

APOYO AL SEGUIMIENTO TÉCNICO A LA AMPLIACIÓN DEL ACUEDUCTO
REGIONAL RÍO CHIQUITO, PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE A LA
VEREDA EL TRIUNFO, MUNICIPIO DE ARAUQUITA, DEPARTAMENTO DE
ARAUCA

BRALLAN ALEXI HERNÁNDEZ MONCADA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
AGUACHICA CESAR
2026

APOYO AL SEGUIMIENTO TÉCNICO A LA AMPLIACIÓN DEL ACUEDUCTO REGIONAL RÍO CHIQUITO, PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE A LA VEREDA EL TRIUNFO, MUNICIPIO DE ARAUQUITA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA.

PRÁCTICA ACADÉMICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

BRALLAN ALEXI HERNANDEZ MONCADA

DIRECTOR
ING. BRAYAN ALEXIS PARRA OROBIO, M.Sc, Ph.D.

CO-DIRECTORA
ING. LIZETH JOHANA RINCÓN NIÑO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR–SECCIONAL AGUACHICA
FACULTAD INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
AGUACHICA CESAR
2026

NOTA DE APROBACIÓN

El trabajo de grado Brallan Alexi Hernández Moncada, titulado “Apoyo al seguimiento técnico a la ampliación del acueducto regional río Chiquito, para el suministro de agua potable a la Vereda El Triunfo, municipio de Arauquita, departamento de Arauca.”, ha sido aprobado por los jurados, quien no se hace responsable de su contenido, pero lo ha encontrado correcto en su calidad y en su forma de presentación por lo que en fe de lo cual firman.

**NOMBRE DEL EVALUADOR
EVALUADOR 1**

**NOMBRE DEL EVALUADOR
EVALUADOR 2**

**NOMBRE DEL DIRECTOR DEL
TRABAJO DE GRADO**

**NOMBRE DEL CODIRECTOR DEL
TRABAJO DE GRADO**

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza y la oportunidad de alcanzar este logro. A mi familia, por brindarme el amor y el soporte necesario para seguir adelante. A Luz Belia Moncada Sánchez y Alexi Hernández, por creer en mí cuando más lo necesitaba.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, quienes con su esfuerzo me enseñaron que la educación es el camino hacia el crecimiento. A mis abuelos, por su ternura y apoyo. A la Universidad Popular del Cesar y a mis profesores, por compartir su conocimiento y ayudarme a crecer como profesional. A mis compañeros de estudio y amigos, quienes con su apoyo y motivación hicieron más ameno el proceso. A mis docentes, en especial al profesor Brayan Alexis Parra Orobio, por su guía y enseñanzas.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE ANEXOS	IX
GLOSARIO	X
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	12
2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. OBJETIVOS	18
5.1. Objetivo general.	18
5.2. Objetivos específicos.	18
6. MARCO TEÓRICO	19
7. MARCO LEGAL	22
8. ESTADO DEL ARTE	24
9. METODOLOGÍA	27
10. RESULTADOS Y ANÁLISIS	32
10.1 Simulación y modelación hidráulica en la vereda El Triunfo por medio de la herramienta EPANET®.	32
10.2 Análisis del cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente para la ejecución del proyecto	74
11. CONCLUSIONES	83
12. RECOMENDACIONES	84
13. OTRAS ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA PRÁCTICA	85
14. LITERATURA CITA	87
15. ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización Vereda el Triunfo..	28
Figura 2. Modelación hidráulica del sistema de acueducto regional de Rio Chiquito	¡Error! Marcador no definido.5
Figura 3. Modelación hidráulica red de suministro al Centro Poblado el Triunfo.....	766
Figura 4. Plano de presiones estática red de suministro al Centro Poblado el Triunfo.....	777
Figura 5. Vista en planta válvula reguladora de presión..	788
Figura 6. Vista en perfil válvula reguladora de presión. ...	¡Error! Marcador no definido.9
Figura 7. Modelación hidráulica red de suministro al Centro Poblado el Triunfo con VRP presión estática.....	¡Error! Marcador no definido.9
Figura 8. Modelación hidráulica red de suministro al Centro Poblado el Triunfo con VRP presión dinámica.....	¡Error! Marcador no definido.40
Figura 9. Red de distribución Centro Poblado El Triunfo – presión estática.....	¡Error! Marcador no definido.57
Figura 10. Plano de presiones estática Red de Distribución.	¡Error! Marcador no definido.57
Figura 11. Presiones en la red en el QMH.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12. Detalle Típico de Purga..	¡Error! Marcador no definido.70
Figura 13. Aire en tuberías..	¡Error! Marcador no definido.72
Figura 14. Bolsas de aire en puntos altos..	¡Error! Marcador no definido.73
Figura 15. Efecto de presiones sub-atmosféricas en las redes de distribución.....	¡Error! Marcador no definido.73
Figura 16. Válvulas de ventosa en puntos altos.	¡Error! Marcador no definido.73
Figura 17. Válvulas de ventosa en cambios de pendiente.....	¡Error! Marcador no definido.74
Figura 18. Detalle típico caja de válvulas de ventosa.. ...	¡Error! Marcador no definido.74
Figura 19. Diversos tipos de plantas sembradas para el programa de compensación ambiental.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Disposición de materiales de construcción (A). Estructura del tanque elevado (B).....	¡Error! Marcador no definido.79

Figura 21. Seguimiento técnico realizado a la compensación ambiental. **¡Error! Marcador no definido.**79

Figura 22. Ausencia de Señalización..... **¡Error! Marcador no definido.**81

Figura 23. Entrega de bolsas ecológicas y kits sustentables a niños de la Institución Educativa Bibiana Toredó. **¡Error! Marcador no definido.**82

Figura 24. Reunión entre representantes del Consorcio CUMARE SA ESP y la comunidad de la Vereda el Triunfo. **¡Error! Marcador no definido.**3

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Profundidades mínimas a cota clave de la tubería	752
Tabla 2. Datos técnicos válvula reguladora de presión.	¡Error! Marcador no definido.9
Tabla 3. Cálculo del RDE en la línea de conducción	¡Error! Marcador no definido.41
Tabla 4. Velocidades máximas según material de tuberías.	45
Tabla 5. Profundidades mínimas a cota clave de la tubería.	¡Error! Marcador no definido.46
Tabla 6. Características y beneficios clave de la tubería.	48
Tabla 7. Caudales determinados en cada nodo.	54
Tabla 8. Cálculo del RDE de la red de distribución	61
Tabla 9. Lista de chequeo de cumplimiento ambiental	76
Tabla 10. Matriz de seguimiento de medidas de compensación.	80

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas 5 y 7 del documento Medidas de Manejo Ambiental	89
Anexo 2. Formato planilla de Informe final del Proyecto aplicado	92

GLOSARIO

Acueducto rural: Infraestructura diseñada para la captación, tratamiento y distribución de agua potable en comunidades rurales, garantizando su acceso y calidad (Álvarez-Zaldívar & Barranco-Pilides, 2019).

Agua potable: Agua apta para el consumo humano que cumple con los estándares de calidad establecidos en la normativa vigente, asegurando la ausencia de contaminantes perjudiciales (Moreno Méndez, 2020).

Contaminación hídrica: Presencia de sustancias químicas, biológicas o físicas en el agua que afectan su calidad y representan un riesgo para la salud y el medio ambiente (Méndez & Estrada de Oses, 2024).

Gestión del agua: Conjunto de acciones y políticas orientadas a la planificación, distribución y conservación del recurso hídrico, con enfoque en sostenibilidad y equidad (Somoza Ríos, 2025).

Infraestructura sanitaria: Conjunto de instalaciones y sistemas que garantizan el saneamiento básico, incluyendo alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y disposición de desechos (Pareja-Pineda, 2025).

Mitigación ambiental: Estrategias implementadas para reducir los impactos negativos de actividades humanas sobre el medio ambiente, especialmente en relación con el agua y los ecosistemas (Vera Torrejón, 2015).

Normativa ambiental: Conjunto de leyes y regulaciones que establecen los parámetros para la protección y conservación del medio ambiente, incluyendo la gestión del agua. (Castañeda Sánchez et al., 2025).

Sostenibilidad hídrica: Uso responsable y equilibrado del agua para garantizar su disponibilidad a largo plazo, considerando factores ecológicos, sociales y económicos (Valdivia Cabral et al., 2024).

Vulnerabilidad hídrica: Condición de riesgo que enfrenta una comunidad o ecosistema ante la escasez de agua potable o su contaminación, afectando la calidad de vida y la salud pública (Sánchez Galán Quintero et al., 2024)

RESUMEN

El presente practica empresarial tuvo como objetivo apoyar el monitoreo y seguimiento técnico del proyecto de ampliación del acueducto regional río Chiquito, que brindará acceso a agua potable a 112 familias de la vereda de El Triunfo en Arauquita, Arauca. Estos objetivos incluyen: 1) Utilizar EPANET® con el fin de modelar la red de distribución analizando presiones, 2) evaluar el cumplimiento de los estándares ambientales y 3) supervisar las medidas de mitigación y compensación ambiental. Este proceso metodológico combina simulaciones hidráulicas, monitoreo basado en estándares (Ley 99 de 1993, Resolución 0631 de 2015) y visitas de campo para evaluar el progreso reportado vs. los avances ejecutados.

Los resultados mostraron que se cumplió la mayoría de los requisitos legales en cuanto al proceso de obtención de permisos ambientales, participación de la comunidad y métodos efectivos de gestión de residuos. Sin embargo, las zonas más alejadas de la red mostraron presiones de agua más débiles, con concentraciones de hierro superiores a las de algunas zonas secas y se observaron retrasos en las actividades de compensación forestal. Las simulaciones con EPANET® sugirieron mejoras técnicas en la red. La verificación de la compensación ambiental en campo reveló casos de algunas plantas sembradas en áreas no autorizadas, los cuales fueron resueltos mediante acuerdo con la ciudadanía. La práctica ha demostrado que el proceso es técnicamente factible, pero se necesitan medidas correctivas: completar la compensación forestal, instalar señalización faltante y acelerar el tratamiento de hierro. Las sinergias entre las herramientas tecnológicas (escritura), la gestión de documentos y la participación pública son clave para identificar brechas y abordarlas por medio de proponer soluciones viables. Por lo tanto, la ampliación del acueducto resolverá los problemas históricos del agua, y establecerá el estándar para un modelo rediseñado de gestión de recursos, administración ambiental y servicios comunitarios.

Palabras clave: Calidad del agua; Cumplimiento normativo; Gestión hídrica; Mitigación ambiental; Participación comunitaria.

1. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable y al saneamiento es un derecho que afecta directamente la vida y la salud de las comunidades. Sin embargo, en la zona de la vereda El Triunfo de la ciudad de Arauquita, este derecho ha sido negado durante más de cuatro décadas debido a la falta de agua y saneamiento. Los habitantes de la vereda se han visto obligados a construir ellos mismos fuentes de agua poco seguras, como los pozos profundos o "puntillos artesanales", los cuales no garantizan el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua establecidos por la Resolución 2115 de 2007. Además, la contaminación de las fuentes de agua subterránea debido a una distribución inadecuada del agua agrava aún más la crisis del agua y genera problemas medioambientales.

Ante esta crisis, el desarrollo de la ampliación del acueducto regional río Chiquito se presentó como una solución innovadora para garantizar la provisión de agua potable a 112 familias de la vereda El Triunfo. Conectar el pueblo a la red de suministro de agua reducirá significativamente los riesgos para la salud y mejorará la calidad de vida de los residentes. Además, el proyecto enfatiza la necesidad de una asignación equitativa del agua, prácticas fortalecidas de gestión del agua y un desarrollo sostenible mediante la adopción de estrategias de mitigación como la plantación de árboles y la conservación del agua.

