua potable.
- Mediante la sectorización e instalación de macromedidores, es posible cuantificar el agua entregada a un sector de suscriptores, los consumos registrados y la micro medición permiten evaluar las condiciones de la red en cuanto a sospechas de fugas, conexiones no autorizadas que se consideran pérdidas, con la sectorización es posible reducir el rango y cercar áreas para actuar de manera oportuna y eficaz en la reparación, reposición y repotenciación de la red que conduce o distribuye agua potable.
- La obtención y evaluación de un catastro actualizado de redes de acueducto, permite identificar la tubería con mayor tiempo en operación, esto, sumado a las especificaciones del fabricante, contribuye a la planeación oportuna de cambio y reposición de tubería por vida útil cumplida, de no ser así, la no reposición y cambio de tubería con vida útil cumplida, podría aportar al incremento de pérdidas de agua en cualquier parte de la red de conducción y distribución.

- La sobrepresión del agua en las redes de acueducto puede generar deterioros o daños en la tubería que la transporta, esto a su vez, repercute directamente sobre las pérdidas de agua, además de la calidad y cantidad entregada a los usuarios del servicio, podría estar en riesgo, los daños en la tubería son puntos no controlados, son puntos susceptibles a la incorporación y contaminación por cuerpos, objetos y sustancias los cuales afecta los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua entregada, para disminuir los daños por sobrepresión se puede optar por válvulas reductoras de presión, las cuales son dispositivos que permiten reducir la presión y trabajar bajo condiciones controladas.
- La instalación de ventosas en la tubería permite evacuar el exceso de aire dentro de estas, este aire alterar las mediciones de los controladores generando lecturas de consumo que podrían malinterpretarse como pérdidas de agua, además, el exceso de aire deteriora y disminuye el tiempo de vida útil de los dispositivos de macro medición, micro medición y la condición adecuada de la tubería que transporta agua potable.
- La repotenciación de las uniones y campanas de la tubería de conducción en material American Pipe, permite aumentar el tiempo de vida útil y repara el desgaste y deterioro por la corrosión en la tubería, además de reducir los costos de reposición y a su vez, disminuir las pérdidas de agua y evitar el deterioro en la continuidad en la prestación del servicio.
- La estabilidad del suelo y las condiciones óptimas de trabajo de la tubería y dispositivos hidráulicos de sectorización, medidores de consumos, válvulas aliviadoras de presión, válvulas reductoras de aire permiten fuertes bases fundamentales para la optimización de estrategias y recursos que favorezcan los programas de usos eficiente y ahorro del agua, esto a su vez permite proteger y cuidar la parte económica y rentable de las empresas prestadoras del servicios de acueducto, además de conservar y disminuir los impactos ambientales del inadecuado uso y aprovechamiento del agua.
- En ocasiones las reparaciones toman mucho más tiempo del estipulado, los daños y el deterioro de la tubería puede afectar los puntos de cambio de dirección, en estos cambios de dirección se hace necesario la fabricación de accesorios in situ, las características particulares que demanda el sistema, requieren de planificación estratégica para la gestión oportuna y eficiente de la reparación de los daños en la red dependiendo del tipo de material

y diámetro de la tubería y siendo fuertemente influenciados y afectados por las condiciones de estabilidad y acceso de materiales hasta el punto de reparación.

- De manera general, el enfoque en disminuir las pérdidas de agua en los sistemas de acueducto, genera una base estratégica que permite gestionar diferentes alternativas favoreciendo y garantizando el adecuado uso eficiente y ahorro del agua, esto permite disminuir el impacto negativo que genera la extracción de agua de las cuencas abastecedoras, se garantiza un caudal óptimo de las fuentes de agua superficiales, donde la vida de las especies involucradas pueda desarrollarse de manera natural sin afectaciones por sobre extracciones y contaminaciones que sean el resultado de la influencia de pérdidas de agua en los sistemas de acueducto urbanos y rurales.

7 Recomendaciones

La conservación del recurso agua es esencial, es una tarea que más allá del panorama y afectación económica se debe gestionar para realizar un uso responsable, las condiciones climáticas, la contaminación y la sobre explotación de los recursos naturales como resultado de la actividad antrópica mundial es cada vez realizada con una mayor intensidad y cantidad, esto hace que las afectaciones a los recursos naturales sean de gran impacto y de difícil recuperación ambiental, todas aquellas acciones y obras realizadas con el objetivo de recuperar, disminuir y solucionar problemáticas ambientales son necesarias y de vital implementación.

La reducción de pérdidas de agua tiene varios frentes por atacar, en cuanto a las presiones está comprobado que la sobrepresión de agua genera daños y averías en la red, por ende, se recomienda un estudio detallado para la instalación de válvulas o dispositivos que permitan reducir las presiones que experimentan los sectores de la red de distribución, por otra parte la sectorización mediante los controladores permite gestionar de manera más eficiente la búsqueda de pérdidas de agua y el control de las mismas, la instalación de más dispositivos permite cercar los sectores y áreas con mayor número de suscriptores, por ejemplo el Controlador Macro Tanque registra el consumo de agua de la mayor parte de los suscriptoras del casco urbano de Fredonia, con alrededor de un 68% del total de suscriptores que hasta la fecha son 2367 suscriptores, esto hace que las

pérdidas de agua sean difícil de identificar y sectorizar se recomienda implementar más dispositivos que permitan controlar, también subdividir los sectores con mayor número de suscriptores a sectores hidráulicos de menor número de usuarios conectados esto permite un control eficiente y proporciona una gestión más eficaz en la búsqueda de posibles daños y averías gestionando así herramientas de control y mitigación de pérdidas, además el cambio y reposición de micromedidores a los usuarios por cambio de tecnología por tener más de 10 años de instalación, permite facturar el agua esto consumida en mayor precisión que los micromedidores antiguos y con tecnologías obsoletas.

