

**DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE
AGUA NO CONTABILIZADA (IANC) PASANTÍA EN SERTINJACÁ S.A.S
E.S.P BOYACÁ.**



UNIVERSIDAD
SANTOTOMÁS
TUNJA

CARLOS ANDRES ATARA MORALES

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
INGENIERIA AMBIENTAL
TUNJA – BOYACÁ
2024**

**DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL ÍNDICE DE
AGUA NO CONTABILIZADA (IANC) PASANTÍA EN SERTINJACÁ S.A.S
E.S.P BOYACÁ.**



**UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA**

CARLOS ANDRES ATARA MORALES

**Proyecto de investigación para optar por el título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

**Director:
M.Sc. Esp. Ing. Édison Fabian Monroy Ávila**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
INGENIERIA AMBIENTAL
TUNJA – BOYACÀ
2024**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Alcira Morales, cuyo amor incondicional y dedicación han sido la fuerza que me impulsa a seguir adelante. Su apoyo constante y sus enseñanzas han moldeado mis valores y me han enseñado la importancia de la perseverancia en cada paso que doy. Sin su guía y confianza, este logro no sería posible.

A mi padre, Pedro Atara, le agradezco por ser un ejemplo de fortaleza y trabajo arduo. Sus sabias palabras y su compromiso con la familia me han inspirado a perseguir mis sueños con determinación. Su capacidad para enfrentar desafíos ha sido un faro en momentos de incertidumbre, recordándome que la disciplina y el esfuerzo siempre rinden frutos.

A mi hermano, Camilo Atara, por compartir mis inquietudes y alegrías. Nuestro vínculo es un constante recordatorio de que juntos somos más fuertes. A mi mujer, Yuliana Castellanos, le agradezco por su amor, apoyo y comprensión, que hacen de cada día una oportunidad para crecer y aprender juntos. Su presencia me motiva a ser mejor en todos los aspectos de mi vida.

Y a mi querida hija, Salomé Atara, por ser la razón detrás de mis esfuerzos. Tu sonrisa ilumina mis días y me recuerda la importancia de luchar por un futuro mejor. Este trabajo es un reflejo del amor y el sacrificio de cada uno de ustedes. Gracias por ser mi inspiración y por caminar a mi lado en este hermoso viaje.

AGRADECIMIENTOS

Con profundo agradecimiento, quiero destacar a la universidad como un pilar fundamental en mi crecimiento tanto personal como profesional. Este espacio ha sido mucho más que un centro educativo, ha sido el lugar donde he podido moldear mis habilidades, adquirir conocimientos valiosos y nutrirme de experiencias que llevaré conmigo toda la vida. El apoyo y la entrega del cuerpo docente han sido clave en cada etapa de este recorrido, acompañándome con sabiduría y guía constante, lo que me ha permitido avanzar con confianza.

Un agradecimiento muy especial va dirigido al director el ingeniero Édison Fabián Monroy Ávila, quien, con su liderazgo y visión, ha transformado la experiencia académica de muchos estudiantes, incluyéndome. Su capacidad para fomentar la innovación y su apuesta por la excelencia nos han impulsado a superar nuestras propias expectativas, motivándonos a afrontar cada reto con determinación. Su cercanía y disposición para estar siempre presente han dejado una marca indeleble en mi paso por la universidad.

Asimismo, quiero expresar mi gratitud hacia la ingeniera Laura Alejandra Reyes, gerente de la empresa, quien fue un apoyo incondicional a lo largo de este proyecto. Junto a todo el equipo de trabajo, su guía y compromiso fueron esenciales para el éxito de cada etapa. Aprecio profundamente el esfuerzo y dedicación de cada persona involucrada, ya que su contribución ha sido determinante en mi desarrollo y en la creación de una base sólida para mi futuro.

Finalmente, no puedo dejar de mencionar a mi compañero Maicol Rodríguez, con quien he compartido muchos momentos de aprendizaje, esfuerzo y logro durante estos años. Su amistad y colaboración han sido un pilar de apoyo constante. Juntos hemos enfrentado desafíos, celebramos éxitos y crecido tanto personal como profesionalmente, y por eso, le estoy inmensamente agradecido.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1.1. Delimitación del problema.....	17
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	18
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	24
2.1.1. MARCO LEGAL	32
3. DISEÑO MEODOLÓGICO	35
3.1. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN.	35
3.2. Estrategias para reducir el IANC	36
3.3. BALANCE DEL IANC TENIENDO EN CUENTA LAS ESTRATEGIAS ESTABLECIDAS.....	38
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	40
4.1.1. IANC	40
4.1.2. Diagnostico técnico del sistema.....	44
4.1.3. Diagnostico técnico del sistema de potabilización	49
4.2. FASE 2 IMPLEMETACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL IANC	49

4.2.1.	Conexiones Clandestinas	50
4.2.2.	Fallas en los Micromedidores.....	51
4.2.3.	Capacitación a operarios de la planta.....	53
4.2.4.	Fugas no Visibles	54
4.3	FASE 3: BALANCE DE AGUA DEL SISTEMA CON ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS.....	56
5.	CONCLUSIONES.....	62
6.	RECOMENDACIONES	64
	BIBLIOGRAFÍA	65
	ANEXOS	70

LISTADO DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Problemáticas que surgen dentro del IANC	15
Tabla 2 Solución a problemas identificados dentro de la Empresa de Servicios Públicos.....	16
Tabla 3 Investigaciones clave sobre la reducción del Índice de Agua No Contabilizada (IANC) y su impacto en la gestión hídrica.....	25
Tabla 4 Aportes de investigativos en torno la renovación de medidores y la capacitación de fontaneros en la gestión del IANC	29
Tabla 5 Marco jurídico de la investigación.....	33
Tabla 7 Información General.....	40
Tabla 8 Información Comercial	40
Tabla 9 Información Técnica Operativa.....	42
Tabla 10 Información General Ajustada	56
Tabla 11 Información Comercial Ajustada	57
Tabla 12 Información Operativa Ajustada	58

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1 Georeferenciación del Municipio de Tinjacá	18
Ilustración 2 Fase Metodológica	39
Ilustración 3 Registro Fotográfico de la PTAP de Tinjacá	46
Ilustración 4 Conexiones Clandestinas Identificadas	50
Ilustración 5 Cambio de Medidores Obsoletos	52
Ilustración 6 Registros Fotográficos del Curso de Fontanería	54
Ilustración 7 Registro fotográfico de Estrategias Implementadas	55

LISTADO DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1 Balance del IANC	36
Ecuación 2 Calculo del Porcentaje del IANC.....	43
Ecuación 3 Calculo del IANC Modificado	61

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Reparaciones en la Red de Aducción	70
Anexo 2 Mapa de Red de Conducción	70
Anexo 3 Levantamiento Topográfico de la Red de Aducción y Distribución	71
Anexo 4 Mantenimiento a la PTAP	71
Anexo 5 Limpieza a los Filtros	72
Anexo 6 Equipo de Trabajo SERTINJACÁ	72
Anexo 7 Limpieza al Desarenador.....	73
Anexo 8 Bocatoma la Honda.....	73
Anexo 9 Prueba de Giardias.....	74
Anexo 10 Mapa de Red la Chiquinquireña.....	74
Anexo 11 Mapa de Red Funza Bajo	75
Anexo 12 Mapa de Red Providencia	75

INTRODUCCIÓN

El Índice de Agua no Contabilizada (IANC) se ha consolidado como un guía fundamental en la gestión de los servicios de agua, al reflejar el porcentaje de agua producida que no es registrada ni facturada, lo que evidencia pérdidas tanto físicas como comerciales en el sistema de distribución. Las pérdidas físicas, por lo general, son causadas por fugas en la infraestructura, mientras que las pérdidas identificadas pueden derivarse de errores en la medición o conexiones no registradas. En Tinjacá, la ESP enfrenta retos significativos debido a un alto IANC, lo que resalta la urgencia de implementar estrategias efectivas para reducir estas pérdidas y mejorar la eficiencia operativa (AL-Washali et al., 2020).

En el contexto de una pasantía en ingeniería ambiental, se abre una oportunidad valiosa para influir positivamente en el desarrollo sostenible de la E.S.P en Tinjacá. Este trabajo de grado se enfoca en apoyar de manera técnica he integral, centrándose en la gestión del IANC y en la optimización de la infraestructura de distribución de agua. La gestión eficiente del recurso hídrico y la reducción de las pérdidas en el suministro son fundamentales para asegurar la sostenibilidad y mejorar la calidad de vida de la comunidad local (Joseph et al., 2022).

La relevancia de abordar el IANC radica en sus impactos tanto económicos como ambientales. De acuerdo con la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento pueden superar el 30% del volumen total producido, lo que afecta la sostenibilidad del recurso y la viabilidad económica de la empresa. Reducir estas pérdidas no solo optimiza el uso del agua, sino que también disminuye el impacto ambiental, al reducir la presión sobre las fuentes hídricas locales y la necesidad de captar más agua (Teresa et al., 2022).

El entorno geográfico y climático de Tinjacá añade un nivel de complejidad a la gestión del agua. Situada a una altitud de 1.750 m.s.n.m y con un clima templado, según Sierra-Almeida, (2022). las condiciones ambientales influyen tanto en la demanda como en la disponibilidad de agua. La infraestructura de la planta de tratamiento, que incluye una planta convencional y dos plantas compactas en zonas rurales, enfrenta desafíos adicionales, como la obsolescencia y la falta de mantenimiento, elementos que apoyan a la pérdida de agua.

Desde una perspectiva técnica, la optimización del sistema de distribución de agua requiere una evaluación exhaustiva de la infraestructura existente teniendo en cuenta artículos como el de Bakhtawar & Zayed, (2021). Esto incluye la detección de fugas mediante tecnologías avanzadas, como geófonos, que permiten identificar problemas de manera temprana y aplicar medidas correctivas de manera oportuna. Además, la modernización de la infraestructura, que puede implicar la renovación

de tuberías y la mejora de las estaciones de bombeo, es crucial para disminuir las pérdidas físicas y mejorar la eficiencia del sistema.

La gestión del agua debe incluir también la educación y concienciación de la comunidad. La promoción de prácticas de uso eficiente del agua y la capacitación de los residentes en la detección y reporte de fugas son elementos clave para respaldar las iniciativas de reducción del IANC. La participación de la comunidad es fundamental para el éxito de las estrategias de gestión del agua, ya que los usuarios finales juegan un papel crucial en la identificación y prevención de problemas (Megdal et al., 2017).

A nivel global, la problemática del acceso al agua potable segura es alarmante. De acuerdo con la OMS, en el año 2020, alrededor de 2.200 millones de personas no contaban con acceso a agua potable en condiciones seguras, mientras que 673 millones carecían de sistemas de saneamiento apropiados. Esta crisis subraya la necesidad de mejorar la gestión del agua en todas las regiones, incluyendo comunidades como Tinjacá, donde las deficiencias en la infraestructura pueden agravar los problemas de acceso al agua (Bain et al., 2021).

La Resolución 330 de 2017 establece directrices para la protección y control de las zonas de captación de agua, incluyendo la incorporación de dispositivos de filtrado y medidas de seguridad para preservar la integridad de las estructuras de captación. Estas regulaciones son esenciales para garantizar que las fuentes de agua no se vean comprometidas por la entrada de contaminantes o la intervención humana, lo que podría agravar los problemas de distribución y calidad del agua (Shoushtarian, 2020).

El análisis del IANC en Tinjacá debe abordar tanto las pérdidas físicas como las comerciales. Las pérdidas físicas pueden ser mitigadas mediante la mejora de la infraestructura y la implementación de tecnologías avanzadas, mientras que las pérdidas comerciales requieren una revisión de los sistemas de medición y facturación para asegurar su precisión y confiabilidad. Este enfoque integral es fundamental para mejorar la distribución del agua y asegurar un abastecimiento confiable y sostenible (Ociepa et al., 2019).

El proyecto propuesto no solo busca usar los conocimientos obtenidos durante la carrera, sino también hacer una contribución visible al desarrollo sostenible de Tinjacá. Colaborando con SerTinjacá S.A.S E.S.P. Wang & Yang, (2019) aconsejan implementar soluciones prácticas y efectivas que mejoren la gestión del agua y beneficien a la comunidad local. Esta dirección multidisciplinaria combina la ingeniería ambiental con la misión operativa para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la provisión de servicios de agua.

Además de las mejoras técnicas, es crucial que la implementación de estrategias de gestión del agua incluya un componente de monitoreo y evaluación continua. La

supervisión constante del sistema de distribución, junto con la evaluación periódica del IANC, permitirá identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias en función de los resultados obtenidos. Este proceso iterativo asegura que las soluciones implementadas sean efectivas y sostenibles a lo largo del tiempo (Mackay & Last, 2010).

El impacto previsto de este proyecto es significativo, ya que no solo mejorará la eficiencia del sistema de agua en Tinjacá, sino que también establecerá un modelo de referencia para otras comunidades que enfrenten problemas similares. La experiencia y los resultados obtenidos en Tinjacá pueden ser utilizados para desarrollar buenas prácticas y recomendaciones para otras regiones que enfrentan desafíos en la gestión del agua (Queen, 2024).

Por consiguiente, este proyecto representa una oportunidad clave para aplicar conocimientos técnicos y científicos en un entorno real, contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad. La integración de enfoques técnicos, operativos y comunitarios es esencial para el éxito de la gestión del agua y la reducción del IANC, y se espera que el proyecto en Tinjacá sirva como un ejemplo exitoso de cómo enfrentar estos desafíos de manera efectiva (Shaikh et al., 2024).

Esta pasantía en ingeniería ambiental ofrece una plataforma ideal para hacer una diferencia tangible en la gestión de los recursos hídricos de Tinjacá. La colaboración con la Empresa de Servicios Públicos (ESP) local proporcionará una oportunidad única para implementar soluciones innovadoras que no solo mejorarán la eficiencia operativa, sino que también contribuirán a la sostenibilidad ambiental a largo plazo. A través de un enfoque riguroso y colaborativo, el proyecto no solo resolverá problemas actuales, sino que también sentará las bases para una gestión del agua más eficiente y equitativa en el futuro (Grigg, 2024).

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La problemática del IANC en Tinjacá, Boyacá, representa un reto multidimensional que impacta de manera considerable tanto el desarrollo humano como la sostenibilidad de los servicios públicos en la zona. A nivel mundial, el acceso a agua potable segura sigue siendo un tema crítico. De acuerdo con el Informe de Progreso de Agua Potable y Saneamiento 2023 de la OMS y UNICEF, alrededor de 2.2 mil millones de habitantes carecen de acceso al recurso hídrico gestionada de manera segura, mientras que 2.5 mil millones no disponen de servicios de saneamiento adecuados (World, 2018). Estos datos globales resaltan la importancia del acceso al agua para el bienestar humano, lo cual también es evidente en Tinjacá, donde las

deficiencias en la gestión del agua afectan directamente la calidad de vida de sus habitantes (Blanco-Moreno, 2022).

En Colombia, el tema del agua no contabilizada es igualmente preocupante. Un estudio reciente del Banco Mundial indica que las pérdidas de agua en las técnicas municipales pueden llegar hasta el 37%, lo que dificulta la prestación de servicios de agua potable (Andres et al., 2010). En Tinjacá, el alcance del suministro de agua es total en las áreas urbanas, pero solo llega al 41% en las zonas rurales. En 2023, el caudal promedio registrado fue de 25.920 m³/mes, lo que refleja una disparidad significativa en cuanto al acceso y gestión del recurso hídrico. Estas diferencias exponen las limitaciones tecnológicas e infraestructurales presentes en las áreas rurales (Dueñas-Celis et al., 2018).

En cuanto a las plantas de tratamiento de agua en Tinjacá, se cuenta con una planta convencional en el casco urbano con un caudal de diseño de 5 L/s, y dos plantas compactas que abastecen a las áreas rurales de Peñas Bajo y Arrayanes. Sin embargo, la gestión de estas instalaciones enfrenta serios desafíos técnicos, tales como fallas en la medición del agua producida y facturada. La infraestructura inadecuada y la falta de tecnologías avanzadas de medición agravan la situación, al igual que la carencia de capacitación técnica para el personal encargado. (Moreno Méndez, 2020), destacan la importancia de mejorar estas tecnologías de medición para optimizar la gestión del agua y reducir el IANC.

El impacto económico del IANC en Tinjacá es considerable. El daño de una correcta facturación en las áreas rurales identifica un alto IANC, genera pérdidas significativas para la E.S.P. Según un estudio reciente de (Catalina Jaramillo Martínez, 2021), estas pérdidas comprometen la sostenibilidad financiera de las empresas proveedoras de agua, lo que dificulta el mantenimiento y mejora de los servicios. Un elevado IANC también denota daños en la distribución del agua, lo que genera costos adicionales debido a la pérdida de recursos no contabilizados (Aguilar Benítez & Monforte, 2018).

Además del impacto económico, el IANC en Tinjacá conlleva implicaciones operativas y ambientales importantes. Las ineficiencias en la gestión del agua pueden dar lugar a operaciones subóptimas, lo que incrementa los costos operativos y disminuye la eficacia del sistema de suministro. La pérdida de grandes volúmenes de agua implica un desperdicio de recursos valiosos, lo que pone presión sobre las fuentes locales de agua y eleva el consumo de energía relacionado con el tratamiento y distribución de agua no utilizada (Ferro & Lentini, 2020). Este desperdicio no solo afecta la economía, sino que también compromete la sostenibilidad ambiental de la región, evidenciando la urgencia de implementar estrategias que reduzcan el IANC (Sostenible del Recurso Hí et al., 2018).