En este sentido, el objetivo principal de este estudio es brindar apoyo en el seguimiento técnico a la ampliación del acueducto regional río Chiquito, asegurando el cumplimiento de los principios de gestión y la efectividad y eficiencia en la aplicación de dicho proyecto. Para lograrlo, se realizarán simulaciones hídricas en la región de El Triunfo con el software EPANET®. También se va a evaluar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y el cumplimiento de la normativa ambiental. Esto no sólo pretende contribuir al éxito del proyecto, sino también generar conocimientos técnicos esenciales para los futuros planes de abastecimiento de agua rural.

La importancia de este estudio es que ayuda a consolidar un proyecto que promueve los recursos de agua potable para llevarle bienestar a la población. Al mismo tiempo, también presenta una oportunidad para fortalecer las habilidades en ingeniería ambiental y sanitaria por medio del modelado y la evaluación de procesos en aplicaciones de la vida real. De esta manera, esta investigación pretende aportar soluciones al problema del abastecimiento de

agua en zonas rurales proporcionando un acceso igualitario y sostenible a este recurso esencial por parte de la población de la vereda El Triunfo.

2. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Cumare S.A. E.S.P es una empresa de servicios públicos, y actúa como gestora del Plan de Aguas Departamental (PDA) de Arauca, es la responsable de la administración del sistema departamental dentro de la Gobernación de Arauca. Sus principales responsabilidades incluyen el seguimiento, desarrollo, ejecución y ejecución de proyectos en el marco del sistema estratégico del recurso hídrico – Plan Departamental de Aguas de Arauca.

Reseña Histórica y Filosofía Institucional

Desde su consolidación como gestora del PDA, la empresa se ha convertido en el eje técnico y administrativo para la transformación del sector de agua potable en los siete municipios del departamento. Su gestión busca armonizar las políticas nacionales con las necesidades locales para garantizar el derecho al agua.

- Misión: Mejorar la calidad de vida de los ciudadanos mediante la optimización de los recursos hídricos y el uso seguro y eficiente del agua.
- Visión: Ser la entidad líder en la reducción de brechas de saneamiento básico en Arauca, promoviendo un desarrollo regional sostenible y equitativo.
- Valores Corporativos: La entidad rige su actuar bajo los principios de transparencia en la gestión pública, responsabilidad ambiental y compromiso social con las comunidades rurales y urbanas.

Organigrama Institucional

La estructura de la organización está diseñada para garantizar la eficiencia operativa y el cumplimiento de metas estratégicas:

1. Gerencia General: Dirección estratégica y representación legal.
2. Gerencia Técnica: Responsable de la planificación, diseño y supervisión técnica de infraestructura hidráulica.
3. Gerencia Administrativa y Financiera: Gestión de talento humano y recursos presupuestales.
4. Oficina Asesora Jurídica: Soporte legal y cumplimiento normativo.

Área de Vinculación: Gerencia Técnica

La práctica académica se desarrolló en la Gerencia Técnica, dependencia misional encargada de la viabilización y el seguimiento de los proyectos de inversión en agua potable y saneamiento básico. Esta área tiene la responsabilidad de asegurar la calidad técnica de las obras, la validación de diseños hidráulicos y el monitoreo de los cronogramas de ejecución para garantizar que las soluciones lleguen efectivamente a las comunidades beneficiarias.

A través de su gestión, la empresa se compromete a garantizar que los recursos hídricos y sanitarios se utilicen de manera eficiente y eficaz, cumpliendo con las normas ambientales y de salud vigentes. Para lograrlo, desarrolla planes de financiamiento, mejora los recursos hídricos y brinda asistencia técnica a las comunidades y ciudades receptoras.

Durante su carrera, CUMARE S.A E.S.P. trabaja para cerrar las brechas que existen en temas de agua potable y también de saneamiento en zonas rurales y urbanas, tiene su foco en el desarrollo de las comunidades en mayor riesgo. Su misión es mejorar la vida de las personas optimizando los recursos hídricos y utilizando el agua de forma segura y eficiente.

El gerente de CUMARE S.A. E.S.P es el Administrador de Empresas Jorge Eliécer Navarro Pinzón, y es la persona responsable por la implementación de los proyectos estratégicos, operativos y sustentables para alcanzar las metas del Plan Departamental de Agua en Arauca. Bajo su liderazgo, la organización está trabajando por la igualdad de acceso a los servicios públicos esenciales en el sector con iniciativas innovadoras y sostenibles.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vereda El Triunfo, ubicada en el municipio de Arauquita, lleva más de cuatro décadas sin agua ni suministro de agua. Como resultado, el acceso al agua potable es un problema dentro de la comunidad. Actualmente, el abastecimiento de agua de la región se basa en pozos profundos conocidos localmente como "puntillos artesanales". Sin embargo, la calidad del agua de dichos pozos no cumple con los estándares de la Resolución 2115 de 2007, lo que plantea graves riesgos para la salud pública.

Los problemas de salud asociados con la falta de agua potable incluyen afecciones gastrointestinales, enfermedades de la piel y patógenos gastrointestinales como las bacterias *Escherichia coli* y *Giardia intestinalis*. Además, se detectaron la presencia de algunos metales pesados, como el hierro. Cualquier sistema séptico que no descargue adecuadamente las aguas residuales puede provocar riesgo para las aguas subterráneas, lo que puede afectar la calidad del agua que consumen las personas.

En este contexto, el proyecto de ampliación del acueducto regional Río Chiquito busca solventar la crisis hídrica pública conectando la vereda El Triunfo, que atiende a 112 familias, a la red regional de abastecimiento de agua, garantizando el suministro continuo de agua potable y reduciendo los riesgos a la salud pública. Todo lo anterior plantea la pregunta: ¿Cómo se puede brindar apoyo en el seguimiento técnico a la ampliación del acueducto regional río Chiquito, para el suministro de agua potable a la vereda El Triunfo, municipio de Arauquita, Arauca?

4. JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable y al saneamiento son problemas importantes que afectan la salud pública y el bienestar de las comunidades. Esta iniciativa no sólo ayuda a mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la vereda de El Triunfo, sino que también contribuye a la reducción de la pobreza, a fomentar la cohesión social y mantiene la sostenibilidad ambiental en la región.

Desde una perspectiva social, el proyecto ha fortalecido la participación política de las comunidades más desfavorecidas, garantizando la distribución equitativa de recursos y el acceso a servicios esenciales. Además, facilita la planificación y participación pública en la conservación del agua, la sostenibilidad ambiental y los esfuerzos de colaboración para mejorar el uso eficiente del agua.

Desde el punto de vista medioambiental, la infraestructura prevista ayudará a conservar los recursos hídricos regulando el consumo de agua y evitando la explotación excesiva de las aguas subterráneas. Las estrategias de protección ambiental, como la siembra de árboles y la conservación de fuentes hídricas, al implementarse, reducen de manera que significativa el riesgo de contaminación y mejoran la conservación del agua a largo plazo.

Finalmente, la presente practica empresarial representa la oportunidad de aplicar conocimientos tecnológicos en el campo del agua potable y saneamiento básico. A través de actividades de monitoreo y seguimiento, la simulación hidráulica y análisis legal y normativo, se fortalecerán los conocimientos y habilidades en ingeniería ambiental y sanitaria, ayudando a educar a los profesionales en soluciones innovadoras de conservación del agua.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general.

Brindar apoyo en el seguimiento técnico a la ampliación del acueducto regional río Chiquito, para el suministro de agua potable a la vereda El Triunfo, municipio de Arauquita, Arauca.

5.2. Objetivos específicos.

- Desarrollar la simulación y modelación hidráulica de la red de distribución de agua potable en la vereda El Triunfo mediante la herramienta EPANET®.
- Analizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente para la ejecución del proyecto, con el fin de identificar posibles desviaciones
- Verificar la implementación de las estrategias de mitigación ambiental establecidas en el proyecto, asegurando que los recursos otorgados, como la entrega de árboles a la comunidad, hayan sido gestionados y utilizados según lo planificado.

6. MARCO TEÓRICO

El acceso al agua potable y al saneamiento básico en las zonas rurales es uno de los aspectos más importantes del desarrollo sostenible y la cohesión comunitaria. En Colombia, a pesar de los avances en los sectores económico y social, la pobreza sigue aumentando. Según Moreno Méndez (2020), la calidad del agua potable en estas zonas es menor que en la ciudad, lo que significa que no existe riesgo para la salud. Entre los problemas que han surgido se encuentran la falta de infraestructura adecuada, la dispersión de la población y el mal control del recurso hídrico por parte de las entidades medioambientales y administrativas encargadas. Este problema no sólo amenaza la salud de las personas, sino que también perpetúa un ciclo de pobreza económica y social difícil de romper.

En la investigación de Pareja-Pineda (2025) también se evidencian los límites de la articulación, descentralización y participación en la gestión del agua potable en zonas rurales. Pareja-Pineda (2025) analiza cómo la falta de una gobernanza efectiva ha impedido que las comunidades rurales accedan a servicios hídricos de calidad. Según Pareja-Pineda (2025) a pesar de que se han hecho esfuerzos por descentralizar la administración del agua, estos se han obstaculizado por problemas de coordinación entre los distintos niveles del gobierno. Lo anterior resalta la importancia de diseñar modelos de gestión del agua que integren activamente a las comunidades y que también promuevan una participación real en la toma de decisiones. La implementación de estrategias de gobernanza policéntrica podría contribuir a la solución de estas dificultades, permitiendo una distribución más equitativa y sostenible del recurso hídrico.

Se ha identificado que la gobernanza del agua en comunidades rurales enfrenta retos similares, según lo muestra el estudio de Sánchez et al. (2024), en la comunidad rural de Platanilla, en Darién, se han registrado problemas relacionados con la gestión del agua debido a la falta de coordinación entre actores gubernamentales y comunitarios. La ausencia de una planificación estratégica a largo plazo y también la debilidad en la regulación han permitido que surjan conflictos por el uso del recurso hídrico. Este análisis refuerza la idea de que la participación comunitaria es clave para garantizar una gestión eficiente y equitativa del agua. Además, resalta la necesidad de fortalecer los mecanismos de control y monitoreo para evitar el agotamiento y la contaminación del recurso.

Hablando sobre la aplicación de tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas, Alvarez-Zaldívar y Barranco-Pilides (2019) proponen un modelo de gestión para la desinfección del agua en comunidades rurales basado en tecnologías apropiadas. Su investigación en Ipetí Emberá, Panamá, demuestra que la implementación de sistemas de filtración y purificación de bajo costo puede mejorar significativamente la calidad del agua disponible para la población. Este modelo de gestión también destaca la importancia de la capacitación comunitaria en el mantenimiento y operación de estos sistemas, y también asegurando su sostenibilidad a largo plazo. Así, se enfatiza que la tecnología, cuando es apropiadamente implementada y socializada, puede representar una solución viable a los problemas de abastecimiento de agua en el ámbito rural.

La gestión sostenible del agua ha sido abordada desde una perspectiva agroecológica y de gobernanza policéntrica, como se evidencia en la investigación de Valdivia Cabral et al. (2024), el cual sostienen que la innovación en técnicas de riego y conservación del suelo es fundamental para el uso eficiente del agua en el sector agrícola. La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, a la vez que, con prácticas de agroforestería, ha permitido una mayor sostenibilidad en el uso del recurso hídrico. Este enfoque al mismo tiempo también resalta la necesidad de desarrollar estrategias integrales que no solo consideren la disponibilidad del agua, sino también su relación con el ecosistema y la producción agrícola sostenible.