El consumo del agua debe estar influenciado por la responsabilidad que tenemos como habitantes de este planeta, cada acción buena o mala desencadena diferentes panoramas, si las acciones van encaminadas a la conservación ambiental los resultados siempre serán positivos, si las acciones solo son para una explotación desmesurada y simplemente consumista influenciada por el factor económico se afectarán las garantías ambientales de prosperidad en la diversificación y conservación de las especies, se debe recordad el papel fundamental que tiene cada organismo vivo además de los deberes y derecho dentro del planeta tierra.

Cabe reconocer los enfoques, disposición y trabajos realizados por la empresa Operadores de servicios S.A E.S.P. el tema de pérdidas de agua es gestionado con la mayor seriedad, displicencia y celeridad, integran a todo el personal para la búsqueda exhaustiva de las posibles anomalías y condiciones que generan pérdidas de agua, los trabajos gestionados en conjunto con la parte operativa y la integración de distintas áreas proporciona enfoques multivariados con un abanico de posibilidades enfatizadas en una meta en común la disminución de pérdidas conservando el recurso hídrico y por ende el uso eficiente y ahorro del agua.

UNESCO. (2023 de 04 de 20). *Organización de las Naciones Unidas para cultura, las ciencias y la educación*. Recuperado el 14 de 05 de 2023, de <https://www.unesco.org/es/articles/dia-mundial-del-agua-conocimiento-para-tomar-accion>

Anexo 1

Red de conducción y distribución de Fredonia



Nota. Plano red de conducción y Distribución proporcionado por la empresa Operadores de servicios S.A E.S.P.

Anexos

Anexo 2

Operación candado en búsqueda de pérdidas de agua en la red de distribución, FREDONIA.



Tenía como objetivo identificar las pérdidas de agua en la red de distribución

Nota. Registros fotográficos.

El plan candado consistió en la inspección de los consumos de agua en los controladores que la empresa prestadora del servicio de acueducto de Fredonia tiene instalados, en esta operación se logró identificar sectores con alto consumo a las 2:00 am lo cual indica que posiblemente la tubería

de distribución tenga averías y daños por donde se está perdiendo agua, en el momento la empresa se encuentra comprometida y realizando acciones para identificar las fugas y daños.

Anexo 3

Reposición de tubería por deslizamiento de terreno, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

Los movimientos de masa (temblores, deslizamientos) pueden generar daños y averías en la tubería, los cuales incrementan las pérdidas en proporciones considerables, en este caso el deslizamiento afectó al punto en que se perdió toda la tubería en un tramo considerable, los trabajos

realizados permitieron repotenciar el talud y realizar la reposición completa del tramo de tubería afectado, la tubería en de reposición fue de 12” en acero al carbón, las uniones entre tramos fueron realizadas con expertos en soldadura, estas uniones deben permitir una fusión perfecta de la tubería para que el agua que transporta no tenga espacios por donde escapar ni fugar.

Anexo 4

Daño y pérdida de agua en la unión de tubería sector El Plan, FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

Deterioro en la unión de soldadura, la tubería en esta contingencia era de acero al carbón de 12” de diámetro, los trabajos de repotenciación y reparación de tubería años fueron realizados por expertos en soldadura.

Anexo 5

Reparación de tubería en acero al carbón, sector El Plan FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

En ocasiones las reparaciones toman mucho más tiempo del estipulado, los daños y el deterioro de la tubería puede afectar los puntos de cambio de dirección, en estos cambios de dirección se hace necesario la fabricación de accesorios in situ, las características particulares que demanda el sistema, requieren de planificación estratégica para la gestión oportuna y eficiente de la reparación de los daños en la red dependiendo del tipo de material y diámetro de la tubería y siendo fuertemente influenciados y afectados por las condiciones de estabilidad y acceso de materiales hasta el punto de reparación.

Anexo 6

Reparación de tubería de conducción, El Plan FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

Fabricación de accesorio con cambio de dirección, el ángulo del accesorio no es de carácter comercial requiere una fabricación artesanal y técnica para dar solución. En ocasiones los daños y afectaciones que resultan en a la tubería requieren del remplazo completo de secciones, las pérdidas de agua en la red de conducción además de afectar el índice IANC, y el IPUF también pueden traer

riesgo a la seguridad de las personas, por eso es fundamental actuar de manera inmediata en los momentos de identificación de daños, averías y pérdidas.

Anexo 7

Reparación de tubería de conducción, Camino a la Concentración del Plan FREDONIA



Nota. Registros fotográficos

Reparación de tubería en acero de 12 “de diámetro en Camino a la Concentración del Plan Fredonia, deterioro y corrosión en la campana de unión tubería con más de 50 años de instalación, reparación mediante soldadura eléctrica a cargo del especialista en soldadura.