Por otro lado, la gestión ineficiente del agua también tiene repercusiones en la equidad del acceso a los servicios básicos. En Tinjacá, la disparidad entre las zonas

urbanas y rurales en cuanto al acceso al agua evidencia una brecha significativa en la cobertura de los servicios. Las áreas rurales, que cuentan con infraestructura menos desarrollada y tecnologías más obsoletas, son las más afectadas por las deficiencias en la gestión del recurso hídrico (Díaz & Falla, 2023). Esto subraya la necesidad de corregir las desigualdades en el acceso al agua e invertir en mejorar la infraestructura y la tecnología en las zonas menos favorecidas.

Finalmente, la situación del IANC en Tinjacá resalta la necesidad de invertir en capacitación y tecnología para el personal encargado de la gestión del agua. La falta de formación técnica adecuada y la ausencia de herramientas modernas para la medición del agua contribuyen a la ineficiencia en la gestión del recurso (Gema A, 2017). Es esencial implementar programas de capacitación y adoptar tecnologías avanzadas que permitan mejorar la precisión en la medición y la eficiencia en la gestión de los sistemas de agua.

Consiguiente a esto, la problemática del IANC en Tinjacá requiere un enfoque integral que abarque la mejora de la infraestructura, la adopción de nuevas tecnologías y la formación del personal. La implementación de estrategias efectivas para reducir el IANC no solo incrementará la eficiencia operativa y financiera del sistema de suministro de agua, sino que también favorecerá la sostenibilidad ambiental y la equidad en el acceso al agua en la región (PAOLA A, 2020).

Tabla 1 Problemas que aparecen dentro del IANC

Tipo de Problema	Descripción
Dificultades del IANC	Desafíos en la Evaluación en Regiones Rurales: La carencia de infraestructura moderna o la utilización de equipos desactualizados puede ocasionar imprecisiones al registrar tanto el agua producida como la consumida, especialmente en comunidades rurales donde los recursos son escasos.
	Deficiencias en los Sistemas de Infraestructura Rural: Las redes de acueducto ubicadas en zonas rurales suelen experimentar inconvenientes técnicos, como pérdidas de agua no identificadas, mantenimiento insuficiente y la ausencia de herramientas tecnológicas avanzadas para realizar mediciones precisas.
	Necesidad de Formación Técnica Especializada: El personal responsable de operar y supervisar los sistemas de acueducto requiere capacitación adecuada para resolver eficazmente los problemas relacionados con la medición y el mantenimiento de la infraestructura.
Dificultades Financieras dentro de la Empresa	Retos Financieros en Zonas Rurales: La inexactitud en los procesos de facturación en comunidades rurales, evidenciada por un elevado porcentaje de agua no contabilizada, genera importantes pérdidas económicas para la entidad encargada de prestar los servicios.
	Impacto en la Estabilidad Económica: Un índice elevado de agua no contabilizada refleja fallas en la gestión del recurso hídrico, lo que puede comprometer la sostenibilidad financiera de la organización en el futuro.

Tipo de Problema	Descripción
	Urgencia de Modernización Tecnológica y Mantenimiento: Reducir el índice de agua no contabilizada y optimizar los procesos de medición podría demandar inversiones sustanciales en tecnologías modernas y en el adecuado mantenimiento de la infraestructura existente. Desafíos Económicos en Comunidades Rurales: Las deficiencias en la facturación en estas áreas generan dificultades financieras específicas que pueden limitar la capacidad de la organización para sostener y mejorar la calidad de los servicios que ofrece.
Operativas	Deficiencias en la Administración del Recurso Hídrico: Un elevado porcentaje de agua no contabilizada evidencia problemas en la gestión del recurso, lo que puede derivar en una operación ineficiente y en gastos adicionales asociados a las pérdidas de agua no registradas.
Ambientales	Pérdida de Recursos Hídricos Valiosos: El alto nivel de agua desperdiciada no solo genera impactos financieros, sino que también implica un uso ineficiente de recursos hídricos esenciales, lo que podría afectar negativamente las fuentes de agua locales y aumentar el consumo energético vinculado al tratamiento y distribución de agua que no se aprovecha.
Equidad en el Acceso	Inequidad en el Acceso a los Servicios: La ineficiencia en los procesos de facturación en regiones rurales puede afectar de manera desproporcionada a comunidades con limitaciones económicas, profundizando las disparidades en el acceso a los servicios esenciales.

Fuente: Autor

En consecuencia, la empresa de servicios públicos de Tinjacá debe enfocarse en mejorar la eficiencia en la prestación del servicio de agua, abordando las problemáticas relacionadas con el IANC. Así mismo, se detalla cómo el proyecto propuesto ayudará a resolver estas dificultades y a generar un mayor conocimiento sobre la gestión del agua en la región:

Tabla 2 Solución a problemas identificados dentro de la Empresa de Servicios Públicos

Medida	Descripción
Plan de trabajo estructurado	Desarrollar un plan sistemático para abordar las deficiencias del IANC, respondiendo una ejecución eficaz y coordinada de las acciones de mejora operativa.
Optimización en la gestión operativa	El trabajo proporcionará asistencia para optimizar la operación del sistema de agua, implementando estrategias que reduzcan las pérdidas y optimicen los recursos disponibles.

Renovación de infraestructura	implementar la modernización de la red de distribución, sustituyendo tuberías antiguas para minimizar las pérdidas de agua y aumentar la durabilidad del sistema.
Detección avanzada de fugas	Problema: Fugas de agua no detectadas en la red. Solución: Implementar tecnologías de vanguardia como geófonos para monitoreo en tiempo real para identificar y corregir fugas rápidamente.
Sectorización del sistema de distribución	Problema: Dificultad para ubicar áreas con altas pérdidas. Solución: sectorizar la distribución del servicio, lo que permitirá una gestión más eficiente y una reducción de las pérdidas.
Capacitación técnica especializada	Mejorar las capacidades del personal mediante la formación técnica continua y el uso de herramientas avanzadas que permitan una medición precisa y una gestión más eficiente del recurso hídrico.
Mantenimiento preventivo regular	Establecer programas de mantenimiento que aseguren la reparación oportuna de las fugas detectadas, disminuyendo así las pérdidas de agua y mejorando la sostenibilidad del sistema.

Fuente: Autor

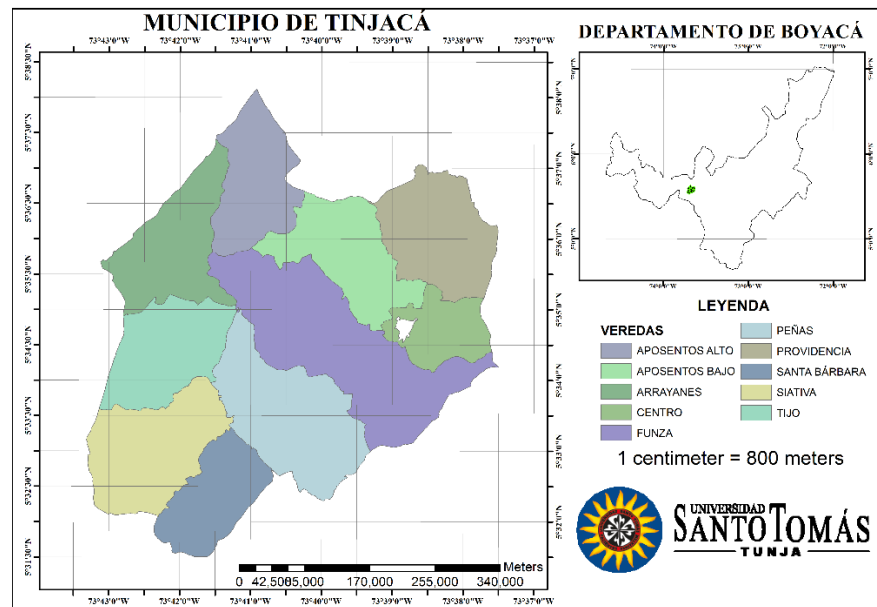
El objetivo principal de este proyecto es diseñar distintas estrategias para el análisis y comprensión del funcionamiento de la empresa de servicios públicos de Tinjacá, generando soluciones prácticas que aumenten la eficiencia operativa y financiera. Además, esta labor tiene como propósito fomentar el uso responsable del recurso hídrico, promoviendo un acceso equitativo y sostenible para todos los habitantes del municipio.

1.1.1. Delimitación del problema

Tinjacá es un municipio situado en el departamento de Boyacá, ubicado en la provincia del alto Ricaurte, en la región centro-oriental de Colombia. Limita al norte con los municipios de Ráquira y Sutamarchán, al este con Sutamarchán, al sur con el municipio de Guachetá (Cundinamarca), y al oeste con los municipios de Ráquira y Sáchica. Con una extensión territorial aproximada de 45 km², Tinjacá se encuentra a una altitud promedio de 1.750 metros sobre el nivel del mar, lo que le otorga un clima templado, con temperaturas que varían entre los 16 y 20 °C.

La cabecera municipal está ubicada a unos 44 kilómetros de Tunja, la capital departamental, lo que facilita el acceso a servicios y centros de comercio más amplios. Tinjacá es conocido por su paisaje montañoso y fértil, ideal para la agricultura, que constituye la base económica de la región. El municipio también destaca por su entorno natural y su cercanía a atractivos turísticos como Villa de Leyva, lo que incrementa su relevancia dentro de la provincia.¹⁸ En otras palabras: hasta dónde se pretende llegar con el proyecto o trabajo de investigación.

Ilustración 1 Georeferenciación del Municipio de Tinjacá



Fuente: Autor

1.2. JUSTIFICACIÓN

La E.S.P. de Tinjacá, enfrenta retos importantes que requieren una intervención continua y coordinada. Estos problemas no solo afectan la eficiencia en la prestación de servicios esenciales como el suministro de agua potable, sino que también impactan negativamente el medio ambiente y la calidad de vida de la población local. Entre las principales dificultades destaca la alta presencia del IANC, que refleja las pérdidas físicas y comerciales en el sistema de distribución. Resolver esta situación es esencial para asegurar la viabilidad financiera de la empresa y la conservación de los recursos hídricos en el municipio (CRA, 2005).

Este proyecto tiene como objetivo diseñar estrategias para reducir el IANC en Tinjacá, lo cual mejorará tanto la eficiencia operativa de la empresa como el uso sostenible de los recursos hídricos. De acuerdo con investigaciones de Andréi J, (2003), la elevada presencia de IANC en áreas rurales como Tinjacá provoca importantes pérdidas económicas para las empresas de servicios públicos,

afectando su capacidad para operar eficientemente. Estas pérdidas no solo disminuyen los ingresos por facturación, sino que también dificultan la inversión en mejoras tecnológicas y la ampliación de los servicios.

La disminución del Índice tiene beneficios financieros y ambientales. En términos económicos, reducir las pérdidas de agua no contabilizada puede incrementar los ingresos, permitiendo que la empresa invierta en mejoras operativas. Gómez-Martínez, (2017), subraya que la adopción de tecnologías avanzadas para la detección de fugas y la modernización de los sistemas de medición puede reducir significativamente dichas pérdidas, lo que favorece tanto la eficiencia como la estabilidad financiera de las empresas.

Desde una perspectiva ambiental, la reducción del IANC es crucial para disminuir la presión sobre los recursos hídricos locales. Las pérdidas en el sistema de distribución no solo implican un desperdicio económico, sino que también incrementan la sobreexplotación de las fuentes de agua, lo que puede deteriorar los ecosistemas. Según Jonathan D, (2022), una gestión eficiente del agua es clave para la conservación del medio ambiente, especialmente en áreas rurales donde los recursos son limitados.

Otro componente fundamental de este proyecto es la modernización de la infraestructura de distribución de agua en Tinjacá. La implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y la instalación de medidores inteligentes permitirá medir de manera más precisa el agua suministrada y detectar fugas a tiempo. G. Cembrano, (2020), afirman que la adopción de estas tecnologías en la gestión del agua puede reducir hasta un 30% las pérdidas de agua no contabilizada, lo que mejorará significativamente la eficiencia operativa.

La formación del personal técnico de la empresa también es clave para la reducción del IANC. Según Espinal, (2010), la falta de capacitación técnica adecuada es uno de los principales desafíos para la implementación de mejoras tecnológicas en áreas rurales. Este proyecto incluye programas de formación continua para el personal de la empresa, garantizando una gestión más eficiente del sistema de distribución y un mejor uso de los recursos.

Adicionalmente, la sectorización de la red de distribución es una estrategia efectiva para reducir el IANC. Esta medida permite dividir el sistema en sectores más pequeños, lo que facilita la identificación de las áreas con mayores pérdidas y la aplicación de soluciones específicas. María E, (2019), señalan que la sectorización de redes en áreas rurales puede reducir considerablemente las fugas, mejorando la gestión de los recursos hídricos.

El proyecto también contempla un enfoque social, dado que busca asegurar un acceso equitativo al agua potable en Tinjacá. El alto índice de IANC afecta de

manera desproporcionada a las comunidades rurales, donde el acceso al agua es más limitado. Estudios realizados como el de ANDREA S, (2021), destaca que garantizar un acceso equitativo a los recursos hídricos es fundamental para promover la justicia social y mejorar la calidad de vida en las zonas rurales.

La participación de la comunidad local en la gestión del agua es otro aspecto relevante del proyecto. Involucrar a la comunidad en las decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos no solo mejora la transparencia, sino que también fomenta un uso más responsable del agua. Melo, (2012), sostienen que la participación comunitaria es esencial para asegurar la sostenibilidad de los sistemas de distribución en áreas rurales.

La implementación de las estrategias establecidas para la reducción del IANC no solo beneficiará económicamente a la empresa de servicios públicos de Tinjacá, sino que también contribuirá a la protección del medio ambiente y al bienestar de la comunidad. La implementación de soluciones innovadoras como las de Benavides, (1998), apoyadas en tecnologías modernas y datos precisos, permitirá que la empresa enfrente sus desafíos actuales y garantice un suministro de agua seguro y continuo para la población local.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar estrategias para reducir el Índice de Agua No Contabilizada (IANC) en SerTinjacá ESP.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el sistema de potabilización del municipio de Tinjacá.
- Realizar el balance de aguas en el sistema de producción en el Municipio de Tinjacá.
- Calcular y proponer estrategias para la reducción del IANC en la empresa SerTinjacá.

2. MARCO TEÓRICO

En Colombia, la gestión del agua está sustentada en un marco legal que busca optimizar la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental de los servicios de acueducto. La Ley 142 de 1994, por ejemplo, establece directrices claras para que las empresas operen bajo principios de responsabilidad y transparencia. Este marco es crucial para el desarrollo de proyectos como la pasantía en SerTinjacá, cuyo objetivo es la reducción del IANC en el municipio de Tinjacá (Función Pública, 1994).

En este contexto, la Resolución 330 de 2017, emitida por la CRA, establece parámetros específicos para la gestión de pérdidas en los sistemas de acueducto. Esta normativa incentiva el uso de tecnologías avanzadas, como sensores de presión y flujo, así como sistemas de información geográfica (SIG) para mejorar la eficiencia del sistema a través del monitoreo en tiempo real (Minambiente, 2018).

La gestión integral del recurso hídrico en Colombia también está regulada por el Decreto 1575 de 2007, que abarca desde la protección de fuentes de agua hasta la calidad del suministro. Este decreto subraya la importancia de prácticas sostenibles que aseguren la disponibilidad de agua a largo plazo, lo que es fundamental en la gestión del IANC (Función Pública, 2007a).

Adicionalmente, la Resolución 1096 de 2000 establece la necesidad de auditorías y controles regulares para avalar la transparencia y validez en la prestación de servicios de acueducto. En proyectos como el de SerTinjacá, estas normativas son esenciales para la elaboración de planes de acción con metas claras y cronogramas específicos para la reducción del IANC (Función Pública, 2000).

El uso eficiente del agua está regulado por la Ley 373 de 1997, que obliga a las entidades prestadoras de servicios públicos a desarrollar planes de reducción de pérdidas de agua y a fomentar la educación ambiental. Esta ley es clave para promover la concienciación y la capacitación del personal, elementos esenciales para proyectos de gestión del IANC (Función Pública, 1997).

El marco regulatorio se refuerza con el Decreto 3930 de 2010, que aborda la calidad del agua, la protección de las fuentes y la gestión de riesgos. En el caso de Tinjacá, este decreto apoya la implementación de tecnologías de monitoreo y sistemas de gestión de riesgos para mejorar la sostenibilidad del sistema de acueducto (Función Pública, 2017).

La creación del Ministerio del Medio Ambiente, establecida por la Ley 99 de 1993, sentó las bases para la gestión ambiental y la protección de los recursos hídricos. Esta ley es relevante para proyectos de IANC, ya que promueve prácticas

sostenibles que aseguren la conservación de los recursos hídricos (Función Pública, 2010).

El Decreto 2811 de 1974, conocido como el Código Nacional de Recursos Naturales, proporciona el marco general para la protección del agua y otros recursos naturales. En el contexto del IANC, esta normativa respalda la implementación de prácticas sostenibles para reducir las pérdidas de agua (Función Pública, 1993).

En cuanto a la calidad del agua para consumo humano, la Resolución 2115 de 2007 establece los requisitos para asegurar que el agua distribuida cumpla con los estándares sanitarios. Esto garantiza que las medidas para reducir el IANC no comprometan la calidad del agua en proyectos como el de SerTinjacá (Función Pública, 2007).