Además, el análisis de la gestión del agua en México basado en datos de la OCDE, ha mostrado que parece existir una correlación entre la eficiencia en la administración del recurso y la sostenibilidad ambiental. Según el estudio hecho por Somoza Ríos (2025) se señala que los países que han logrado una gestión más eficiente del agua presentan mejores indicadores de conservación y también un menor impacto ambiental. Todo lo anterior es una evidencia de la gran necesidad de implementar políticas basadas en datos y evidencia empírica que permitan mejorar la gestión del recurso hídrico a nivel local y nacional.

El impacto ambiental de las actividades productivas sobre los recursos hídricos también es un aspecto clave a considerar. La investigación de Vera Torrejón (2015) se señala que la mitigación ambiental debe ser una obligación de las industrias que operan en regiones con recursos hídricos vulnerables. De una manera similar, el estudio de Méndez y Estrada de

Oses (2024) analizan el impacto de la deforestación de los manglares en la Bahía de Chame y también proponen medidas de mitigación ambiental. Estos estudios demuestran que la regulación ambiental es crucial para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y la disponibilidad de agua para las comunidades rurales.

En Colombia existe la paradoja de la disponibilidad de agua de mala calidad en algunas zonas rurales y ha sido analizada por el investigador Camacho Botero (2020). Este autor Camacho Botero (2020) argumenta que, a pesar de la abundancia de fuentes hídricas, muchas comunidades carecen de acceso a agua potable por la contaminación y también por la falta de infraestructura adecuada. Esto resalta la necesidad de implementar proyectos de saneamiento básico que garanticen la calidad del agua y que también reduzcan los riesgos para la salud pública.

Los estudios sobre impacto ambiental y gestión de recursos naturales indican la importancia de integrar enfoques sostenibles en la planificación del desarrollo. El estudio de Castañeda Sánchez et al. (2025) destacan que la creación de empresas consultoras especializadas en el manejo sostenible del agua tiende a contribuir a mejorar la eficiencia en la gestión de este recurso tan preciado. Resulta fundamental seguir fortaleciendo la investigación y la implementación de políticas públicas que promuevan la equidad en el acceso al agua potable y también el saneamiento básico en las zonas rurales.

7. MARCO LEGAL

El marco legal es el que dirige la protección del medio ambiente y la gestión sostenible en Colombia se fundamenta en diversos principios y artículos constitucionales, leyes y decretos que establecen principios rectores para la planificación, para el uso y también para la conservación de los recursos naturales. La Constitución Política de 1991 es la norma de normas, y también es la que determina el modelo de desarrollo sostenible que involucra al Estado y a la comunidad en la protección del medio ambiente.

La Constitución, en su artículo 1, define a Colombia como un Estado Social de Derecho, basado en la dignidad humana, el trabajo y la solidaridad, valores que enmarcan la gestión ambiental en un contexto de bienestar colectivo. En concordancia con lo que se viene diciendo el artículo 2 establece como uno de los fines esenciales del Estado garantizar la efectividad de los derechos y principios, lo que incluye el derecho a un ambiente sano. En este sentido, el artículo 6 consagra la responsabilidad tanto de particulares como de servidores públicos en el cumplimiento de las normas ambientales.

Teniendo en cuenta el aspecto territorial el artículo 7 de la Constitución reconoce y protege la diversidad étnica y cultural en todas las partes de la nación, lo que implica la preservación de los territorios y también de los ecosistemas fundamentales para comunidades indígenas y locales. El artículo 8 reafirma la obligación conjunta del Estado y la comunidad en la protección de las riquezas culturales y naturales, promoviendo un enfoque participativo en la gestión ambiental. Por su parte, el artículo 79 establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, asegurando la participación de la comunidad en las decisiones que lo afectan, y el artículo 80 establece la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales dentro de un marco de desarrollo sostenible.

En cuanto al ordenamiento territorial, el artículo 82 establece la protección del espacio público como un bien de uso común que prevalece sobre los intereses particulares. Además, los artículos 300 y 313 otorgan competencias a los concejos municipales y a las asambleas departamentales para dictar normas ambientales dentro de sus jurisdicciones. El artículo 330 también dispone que la explotación de recursos naturales en territorios indígenas debe realizarse respetando la integridad cultural, social y también la económica de las

comunidades, promoviendo su participación en las decisiones relacionadas con dichos recursos.

El régimen económico también contempla disposiciones ambientales importantes en esta materia. El artículo 332 establece que el Estado es propietario del subsuelo y los recursos naturales no renovables, mientras que los artículos 333 y 334 facultan la intervención del Estado en actividades económicas con el fin de mejorar la calidad de vida y garantizar un ambiente sano. En el contexto de la administración de riesgos y prevención de desastres, el artículo 88 regula la protección de los derechos colectivos en materia de patrimonio, seguridad y ambiente, garantizando la responsabilidad civil en caso de afectaciones ambientales.

Dentro del marco normativo específico, de la Ley 99 de 1993 representa un hito en la gestión ambiental del país, al crear el Ministerio del Medio Ambiente y reorganizar el sector público encargado de la conservación de los recursos naturales. Asimismo, esta ley estableció el Sistema Nacional Ambiental (SINA) como la entidad encargada de articular la política ambiental en el país.

Otra norma relevante es de la Ley 388 de 1997 que regula el ordenamiento territorial municipal y distrital, y también establece mecanismos para integrar criterios ambientales en la planificación del desarrollo urbano y rural. Esta ley fortalece la gestión sostenible del territorio, asegurando que las actividades económicas y de infraestructura se desarrollen en armonía con la preservación del ambiente.

Estas disposiciones son las que rigen el proyecto abordado en este informe y van orientadas hacia el desarrollo sostenible y la gestión ambiental integral, sentando las bases para la implementación de políticas y programas orientados a la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales.

8. ESTADO DEL ARTE

En muchos países especialmente en América Latina el acceso al agua potable y al saneamiento en las zonas rurales sigue siendo un desafío. Según el estudio hecho por Moreno (2020) se encontró que la falta de recursos financieros y la ausencia de intervenciones comunitarias dificultan el abordaje de este tipo de problemas. El problema se agrava por la falta de fondos y la incapacidad de las empresas para mantener adecuadamente los sistemas de suministro de agua. En este sentido, es necesario considerar estrategias para mejorar la calidad del trabajo y sostener su existencia en el tiempo.

A nivel internacional, la descentralización y la participación comunitaria han sido identificadas como factores clave para la gestión del agua en áreas rurales. Pareja-Pineda (2025) destaca que, en Chile, a pesar de los esfuerzos por descentralizar la gestión del agua potable, persisten limitaciones en la articulación entre actores locales y nacionales, lo que genera problemas en la eficiencia y equidad del acceso. La gobernanza del agua, en este contexto, debe incorporar mecanismos que permitan una mayor coordinación y participación de las comunidades beneficiarias para asegurar soluciones efectivas y sostenibles.

En Panamá, la gobernanza del agua en comunidades rurales ha sido objeto de estudios recientes que evidencian la necesidad de un enfoque participativo. Sánchez et al. (2024) realizaron un diagnóstico en la comunidad de Platanilla, Darién, donde identificaron que la falta de gestión comunitaria efectiva y la escasez de recursos técnicos y financieros han limitado el desarrollo de infraestructuras hídricas sostenibles. La investigación resalta la importancia de fortalecer los mecanismos de gobernanza local y de implementar modelos de gestión que involucren activamente a la comunidad.

El uso de tecnologías sostenibles para la desinfección del agua, también es un aspecto crucial en la gestión de los acueductos rurales. Álvarez-Zaldívar y Barranco-Pilides (2019), también proponen un modelo de gestión para la junta administradora del acueducto rural en Ipetí Emberá, Panamá. Este modelo también incorpora tecnología sostenible para la desinfección del agua. Ha demostrado ser una alternativa viable también, mejorando la calidad del agua en comunidades con recursos limitados. Resalta también la importancia de implementar soluciones innovadoras adaptadas a contextos rurales específicos también.

En México también la gestión sostenible del agua ha sido un tema central, en las discusiones sobre gobernanza y desarrollo agroecológico. Valdivia et al (2024) también proponen un enfoque policéntrico de gobernanza, integrando la innovación agroecológica como una estrategia clave también para el manejo eficiente del recurso hídrico. La combinación de tecnología participación comunitaria y políticas públicas bien estructuradas ha demostrado ser un camino viable hacia la sostenibilidad también, especialmente en la gestión del agua en contextos rurales.

Somoza (2025) realizó un análisis correlacional basado en datos de la OCDE también, en el cual se evidencian los factores que influyen en la eficiencia de la gestión del agua dulce. También desde una perspectiva cuantitativa, el análisis de la gestión del agua en México ha sido abordado. Los hallazgos del estudio subrayan también la importancia de considerar variables económicas políticas y sociales, para comprender las dinámicas de acceso y distribución del recurso hídrico en distintos contextos.

La mitigación y la compensación ambiental en actividades productivas o extractivas es otro factor relevante en la gestión del agua. El estudio de Vera (2015) se destaca la obligatoriedad y aplicación práctica de medidas de mitigación ambiental, las cuales tienen un impacto directo en la calidad del agua en comunidades cercanas a actividades industriales. Estas medidas son muy importantes para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico y también para minimizar los efectos negativos de la actividad humana sobre los ecosistemas acuáticos.

El impacto de la deforestación en la calidad del agua ha sido analizado en diversos estudios. En el trabajo de Méndez y Estrada (2024) investigaron los efectos de la deforestación de los manglares en la Bahía de Chame y llegaron a la conclusión de que la degradación de estos ecosistemas afecta negativamente la disponibilidad y también a la calidad del agua. Este fenómeno resalta la necesidad de implementar estrategias de conservación y restauración ambiental para proteger las fuentes de agua en regiones vulnerables.

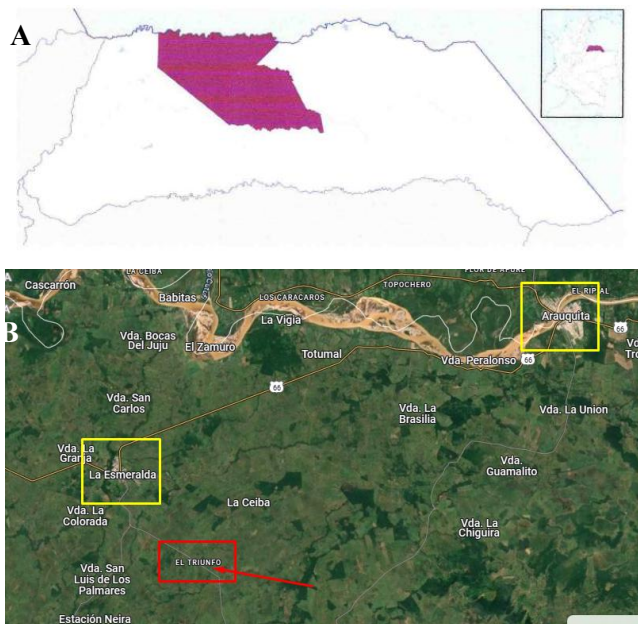
En la investigación de Camacho Botero (2020) se señala que, a pesar de la abundancia de recursos hídricos en el país la calidad del agua en zonas rurales sigue siendo deficiente debido a la contaminación y la falta de infraestructura adecuada. Esto que se acaba de señalar hace aún más importante la necesidad de políticas públicas que prioricen la inversión en sistemas de saneamiento y tratamiento de agua.