En 2018, se introdujeron nuevas actualizaciones en la normativa sobre gestión hídrica para integrar tecnologías y prácticas internacionales más avanzadas. Estas reformas son cruciales para la adopción de tecnologías innovadoras que optimizan la eficiencia y la sostenibilidad en la utilización del agua, especialmente en proyectos destinados a reducir el IANC (Minambiente, 2018)

El proyecto de pasantía en SerTinjacá sigue un enfoque sistemático para la identificación, evaluación y mitigación de las pérdidas de agua. Los componentes clave incluyen:

1. **Diagnóstico Inicial:** Auditoría del sistema de distribución para identificar puntos críticos de pérdidas, utilizando tecnología avanzada.
2. **Pérdidas Físicas:** Análisis de fugas en la infraestructura y planificación de la renovación de tuberías.
3. **Pérdidas Comerciales:** Auditoría de sistemas de facturación para identificar errores y fraudes.
4. **Infraestructura y Mantenimiento:** Implementación de programas de mantenimiento preventivo y renovación de infraestructura obsoleta.
5. **Mejora de la Gestión Comercial:** Instalación de medidores modernos y auditorías regulares.
6. **Programas de Capacitación:** Formación continua para el personal en la detección y reparación de fugas.
7. **Campañas de Concientización:** Educación comunitaria sobre la conservación del agua.
8. **Plan de Acción:** Elaboración de un plan detallado con metas y cronogramas específicos.

9. Monitoreo y Evaluación: Seguimiento del progreso y ajustes estratégicos según sea necesario.

El manejo adecuado de los recursos hídricos es fundamental para garantizar el desarrollo sostenible de las comunidades. En este sentido, el IANC se posiciona como un indicador clave para analizar la eficacia en la distribución y el uso del agua. Este índice refleja las pérdidas dentro del sistema de suministro, incluyendo fugas, desperdicios y otros factores que dificultan su contabilización. El presente proyecto tiene como objetivo investigar metodologías avanzadas para calcular el IANC, como evaluaciones de caudal, estudios de presión y la implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real. Además, se analizarán experiencias exitosas de otras empresas de servicios públicos en la reducción de este índice (Bueno-Herrera, 2019).

Para calcular el IANC en la E.S.P, se integrarán datos del sistema de distribución de agua con información sobre el consumo, utilizando herramientas estadísticas y modelos analíticos que permitan identificar las zonas con mayores pérdidas y desarrollar estrategias correctivas. Al contrastar estos resultados con referencias internacionales, será posible definir objetivos alcanzables para disminuir el IANC, promoviendo una gestión más eficiente del agua. Este índice no solo refleja la eficacia operativa, sino que también desempeña un papel fundamental en la sostenibilidad hídrica a largo plazo, al contribuir a la preservación de recursos limitados y fortalecer la resiliencia de las fuentes de agua para las generaciones futuras (Rojas & Fragkou, 2021).

Desde un enfoque teórico, se examinan las causas subyacentes del IANC, tales como la infraestructura obsoleta, la falta de mantenimiento preventivo y las prácticas operativas ineficientes, que generan pérdidas de agua. Este análisis proporcionará una base conceptual para implementar estrategias correctivas más eficaces. Asimismo, se abordarán aspectos socioeconómicos vinculados al IANC, como la equidad y justicia social, entendiendo cómo las pérdidas de agua afectan de manera desigual a diferentes comunidades. De este modo, se resalta la importancia de adoptar estrategias inclusivas que garanticen beneficios equitativos para toda la población (GUZMÁN LÓPEZ, 2011).

En el contexto normativo, se llevará a cabo un análisis detallado de las leyes y regulaciones que rigen la gestión de recursos hídricos y residuos sólidos, tanto a nivel local, regional como nacional. Este examen abarcará las responsabilidades legales específicas de la empresa de servicios públicos en cuanto a cumplimiento ambiental y conservación de los recursos naturales. También se tomarán en cuenta estándares internacionales y certificaciones pertinentes que podrían optimizar la calidad de los servicios proporcionados y mejorar la imagen de la empresa tanto a nivel local como internacional. (Martínez Reyes, 2020).

La gestión de plantas compactas, un componente importante en la operación eficiente de los sistemas de acueducto también será abordada. Se destacará la importancia de elaborar manuales de mantenimiento preventivo, que abarquen aspectos mecánicos, eléctricos e hidráulicos, para evitar posibles fallas en el sistema. Un plan de emergencia robusto basado en prácticas preventivas asegurará el funcionamiento continuo de la planta de tratamiento y minimizará los costos asociados a reparaciones. Además, según la (DAYANA L, 2016), la aplicación de prácticas preventivas en el mantenimiento no solo asegurará el funcionamiento eficiente de la planta, sino que también contribuirá a la prolongación de su vida útil.

El diseño de sistemas de captación de fuentes hídricas se fundamentará en teorías de gestión de recursos hídricos, considerando análisis de caudales y la selección de tecnologías adecuadas para garantizar un suministro de agua de calidad a la comunidad. En el ámbito de servicios públicos, el Fondo de Solidaridad desempeña un papel clave en la redistribución de recursos para garantizar el acceso a servicios esenciales a las poblaciones más vulnerables. Este mecanismo se basa en principios de equidad y justicia social, alineándose con teorías de justicia distributiva que abogan por una provisión equitativa de servicios como el agua la implementación de subsidios se justifica teóricamente dentro de la economía del bienestar, dado que permite corregir disparidades económicas y asegurar que todos los sectores sociales accedan a servicios básicos. Además, la adopción de un enfoque experiencial de aprendizaje permitirá al pasante adquirir habilidades prácticas a través de la experiencia en la resolución de problemas, fortaleciendo su formación integral (Jordi Morató, 2021).

2.1. ESTADO DEL ARTE

Para realizar la revisión bibliográfica, se realizaron a cabo búsquedas exhaustivas en diversas bases de datos, como Scopus, SciELO, ScienceDirect y Google Académico. Estas búsquedas incluyen fuentes internacionales, nacionales y locales, con el propósito de abordar de manera integral la problemática de investigación relacionada con la empresa de servicios públicos en el municipio de Tinjacá, Boyacá.

El IANC es un desafío crítico que afecta la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los sistemas de distribución de agua. El IANC se refiere al agua producida que no genera ingresos debido a fugas, robos, y errores de medición. Reducir este índice es fundamental para asegurar el uso eficiente de los recursos hídricos, especialmente en un contexto de creciente demanda y cambio climático. Este apartado examina la literatura existente y las tendencias tecnológicas para abordar el IANC, con un enfoque en estudios regionales, nacionales e internacionales, identificando brechas de conocimiento y oportunidades de innovación.

A nivel global, la reducción del IANC ha sido objeto de numerosas investigaciones y desarrollos tecnológicos. La (Alegre & International Water Association., 2006). A sido pionera en la estandarización de metodologías para el control de pérdidas de agua, como el modelo de balance de agua y la implementación de auditorías de sistemas. Un estudio realizado por (Charalambous, 2014) En el marco de la IANC destaca la importancia de una gestión integral de las pérdidas de agua, que incluye la identificación de fugas, la gestión de la presión y la mejora de la precisión de la medición. Tecnologías como los sensores de detección de fugas, los sistemas de monitoreo en tiempo real y el análisis de posibles conexiones fraudulentas han sido implementadas con éxito en varios países, mostrando reducciones significativas en el IANC (Matthews, 2015).

Tabla 3 Investigaciones clave sobre la reducción del IANC y su impacto en la gestión hídrica.

Nombre de la Investigación	Objetivo de la Investigación	Aporte a la Investigación
Título: Vulnerability based management of water resources systems Autor: (V. K. Kanakoudis, 2004)	El objetivo principal de este estudio es llevar a cabo una evaluación exhaustiva del Índice de Agua No Contabilizada (IANC) en diferentes redes de acueducto. Esto incluye la identificación precisa de las pérdidas de agua, tanto técnicas como comerciales, y la implementación de estrategias efectivas para mitigar estas pérdidas. La investigación se enfoca en el análisis de datos históricos y actuales para entender los patrones de consumo y las causas subyacentes del IANC, con el fin de proponer mejoras en los métodos de medición y control del agua.	Este estudio ofrece una metodología detallada para la identificación y análisis de pérdidas de agua, subrayando la importancia de una medición precisa y el uso de tecnologías avanzadas para el monitoreo en tiempo real. Los resultados proporcionan directrices claras para la implementación de estrategias efectivas de reducción del IANC, y resaltan la importancia de abordar tanto las pérdidas técnicas como comerciales. Las soluciones propuestas pueden ser adaptadas a diferentes contextos, mejorando la eficiencia del sistema de acueducto y promoviendo un uso más sostenible del recurso hídrico.
Título: Beneficios Ambientales de la Reducción de Pérdidas de Agua Potable en la Red de Distribución. Autor: (Mandujano M, 2021)	Esta investigación explora cómo la reducción del Índice de Agua No Contabilizada afecta las comunidades rurales en términos de bienestar social y desarrollo económico. El estudio examina cómo una gestión hídrica más eficiente puede influir en la equidad del acceso al agua y en la mejora del desarrollo económico local.	El aporte significativo de este estudio radica en su capacidad para demostrar cómo una reducción efectiva del IANC puede tener efectos positivos en el bienestar de las comunidades rurales. Ofrece evidencias sobre cómo mejorar la gestión hídrica no solo contribuye a una distribución más equitativa del agua, sino que también puede impulsar el

Nombre de la Investigación	Objetivo de la Investigación	Aporte a la Investigación
	Además, analiza cómo la reducción de pérdidas de agua puede impactar en la sostenibilidad y en la resiliencia de las comunidades rurales frente a problemas hídricos.	desarrollo económico local. La investigación proporciona información valiosa para diseñar políticas y estrategias que optimicen el uso del agua y mejoren la calidad de vida en áreas rurales, destacando la interrelación entre la gestión eficiente del agua y el desarrollo social y económico.
Título: Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano Autor: (Alberto V, 2016)	El objetivo de este estudio es investigar la aplicación de tecnologías emergentes para la gestión de pérdidas de agua en sistemas de distribución. Esto incluye la implementación de sensores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real para la detección y análisis de fugas. La investigación se centra en evaluar la efectividad de estas tecnologías en la reducción del IANC y en mejorar la precisión de la medición del consumo de agua.	Este estudio proporciona una visión integral sobre las tecnologías innovadoras para la gestión de pérdidas de agua. Introduce herramientas avanzadas como sensores de fugas y sistemas automatizados de monitoreo que permiten una detección más precisa y rápida de las fugas, lo que a su vez facilita la implementación de medidas correctivas de manera oportuna. Los hallazgos destacan cómo estas tecnologías pueden mejorar significativamente la eficiencia operativa y reducir el IANC en sistemas de acueducto. La investigación ofrece un enfoque práctico para la integración de tecnologías avanzadas en la gestión del agua, contribuyendo a una reducción más efectiva de las pérdidas y a una mejor administración de los recursos hídricos.

Nombre de la Investigación	Objetivo de la Investigación	Aporte a la Investigación
Título: Water supply management indicators for urban areas to assess its sustainability Autor: (Ramón R, 2014)	Este estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de los sistemas de distribución de agua en contextos urbanos. Se centra en identificar las causas subyacentes del Índice de Agua No Contabilizada y en proponer mejoras en la infraestructura y en los procedimientos operativos para optimizar la eficiencia del suministro de agua. La investigación examina el impacto de las fallas en la infraestructura y cómo estas afectan la gestión y distribución del agua en áreas densamente pobladas.	La investigación proporciona un análisis detallado de las deficiencias en la infraestructura de distribución de agua en áreas urbanas, identificando los factores que contribuyen al IANC. Ofrece recomendaciones para la mejora de la infraestructura y de los procedimientos operativos, con el fin de optimizar la eficiencia del sistema de distribución. Los hallazgos son cruciales para diseñar intervenciones que aborden las pérdidas de agua en entornos urbanos, mejoren la sostenibilidad del suministro de agua y reduzcan el impacto ambiental asociado con el IANC. La investigación contribuye a una mejor comprensión de los desafíos específicos en las ciudades y propone soluciones prácticas para mejorar la gestión del agua.
Título: Programa de reducción de pérdidas de agua en la red de distribución del sistema de acueducto del municipio de San Gil Autor: (Paola M, 2011)	El objetivo principal de esta investigación es examinar y evaluar diversas estrategias para reducir el Índice de Agua No Contabilizada en redes de acueducto en áreas rurales. Esto incluye la prevención de fugas, el mantenimiento proactivo del sistema y la gestión eficiente del agua. El estudio busca identificar las mejores prácticas y enfoques para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en regiones con recursos limitados y desafíos específicos relacionados con el abastecimiento de agua.	Esta investigación proporciona una guía detallada sobre estrategias efectivas para la reducción del IANC en zonas rurales. Destaca prácticas de mantenimiento preventivo y técnicas de detección temprana de fugas, que son esenciales para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de acueducto en áreas con recursos limitados. Los hallazgos ofrecen recomendaciones prácticas que pueden ser implementadas para optimizar el uso del agua y reducir las pérdidas en entornos rurales, contribuyendo a una gestión hídrica más eficiente y a una mayor resiliencia de las comunidades rurales frente a problemas hídricos.

Nombre de la Investigación	Objetivo de la Investigación	Aporte a la Investigación
Título factibilidad económica de la localización de Fugas no detectables. Autor: (Laverde, 2009)	El objetivo de este estudio es desarrollar y validar modelos predictivos que utilizan datos históricos y en tiempo real para anticipar y gestionar el Índice de Agua No Contabilizada. La investigación se enfoca en crear herramientas predictivas que permitan una gestión proactiva de las pérdidas de agua, facilitando la toma de decisiones basada en análisis predictivos y datos operacionales.	Este estudio introduce modelos predictivos avanzados para la gestión del IANC, proporcionando herramientas que permiten anticipar problemas y adoptar medidas preventivas antes de que se conviertan en pérdidas significativas. Los modelos basados en datos históricos y en tiempo real mejoran la capacidad para gestionar el agua de manera más eficiente y proactiva, optimizando el uso de los recursos y reduciendo el IANC de manera efectiva. La investigación contribuye a una gestión más inteligente y adaptativa del agua, ofreciendo soluciones basadas en datos que pueden ser integradas en la toma de decisiones para mejorar la eficiencia del sistema de acueducto.
Título: Análisis del costo de producción de agua potable y el Índice de pérdidas por agua no contabilizada. Autor: (Ramón R, 2014)	Este estudio analiza el impacto de diferentes tecnologías de detección de fugas en la reducción del Índice de Agua No Contabilizada. Examina cómo herramientas tecnológicas avanzadas, como sistemas de monitoreo continuo y sensores acústicos, pueden mejorar la detección y gestión de fugas en redes de distribución de agua.	El aporte principal de este estudio es la evaluación detallada de la eficacia de las tecnologías de detección de fugas en la reducción del IANC. La investigación demuestra cómo la implementación de tecnologías como sensores acústicos y sistemas de monitoreo continuo puede llevar a una detección más precisa y eficiente de las fugas, contribuyendo significativamente a la reducción de las pérdidas de agua. Estos hallazgos ofrecen una base sólida para la adopción de tecnologías avanzadas en la gestión del agua, mejorando la capacidad de los sistemas de acueducto para mantener la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental asociado con el IANC.

Fuente: Autor

En la gestión del IANC, la renovación de medidores de agua resulta crucial para mejorar la eficiencia operativa y reducir pérdidas en el sistema de acueducto. Los estudios recientes indican que el reemplazo de medidores viejos por dispositivos más precisos puede mejorar significativamente la medición del consumo y reducir las pérdidas no facturadas. Según investigaciones, el uso de tecnologías avanzadas como sistemas de monitoreo en tiempo real y detección acústica de fugas ha demostrado reducir las pérdidas de agua en un 26% en diversas localidades, incluyendo sistemas en Turquía, donde se implementó la reducción de presión y se mejoraron las operaciones de detección de fugas (V. Kanakoudis & Gonelas, 2016).

Además, se ha observado que el reemplazo sistemático de medidores obsoletos no solo ayuda a minimizar las pérdidas reales, sino que también incrementa la precisión en la facturación, permitiendo una mejor recuperación de costos operativos. Esto, a su vez, fortalece la sostenibilidad financiera del sistema de acueducto y permite una distribución más equitativa del recurso hídrico, lo que es especialmente relevante en áreas rurales como Tinjacá, Boyacá, donde los recursos son limitados y se depende de políticas públicas para mantener la eficiencia del servicio (Pointl & Fuchs-Hanusch, 2021).

Tabla 4 Aportes de investigativos en torno la renovación de medidores y la capacitación de fontaneros en la gestión del IANC

NOMBRE DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN	APORTE DE LA INVESTIGACIÓN
Título: Challenges in Water Loss Management of Water Distribution Systems in Developing Countries. Autores: (Dighade & Kadu, 2007)	Este estudio tiene como objetivo principal evaluar el impacto de la renovación de medidores de agua en sistemas de acueducto, enfocándose en los beneficios de reemplazar dispositivos obsoletos por tecnologías más avanzadas y precisas. El objetivo incluye medir cómo estos cambios tecnológicos pueden reducir las pérdidas de agua no contabilizada y mejorar la precisión en la medición de consumo en diversos entornos.	El estudio demostró una reducción del 26% en las pérdidas de agua mediante la renovación de medidores y el control de presión, aportando evidencia sólida sobre los beneficios operativos y financieros de la tecnología de medición avanzada. Además, los resultados mostraron que la implementación de tecnologías avanzadas, como los medidores inteligentes, no solo mejora la eficiencia operativa al reducir pérdidas no contabilizadas, sino que también contribuye a una mejor gestión financiera y operativa del sistema de acueducto.