El impacto ambiental de los cultivos de palma de aceite en la calidad del agua ha sido también objeto de estudio en Colombia. En el trabajo investigativo de Castañeda et al. (2025) se realizaron un estudio de impacto ambiental para la creación de una empresa consultora en RSPO, identificando los principales retos y oportunidades en la gestión del recurso hídrico en áreas de cultivo. Las empresas relacionadas deben trabajar en la implementación de certificaciones ambientales y buenas prácticas agrícolas, ya que esas son estrategias clave para mitigar los efectos negativos de esta actividad en el agua y los ecosistemas circundantes.

9. METODOLOGÍA

9.1. Área de estudio.

La vereda El Triunfo se ubica en el municipio de Arauquita, departamento de Arauca (Colombia), entre las coordenadas geográficas 6°57'39" N y 71°35'00" O. Limita al norte con el río Chiquito, principal fuente hídrica del proyecto de ampliación del acueducto regional, y al sur con áreas de uso agropecuario. La zona presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas promedio de 28°C y una precipitación anual de 2.500 mm, distribuida en dos temporadas de lluvias (abril-junio y octubre-noviembre) y dos de sequía relativa.



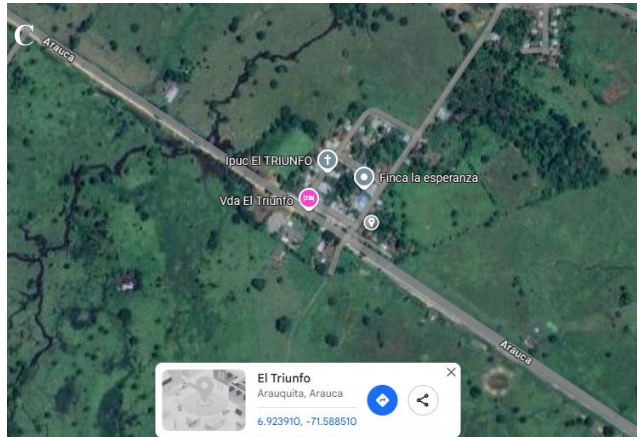


Figura 1. Localización Vereda el Triunfo. Municipio de Arauquita (A). Señalada en rojo, cerca de La Esmeralda y de Arauquita (B). Microlocalización (C).

En la vereda viven alrededor de 112 familias y representan aproximadamente a 450 habitantes, cuya principal actividad económica es la agricultura de subsistencia y también la ganadería extensiva. El área de estudio corresponde al trazado de la red de distribución de agua proyectada, es decir, que abarca 3.2 km lineales desde la conexión con la red matriz del acueducto regional hasta los puntos de entrega domiciliaria. La topografía es predominantemente plana, con suelos de tipo aluvial, lo que facilita la implementación de infraestructura hídrica.

9.2. Desarrollo metodológico.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto (cuantitativo-cualitativo), enfocado en el seguimiento técnico-administrativo del proyecto de ampliación del acueducto regional río Chiquito. Este enfoque permite combinar la precisión numérica de la ingeniería con la observación descriptiva de los procesos normativos. La metodología se estructuró en tres etapas principales, alineadas directamente con los objetivos específicos planteados:

Para el Objetivo 1 (Simulación hidráulica): Se empleó el software EPANET®, herramienta especializada en la modelación de redes de distribución de agua potable. Los datos de entrada para la simulación se obtuvieron de los informes técnicos

proporcionados por la empresa auditora INTEGRAL, incluyendo especificaciones clave como diámetros de tuberías (desde 2 hasta 6 pulgadas), caudales de diseño (15 L/s) y puntos de consumo domiciliario (112 conexiones). Adicionalmente, se integraron datos climatológicos del área de estudio, como precipitación media y temperatura, para ajustar el modelo a las condiciones reales de la vereda El Triunfo. La validación de los resultados hidráulicos se realizó mediante la comparación con los estándares de diseño establecidos en la Resolución 0330 de 2017, la Resolución 0799 de 2021 y la Resolución 844 de 2018. Es importante precisar que la evaluación de la calidad del agua se abordó como una verificación documental de terceros, contrastando los reportes de laboratorio frente a la Resolución 2115 de 2007, dado que el alcance de la simulación en software se limitó estrictamente al comportamiento hidráulico (presiones y caudales).

En el marco del Objetivo 2 (Análisis de cumplimiento normativo): Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de documentos técnicos y legales asociados al proyecto, con el fin de contrastar las acciones ejecutadas con los requerimientos legales vigentes. Para lograr esto, se diseñó una lista de chequeo basada en la Ley 99 de 1993 (gestión ambiental) y la Resolución 0631 de 2015 (manejo de residuos y emisiones). Esta herramienta permitió identificar detalladamente el avance en programas críticos como el manejo integral de residuos sólidos y la compensación forestal, contrastando minuciosamente los registros fotográficos, actas de entrega y reportes de avance mensual con lo establecido en los planes ambientales originales del proyecto.

Para el Objetivo 3 (Verificación de estrategias de mitigación): Se combinaron métodos de campo y gabinete para asegurar una auditoría integral. Se realizaron visitas de campo sistemáticas a la vereda El Triunfo y zonas aledañas al río Chiquito, enfocadas en observar la implementación física de las medidas de mitigación, como la siembra de árboles nativos y la instalación de señalización preventiva en la obra. Complementariamente, estas visitas permitieron validar la ejecución de actividades participativas (ej.: entrega de árboles, capacitaciones sociales). Paralelamente, se

analizaron registros documentales, como actas de entrega firmadas por la comunidad y reportes fotográficos de avance, los cuales se contrastaron con las metas establecidas dentro del documento de Medidas de Manejo Ambiental para verificar el cumplimiento real de los compromisos de sostenibilidad.

En cuanto a la población y muestras, el estudio se centró en dos componentes principales: 1) la documentación técnica del proyecto (informes de avance, permisos ambientales, registros de capacitación y planes de manejo) y 2) la infraestructura física del acueducto en construcción (tuberías, pozos, sistemas de tratamiento). Cabe resaltar que no se realizaron muestreos de agua o suelo, ya que los datos utilizados se obtuvieron de informes previos emitidos por la interventora INTEGRAL y el Consorcio Acueducto El Triunfo, entidades responsables de la supervisión y ejecución de la obra. Esta decisión metodológica se alineó con el alcance del seguimiento técnico, el cual priorizó la revisión crítica de información secundaria en lugar de la generación de datos primarios.

Finalmente, la metodología adoptada permitió un abordaje integral del proyecto, combinando herramientas tecnológicas (EPANET®), análisis normativo y verificación in situ, lo que facilitó la identificación tanto de avances como de oportunidades de mejora en la implementación del acueducto regional.

9.3. Análisis de los datos.

El análisis de los datos se abordó desde un enfoque mixto, priorizando la interpretación contextual de la información recopilada para ofrecer una visión clara del estado del proyecto. Este proceso se estructuró en tres ejes centrales:

Eje de Simulación Hidráulica: Se realizó un análisis cuantitativo de los resultados obtenidos en EPANET® (específicamente presiones en nodos y velocidades en tuberías), comparándolos directamente con los límites técnicos permitidos por la

Resolución 0330 de 2017 y normas complementarias. Esto permitió validar si el diseño satisface las necesidades de presión mínima requerida para la zona rural.

Eje de Cumplimiento Normativo: Se centró en contrastar las acciones ejecutadas en obra con los requisitos legales y los programas ambientales del proyecto. Para ello, se tabularon las desviaciones identificadas en documentos clave, como el Informe de seguimiento No. 7, utilizando una lista de chequeo para cumplimiento ambiental. Se realizó un análisis de cumplimiento porcentual para determinar el nivel de efectividad de la gestión administrativa frente a la norma.

Eje de Mitigación Ambiental: Correspondió a la evaluación de las medidas de compensación, para lo cual se elaboró una matriz de seguimiento que comparó el avance reportado en los documentos internos (Medidas de Manejo Ambiental) con la ejecución física verificada en campo. Se calculó el cumplimiento porcentual de estas medidas, permitiendo identificar brechas entre lo planificado y lo ejecutado en términos de mitigación del impacto ambiental.

10. RESULTADOS Y ANÁLISIS

10.1 Simulación y modelación hidráulica en la vereda El Triunfo por medio de la herramienta EPANET®.

Diseño de los Componentes del Sistema

- **Conducción**

El transporte de agua en conducciones puede ser a flujo libre o presión, para el caso específico del proyecto el suministro de agua potable al centro poblado el Triunfo se diseñará una red que se conecta al sistema de acueducto regional de río Chiquito COARCHIQ LTDA, del municipio de Saravena el cual tiene cobertura actualmente de 5 centros poblados y 28 veredas del municipio de Saravena, 9 veredas del municipio de Fortul y 3 veredas del municipio de Arauquita.

- **Caudal de Diseño**

Se emplearán los caudales de diseño calculados en las Tablas 9,10,11 y 12 del informe de diagnóstico, en donde se determina que el caudal de la conducción hasta el tanque de almacenamiento elevado proyectado es el QMD, es decir, 1.28 L/s.

- **Parámetros de Diseño**

Para el diseño de las conducciones se deberá tener en cuenta lo siguiente de acuerdo a los establecido en el artículo 15 de la Resolución 0799 de diciembre de 2021:

- Los sistemas de conducción deben contar con un cálculo hidráulico que contemple diferentes condiciones operativas o de expansión, tomando como referencia el trazado sobre planos topográficos a escala adecuada de la conducción existente, si la hubiere y de las alternativas de conducción propuestas por el diseñador.
- En la selección del diámetro, se deben analizar las presiones de trabajo, las velocidades de flujo, la longitud de la línea de conducción y la estabilidad geotécnica del corredor correspondiente.

- Para el diseño de conducciones por gravedad o impulsión por bombeo se tendrá en cuenta los siguientes requisitos.
- Se procurará que el trazado de la línea sea lo más corto posible.
- La velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s, o aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1.50 Pa, mientras que la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto a emplear y/o los accesorios correspondientes-
- La tubería seleccionada deberá soportar la sumatoria de las presiones dinámicas y la máxima sobrepresión ocurrida por causas de un fenómeno de golpe de ariete, esto afectado por un factor de seguridad que dependerá del tipo de sistema: 1.3 para sistemas por bombeo y 1.1 sistemas por gravedad.
- Se deberá garantizar una presión dinámica mínima de cinco (5) metros en los puntos topográficos más elevados, tomando como referencia la clave del ducto.
- Para proyectos rurales se deberán proyectar presiones dinámicas en las viviendas superiores a 5 m.c.a, generando una repartición de caudales uniforme mediante cámaras o estructuras distribuidoras que permitan la entrega de un mismo caudal domiciliaria, independientemente de la cota en la cual se encuentra la vivienda.

Profundidad de la Tubería

De acuerdo al artículo 16 de la resolución 799 de 2021, la profundidad de la tubería no debe exceder de 1.50 m, medidos desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno.

Tabla 1. Profundidades mínimas a cota clave de la tubería

SERVIDUMBRE	PROFUNDIDAD A CLAVE – Zona urbana	PROFUNDIDAD A CLAVE – Zona rural
Vías peatonales o zonas verdes agrícolas	0.60	1.00
Vías vehiculares	1.00	1.00

Válvulas de Ventosa

Las líneas de conducción y distribución deben contar con válvulas ventosas. Estas se ubicarán en los sitios altos de la red, en cambios bruscos de pendiente de positiva a negativa, en tramos de tubería con pendiente constante y baja ($\leq 3\%$), cada 300 m y en otras zonas en las que se considere necesario, de acuerdo con un análisis técnico. El diámetro mínimo de las ventosas debe ser de 25 mm. En todos los casos, el diámetro deberá calcularse para las condiciones particulares de cada proyecto (Art 66 Res 0330 de junio de 2017).