Título: Enhancing Water Meter In-Service Testing and Replacement Decisions. Autor: (Johnson, 2019)	El objetivo de esta investigación es evaluar cómo la renovación de medidores de agua y la introducción de tecnologías avanzadas pueden mejorar la sostenibilidad financiera de los sistemas de acueducto, con especial énfasis en áreas rurales y de recursos limitados. El estudio pretende analizar cómo la implementación de medidores inteligentes, la detección de fugas en tiempo real, y otros dispositivos modernos pueden incrementar la eficiencia operativa, mejorar la precisión en la facturación, y garantizar una distribución equitativa del agua.	La investigación subraya que la renovación de medidores y la adopción de tecnologías avanzadas no solo mejoran la precisión en la facturación y reducen pérdidas de agua, sino que también fortalecen la sostenibilidad financiera de los sistemas de acueducto. El estudio reveló que las inversiones en tecnologías como medidores inteligentes pueden generar un retorno significativo a través de la reducción de pérdidas no contabilizadas y la mejora en la recuperación de costos operativos.
Título: Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. Autores: (Britton, 2013)	Esta investigación busca examinar el impacto de las tecnologías de detección de fugas, como los sistemas acústicos y el monitoreo en tiempo real, en la reducción del IANC. El objetivo incluye identificar las principales causas de las pérdidas de agua en diferentes tipos de redes de distribución, así como evaluar la efectividad de las tecnologías implementadas en la detección de fugas no visibles en tuberías subterráneas y otras infraestructuras	La investigación aportó evidencia contundente de que las tecnologías de detección de fugas, como los sistemas acústicos y el monitoreo en tiempo real, son altamente efectivas para identificar y reparar fugas, reduciendo las pérdidas de agua hasta en un 30%. Además, se destacó que la integración de estas tecnologías en la gestión del sistema de acueducto permite una mayor eficiencia operativa y una mejor planificación estratégica
Título Reducing Non-Revenue Water. Autores: (Ahmed, 2024)	El objetivo de este trabajo es investigar la relación entre la gestión de la presión en las redes de distribución de agua y la reducción del Índice de Agua No Contabilizada (IANC). El estudio busca entender cómo la reducción y regulación de la presión en áreas estratégicas puede disminuir las pérdidas por fugas y el desgaste de las infraestructuras.	El estudio aportó datos valiosos sobre cómo la gestión de la presión puede reducir el IANC en un 25%, al mismo tiempo que mejora la durabilidad de las infraestructuras y reduce las pérdidas por fugas. La investigación también mostró que la combinación de tecnologías de monitoreo de presión y renovación de medidores contribuye significativamente a la optimización de la eficiencia operativa.

Título: A Strategy to Assess Water Meter Performance.	El objetivo de esta investigación es estudiar cómo la implementación de medidores inteligentes puede mejorar la precisión en la medición del consumo de agua y contribuir a la reducción del IANC. El estudio se enfoca en cómo estos dispositivos permiten una lectura automática y en tiempo real del consumo, facilitando la detección de fugas y la identificación de anomalías en el sistema de acueducto.	La investigación confirmó que los medidores inteligentes ofrecen una lectura más precisa del consumo de agua y facilitan la detección temprana de fugas, lo que contribuye a una reducción significativa del IANC. Además, el estudio destacó que la implementación de estos dispositivos genera un retorno económico a través de una facturación más precisa y la reducción de pérdidas, mejorando la sostenibilidad financiera del sistema.
Título: Water Efficiency and the Professional Plumbing Sector: How Capacity and Capability Influence Knowledge Acquisition and Innovation.	El objetivo de esta investigación es evaluar cómo las políticas públicas pueden incentivar la renovación de medidores de agua en áreas rurales y cómo estas políticas pueden influir en la reducción del IANC. El estudio explora diferentes enfoques y estrategias de políticas públicas para promover la inversión en tecnologías de medición avanzada en contextos rurales, donde los recursos son limitados	La investigación aportó antecedentes significativos sobre cómo las políticas públicas pueden estimular la renovación de medidores en áreas rurales, mostrando que los incentivos gubernamentales y las subvenciones pueden facilitar la implementación de tecnologías avanzadas. Además, el estudio demostró que la adopción de medidores modernos en contextos rurales puede reducir significativamente el IANC y mejorar la eficiencia operativa del sistema de acueducto.
Título Practitioners' Perspective on the Prevalent Water Quality Management Practices for Legionella Control in Large Buildings in the United States.	El objetivo de este estudio es investigar el impacto de la integración de tecnologías avanzadas en la gestión del agua, centrándose en cómo la combinación de medidores inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real, y tecnologías de detección de fugas puede mejorar la eficiencia del sistema de acueducto y reducir el IANC.	El estudio proporcionó evidencia detallada sobre los beneficios de integrar tecnologías avanzadas en la gestión del agua, mostrando mejoras significativas en la precisión de medición y la reducción de pérdidas de agua. La investigación destacó que la implementación de estas tecnologías puede llevar a una mayor eficiencia operativa y una mejor sostenibilidad financiera del sistema de acueducto.

Fuente: Autor

La capacitación en fontanería, a través de cartillas y cursos especializados, es esencial para promover prácticas adecuadas en la gestión de plantas de tratamiento de agua potable. Estas herramientas proporcionan tanto a operadores como a técnicos el conocimiento necesario para realizar la instalación y mantenimiento de sistemas hidráulicos, previniendo problemas como fugas o pérdidas de agua. Materiales formativos, como los suministrados por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), cubren aspectos fundamentales del trabajo en fontanería, incluyendo la correcta manipulación de herramientas, el uso adecuado de materiales y la identificación temprana de fallas en la infraestructura hidráulica, lo que garantiza la eficiencia operativa de las instalaciones (Elton & Wolfe, 2012).

Por otro lado, la actualización constante mediante cursos avanzados permite a los operadores familiarizarse con tecnologías innovadoras para la detección de fugas y el monitoreo en tiempo real, lo que contribuye a una mejor gestión del IANC. La aplicación de estos conocimientos no solo mejora la precisión y eficiencia en las plantas de tratamiento, sino que también optimiza la sostenibilidad financiera del sistema, al reducir desperdicios y mejorar el control de los recursos hídricos. De esta manera, las capacitaciones continuas se vuelven un pilar fundamental para el correcto funcionamiento y la preservación de la infraestructura hídrica en el largo plazo (P Mukheibir, 2012).

2.1.1. MARCO LEGAL

El proyecto para disminuir el IANC se enfoca en diseñar estrategias y tecnológicas y operativas que permitan gestionar el agua de manera más eficiente. La estrategia aborda diversas áreas clave, como mejorar la precisión en la medición del IANC, detectar fugas rápidamente y optimizar la red de distribución.

Para lograrlo, es necesario realizar un análisis profundo del agua que no se contabiliza, estableciendo patrones de uso y pérdidas, tanto por razones técnicas como comerciales, mientras se tiene en cuenta la variabilidad estacional del sistema. Al mismo tiempo, se requiere una revisión detallada del estado actual de la infraestructura, para identificar las zonas donde las pérdidas de agua son más graves. La utilización de tecnología avanzada para el monitoreo será fundamental para implementar sistemas que detecten fugas de manera rápida y eficiente (Alzamora, 2006).

Además, es crucial comprender cómo el IANC afecta a nivel social y económico, especialmente en las zonas rurales. Las acciones deben dirigirse a asegurar que las soluciones promuevan mayor equidad y sostenibilidad en las comunidades afectadas (Claudia P, 2014). Estos estudios sentarán las bases para poner en marcha estrategias efectivas que se ajusten a las necesidades y condiciones locales, mejorando no solo la operación del sistema, sino también el bienestar de quienes dependen de él.

Tabla 5 Marco jurídico de la investigación.

Norma	Observaciones
Ley 142 de 1994	Regula la prestación de servicios públicos domiciliarios, incluyendo el suministro de agua potable y alcantarillado. Establece principios y directrices clave para asegurar un servicio eficiente y equitativo en la gestión del agua.
Ley 373 de 1997	Obliga a integrar programas de uso eficiente y ahorro de agua en planes ambientales regionales y municipales, estableciendo un marco para optimizar la gestión del recurso hídrico y minimizar las pérdidas de agua en los acueductos.
Resolución CRA 825 de 2017	Define la metodología tarifaria para las entidades que proveen servicios de acueducto, estableciendo criterios para asegurar la sostenibilidad financiera de los sistemas de agua potable, con especial atención a zonas urbanas y rurales.
Ley 1450 de 2011	Plan Nacional de Desarrollo 2011-2014 que incluye políticas orientadas a la ampliación de la cobertura de servicios públicos, como el agua potable, en regiones rurales y sugiere acciones para mejorar la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos.
Resolución 2115 de 2007	Regula los niveles máximos de contaminantes permitidos en el agua potable, actualizando los estándares de calidad del agua en Colombia, con impacto en la mejora de la gestión del recurso hídrico.
Decreto 1575 de 2007	Establece los criterios de vigilancia y control de la calidad del agua potable, asignando responsabilidades a las entidades prestadoras de servicios y territoriales, lo cual tiene un impacto directo en la reducción del IANC.

Norma	Observaciones
Ley 1549 de 2012	Modifica la Ley 99 de 1993, promoviendo la gestión integral del recurso hídrico, incluyendo la conservación de cuencas hidrográficas y la participación de las comunidades en la protección del agua.
Ley 1955 de 2019 (PND 2018-2022)	Incluye políticas para mejorar la cobertura y calidad de los servicios de agua potable y saneamiento en áreas rurales, destacando la reducción de pérdidas de agua y el fortalecimiento de la infraestructura hídrica.
Resolución CRA 953 de 2019	Establece nuevos criterios de facturación para los servicios de acueducto, ajustando tarifas que aseguran la sostenibilidad de los sistemas de agua potable, y enfocándose en la transparencia de los cobros relacionados con el consumo de agua.
Decreto 2412 de 2015	Reglamenta los Planes Departamentales de Agua y Saneamiento, promoviendo una gestión eficiente del agua potable y alcantarillado, con miras a reducir el IANC en diversas regiones.
Resolución 1207 de 2014	Establece los planes de contingencia para garantizar la continuidad del servicio de acueducto y alcantarillado en caso de emergencias, lo que tiene implicaciones directas en la reducción de las pérdidas de agua.
Ley 2010 de 2019 (Ley de Financiamiento)	Introduce incentivos fiscales para proyectos de infraestructura que promuevan tecnologías limpias y la reducción del impacto ambiental, específicamente en proyectos de acueducto y alcantarillado que buscan mejorar la eficiencia del sistema y reducir el IANC.

Fuente: El autor.

3. DISEÑO MEODOLÓGICO

En esta parte del documento, se definen los objetivos de la investigación experimental y se identifican los posibles obstáculos que podrían presentarse al intentar desarrollar dichos objetivos. Se subraya brevemente la relevancia del estudio y se ofrece un marco contextual para entender los enfoques metodológicos utilizados.

3.1. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN.

El diagnóstico del sistema de potabilización en la planta de tratamiento de Tinjacá es un proceso crucial que permite evaluar su estado actual y detectar posibles áreas de mejora. El primer paso consiste en recopilar toda la información técnica disponible, como manuales de operación, registros de mantenimiento y análisis históricos de la calidad del agua. Estos documentos proporcionan una base de referencia que guiará el desarrollo de las siguientes fases del análisis, permitiendo tener una visión integral del sistema.

Posteriormente, se realiza una inspección física detallada de los distintos componentes de la planta, que incluye la revisión de filtros, bombas, tuberías y otros elementos clave del sistema. Durante esta etapa, se utilizan instrumentos para medir caudales, presiones y otros parámetros operativos. En este sentido, el caudal se determinó mediante la técnica de aforo, un procedimiento que consiste en medir el flujo de agua en puntos estratégicos del sistema. Estos datos son esenciales para identificar problemas que puedan estar afectando la eficiencia de la planta, como fallos mecánicos o deterioro en las estructuras.

Para complementar esta inspección, se ejecutan pruebas de funcionamiento bajo diversas condiciones de operación. Estas pruebas permiten observar cómo responde el sistema a diferentes cargas de trabajo y ayudan a evaluar el rendimiento de equipos críticos, como los sistemas de filtración. Además, es fundamental verificar que los procedimientos de retrolavados se estén ejecutando de manera correcta para evitar que los filtros se saturen y reduzcan la capacidad de tratamiento.

Un aspecto importante del diagnóstico es la evaluación de la calidad del agua en diferentes etapas del proceso de potabilización. Para ello, se toman muestras de agua que son sometidas a análisis químicos y microbiológicos, lo que permite comprobar que los procesos de coagulación, floculación y desinfección estén funcionando adecuadamente y que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano.

En paralelo, se realiza una revisión exhaustiva de la infraestructura hidráulica del sistema, que incluye la inspección de tuberías, válvulas y tanques de almacenamiento. Durante esta revisión, se busca identificar fugas, corrosión o cualquier signo de deterioro estructural que pueda comprometer el rendimiento del sistema o la calidad del agua suministrada. El uso de herramientas avanzadas, como cámaras de inspección o pruebas de presión, resulta de gran utilidad en esta etapa para detectar problemas ocultos.

Además, se presta atención especial a los macromedidores instalados en la planta. Estos dispositivos son esenciales para el control del volumen de agua producida y distribuida. Si se detecta que no están registrando correctamente los caudales, es necesario sustituirlos por equipos más precisos y modernos, lo que permitirá mejorar la gestión del recurso hídrico.

Un componente clave del diagnóstico es el cálculo del IANC. Este indicador refleja las pérdidas de agua en el sistema y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%IANC = \left(\frac{\text{Volumen de Agua Producida} - \text{Volumen de Agua Facturada}}{\text{Volumen de Agua Producida}} \right) * 100$$

Ecuación 1 Balance del IANC

Se realizará el cálculo para identificar el IANC en Tinjacá. Si dicho cálculo arroja un porcentaje elevado, esto indicará que el sistema no cumple con la norma y será necesario implementar estrategias para abordar las pérdidas. Las causas de un IANC elevado generalmente se atribuyen a tres factores principales: fugas en las tuberías debido al deterioro de la infraestructura; conexiones ilegales que desvían agua de manera no controlada; y el uso de medidores antiguos que no registran con precisión el consumo. Identificar y corregir estos problemas es fundamental para mejorar la eficiencia del sistema y reducir las pérdidas de agua.

3.2. Estrategias para reducir el IANC

La reducción del IANC es una prioridad fundamental para mejorar la gestión del agua en Tinjacá, ya que dicho índice representa las pérdidas de agua que no se registran ni contabilizan, lo cual afecta directamente la eficiencia del sistema y disminuye la disponibilidad del recurso hídrico para la comunidad. La relevancia de este problema radica en su impacto tanto en la sostenibilidad del suministro de agua como en el costo operativo para las entidades encargadas de su distribución. Por lo tanto, la implementación de soluciones dirigidas a minimizar el IANC no solo se traduce en mejoras económicas, sino también en una mayor equidad y accesibilidad del servicio para los habitantes del municipio.

Una de las medidas más recomendadas para hacer frente a este desafío es la modernización de los sistemas de medición de agua. Los medidores antiguos, debido a su desgaste y obsolescencia, tienden a ofrecer registros imprecisos, lo que contribuye significativamente al incremento del IANC. La inversión en tecnologías más avanzadas y precisas de medición es clave para garantizar un control más eficiente del consumo. Al adoptar medidores más modernos, se logra obtener datos mucho más precisos sobre el uso del agua, lo que facilita la detección de irregularidades, como fugas o conexiones no autorizadas. Además, la instalación de estos dispositivos no solo optimiza la cuantificación del recurso, sino que también genera reportes más actualizados y detallados sobre los patrones de consumo, brindando así una mejor planificación y control por parte de las autoridades.

Teniendo en cuenta el monitoreo constante mediante tecnologías avanzadas, ofrece beneficios significativos en la identificación de pérdidas de agua en las redes de distribución. Por ejemplo, el uso de geófonos, que permiten detectar fugas ocultas bajo la superficie, ha demostrado ser una estrategia sumamente eficaz para mitigar las pérdidas que de otro modo pasarían desapercibidas. El uso de este tipo de herramientas permite intervenir de manera más rápida y precisa, evitando que pequeños escapes se conviertan en grandes problemas con el tiempo. Al reducir de forma preventiva las fugas, no solo se mejora el desempeño general del sistema de distribución, sino que también se incrementa la satisfacción de los usuarios al contar con un servicio más confiable y continuo.

Otro aspecto esencial en la reducción del IANC es la formación del personal técnico encargado de operar y mantener las redes de distribución y los sistemas de tratamiento de agua. En este sentido, se llevó a cabo un curso especializado en fontanería y potabilización del agua dirigido a los fontaneros del municipio. Este curso tuvo como objetivo dotar a los trabajadores de las competencias necesarias para mejorar la eficiencia operativa de los sistemas, capacitándolos en el uso adecuado de tecnologías avanzadas de detección de fugas y en la optimización de los procesos de potabilización. Gracias a esta formación, el personal técnico ha adquirido conocimientos clave para prevenir pérdidas de agua y mejorar el mantenimiento preventivo de la infraestructura, lo que contribuye directamente a la reducción del IANC y a un mejor rendimiento general del sistema.

Además de la capacitación del personal, la optimización de la infraestructura existente es fundamental para reducir las pérdidas. Las tuberías y redes de distribución que se encuentran en mal estado o que no han recibido mantenimiento adecuado son una fuente significativa de pérdidas de agua. La modernización de estas estructuras, junto con un plan de mantenimiento periódico, contribuirá a que el sistema de acueducto funcione con mayor eficiencia y a que las pérdidas de agua se reduzcan considerablemente.

3.3. BALANCE DEL IANC TENIENDO EN CUENTA LAS ESTRATEGIAS ESTABLECIDAS.

El balance hídrico realizado en el sistema de producción de agua de Tinjacá fue un paso clave para comprender la magnitud de las pérdidas y establecer estrategias correctivas. Al ejecutar este análisis, se determinó que el IANC alcanzaba un preocupante 41%. Este elevado porcentaje indicaba serias deficiencias en la gestión del recurso hídrico, afectando tanto la cantidad de agua disponible como la eficiencia del sistema de distribución.

Entre las principales causas de este alto IANC, se detectaron conexiones clandestinas en la red de distribución. Estas conexiones no autorizadas no solo comprometen el volumen de agua disponible para el suministro regular, sino que también deterioran la infraestructura al forzar sobrecargas en las redes, lo que eventualmente afecta la calidad del servicio y pone en riesgo la sostenibilidad del sistema. La eliminación de estas conexiones fue un paso prioritario en las intervenciones.

Además, el diagnóstico evidenció que la red de aducción y distribución presentaba daños estructurales importantes, como fugas significativas en las tuberías. Estas pérdidas no visibles agravaban la situación, ya que el agua se perdía antes de llegar a los usuarios, lo cual incrementaba el IANC y reducía la cantidad de agua potable disponible. Para contrarrestar este problema, se realizaron labores de mantenimiento, reparación y modernización de la red, mejorando la capacidad del sistema para conducir el agua eficientemente.

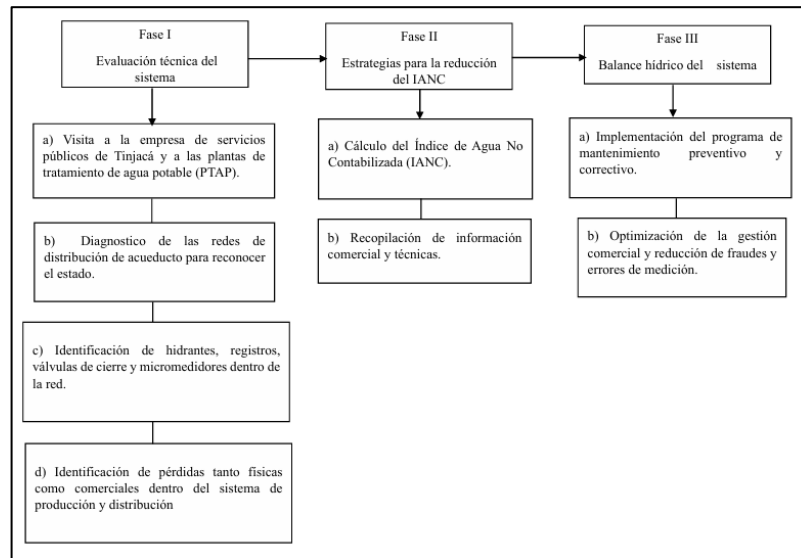
Otro aspecto crítico identificado en el balance fue la obsolescencia de los medidores de agua. Muchos de estos dispositivos, en uso durante años, ya no ofrecían lecturas precisas, lo que dificultaba tener un control real sobre el consumo y la distribución. Ante esta situación, se tomó la decisión de reemplazar estos medidores por tecnologías de medición más modernas y precisas. Este cambio no solo permitió obtener lecturas confiables, sino que también ayudó a detectar consumos irregulares y a corregir el desperdicio de agua en puntos específicos de la red.

Con las fugas detectadas y reparadas, la red de aducción y distribución optimizada, y los medidores actualizados, se procedió a realizar un nuevo balance hídrico. Los resultados reflejaron una reducción significativa en el IANC, que descendió a un 5%. Esta disminución demostró la efectividad de las medidas implementadas, marcando un avance notable en la eficiencia del sistema y en la gestión del agua potable en Tinjacá.

La baja del IANC al 5% representa una mejora considerable en la sostenibilidad del recurso hídrico. Esto no solo garantiza una mayor cantidad de agua disponible para la comunidad, sino que también fortalece la infraestructura del sistema, prolongando su vida útil y mejorando la calidad del servicio prestado. El éxito de este proceso

resalta la importancia de un diagnóstico adecuado y de la implementación de estrategias técnicas adecuadas para asegurar una gestión óptima del agua.

Ilustración 2 Fase Metodológica



Fuente: Autor

La metodología aplicada para evaluar el sistema de distribución de agua en Tinjacá fue clave para identificar con precisión el IANC y trazar un plan de acción. A través de un análisis técnico detallado de las redes y componentes del sistema, se lograron detectar tanto las pérdidas físicas, como fugas, y las comerciales, como errores de facturación. Esto permitió diseñar estrategias específicas para reducir dichas pérdidas, enfocándose en el mantenimiento preventivo y la optimización de los sistemas de medición, lo cual no solo mejoró la eficiencia del servicio, sino que también ayudó a conservar el recurso hídrico en una zona afectada por la escasez.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

FASE 1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN HE IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA

4.1.1. IANC

En Tinjacá, el suministro de agua cubre el 100% de las áreas urbanas y se estima que llega al 40% en las zonas rurales. Durante el año 2023, se registró un caudal promedio mensual de 24.480 m³, lo que refleja un desafío considerable en la gestión del IANC, que se encuentra en un 41%. Según información de la Secretaría de Salud de Boyacá (2023), el sistema de acueducto dispone de una planta principal de tipo convencional, situada en el casco urbano.

Tabla 6 Información General

A. INFORMACION GENERAL					
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimiento
V1	Población urbana	Hab	3050	Proyecciones del DANE para 2023 con base en el censo de 2018	Información DANE
V2	Número de domiciliarios (Incluye viviendas, establecimientos comerciales, industriales oficiales e institucionales)	Uni	1320	Suscriptores acueductos SuperINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS	DANE censo de hogares o POT

Fuente: Autor

Tabla 7 Información Comercial

B. INFORMACION COMERCIAL					
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimiento
V3	Número de conexiones o usuarios registrados	Uni	1320.0	ESP	Formato DE 09
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento	Uni	1260.0	ESP	Formato DE 09

V5	Número de conexiones con medidor parado	Uni	60.0	ESP	Formato DE 09
V6	Número de conexiones sin medidor	Uni	7.0	Fórmula	V3- (V4+V5)
V7	Número estimado de conexiones sin medidor	Uni	4.0	Fórmula o Censo de usuarios	V2-V3
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento	m3/mes	472 2.0	ESP	Formato DE 10 (Total consumo mes)
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado	m3/mes	0.0	ESP	Formato DE 10
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor	m3/mes	0.0	ESP	Formato DE 10
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque	m3/mes	0.0	ESP	
V12	Volumen total facturado	m3/mes	472 2.0	ESP	V8+V9+V10+V11
V13	Error promedio en los micromedidores	%	5.0	Banco medidores	13 ensayos a diferentes caudales por medidor
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento	m3/mes	495 8.1	Fórmula	$V8*(1+V13/100)$
V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento	m3/mes-usuario	3.93 5	Fórmula	V14/V4
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición	Factor	-	ESP	Información comercial
V16	Consumo real por usuario sin medición	m3/mes-usuario	0.0	ESP	Formato DE 11
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado	m3/mes	236. 1	Fórmula	V15*V5
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medición	m3/mes	0.0	ESP	Formato DE 11
V19	Pérdidas por error en micromedición	m3/mes	236. 1	Fórmula	V14-V8
V20	Pérdidas por usuario sin medición	m3/mes	0.0	Fórmula	V18-V10
V21	Pérdidas por usuarios con medidor parado	m3/mes	0.0	Fórmula	V17-F41
V22	Pérdidas por usuarios clandestinos	m3/mes	0.0	Fórmula	V16*V7
V23	Total pérdidas comerciales	m3/mes	236. 1	Fórmula	V19+V20+V21+V22

Fuente: Autor

Tabla 8 Información Técnica Operativa

C. INFORMACION TECNICA OPERATIVA					
Vari able	Nombre de la variable	Uni dad	Val or	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimien to
V24	Volumen de agua captado	m3/ mes	952 5	Bocatoma	Formato DT 03
V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente	m3/ mes	0		Medición de caudal
V26	Volumen de agua cruda vendido	m3/ mes	0	ESP	Información comercial
V27	Volumen de entrada a la planta	m3/ mes	855 3.6	Punto cercano de llegada a planta	Formato DT 07
V28	Pérdidas en el proceso de captación	m3/ mes	971. 4	Fórmula	V24+V25- V26-V27
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	m3/ mes	80	Registros de consumo planta	Formato DT 07
V30	Pérdidas por estanqueidad, filtración en válvulas y accesorios en planta	m3/ mes		Entrega desague planta	Medida volumétrica Formato DT 07
V31	Volumen de salida de la planta	m3/ mes	803 5.2	A menos de 200 mts de la salida	Formato DT 07
V32	Pérdidas por otras fugas y reboses en la planta	m3/ mes	438. 4	Fórmula	V27-V29- V30-V31
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	m3/ mes	0	ESP	Información comercial
V34 A	Volumen producido (suministrado por la ESP)	m3/ mes	803 5.2	ESP	Información comercial
V34	Volumen producido (con medición)	m3/ mes	803 5.2	Fórmula	V31+V33
V34 B	Pérdidas por error en macromedición	m3/ mes	0	Fórmula	V34-V34A
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	m3/ mes	842 4	Medición entrada a tanque	Formato DT 10
V36	Volumen de pérdidas por estanqueidad en los tanques de almacenamiento	m3/ mes	0	Tanques de almacenamiento	Formato DT 10 - Anexo 1
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento	m3/ mes	763 3.44	Salida tanques	Formato DT 10
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	m3/ mes	0		V35-V36- V37
V39	Volumen por venta de agua en bloque	m3/ mes	0		Información comercial
V40	Caudal mínimo nocturno medido	m3/ mes			Medicion con equipo
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	m3/ mes			Lectura consumo

V42	Caudal promedio diario	m3/ mes	2.94 5		Medicion de consumo
V43	Volumen de consumo operacional (lavado de tanques más purga y lavado de tuberías)	m3/ mes	0		Registro informacion operativa
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor(Riego de parques bomberos fuentes públicas)	m3/ mes	0		Registro informacion operativa
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	m3/ mes	331 3.2		V34-V12
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	m3/ mes	0		V36+V38
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	m3/ mes	0		V40-V41
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	m3/ mes	331 3.2		V45-V47- V46-V44
V49	Factor de investigación	Fact or	0.00		(V40- V41)/V42
V50	IANC en el proceso de CAPTACION	%	11.3 6		V28/V27*10 0
V51	IANC en el proceso de TRATAMIENTO	%	5.13		((V30+V32)/ V27)*100
V52	IANC en el proceso de DISTRIBUCION	%	41.2 3		(V45/V34)*1 00

Fuente: Autor

En el municipio de Tinjacá, Boyacá, el IANC se distribuye en varias etapas del ciclo del agua, reflejando diferentes niveles de ineficiencia. En la captación, el IANC es del 11.36%, lo que indica que una parte considerable del agua se pierde antes de llegar a la planta de tratamiento. Durante el proceso de tratamiento, el índice de pérdidas es del 5.13%, una cifra moderada que muestra que, aunque hay pérdidas, el sistema de tratamiento es relativamente eficiente. Sin embargo, en la distribución, el IANC alcanza un preocupante 41.23%, lo que evidencia que gran parte del agua se pierde antes de llegar a los usuarios finales, ya sea por fugas en la red o problemas de medición.

$$\%IANC = \left(\frac{\text{Volumen de Agua Producida} - \text{Volumen de Agua Facturada}}{\text{Volumen de Agua Producida}} \right) * 100$$

Ecuación 2 Calculo del Porcentaje del IANC

$$\%IANC = \left(\frac{8,035 - 4,722}{8,035} \right) * 100$$

$$\%IANC = 41.23\%$$

En el caso del municipio de Tinjacá, se obtuvo un IANC del 41.23%, lo cual supera el límite establecido por la normativa vigente, como lo señala la Resolución CRA 330 de 2017, que fija un máximo de 25% de agua no contabilizada. Este resultado muestra que Tinjacá no solo está incumpliendo los estándares permitidos, sino que también enfrenta un desafío significativo en la gestión eficiente del recurso hídrico, ya que su porcentaje de pérdidas es considerablemente más alto que el límite aceptable.

4.1.2. Diagnostico técnico del sistema

Identificación de procesos y componentes del sistema a través de trabajos de campo.

La evaluación de los procesos y elementos que componen el sistema de suministro de agua en Tinjacá, mediante trabajos de campo, es esencial para comprender y abordar el reto del IANC. El diagnóstico del sistema de acueducto se organiza en dos subsistemas principales: producción y distribución.

El subsistema de producción se ocupa de la captación y tratamiento del agua cruda. En esta etapa, el agua es recolectada de fuentes naturales como ríos o pozos, y luego se somete a diversos procesos de tratamiento y desinfección para asegurar su potabilidad, garantizando que cumpla con los estándares de calidad y seguridad para el consumo humano. Este subsistema es crucial para asegurar que el agua suministrada sea segura para la salud pública.

El sistema de acueducto en Tinjacá está compuesto por tres subsistemas clave: producción, tratamiento y distribución. Durante la fase de producción, el agua es captada desde una cuenca ubicada aguas arriba, utilizando un dique de concreto para regular el flujo. Posteriormente, el agua es transportada hasta la planta de tratamiento mediante un sistema de gravedad. El proceso de aducción se realiza a través de un canal que transporta el agua hasta el desarenador, donde se eliminan partículas sólidas. Se utilizan tuberías de diferentes diámetros y materiales para esta etapa.

En el tratamiento, se emplea una medición macro convencional para evaluar el flujo de agua en la planta. Sin embargo, se han identificado fallas en los equipos de medición, como el macromedidor, lo que impacta la precisión de las mediciones del caudal tratado.

En el subsistema de distribución, el agua industrial se transporta mediante un sistema de bombeo a través de tuberías de PVC, con diámetros que varían entre 2

y 3 pulgadas. La mayoría de las conexiones domiciliarias también utilizan tuberías de PVC, siendo el 80% de PVC flexible, lo cual puede influir en la eficiencia y mantenimiento del sistema.

La fuente de agua para el acueducto de Tinjacá, conocida como "Quebrada La Honda", proporciona un caudal de 27 litros por segundo en temporada seca y 20 litros por segundo durante la temporada de lluvias. Un análisis de la calidad del agua indicó que cumple con los parámetros necesarios para su tratamiento y consumo, presentando una turbidez de 2.5 unidades, sin coliformes y con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) insignificante.

El sistema de captación de agua se realiza a través de un sistema lateral en "Quebrada La Honda", con una capacidad de 12 litros por segundo. El desarenador, ubicado en el sector "Peñas", es un componente clave del tratamiento y se mantiene en buen estado con limpiezas programadas cada tres meses.

El diagnóstico del sistema de aducción y conducción de agua muestra que se emplean tuberías de PVC con diámetros de 2 a 3 pulgadas, que cubren una longitud de 700 metros y tienen una capacidad de 3,4 litros por segundo. Se han instalado ventosas y válvulas para controlar el aire y los sedimentos. Se ha determinado que, si se utilizan tuberías de PVC de 3 pulgadas, la capacidad podría aumentarse a 14 litros por segundo.

Estos elementos demuestran que la infraestructura es adecuada para manejar el caudal necesario para abastecer a la comunidad. No obstante, es fundamental mantener un seguimiento y un mantenimiento continuo para garantizar su buen funcionamiento.

La planta de tratamiento de Tinjacá emplea procesos de floculación, sedimentación, filtración y desinfección con cloro gaseoso. La planta está en buenas condiciones y relativamente nueva, y su operación se considera adecuada. El caudal de entrada a la planta es de 4,5 litros por segundo, pero no se ha registrado el caudal de salida. Se desconocen las pérdidas por estanqueidad, y el consumo interno de la planta se estima en 1,800 metros cúbicos por mes, lo cual es crucial para determinar si la planta puede satisfacer la demanda de agua de la comunidad.

La eficiencia de la planta se verifica mediante la medición de parámetros como pH, hierro, color, turbidez y coliformes, tanto en la entrada como en la salida del sistema. Estos valores son comparados con los estándares establecidos, lo que permite evaluar el rendimiento del proceso de tratamiento.

Por último, la planta cuenta con dos tanques de almacenamiento de diferentes capacidades, ambos de concreto. Estos tanques son esenciales para asegurar la disponibilidad de agua en momentos de alta demanda y mantener la presión adecuada en la red de distribución.

Ilustración 3 Registro Fotográfico de la PTAP de Tinjacá







Fuente: Autor

4.1.3. Diagnostico técnico del sistema de potabilización

Desafortunadamente, no fue posible realizar la prueba de estanqueidad necesaria para determinar las pérdidas o reboses en el sistema de producción de agua en Tinjacá. Sin embargo, se estima que el volumen de salida de los tanques de almacenamiento es de 42,360 m³ por mes. En el diagnóstico del sistema de distribución, se identificó que la E.S.P. de Tinjacá presenta una pérdida general aproximada de 28,200 m³ por mes, lo cual corresponde al volumen de agua no facturado, un indicador clave de IANC.