Válvulas de Purga

Debe instalarse válvulas de purga en los puntos bajos de las redes, con el fin de permitir el lavado y la descarga de las mismas. El diámetro de la tubería de desagüe deberá estar entre $1/3$ y $1/4$ del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores de 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal. Se deberán verificar las condiciones de presión y protección respectiva de la válvula para evitar su daño. (Art 67 Res 0330 junio de 2017).

Válvulas de Corte

Se deberán instalar válvulas de control al comienzo y al final de la conducción, con un diámetro igual al de la tubería. En sistemas de acueductos de gran tamaño, además de las válvulas inicial y final, deberán colocarse válvulas intermedias espaciadas como máximo cada 1000 m.

- **Análisis de la Red de Conducción**

La línea de la conducción será modelada de acuerdo al alineamiento proyectado en el que se instalará la tubería de PVC, dado las condiciones topográficas de la zona.

Pérdidas de Carga

Para el cálculo de pérdidas de carga en una red mixta se acepta el uso de la fórmula de Darcy – Weisbach o Hazen – Williams, pero se debe tener en cuenta que la fórmula de Hazen – Williams no arroja resultados confiables para diámetros inferiores a 4”.

Para este diseño se empleó la fórmula de Darcy – Weisbach por ser la ecuación general para sistemas de tuberías a presión, combinada con la de Colebrook – White.

Para el cálculo de la línea de conducción se usó el software EPANET, desarrollado por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU con el fin de disponer de una herramienta para el cálculo, entre otras cosas, del comportamiento hidráulico en sistemas de distribución de agua. En estos momentos es uno de los paquetes informáticos más completo que existe en el campo de la simulación de sistemas hidráulicos, hecho que unido a su distribución libre hace que sea el software más extendido.

EPANET permite la simulación de todo tipo de redes de distribución de agua de una forma sencilla, con un número cualquiera de elementos hidráulicos incluyendo depósitos, sistemas de bombeo, bancos de válvulas, tuberías, uniones, etc. utilizando tan solo la interface gráfica. Además, permite realizar cálculos incluyendo curvas de demanda y simular fugas en diferentes componentes de la red.

Presión Estática

Se obtiene de restarle a la cota del punto más alto la cota del punto analizado, es decir esta es la presión en la tubería cuando el fluido no está en movimiento, en algunas ocasiones esta presión es mayor a la presión dinámica por lo cual se debe tener en cuenta en el análisis de resistencia de la tubería.

Presión Dinámica

Se obtiene de restarle a la presión estática del punto la pérdida de carga acumulada hasta ese punto.

Simulación Hidráulica

Se realizó la simulación hidráulica del sistema de acueducto regional de río Chiquito COARCHIQ LTDA, del municipio de Saravena, al cual se proyecta realizar la conexión para el suministro del agua potable al tanque de almacenamiento proyectado para el centro poblado el Triunfo.

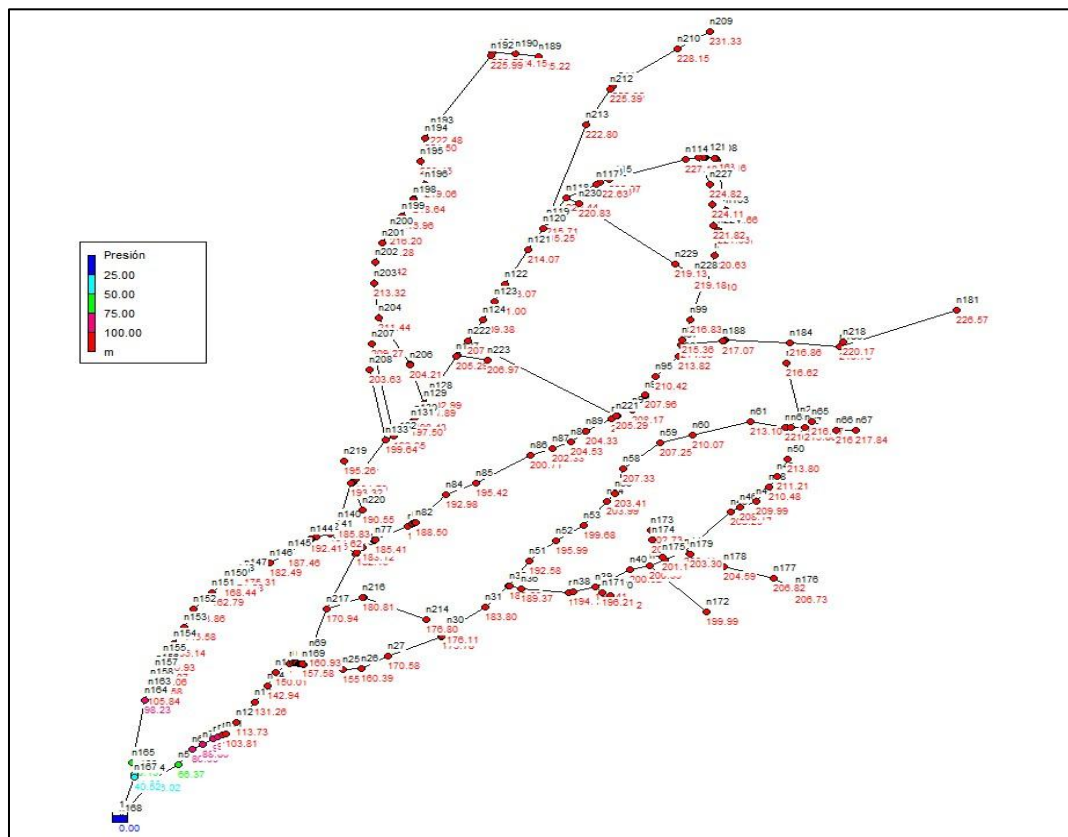


Figura 2. Modelación hidráulica del sistema de acueducto regional de río Chiquito COARCHIQ LTDA

En los resultados de la modelación se observa que la red en general presenta presiones superiores a 100 m.c.a y en el punto en el que se realizara la conexión de la red de suministro para el centro poblado en Triunfo se tiene una presión estática de 226.57 m.c.a

Se realiza la simulación hidráulica de la línea de suministro proyectada conectada al sistema de acueducto regional de río Chiquito COARCHIQ LTDA, del municipio de Saravena.

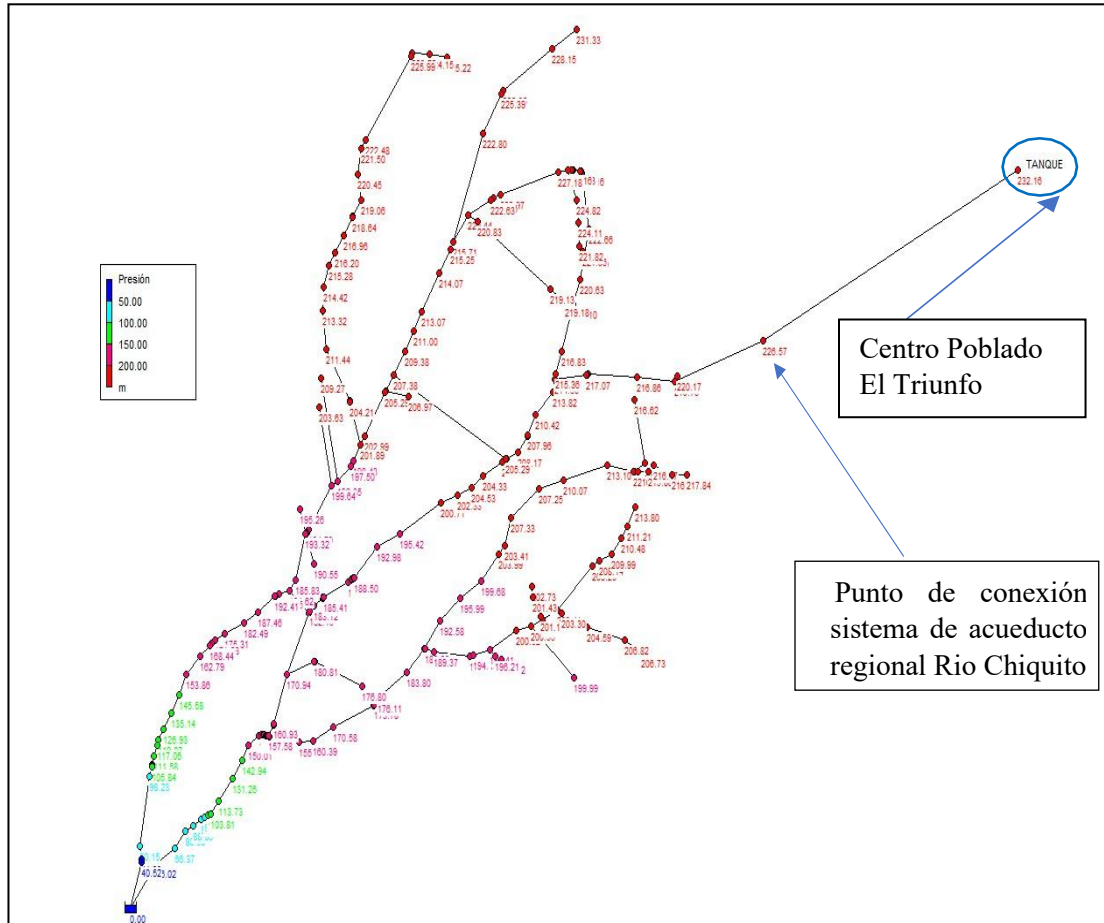


Figura 3. Modelación hidráulica red de suministro al Centro Poblado el Triunfo.

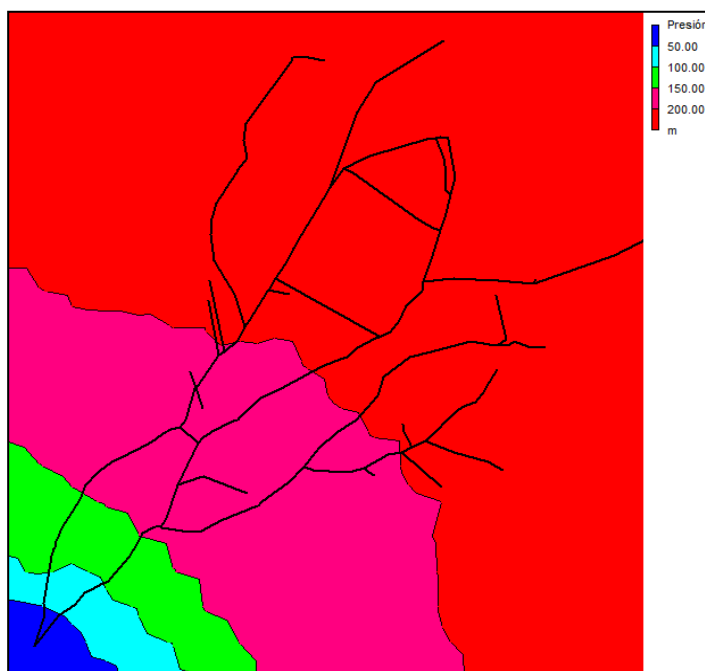


Figura 4. Plano de presiones estática red de suministro al Centro Poblado el Triunfo

En el resultado se evidencia que la presión estática de la red en la llegada al tanque proyectado para el Centro Poblado El Triunfo es de 232.16 m.c.a lo cual no es concordante con lo establecido en la Resolución 799 de 2021, por lo que se propone el uso de una VRP (Válvula reguladora de Presión).

Válvula Reguladora de Presión.

Estas válvulas se utilizan para regular o reducir la presión en puntos específicos de la red de distribución de agua potable. Las cuales deben de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Para redes de distribución, el diámetro de la válvula debe determinarse de acuerdo con el caudal máximo horario para el final del periodo de diseño del sector que atiende (Art 65 Res 0330 junio 2017).
- Para poblaciones de más de 60 000 habitantes, las válvulas reguladoras de presión podrán utilizar sistemas scada o similares y actuadores eléctricos para operación remota para efectos de operación y mantenimiento (Art 65 Res 0330 junio 2017).
- Todas las válvulas reguladoras de presión deben ir acompañadas de un paso lateral

(by pass) con el fin de permitir la distribución de agua potable durante las operaciones de mantenimiento o cambio de las válvulas reguladoras de presión (Art 65 Res 0330 junio 2017).

- Las válvulas reguladoras de presión deben estar complementadas con todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento, y estar provistas de un indicador del grado de apertura (Art 65 Res 0330 junio 2017).

Las válvulas reguladoras de presión deben soportar la presión a ambos lados (aguas arriba y aguas abajo) simultáneamente, o solo por uno de ellos. Exteriormente en el cuerpo de la válvula debe tenerse grabada una flecha que indique la dirección del flujo (Art 65 Res 0330 junio 2017).

- En todos los casos, las válvulas reguladoras de presión deben cerrarse automáticamente al ocurrir un daño en los diafragmas (Art 65 Res 0330 junio 2017).

El esquema de la VRP propuesta para el proyecto es el siguiente:

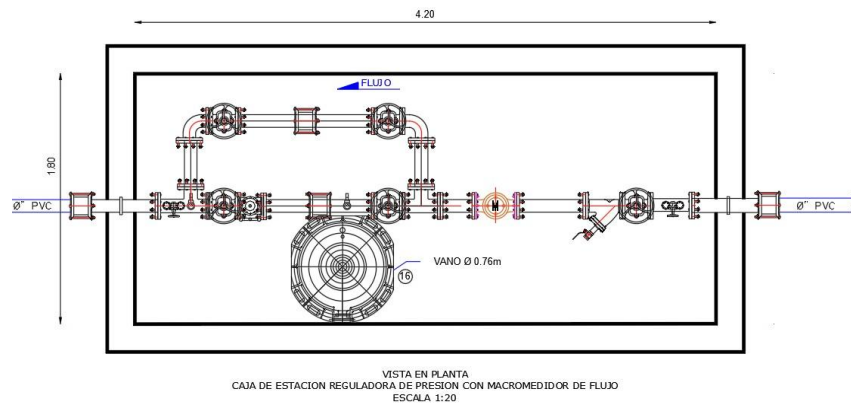


Figura 5. Vista en planta válvula reguladora de presión.

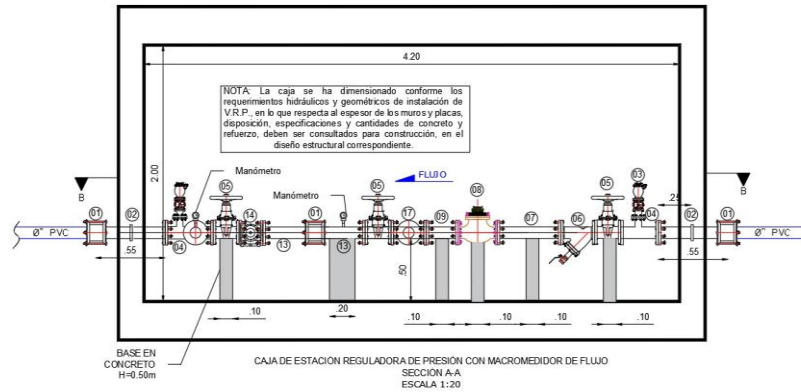


Figura 6. Vista en perfil válvula reguladora de presión.

Tabla 2. Datos técnicos válvula reguladora de presión

VÁLVULA	DIÁMETRO VÁLVULA	PRESIÓN DE ENTRADA MÁXIMO	PRESIÓN DE ENTRADA MÍNIMO	PRESIÓN DE SALIDA	CAUDAL
	Pulg	mca	mca	mca	L/s
VRP	4"	225.75	25.56	75	1.28

Se realiza la simulación de la red con las VRP en funcionamiento, del cual se obtienen los siguientes resultados.

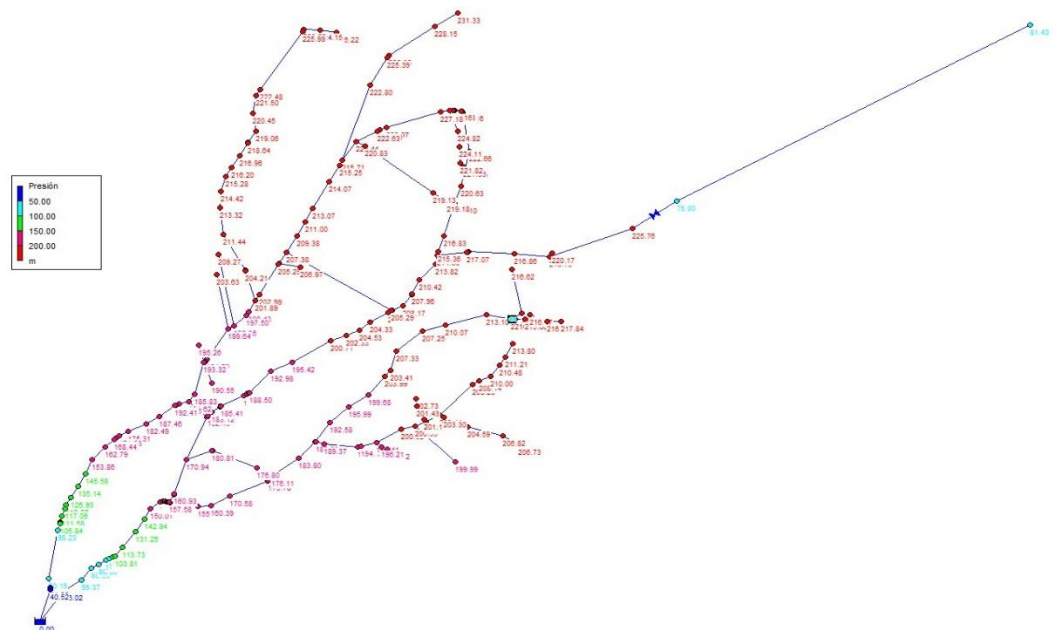


Figura 7. Modelación hidráulica red de suministro al Centro Poblado el Triunfo con VRP presión estática.

Con la implementación de la VRP se reducen la presión estática en el centro poblado El Triunfo a 82 m.c.a en la red.

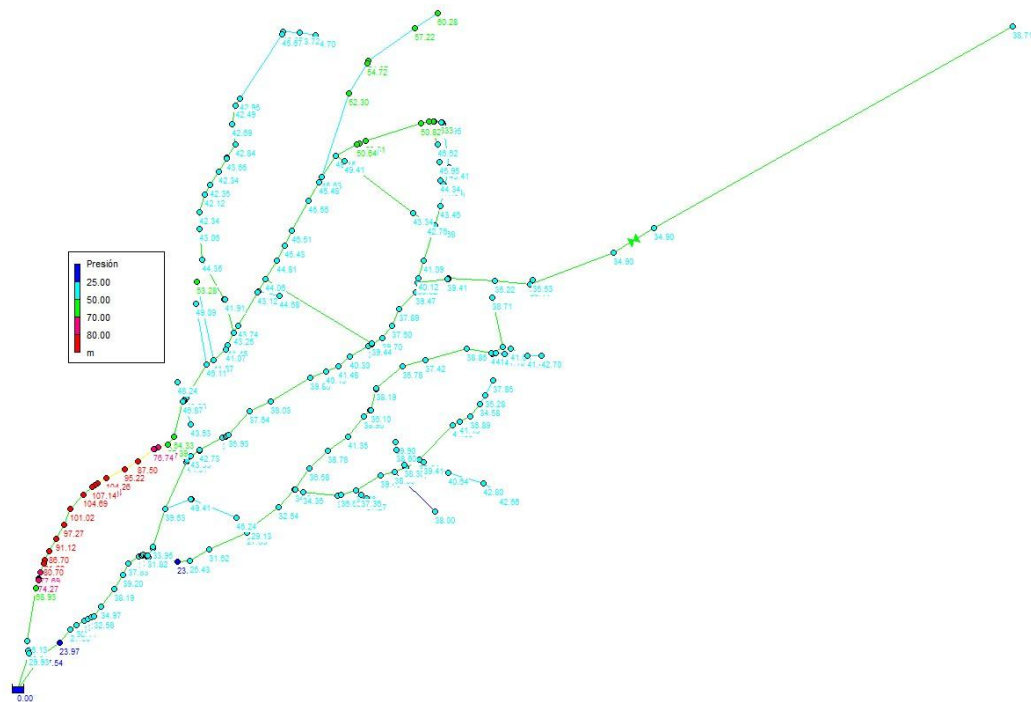


Figura 8. Modelación hidráulica red de suministro al Centro Poblado el Triunfo con VRP presión dinámica.

En los resultados de la modelación al contemplar la presión dinámica con la implementación de la VRP en la red de suministro al centro poblado el Triunfo se obtienen en la llegada al tanque una presión de 38.71 m.c.a.

Golpe de Ariete

Una columna de líquido moviéndose tiene inercia, que es proporcional a su peso y a su velocidad. Cuando el flujo se detiene rápidamente, por ejemplo, al cerrar una válvula, la

inercia se convierte en un incremento de presión. Entre más larga la línea y más alta la velocidad del líquido, mayor será la sobrecarga de presión.

Las principales causas de este fenómeno son:

- La apertura y cierre rápidos de una válvula
- El arranque y la parada de una bomba
- La acumulación y el movimiento de bolsas de aire dentro de las tuberías

Ecuación 1:

$$P = \frac{aV}{g}$$

Ecuación 2:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E}} (RDE - 2)}$$

En
donde:

P = Sobrepresión máxima en metros de columna de

agua a = Velocidad de la onda (m/s)

V = Cambio de velocidad del agua (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

K = Módulo de compresión del agua (2.06*10⁴ kg/cm²)

E = Módulo de elasticidad de la tubería (2.81*10⁴ kg/cm²). Para tubería de PVC tipo 1, grado 1. RDE = Relación diámetro exterior/espesor mínimo

RDE De La Tubería

Mediante el análisis de golpe de ariete se obtiene el RDE óptimo para cada tramo de tubería, a la presión dinámica se le suma la sobrepresión por golpe de ariete y se compara con la presión estática tomándose el valor más alto como el crítico para el diseño del tramo de tubería.