La adecuada gestión y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua en Tinjacá son esenciales para la salud pública de la comunidad. Aunque la fuente de agua, "Quebrada La Honda", cumple con los parámetros de calidad establecidos, la administración eficaz del sistema es crucial para mantener estos estándares a lo largo del tiempo. La eficiencia operativa y la sostenibilidad del sistema son factores clave, que requieren mejoras constantes y un enfoque de mantenimiento adaptativo para afrontar los retos derivados de las variaciones estacionales y los impactos climáticos.

Es necesario abordar con urgencia las pérdidas de agua dentro del sistema de tratamiento, especialmente en lo que respecta a los problemas identificados en la medición del caudal. La falta de precisión en los sistemas de medición puede ocasionar un uso ineficiente de los recursos hídricos y dificultar la detección temprana de fugas. Con el fin de optimizar la eficiencia y reducir las pérdidas, se propone la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y prácticas de mantenimiento que permitan mejorar el control y la eficiencia del sistema. Estas soluciones contribuirán a la reducción del IANC, lo cual no solo mejorará la operación interna de la empresa, sino que también beneficiará a los usuarios, al garantizar un suministro de agua más confiable y sostenible.

4.2. FASE 2 IMPLEMETACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL IANC

En esta etapa del proyecto, se identifican soluciones específicas y adaptadas a cada uno de los factores que contribuyen a las pérdidas de agua. Es crucial que la E.P.S. implemente planes de gestión detallados que aborden estas problemáticas, con el fin de reducir al mínimo las causas subyacentes. El diagnóstico realizado en fases anteriores ha permitido destacar las pérdidas más significativas, lo que proporciona una base sólida para la implementación de acciones correctivas.

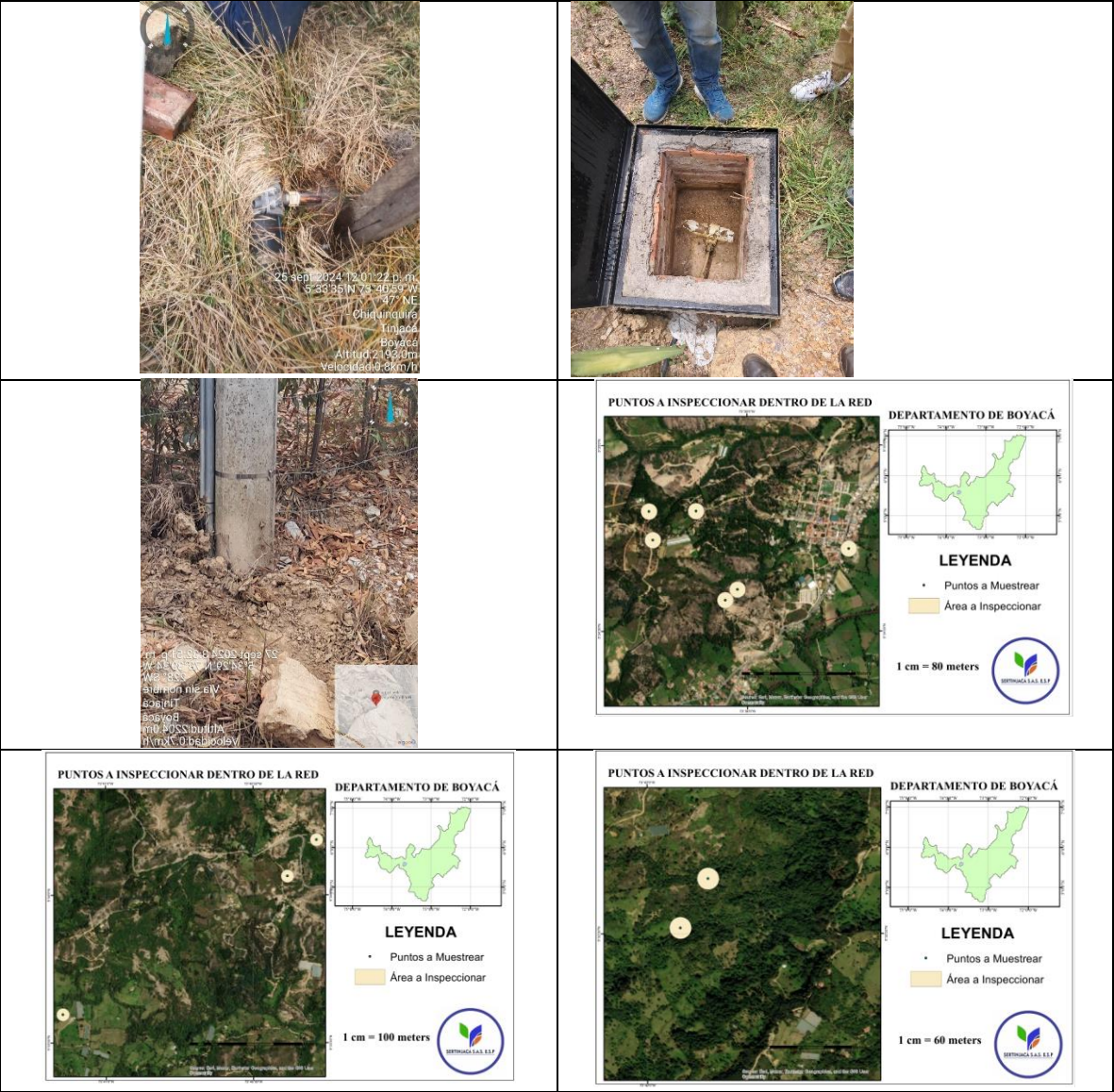
En el análisis de las pérdidas comerciales, se han identificado problemas como conexiones ilegales, errores en la macro medición en los puntos de entrada y salida de la planta, así como fallas en los micromedidores de las conexiones. Por otro lado, las pérdidas físicas han evidenciado la existencia de fugas no visibles en los

procesos de captación y tratamiento del agua, lo que subraya la necesidad de una respuesta integral y coordinada.

Una vez identificados estos factores críticos que influyen en el IANC, se proponen las siguientes estrategias:

4.2.1. Conexiones Clandestinas

Ilustración 4 Conexiones Clandestinas Identificadas



Fuente: Autor

En cumplimiento de la normativa establecida por la Organización de Tratamiento y Saneamiento de Agua CRA, (2017). Se realizó un levantamiento exhaustivo para detectar conexiones clandestinas en la red de distribución del municipio. Este proceso es fundamental para prevenir y detectar el uso indebido del agua. Inicialmente, se llevó a cabo una clasificación e identificación de las diferentes tipologías de conexiones ilegales, que pueden abarcar desde la manipulación de medidores hasta derivaciones entre vecinos o acceso a fuentes externas .

Posteriormente, se realizaron visitas a los lugares sospechosos, donde se ejecutó una búsqueda sistemática de hurtos de agua, considerando el perfil de cada usuario, ya sean no clientes, clientes inactivos o aquellos con medidores. Este enfoque nos permitió ser más precisos y efectivos en nuestras acciones. Para la localización de conexiones ilegales, se empleó un geófono, una herramienta altamente eficaz en la detección de fugas. Gracias a esta tecnología, pudimos identificar las fugas con mayor precisión y tomar medidas decisivas contra los hurtos detectados (CRA, 2017).

4.2.2. Fallas en los Micromedidores

Según ERSAPS, (2007), Para abordar las pérdidas derivadas de fallas en los micromedidores, se recomienda implementar una estrategia integral que contemple la calibración periódica de estos dispositivos, así como revisiones regulares de ambos tipos. Esta estrategia no solo se enfoca en la detección de problemas, sino que también establece un proceso sistemático para reemplazar los medidores defectuosos, asegurando así una medición precisa y confiable.

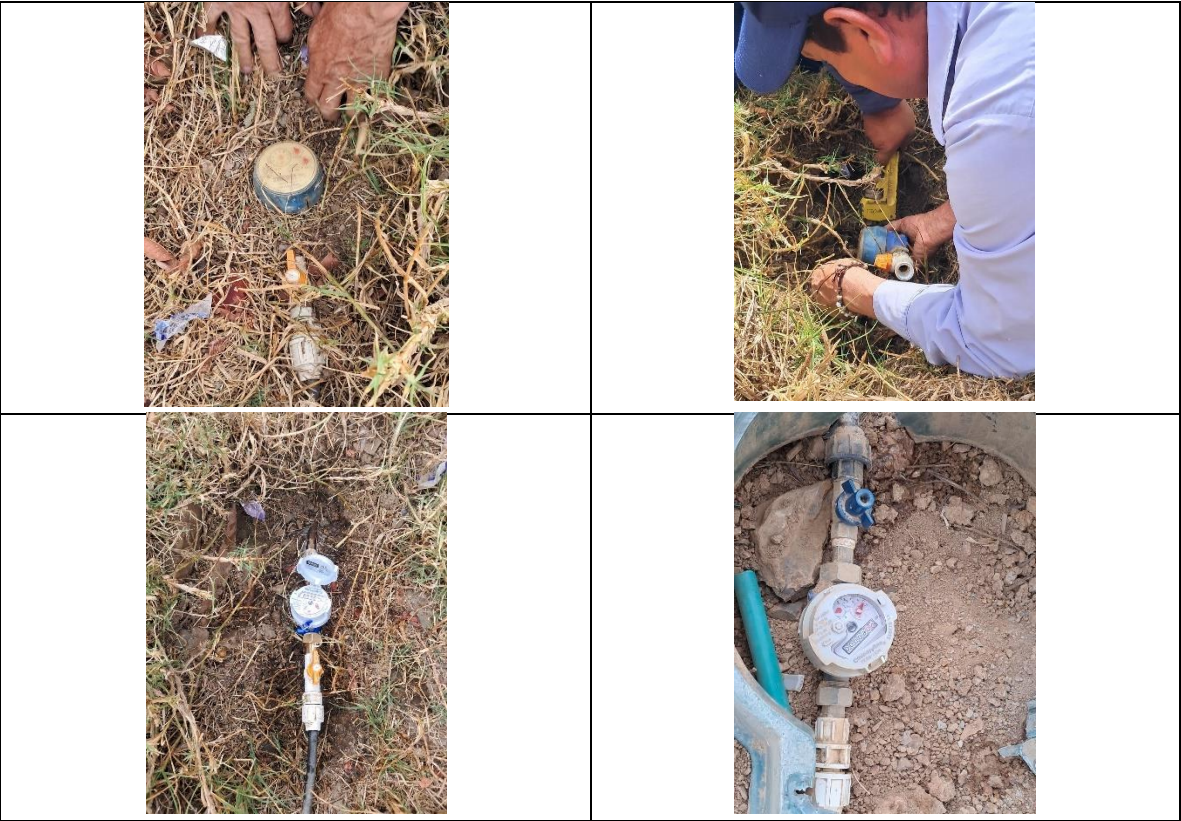
Las estrategias específicas incluyen:

- **Calibraciones Periódicas de Micromedidores:** Es fundamental realizar calibraciones sistemáticas cada seis meses para garantizar la precisión y el óptimo funcionamiento de los micromedidores. Se debe contratar servicios especializados para llevar a cabo estas calibraciones, asegurando que los equipos de medición estén certificados y operen adecuadamente. Además, es esencial mantener un registro detallado de cada calibración, que incluya fechas, resultados y cualquier acción correctiva tomada (CRA, 2023).
- **Revisiones Periódicas de Micromedidores:** Se recomienda incorporar tecnologías avanzadas de monitoreo que permitan realizar revisiones a distancia, minimizando así las interrupciones en el servicio. Estas revisiones deben programarse para identificar posibles fallas o irregularidades en el

sistema de medición, y es crucial establecer un protocolo que incluya inspecciones visuales y un análisis exhaustivo de los datos recopilados (CRA, 2023).

- **Proceso de Reemplazo de Micromedidores:** Mensualmente los operadores revisaran los medidores en donde identifiquen los defectos y procedan a la solicitud de reemplazo de los medidores defectuosos es esencial. El reemplazo debe llevarse a cabo de manera oportuna, utilizando equipos certificados y asegurando la calidad de los nuevos dispositivos instalados. Los costos asociados al reemplazo se pueden distribuir en cuotas mensuales en la factura del servicio, garantizando una comunicación clara sobre la necesidad del reemplazo y sus beneficios a largo plazo (CRA, 2023).

Ilustración 5 Cambio de Medidores Obsoletos





Fuete: Autor

4.2.3. Capacitación a operarios de la planta

Recientemente, se llevó a cabo un curso de fontanería organizado por el SENA para los fontaneros del municipio, el cual representa un avance significativo en la profesionalización de este sector esencial. Más allá de enseñar las técnicas básicas, este curso se enfocó en capacitar a los fontaneros en el uso de tecnologías de vanguardia para la instalación, reparación y mantenimiento de sistemas de distribución de agua. La importancia de este tipo de formación radica en que no solo fortalece las habilidades técnicas de los participantes, sino que también promueve la adopción de prácticas responsables y sostenibles. En un contexto donde las pérdidas de agua y el uso ineficiente de los recursos hídricos son problemáticas cada vez más urgentes, contar con fontaneros capacitados es clave para garantizar la eficiencia en la gestión del agua. Además, este tipo de iniciativas fomenta una mayor conciencia ambiental entre los profesionales, quienes juegan un papel crucial en la prevención de fugas y en la correcta implementación de los sistemas de medición. La formación continua no solo asegura que los fontaneros puedan resolver los problemas técnicos con mayor precisión, sino que los convierte en agentes activos para mitigar las pérdidas de agua, contribuyendo al bienestar de la comunidad y al uso sostenible del recurso más vital que tenemos. Este curso, por lo tanto, no es solo una oportunidad de aprendizaje, sino una inversión en el futuro del manejo eficiente del agua en el municipio.

Ilustración 6 Registros Fotográficos del Curso de Fontanería



Fuente: Autor

4.2.4. Fugas no Visibles

Para disminuir las pérdidas ocasionadas por fugas no visibles, es fundamental implementar una serie de acciones efectivas. En primer lugar, es recomendable reducir la presión en el sistema como medida preventiva. Para localizar estas fugas, se sugiere la utilización de métodos acústicos, los cuales, según Pereira Teodoro da Silva, (2023), son considerados de los más eficaces, teniendo en cuenta factores como el tipo de tubería y el material de la superficie. La incorporación de un geófono electrónico permitirá detectar fugas con gran precisión, ya que ofrece visualización gráfica y almacenamiento de datos de señal, lo que facilita la identificación de problemas en el sistema (Islam, 2024).

Al identificar y abordar de manera integral los factores que contribuyen al IANC, se pueden implementar estrategias efectivas que no solo mitigan las pérdidas de

agua, sino que también optimicen la gestión y distribución de este recurso hídrico en el municipio. Se recomienda que la Empresa de Servicios Públicos adopte estas estrategias en el marco de un plan de gestión cuyo objetivo sea reducir tanto las pérdidas comerciales como las físicas, contribuyendo así a la optimización del sistema de abastecimiento de agua (Cordeiro, 2022).

Ilustración 7 Registro fotográfico de Estrategias Implementadas





Fuente: Autor

4.3 FASE 3: BALANCE DE AGUA DEL SISTEMA CON ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS

Para elaborar el balance de agua del sistema, se requería la recopilación de información general sobre el servicio de acueducto del municipio. Es importante mencionar que los datos utilizados fueron facilitados por la E.S.P. del municipio y corresponden al año 2024. Estos datos se presentan en tablas que permiten identificar las pérdidas necesarias para establecer el balance de agua en la localidad. A continuación, se expone la tabla del balance de agua del sistema, organizada en secciones de información general, comercial y técnica operativa:

Tabla 9 Información General Ajustada

A. INFORMACION GENERAL					
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimiento

V1	Población urbana	Hab	3050	Proyecciones del DANE para 2023 con base en el censo de 2018	Información DANE
V2	Número de domicilios (Incluye viviendas, establecimientos comerciales, industriales oficiales e institucionales)	Uni	1320	Suscriptores acueductos Superintendencia DE SERVICIOS PUBLICOS	DANE censo de hogares o POT

Tabla 10 Información Comercial Ajustada

B. INFORMACION COMERCIAL					
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimiento
V3	Número de conexiones o usuarios registrados	Uni	1320.0	ESP	Formato DE 09
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento	Uni	1320.0	ESP	Formato DE 09
V5	Número de conexiones con medidor parado	Uni	0.0	ESP	Formato DE 09
V6	Número de conexiones sin medidor	Uni	0.0	Fórmula	V3- (V4+V5)
V7	Número estimado de conexiones sin medidor	Uni	0.0	Fórmula o Censo de usuarios	V2-V3
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento	m3/mes	4722.0	ESP	Formato DE 10 (Total consumo mes)
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado	m3/mes	0.0	ESP	Formato DE 10
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor	m3/mes	0.0	ESP	Formato DE 10
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque	m3/mes	0.0	ESP	
V12	Volumen total facturado	m3/mes	4722.0	ESP	V8+V9+V10+V11
V13	Error promedio en los micromedidores	%	1.0	Banco de medidores	13 ensayos a diferentes caudales por medidor
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento	m3/mes	4769.2	Fórmula	V8*(1+V13/100)

V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento	m3/mes-usuario	3.613	Fórmula	V14/V4
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición	Factor	-	ESP	Información comercial
V16	Consumo real por usuario sin medición	m3/mes-usuario	0.0	ESP	Formato DE 11
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado	m3/mes	0.0	Fórmula	V15*V5
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medición	m3/mes	0.0	ESP	Formato DE 11
V19	Pérdidas por error en micromedición	m3/mes	47.2	Fórmula	V14-V8
V20	Pérdidas por usuario sin medición	m3/mes	0.0	Fórmula	V18-V10
V21	Pérdidas por usuarios con medidor parado	m3/mes	0.0	Fórmula	V17-F41
V22	Pérdidas por usuarios clandestinos	m3/mes	0.0	Fórmula	V16*V7
V23	Total pérdidas comerciales	m3/mes	47.2	Fórmula	V19+V20+V21+V22

De acuerdo con el DANE, el número total de domicilios, que incluye viviendas, locales comerciales, establecimientos industriales, oficiales e institucionales, asciende a 1320. Inicialmente, se determinaron las pérdidas comerciales considerando varios factores: el número total de conexiones registradas es de 1320, con un volumen facturado de 4722 m³ al mes. De estas conexiones, todas poseen medidores en funcionamiento, lo que significa que no hay conexiones con medidor parado o sin medidor. Aunque no se reportaron conexiones clandestinas, el cálculo de las pérdidas comerciales indica un total de 47.2 m³ mensuales, que se atribuyen principalmente a errores de micro medición, basados en un promedio de error del 1%.

Tabla 11 Información Operativa Ajustada

C. INFORMACION TECNICA OPERATIVA					
Vari able	Nombre de la variable	Uni dad	Valo r	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimie nto
V24	Volumen de agua captado	m3/ mes	952 5	Bocatom a	Formato DT 03
V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente	m3/ mes	0		Medición de caudal
V26	Volumen de agua cruda vendido	m3/ mes	0	ESP	Información comercial

V27	Volumen de entrada a la planta	m3/ mes	855 3.6	Punto cercano de llegada a planta	Formato DT 07
V28	Pérdidas en el proceso de captación	m3/ mes	227. 6	Fórmula	V24+V25- V26-V27
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	m3/ mes	80	Registros de consumo planta	Formato DT 07
V30	Pérdidas por estanqueidad, filtración en válvulas y accesorios en planta	m3/ mes	200	Entrega desagüe planta	Medida volumétrica Formato DT 07
V31	Volumen de salida de la planta	m3/ mes	803 5.2	A menos de 200 mts de la salida	Formato DT 07
V32	Pérdidas por otras fugas y reboses en la planta	m3/ mes	189. 68	Fórmula	V27-V29- V30-V31
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	m3/ mes	0	ESP	Información comercial
V34 A	Volumen producido (suministrado por la ESP)	m3/ mes	803 5.2	ESP	Información comercial
V34	Volumen producido (con medición)	m3/ mes	803 5.2	Fórmula	V31+V33
V34 B	Pérdidas por error en macromedición	m3/ mes	0	Fórmula	V34-V34A
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	m3/ mes	842 4	Medición entrada a tanque	Formato DT 10
V36	Volumen de pérdidas por estanqueidad en los tanques de almacenamiento	m3/ mes	0	Tanques de almacena miento	Formato DT 10 - Anexo 1
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento	m3/ mes	763 3.44	Salida tanques	Formato DT 10
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	m3/ mes	790. 56		V35-V36- V37
V39	Volumen por venta de agua en bloque	m3/ mes	0		Información comercial
V40	Caudal mínimo nocturno medido	m3/ mes			Medición con equipo
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	m3/ mes			Lectura consumo
V42	Caudal promedio diario	m3/ mes	2.94 5		Medición de consumo

V43	Volumen de consumo operacional (lavado de tanques más purga y lavado de tuberías)	m3/mes	0		Registro información operativa
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor(Riego de parques bomberos fuentes públicas)	m3/mes	0		Registro información operativa
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	m3/mes	401.8		V34-V12
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	m3/mes	0		V36+V38
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	m3/mes	0		V40-V41
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	m3/mes	0.0		V45-V47-V46-V44
V49	Factor de investigación	Factor	0.00		(V40-V41)/V42
V50	IANC en el proceso de CAPTACION	%	2.66		V28/V27*100
V51	IANC en el proceso de TRATAMIENTO	%	4.56		((V30+V32)/V27)*100
V52	IANC en el proceso de DISTRIBUCION	%	5.00		(V45/V34)*100

Fuente: Autor

Se han considerado los parámetros de información técnica operativa para evaluar las pérdidas físicas, incluyendo tanto fugas visibles como no visibles. En este contexto, se registraron los siguientes datos: un volumen de agua captado de 9,525 m³/mes; un volumen producido (suministrado por la empresa de servicios públicos) de 8,035.2 m³/mes; y pérdidas atribuidas a errores en la macro medición que ascienden a 227.6 m³/mes. Las pérdidas en el proceso de distribución alcanzaron un total de 401.8 m³/mes, resultando en un IANC de 2.66% para el proceso de captación, 4.56% para el tratamiento, y 5.00% para la distribución, ajustándose para que el IANC final sea del 5%.

La elaboración del balance de agua es crucial para analizar detalladamente los parámetros que permiten identificar las pérdidas comerciales y físicas. Al calcular el porcentaje de IANC, se puede determinar en qué área del sistema es necesario implementar estrategias correctivas.

Cálculo del IANC

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo (2004), para calcular el IANC se requiere conocer el volumen de agua producida en la potabilización

mensualmente (m³) y el volumen de agua facturada por los usuarios en el mismo periodo (m³), utilizando la siguiente ecuación:

$$\%IANC = \left(\frac{\text{Volumen de Agua Producida} - \text{Volumen de Agua Facturada}}{\text{Volumen de Agua Producida}} \right) * 100$$

Aplicando los datos obtenidos, el cálculo del IANC se realiza de la siguiente manera:

Teniendo en cuenta que el volumen de agua facturada es de 7,633.44 m³/mes, el cálculo sería:

$$\%IANC = \left(\frac{8,035.2 \text{ m}^3 - 7,633.44 \text{ m}^3}{8,035.2 \text{ m}^3} \right) * 100$$

$$\%IANC = 5\%$$

Ecuación 3 Calculo del IANC Modificado

El resultado obtenido indica que el IANC en el municipio ha disminuido al 5%. Este es un avance significativo, ya que está muy por debajo del límite establecido del 25% según la resolución 330 de 2017. Esta reducción refleja un progreso importante en la gestión del agua, subrayando el éxito de las estrategias implementadas para mejorar la eficiencia del sistema de suministro. El hecho de que el municipio haya alcanzado este objetivo es una señal clara de la efectividad de las medidas adoptadas y del compromiso hacia una gestión sostenible del recurso hídrico.

No obstante, el IANC del 5% también pone de manifiesto la existencia de desafíos que aún necesitan ser enfrentados. Uno de los principales factores que contribuyen a este índice son las pérdidas comerciales, derivadas en gran parte de conexiones clandestinas que no se registran ni se facturan correctamente. Estas conexiones representan un desafío serio para la gestión equitativa del agua, afectando la facturación y, en consecuencia, los ingresos del sistema. Además, los errores en la macro medición del agua impactan negativamente en el cálculo del caudal tratado, lo que puede dar lugar a una subestimación de las pérdidas y a una carencia de datos precisos que son esenciales para la toma de decisiones informadas.

Otro aspecto relevante son las pérdidas en la distribución, que también influyen en el IANC. Los problemas con los micromedidores dificultan la medición precisa del consumo de agua, lo que puede conducir a una gestión ineficaz del recurso y al incremento de las pérdidas. Asimismo, en la planta de tratamiento de agua potable

se han identificado pérdidas físicas debido a fenómenos como reboses y fugas no visibles. Estas situaciones representan un desafío significativo para la eficiencia del sistema de tratamiento, ya que no solo reducen la cantidad de agua disponible para el consumo, sino que también generan costos adicionales para la empresa que presta el servicio.

5. CONCLUSIONES

- La implementación de las estrategias efectivas ha logrado reducir el IANC al 5% en Tinjacá, Boyacá. Este resultado no solo cumple con el límite máximo del 25% establecido por la resolución 330 de 2017, sino que también representa un progreso significativo en la administración del recurso hídrico en el municipio. La disminución del IANC evidencia el compromiso de la empresa de servicios públicos con la eficiencia y la sostenibilidad, lo que es fundamental para proporcionar un suministro de agua más confiable a la comunidad.
- El desarrollo del balance hídrico y el diagnóstico técnico del sistema de potabilización, han identificado las pérdidas comerciales que afectan la eficiencia del sistema hídrico. Estas pérdidas provienen principalmente de conexiones clandestinas y errores en la medición del agua, lo que subraya la importancia de establecer controles más estrictos y sistemas de monitoreo adecuados. Reconocer estos factores permite dirigir las acciones correctivas hacia las áreas que más lo necesitan, lo que puede resultar en una reducción efectiva de las pérdidas. Este enfoque no solo mejora la rentabilidad del

sistema, sino que también promueve la equidad en el acceso al agua para todos.

- La revisión y mejora de los procesos de captación, tratamiento y distribución de agua han sido claves para alcanzar una notable reducción del IANC. Al adoptar nuevas prácticas y tecnologías en estas etapas, se ha logrado gestionar el recurso de manera más eficiente. Como resultado, se ha incrementado la cantidad de agua disponible para la comunidad y se han minimizado las pérdidas durante la distribución. La optimización de estos procesos es esencial para garantizar un servicio continuo y de calidad, beneficiando así a todos los habitantes de Tinjacá.
- La incorporación de tecnologías avanzadas para medir y controlar flujos ha sido fundamental en la disminución del IANC. La actualización de medidores de agua y el uso de geófonos para detectar fugas han mejorado la precisión en la medición del caudal de agua tratada. Esta inversión en tecnología no solo permite identificar problemas de manera más efectiva, sino que también facilita la toma de decisiones informadas en la gestión del sistema. A largo plazo, estas mejoras tecnológicas pueden resultar en un servicio más confiable y en una mejor utilización de los recursos disponibles.
- Las capacitaciones y charlas dirigidas a los operarios de la planta y a la comunidad han sido cruciales para fomentar una cultura de conservación y uso responsable del agua. Al sensibilizar sobre la importancia del ahorro y la adecuada gestión del recurso, se ha propiciado un cambio en el comportamiento de los usuarios. Estas iniciativas han promovido un mayor compromiso comunitario en la conservación del agua. Este enfoque en la responsabilidad compartida es esencial para asegurar que los logros alcanzados en la gestión del agua sean sostenibles en el tiempo.
- La cooperación entre las entidades locales y regionales ha sido un factor clave para el éxito del proyecto. La colaboración entre la empresa de servicios públicos, el gobierno local y organizaciones comunitarias ha permitido abordar las problemáticas hídricas de manera integral. Esta sinergia ha facilitado la identificación de soluciones conjuntas y la implementación de estrategias efectivas para reducir el IANC. El trabajo en conjunto es fundamental para el desarrollo sostenible de Tinjacá y para mejorar continuamente su sistema de acueducto.

6. RECOMENDACIONES

- Es fundamental invertir en tecnologías de monitoreo en tiempo real para detectar fugas y pérdidas en el sistema de distribución de agua. Al implementar sensores y sistemas de gestión digital, se puede facilitar la identificación temprana de problemas, lo que permitirá realizar intervenciones rápidas y eficientes. Esto no solo reducirá las pérdidas de agua, sino que también contribuirá a la sostenibilidad del sistema hídrico.
- Además, es crucial fortalecer la capacitación del personal encargado de la operación y el mantenimiento del sistema de agua. Programas de formación que incluyan el uso de nuevas tecnologías, técnicas de detección de fugas y buenas prácticas en la gestión del recurso hídrico aumentarán la eficiencia del equipo. Fomentar una cultura de responsabilidad en la administración del agua es esencial para lograr mejores resultados.
- También es recomendable desarrollar campañas de educación y sensibilización para la comunidad sobre la importancia del uso responsable del agua. Informar a los habitantes sobre las consecuencias de las conexiones ilegales y la necesidad de reportar fugas o irregularidades en el sistema puede contribuir significativamente a la reducción del Índice de Agua No Contabilizada. La participación de la comunidad en la gestión del agua fortalecerá su compromiso con este recurso vital.
- Implementar políticas más estrictas para regular las conexiones al sistema de acueducto es otra acción importante. Esto implica realizar inspecciones periódicas para detectar conexiones clandestinas y asegurarse de que todos los usuarios estén debidamente registrados y facturados. Establecer un marco normativo claro y efectivo ayudará a disminuir las pérdidas comerciales y garantizar un uso equitativo del agua.
- Por último, fomentar la colaboración entre diferentes entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad es clave para abordar de manera integral las problemáticas relacionadas con el agua. Crear mesas de trabajo y llevar a cabo proyectos conjuntos facilitará la identificación de soluciones y el intercambio de experiencias exitosas. Este enfoque colaborativo fortalecerá la capacidad de respuesta ante los desafíos que enfrenta el municipio de Tinjacá en cuanto a la gestión del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Benítez, I., & Monforte, G. (2018). *Gestión y Política Pública volumen xxvii, núm. 1, primer semestre de*.
- Ahmed, Z. Y. (2024). Reducing Non-Revenue Water. *International Journal of Applied Mathematics, Computational Science and Systems Engineering*, 6, 23–29. <https://doi.org/10.37394/232026.2024.6.3>
- Alberto V. (2016). 2007-2422-tca-7-04-00139 3.
- Alegre, Helena., & International Water Association. (2006). *Performance indicators for water supply services*. IWA Pub.
- 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. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 152). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515>
- Alzamora, F. M. (2006). *Combinación de Modelos Matemáticos y SIG para la Gestión Eficiente de Redes de Distribución de Agua*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2963.8162>
- ANDREA S. (2021). *Estándar internacional en materia del derecho humano al agua* 8.
- Andréi J. (2003). *Los municipios y la gestión de los recursos hídricos*. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Andres, L. A., Sislen, D., & Marin, P. (2010). *Edited by Charting a New Course: Structural Reforms in Colombia's Water Supply and Sanitation Sector THE WORLD BANK COLOMBIA*. <http://www.ppiaf.org>
- Bain, R., Johnston, R., Khan, S., Hancioglu, A., & Slaymaker, T. (2021). Monitoring drinking water quality in nationally representative household surveys in low-and middle-income countries: Cross-sectional analysis of 27 multiple indicator cluster surveys 2014-2020. *Environmental Health Perspectives*, 129(9). <https://doi.org/10.1289/EHP8459>
- Bakhtawar, B., & Zayed, T. (2021). Review of Water Leak Detection and Localization Methods through Hydrophone Technology. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 12(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000574](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000574)
- Benavides, O. A. (1998). *ASPECTOS TÉCNICOS DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA EN COLOMBIA*.
- Blanco-Moreno. (2022). Retos y Oportunidades de la Gestión Comunitaria del Agua en la ruralidad de la Cuenca Alta del río Cauca, Colombia, bajo la pandemia del COVID-19. *PROSPECTIVA. Revista de Trabajo Social e Intervención Social*, 223–248. <https://doi.org/10.25100/prts.v0i34.11923>
- Britton. (2013). Smart metering: Enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. *Journal of Cleaner Production*, 54, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.018>
- Catalina Jaramillo Martínez. (2021). *Plan para la reducción del índice de agua no contabilizada -IANC*.

- Charalambous. (2014). Leak detection and water loss management. In *Water Utility Journal* (Vol. 8).
- Claudia P. (2014). n21a14 28.
- Cordeiro. (2022). A Strategy to Assess Water Meter Performance. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 148(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0001492](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001492)
- CRA. (2005). COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO-CRA-DETERMINACIÓN DE DATOS BASE PARA LA ESTIMACIÓN DE MODELOS DE EFICIENCIA COMPARATIVA-DEA.
- CRA. (2017). *concepto_cra_0035011_2017*.
- CRA. (2023). *concepto_cra_0036481_2023*.
- David U. (2024). URBAN WATER MANAGEMENT: A REVIEW OF SUSTAINABLE PRACTICES IN THE USA. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(2), 517–530. <https://doi.org/10.51594/estj/v5i2.829>
- DAYANA L. (2016). DISEÑO DEL PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE COSERVICIOS S.A E.S.P.
- Diaz, A., & Falla, M. (2023). LA INOBSERVANCIA DEL ESTADO FRENTE AL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO DE SOCHA BOYACA ESTUDIO DE CASO.
- Dighade, R. R., & Kadu, M. S. (2007). Challenges in Water Loss Management of Water Distribution Systems in Developing Countries. In *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* (An ISO (Vol. 3297). www.ijirset.com
- Dueñas-Celis, M. Y., Dorado-González, L. M., Espinosa-Macana, P., & Suescún-Carrero, S. H. (2018). Water Quality for Human Consumption Risk Index in Urban Areas of the Boyacá Department, Colombia, 2004-2013. *Revista Facultad Nacional de Salud Publica*, 36(3), 101–109. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v36n3a10>
- Bueno-Herrera, D. , M.-Á. E. y Z.-M. C. (2019). Análisis de Agua no contabilizada en el sistema de Abastecimiento urbano del municipio de.
- Elton, K., & Wolfe, S. E. (2012). Water Efficiency and the Professional Plumbing Sector: How Capacity and Capability Influence Knowledge Acquisition and Innovation. *Water Resources Management*, 26(2), 595–608. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9934-7>
- ERSAPS. (2007). REPÚBLICA DE HONDURAS ENTE REGULADOR DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (ERSAPS).
- Espinal, S. (2010). Aplicación del concepto de participación ciudadana y su impacto en la gestión integral de los recursos hídricos. Caso cuenca del lago Cocibolca. 23(01), 27–32. www.nexo.uni.edu.ni
- Ferro, G., & Lentini, E. J. (2020). RECURSOS NATURALES E INFRAESTRUCTURA Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado.
- Función Pública. (1993). *Ley_99_de_1993*.
- Función Pública. (1994). *Ley_142_de_1994*.