Tabla 3. Cálculo del RDE en la línea de conducción

TUBERIA	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL	Longitud Real (m)	Cota Clave inicio (msnm)	Cota Clave final(msnm)	Sw (%)	Presión Estática Inicial(mca)	Presión Estática Final(mca)
T	1	TANQUE	4408.045	178.395	172.8	0.13	75	81.20
TUBERIA	Presión Dinámica Inicial(mca)	Presión Dinámica Final(mca)	Cota Piezométrica inicio (msnm)	Cota Piezométrica final(msnm)	D(mm)	D(Pulg)	RDE	
T	34.9	38.71	213.295	211.51	103.42	4	21	

TUBERIA	a (m/s)	V (m/s)	Sobrepresión (mca)	Presión Dinámica + golpe de ariete (mca)	Presión Crítica(mca)	Presión de diseño (mca)	Presión de diseño (kg/cm ²)	RDE 21
T	368	0.23	8.62	47.33	81.20	89.32	8.93	SI

- **Tanque de Almacenamiento**

Se proyecta la construcción del tanque de almacenamiento elevado para suplir la demanda de agua potable para el centro poblado El Triunfo.

El artículo 81 de la Resolución 0330 de junio de 2017 estipula que el volumen de diseño debe ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento.

La capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo.

El volumen de almacenamiento determinado se debe incrementar para provisión de control de incendios estructurales en los siguientes porcentajes, de acuerdo con el nivel de riesgo establecido en los “planes de gestión de riesgo y estrategia de respuesta”.

Riesgo alto: 25%

Riesgo medio: 20%

Riesgo bajo: 15%

Para el proyecto se empleará un nivel de riesgo bajo.

-Cálculo del volumen de almacenamiento para el proyecto

QMD: 0.00128 m³/s.

Nivel de riesgo de incendios

15%. Ecuación 3:

$$Vol\ reg = \frac{1}{3} * 0.00128 \frac{m^3}{s} * 86400\ s = 36.81\ m^3$$

$$Vol\ Incendios = 36.81\ m^3 * 0.15 = 5.52\ m^3$$

$$Vol\ Total = 42.34\ m^3$$

Almacenamiento Tanque proyectado: 50.0 m³

Se propone un tanque de las siguientes dimensiones:

L=	5.00	m
A =	5.00	m
H =	2.00	m
V =	50.0	m ³

El cual tiene una capacidad mayor al requerido.

- **Red de Distribución**

Parámetros de diseño

Caudal de Diseño

De acuerdo al artículo 47 de la Resolución 0330 de 2017 y a los caudales de diseño calculados en las Tablas 9,10,11 y 12 del informe de diagnóstico, se determina que el caudal de diseño de la red de distribución es el Caudal Máximo Horario (QMH).

Caudal de diseño = 2.04 L/s

La modelación de la red de distribución se realizará con la totalidad del QMH, en donde los valores de caudal correspondientes a los usuarios abastecidos en la conducción fueron cargados en diferentes nodos, para simular la red con el caudal total de diseño correspondiente.

Presiones Mínimas En La Red

La presión dinámica mínima en la red de distribución debe ser de 10 m.c.a en sistemas de poblaciones de diseño de hasta 12500 habitantes, para poblaciones de diseño de más de 12500 habitantes la presión dinámica debe ser de 15 m.c.a. (Art 61 Res 0330 de junio de 2017)

En el artículo 27 de la Resolución 844 de noviembre de 2018, se estipula que en las redes de distribución de sistemas de acueducto rurales, la presión dinámica mínima debe ser superior a 5 m.c.a, previo análisis del tipo de edificación y de las pérdidas en las que se incurre, buscando suministrar agua en las duchas.

Para efectos del proyecto y de acuerdo a lo anterior la presión mínima a garantizar será de 5 m.c.ca.

Presiones Máximas en la Red

Para sistemas nuevos u optimizaciones, la presión estática máxima debe ser de 50 m.c.a. para cumplir esta condición, la red de distribución debe estar subdividida en tantas zonas de presión como se requieran (Art 17 Res 0799 de 2021). En una misma zona de presión se pueden presentar presiones estáticas mayores a la máxima definida; en ese caso, el área a abastecer con una presión estática superior puede corresponder al 10% del área de la zona de presión, desde que no se sobrepase una presión de 55 m.c.a y hasta el 5% del área de la zona de presión, desde que no sobrepase una presión de 60 m.c.a.

Diámetro Interno Real Mínimo en la Red de Distribución.

El diámetro mínimo en las redes de distribución no deberá ser inferior a 75 mm para sectores urbanos, mientras que para sectores rurales no deberán ser inferiores a 50 mm. Se deben realizar los cálculos necesarios que permitan garantizar que, con el diámetro interno real de la tubería seleccionada se cumplan con las condiciones mínimas establecidas (Art 63 Res 0330 Junio de 2017).

De acuerdo al ítem 4 del artículo 27 de la Resolución 844 de 2018 “cuando parcialmente no se pueda cumplir con los requisitos de diseño de sistemas de acueducto establecidos en la Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, desde los estudios y diseños el responsable del proyecto justificará la adopción de parámetros o valores por fuera de los límites o rangos normativos establecidos, siempre y cuando la infraestructura cumpla con su objetivo, garantizando el funcionamiento hidráulico o de procesos y la administración, operación y mantenimiento previstos”

Velocidades En Las Tuberías de la Red De Distribución

La velocidad máxima en las tuberías de la red de distribución, bajo condiciones de caudal máximo horario al final de periodo de diseño bajo condiciones excepcionales de mantenimiento o de protección contra incendios, debe ser en función del material de las tuberías. En la tabla 4 se plantean las velocidades máximas recomendadas para las tuberías en la red de distribución.

Tabla 4. Velocidades máximas según material de tuberías.

Material	Velocidad (m/s)
Acero sin revestimiento	5.0
Acero Con Revestimiento	4.0
Hierro Dúctil	4.0
CCP	3.0
PVC y PVCO	6.0
PEAD	5.0
GRP	6.0
Polipropileno	6.0

El diseño debe limitar la velocidad mínima de 0.5 m/s correspondiente al caudal máximo horario (QMH) en el momento de entrada en operación de la red.

Dado los caudales con valores pequeños a trabajar en la red y al diámetro mínimo estipulado por la Resolución 0330 de junio de 2017, no se hace posible.

Pendientes en las tuberías de la Red de Distribución. RAS Titulo B 7.4.10.

Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación pro las válvulas colocadas con este fin y para facilitar e arrastre de los sedimentos hacia los puntos bajos y acelerar el desagüe de las tuberías, etas no deben colocarse horizontalmente.

Las pendientes mínimas recomendadas son:

- Cuando el aire circula en el sentido del flujo del agua, la pendiente mínima debe ser 0.04%.
- Cuando el aire circula en sentido contrario al flujo de agua, la pendiente mínima debe ser 0.1%.

Profundidades Máximas y Mínimas Para La Instalación De Tuberías Enterradas en las Redes de Distribución.

La profundidad de instalación de las tuberías que conforman la red de distribución no debe exceder de 1.50 m, medidos desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno.

En cuanto a la profundidad mínima de instalación, se debe cumplir con lo definido en la Tabla 5.

Tabla 5. Profundidades mínimas a cota clave de la tubería.

SERVIDUMBRE	PROFUNDIDAD A LA CLAVE DE LA TUBERÍA (m)	
	Zona Urbana	Zona rural
Vías peatonales o zonas verdes o agrícolas	0.60	1.00
Vías vehiculares	1.00	1.00

Fuente: Resolución 0799 junio de 2021

Selección Material De Las Tuberías.

Para el proyecto se emplearán tuberías de Policloruro de Vinilo, PVC para las tuberías de la red de distribución.

Tuberías de Policloruro de Vinilo

Se empleará la tecnología BIAxIAL de PAVCO; la tecnología por medio de la cual se estiran en línea las moléculas de polímero, obteniéndose su orientación, en el sentido circunferencial y longitudinal, generando planos de orientación molecular, una real estructura laminada en capas incrementando significativamente la resistencia mecánica y fortaleza del material.

Este material garantiza la conservación de la calidad del agua para consumo humano ya que ha sido verificado de acuerdo a la ANSI/NSF 61:02 sin exceder los valores máximos de aluminio, antimonio, cobre, arsénico, bario, cadmio, cromo, plomo, mercurio, níquel, selenio y plata que establece el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007. Además, la resina de PVC con que se fabrica ha sido certificada de tal forma que el cloruro de vinilo monómero residual es menor a 3,2mg/kg.

A continuación, se presenta las características del material de la tubería seleccionada:

Resistencia

La máxima tensión a la falla. Es la habilidad de las tuberías de resistir la rotura debido a la presión interna.

Resistencia a la tensión

La tensión es de 11.600 psi., para PVC-U es de 7.600 psi. El incremento es del 50% aproximadamente, debido a la biorientación de las moléculas.

Resistencia hidrostática

Diseñada de acuerdo con la ASTM F 1483 y NTC 5425, con: LTHS: Resistencia Hidrostática a Largo Plazo, tensión estimada en la pared de la tubería en la dirección diametral que aplicada en forma continua causará falla a las 100.000 horas

Resistencia a la fractura frágil

La estructura laminada, por capas, producto de la biorientación ofrece excelente resistencia a la fractura frágil. La tubería es capaz de absorber sobre presiones causadas por los efectos del golpe de ariete.

Propagación de fracturas

La estructura laminada de BIAXIAL® de PAVCO evita la transmisión de fracturas a través de la pared de la tubería.

BIAXIAL® de PAVCO alcanza una fuerza máxima de tensión de 6.17 lb-f para una abertura de 4.974’’ y para PVC-U de 7.83 lb-f para una abertura de únicamente 1.60’’. Para BIAXIAL® de PAVCO la fuerza es siempre creciente

El diseño de producto y el desempeño en un sistema de tuberías para transporte de fluidos, como el caso de los sistemas de acueducto, depende del balance de estos dos criterios, Resistencia y Fortaleza. BIAXIAL® de PAVCO mejora considerablemente estas dos características, ofreciendo ventajas y beneficios a los sistemas, como son:

Tabla 6. Características y beneficios clave de la tubería.

Característica	Beneficio
Mayor resistencia	Incrementa resistencia a la presión hidrostática y a la tensión, permite reducir los espesores de pared, conservando alta rigidez y mayor durabilidad. Tuberías más livianas para la misma presión de servicio.
Mayor fortaleza	Aumenta la resistencia al impacto a bajas temperaturas, mayor resistencia a la fractura frágil, mayor resistencia a la propagación lenta de fracturas.

Característica	Beneficio
	Los golpes causados durante la manipulación no conducen a daños en el corto o mediano plazo. Respuesta dúctil. Es tolerante al maltrato.
Menor espesor de pared	Mayor flexibilidad, menor peso, más fácil manipulación, beneficios para la salud y seguridad humana, se incrementa la capacidad de transporte de agua. Ahorros en instalación y energía consumida para la operación de los sistemas.
Proceso en línea	Garantía de consistencia y calidad del producto. Confiabilidad. Mayor productividad. Entregas oportunas
Campana con hidrosello instalado en fábrica	Elimina riesgo de desplazamiento del sello durante el ensamble confiabilidad.

Las tuberías de PVC son inmunes a casi todos los tipos de corrosión, químicas y electroquímicas, que pueden encontrarse en un sistema de tuberías enterradas. Efectos galvánicos y electroquímicos no existen en sistemas con Tuberías de PVC, ya que el PVC no es conductor de la electricidad. Las tuberías de PVC no sufren daños por aguas o suelos agresivos, en consecuencia, no requieren protecciones catódicas, recubrimientos especiales o pinturas. Esto significa ahorro en costos iniciales de los sistemas y garantía de larga vida de éstos, durabilidad.

Sectorización Hidráulica.

Todas las redes deben estar sectorizadas con el fin de lograr la racionalización del servicio. El diseño de la sectorización debe estar basada en los resultados obtenidos en la modelación hidráulica.

Todos los sectores hidráulicos definidos deben contar con equipos de medición de caudal en

todas las entradas, así como en todas las salidas hacia otros sectores (Art 58 Res 0330 junio de 2017).