- Función Pública. (1997). *MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO DECRETO NÚMERO DE REPUBLICA DE COLOMBIA I EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.*
- Función Pública. (2000). *REPUBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO RESOLUCIÓN NO. 1096 de 17 de Noviembre de 2000 "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS."*
- Función Pública. (2007a). *Decreto_1575_de_2007.*
- Función Pública. (2007b). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL.*
- Función Pública. (2010). *Decreto_3930_de_2010.*
- Función Pública. (2017). *resolucion-0330-2017.*
- G. Cembrano. (2020). *MEJORAS EN LA GESTIÓN DEL AGUA CON TÉCNICAS DE MODELADO Y CONTROL.*
- Gema A. (2017). *IMTA_617 12.*
- Gómez-Martínez. (2017). Metodología para caracterizar la eficiencia de una red de distribución sectorizada. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(4), 57–77. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-04>
- Grigg, N. S. (2024). Water Distribution Systems: Integrated Approaches for Effective Utility Management. In *Water (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w16040524>
- GUZMÁN LÓPEZ. (2011). *MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA EN LA CIUDAD DE PEREIRA.*
- Islam, M. (2024). Leak detection and localization in underground water supply system using thermal imaging and geophone signals through machine learning. *Intelligent Systems with Applications*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2024.200404>
- Jhon Brayan Valencia. (2022). *Consequences of Climate Change for Plant Biodiversity in High Mountain Ecosystems* (A. Sierra-Almeida, D. Gargano, V. F. B. Rodriguez, L. D. Llambi, G. Fenu, D. S. Pescador, & F. J. Rada, Eds.). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/978-2-88974-449-7>
- Johnson, E. H. (2019). ENHANCING WATER METER IN-SERVICE TESTING AND REPLACEMENT DECISIONS. *Water E-Journal*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.21139/wej.2019.002>
- Jonathan D. (2022). *Tesis de Grado Jonathan Herrera V12 4.*
- Jordi Morató. (2021). GOBERNANZA Y SOSTENIBILIDAD: DOS CONCEPTOS PARA EL IMPULSO DE LA GESTIÓN PÚBLICA EFICIENTE. *REVISTA DE ESTUDIOS POLÍTICOS Y ESTRATÉGICOS*, 9(1), 76–107. <https://orcid>.
- Joseph, K., Sharma, A. K., & van Staden, R. (2022). Development of an Intelligent Urban Water Network System. *Water (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/w14091320>
- Kanakoudis, V., & Gonelas, K. (2016). Non-revenue water reduction through pressure management in Kozani's water distribution network: from theory to

- practice. *Desalination and Water Treatment*, 57(25), 11436–11446. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1049967>
- Kanakoudis, V. K. (2004). *Vulnerability based management of water resources systems*. <https://iwaponline.com/jh/article-pdf/6/2/133/392656/133.pdf>
- Laverde, L. G. (2009). *Universidad de los Andes*.
- Mackay, R., & Last, E. (2010). SWITCH city water balance: A scoping model for integrated urban water management. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 9, Issue 4, pp. 291–296). <https://doi.org/10.1007/s11157-010-9225-4>
- Mandujano M. (2021). *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL*.
- María E. (2019). *Prácticas y saberes en la gestión comunitaria del agua para consumo humano y saneamiento en las zonas rurales de Ecuador es 7*.
- Martínez Reyes, J. (2020). Alcance de la Norma ISO 14001:2015 como Programa de Compliance Ambiental. *Observatorio Medioambiental*, 23, 63–82. <https://doi.org/10.5209/obmd.73168>
- Matthews. (2015). Towards Sustainable Water Supply: Schematic Development of Big Data Collection Using Internet of Things (IoT). *Procedia Engineering*, 118, 489–497. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.465>
- Megdal, S. B., Eden, S., & Shamir, E. (2017). Water governance, stakeholder engagement, and sustainable water resources management. In *Water (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w9030190>
- Melo, C. U. (2012). *Agua y saneamiento rural Oportunidades para la participación comunitaria en Colombia*.
- Minambiente. (2018). *resolucion-1257-de-2018 20*.
- Moreno Méndez, J. O. (2020). *LOS RETOS DEL ACCESO A AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO DE LAS ZONAS RURALES EN COLOMBIA The challenges of access to drinking water and basic sanitation in rural areas in Colombia*. www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/economics/es/.
- Ociepa, E., Mrowiec, M., & Deska, I. (2019). Analysis of water losses and assessment of initiatives aimed at their reduction in selected water supply systems. *Water (Switzerland)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/w11051037>
- P Mukheibir. (2012). *non-revenue water*.
- PAOLA A. (2020). *2020paolaruiz 13*.
- Paola M. (2011). *UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL BUCARAMANGA 2011*.
- Pereira Teodoro. (2023). Detection of unauthorized consumption in water supply systems: A case study using logistic regression. *Utilities Policy*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101647>
- Pointl, M., & Fuchs-Hanusch, D. (2021). Assessing the potential of LPWAN communication technologies for near real-time leak detection in water distribution systems. *Sensors (Switzerland)*, 21(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/s21010293>

- Ramón R. (2014). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA*.
- Rojas, R. A. G., & Fragkou, M. C. (2021). Infrastructure to face the water crisis? State politics in the Petorca and La Ligua rivers. In *ORIGINALES Cuad Méd Soc (Chile) 2021* (Vol. 61).
- Shaikh, M., Birajdar, F., & Geologist, A. (2024). Ensuring Purity and Health: A Comprehensive Study of Water Quality Testing Labs in Solapur District for Community Well-being. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10521637>
- Shoushtarian, F., & Negahban-Azar, M. (2020). World wide regulations and guidelines for agricultural water reuse: A critical review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/W12040971>
- Singh, R. (2022). Practitioners' Perspective on the Prevalent Water Quality Management Practices for Legionella Control in Large Buildings in the United States. *Water (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/w14040663>
- Sostenible del Recurso H₂O, M., Lesmes Fabián, C., & Alejandro Diaz Ballesteros, C. (2018). *Strategies for the Sustainable Water Management: Optimization of the Water Supply Network for the Unaccounted Water Reduction-Estrategias para el*. <https://www.researchgate.net/publication/342927942>
- Teresa, O., Nyamai, A., & Odinde Okeyo-Owuor, D. (2022). *INTERNATIONAL JOURNAL OF Environmental implications of water as a natural resource based business: The case of non-revenue water in Kisumu City*. 14(2), 31–39. <https://doi.org/10.5897/IJVTE>
- Wang, X., & Yang, W. (2019). Water quality monitoring and evaluation using remote-sensing techniques in China: A systematic review. In *Ecosystem Health and Sustainability* (Vol. 5, Issue 1, pp. 47–56). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/20964129.2019.1571443>
- World Health Organization. (2018). *WHO WATER, SANITATION AND HYGIENE STRATEGY 2018-2025*. <http://apps.who.int/bookorders>.

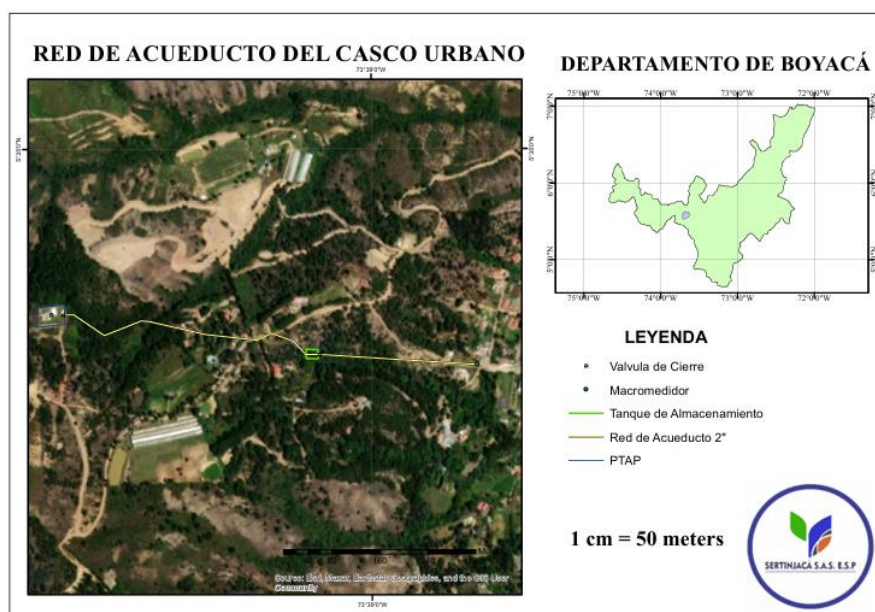
ANEXOS

Anexo 1 Reparaciones en la Red de Aducción



Fuente: Autor

Anexo 2 Mapa de Red de Conducción



Fuente: Autor

Anexo 3 Levantamiento Topográfico de la Red de Aducción y Distribución



Fuente: Autor

Anexo 4 Mantenimiento a la PTAP



Fuente: Autor

Anexo 5 Limpieza a los Filtros



Fuente: Autor

Anexo 6 Equipo de Trabajo SERTINJACÁ



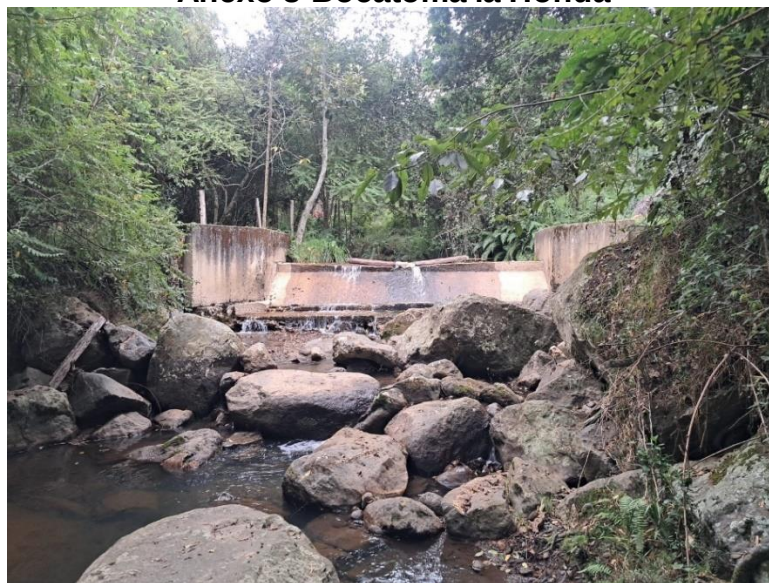
Fuente: Autor

Anexo 7 Limpieza al Desarenador



Fuente: Autor

Anexo 8 Bocatoma la Honda



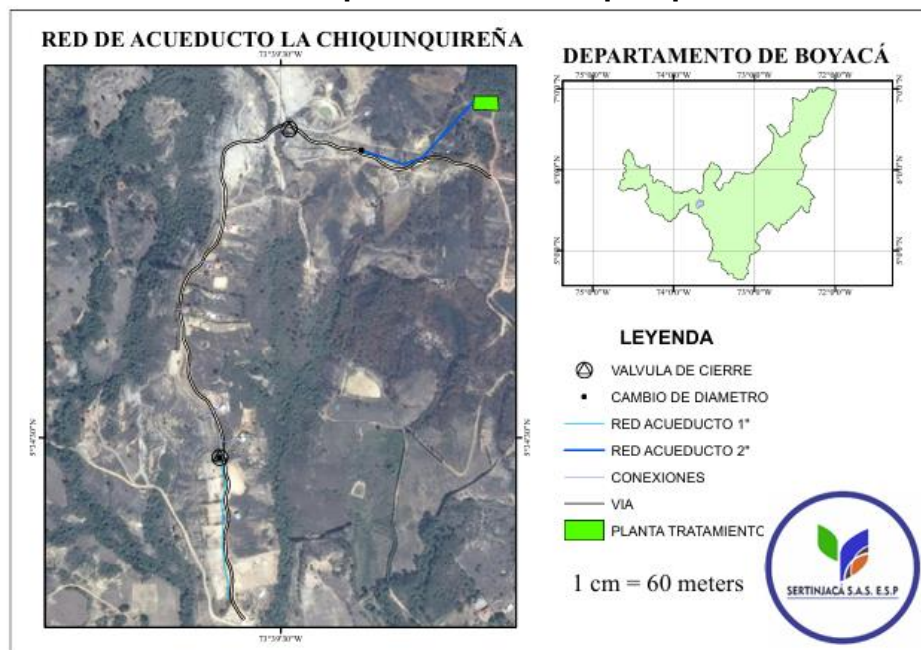
Fuente: Autor

Anexo 9 Prueba de Giardia



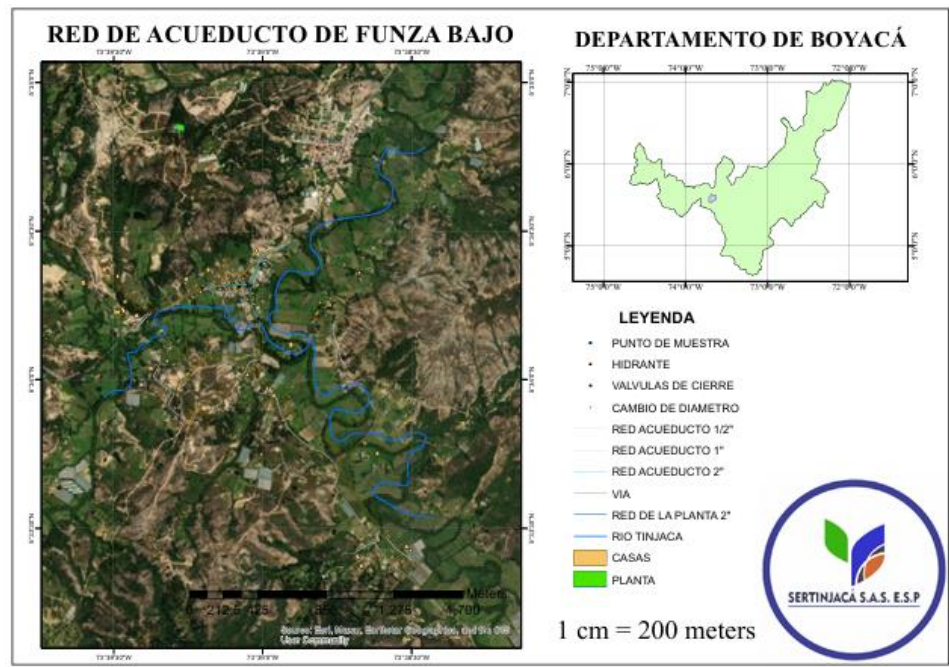
Fuente: Autor

Anexo 10 Mapa de Red la Chiquinquireña



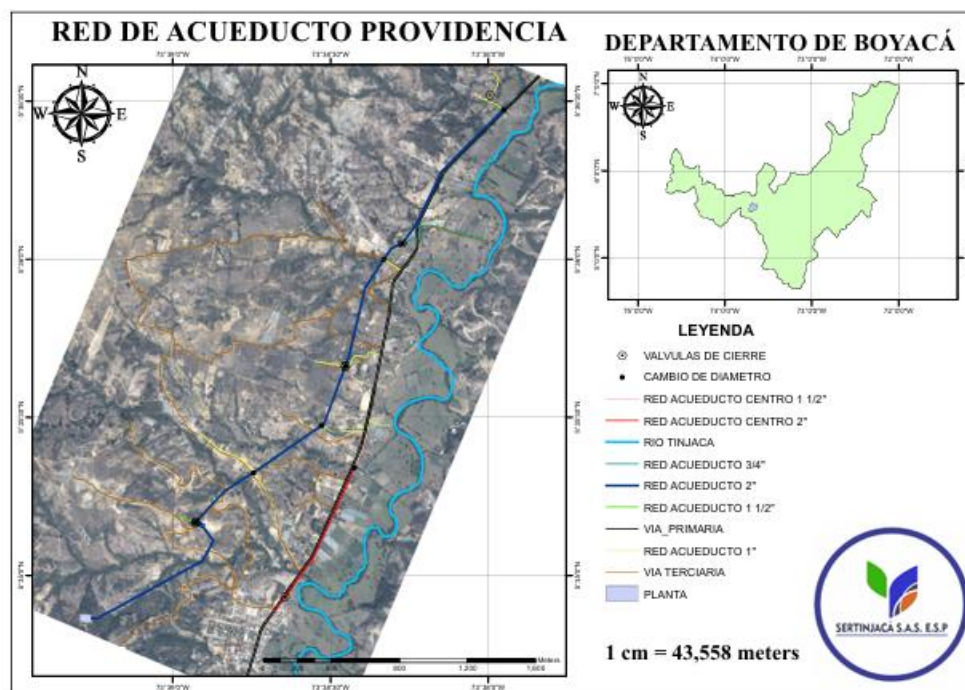
Fuente: Autor

Anexo 11 Mapa de Red Funza Bajo



Fuente: Autor

Anexo 12 Mapa de Red Providencia



Fuente: Autor