En el proyecto se contempla la sectorización por líneas de alimentación según lo presentado en los planos de la red de distribución.

- **Análisis de la Red de Distribución**

Dado las condiciones urbanísticas de la zona la red de distribución del acueducto en el sector se diseñó como una red abierta.

Modelación de Redes de Distribución de Agua Potable

Todos los sistemas de redes de distribución deben contar con un modelo hidráulico, a través del cual se pueda predecir el comportamiento frente a diferentes condiciones operativas, de mantenimiento o de expansión. Debe tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

- La modelación debe realizarse en periodo extendido, con frecuencia horaria, incorporando en los nodos los patrones de consumo medidos en campo. En condiciones excepcionales en las que dicha información no esté disponible, debe justificarse la selección de los patrones empleados (Art 57 Res 0330 de junio de 2017).
- Los programas utilizados para la modelación hidráulica deben incorporar el método del gradiente para sus cálculos (Art 57 Res 0330 de junio de 2017).
- Se deberá implementar un escenario de modelación que contemple la operación de la red de distribución bajo la premisa de contingencia por incendio; para lo cual se deben tener en cuenta las disposiciones contempladas en los artículos 70, 71 y 72 de la presente resolución (Art 57 Res 0330 de junio de 2017).

Perdidas de Carga

Para el cálculo de pérdidas de carga en una red mixta se acepta el uso de la fórmula de Darcy – Weisbach o Hazen – Williams, pero se debe tener en cuenta que la fórmula de Hazen – Williams no arroja resultados confiables para diámetros inferiores a 4”.

Para este diseño se empleó la fórmula de Darcy – Weisbach por ser la ecuación general para sistemas de tuberías a presión, combinada con la de Colebrook – White.

Hf= pérdida de cabeza a lo largo del tramo (m)

f = factor de fricción de Darcy (adimensional)

l = longitud del tramo de tubería (m)

D = diámetro interior de la tubería (m)

V = velocidad del flujo (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

Ks = Rugosidad absoluta de la tubería (m).

Para PVC = 0.0015 Re = Numero de Reynolds (adimensional)

v = viscosidad dinámica del fluido (m²/s)

Ecuación 5. Ecuación de Darcy- Weisbach

$$hf = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 6. Ecuación de Colebrook- White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{Ks}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right]$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{v}$$

Para el cálculo de la red de distribución se usó el software EPANET, con el fin de disponer de una herramienta para el cálculo, entre otras cosas, del comportamiento hidráulico en sistemas de distribución de agua. En estos momentos es uno de los paquetes informáticos más completo que existe en el campo de la simulación de sistemas hidráulicos, hecho que unido a su distribución libre hace que sea el software más extendido. El EPANET permite la simulación de todo tipo de redes de distribución de agua de una forma sencilla, con un número cualquiera de elementos hidráulicos incluyendo depósitos, sistemas de bombeo, bancos de válvulas, tuberías, uniones, etc utilizando tan solo la interface gráfica. Además, permite realizar cálculos incluyendo curvas de demanda y simular fugas en diferentes componentes de la red.

Curva Demanda Horaria

La curva de demanda horaria debe ser propia de la población, pero dado que no se cuenta con estos valores, se utilizarán para el cálculo de las presiones los coeficientes representativos al caudal máximo horario, máximo diario y medio diario para poder determinar las presiones en los puntos.

Periodo 1: 0

Periodo 2: 1.3

Periodo 3: 2.08

Asignación De Caudal En Los Nodos

De acuerdo con la distribución de los usuarios en la red de distribución se hace la asignación de los caudales en los nodos de las líneas para luego con conexión domiciliaria abastecer a la población beneficiada en la red de distribución.

Tabla 7. Caudales determinados en cada nodo.

CONSUMOS POR NODO			
ID Nodo	Caudal Qmd (L/s)	Caudal QMD (L/s)	Caudal QMH (L/s)
N-1	0.001	0.002	0.003
N-2	0.001	0.001	0.001
N-3	0.000	0.000	0.000
N-4	0.000	0.000	0.000
N-5	0.001	0.001	0.001
N-6	0.000	0.000	0.001
N-7	0.003	0.004	0.006
N-8	0.001	0.001	0.001
N-9	0.009	0.012	0.019
N-10	0.017	0.022	0.035
N-11	0.000	0.000	0.000
N-12	0.000	0.000	0.000
N-13	0.002	0.003	0.005
N-14	0.002	0.003	0.005
N-15	0.002	0.003	0.005
N-16	0.001	0.001	0.002
N-17	0.065	0.084	0.135
N-18	0.009	0.011	0.018
N-19	0.002	0.003	0.005
N-20	0.000	0.000	0.000
N-21	0.000	0.000	0.001
N-22	0.006	0.008	0.014
N-23	0.000	0.000	0.000
N-24	0.002	0.003	0.005
N-25	0.000	0.000	0.000
N-26	0.000	0.000	0.000
N-27	0.002	0.003	0.005
N-28	0.000	0.000	0.000
N-29	0.002	0.003	0.005
N-30	0.002	0.003	0.005
N-31	0.060	0.078	0.124
N-32	0.064	0.083	0.134
N-33	0.073	0.094	0.151
N-34	0.076	0.098	0.157
N-35	0.047	0.062	0.099
N-36	0.037	0.048	0.076
N-37	0.038	0.050	0.080
N-38	0.000	0.000	0.000
N-39	0.045	0.059	0.094
N-40	0.000	0.000	0.000
N-41	0.030	0.039	0.063
N-42	0.119	0.154	0.247

N-43	0.017	0.022	0.036
N-44	0.024	0.031	0.049
N-45	0.006	0.008	0.013
N-46	0.002	0.003	0.004
N-47	0.028	0.037	0.058
N-48	0.000	0.000	0.000
N-49	0.011	0.014	0.022
N-50	0.000	0.000	0.000
N-51	0.009	0.011	0.018
N-52	0.000	0.000	0.000
N-53	0.000	0.000	0.000
N-54	0.006	0.008	0.013
N-55	0.011	0.014	0.022
N-56	0.000	0.000	0.000
N-57	0.000	0.000	0.000
N-58	0.000	0.000	0.000
N-59	0.009	0.011	0.018
N-60	0.009	0.011	0.018
N-61	0.000	0.000	0.000
N-62	0.000	0.000	0.000
N-63	0.000	0.000	0.000
N-64	0.002	0.003	0.004
N-65	0.002	0.003	0.004
N-66	0.009	0.011	0.018
N-67	0.000	0.000	0.000
N-68	0.002	0.003	0.004
N-69	0.000	0.000	0.000
N-70	0.002	0.003	0.004
N-71	0.004	0.006	0.009
N-72	0.000	0.000	0.000
N-73	0.011	0.014	0.022
N-74	0.000	0.000	0.000
N-75	0.000	0.000	0.000
N-76	0.000	0.000	0.000
N-77	0.002	0.003	0.005
N-78	0.000	0.000	0.000
N-79	0.000	0.000	0.000
N-80	0.000	0.000	0.000
N-81	0.002	0.003	0.004
N-82	0.000	0.000	0.000
N-83	0.006	0.008	0.013
N-84	0.000	0.000	0.000
N-85	0.004	0.006	0.009
N-86	0.000	0.000	0.000
N-87	0.011	0.014	0.022

CONSUMOS POR NODO			
ID Nodo	Caudal Qmd(L/s)	Caudal QMD(L/s)	Caudal QMH(L/s)
N-88	0.000	0.000	0.000
N-89	0.000	0.000	0.000
N-90	0.006	0.008	0.013
N-91	0.013	0.017	0.027
N-92	0.000	0.000	0.000
N-93	0.000	0.000	0.000
N-94	0.004	0.006	0.009
N-95	0.013	0.017	0.027
N-96	0.000	0.000	0.000
N-97	0.011	0.014	0.022
N-98	0.011	0.014	0.022
N-99	0.000	0.000	0.000
N-100	0.002	0.002	0.004
N-101	0.000	0.000	0.000
N-102	0.001	0.002	0.003
N-103	0.001	0.002	0.003
N-104	0.000	0.000	0.000
N-105	0.002	0.002	0.004
N-106	0.001	0.002	0.003
N-107	0.000	0.000	0.000
N-108	0.000	0.000	0.000
N-109	0.001	0.001	0.002
N-110	0.001	0.001	0.001
N-111	0.000	0.000	0.000
N-112	0.000	0.001	0.001
N-113	0.000	0.000	0.000
N-114	0.000	0.000	0.000
N-115	0.001	0.001	0.002
N-116	0.001	0.001	0.001
N-117	0.000	0.000	0.000
N-118	0.000	0.000	0.000
N-119	0.001	0.001	0.002
N-120	0.001	0.001	0.002
N-121	0.002	0.003	0.005

Simulación Hidráulica

Se Realiza la simulación hidráulica de la red de distribución evaluando el caudal máximo horario, para la determinación de las presiones de servicio de la red correspondiente al periodo 3 suponiendo este periodo como el de máximo consumo.

Evaluación Presiones Estáticas del sistema

En la Figura 9 y 10 se observan los mapas de presiones estáticas en la red de distribución del

sistema en el que las zonas de alimentación presentan presiones inferiores a los 50 m.c.a.

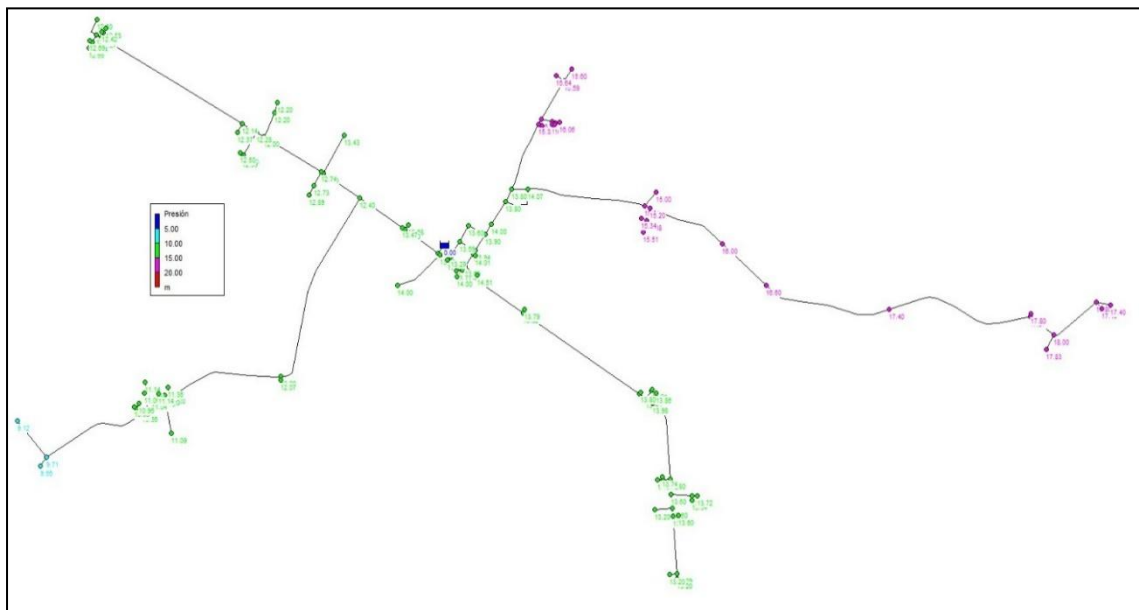


Figura 9. Red de distribución Centro Poblado El Triunfo – presión estática.

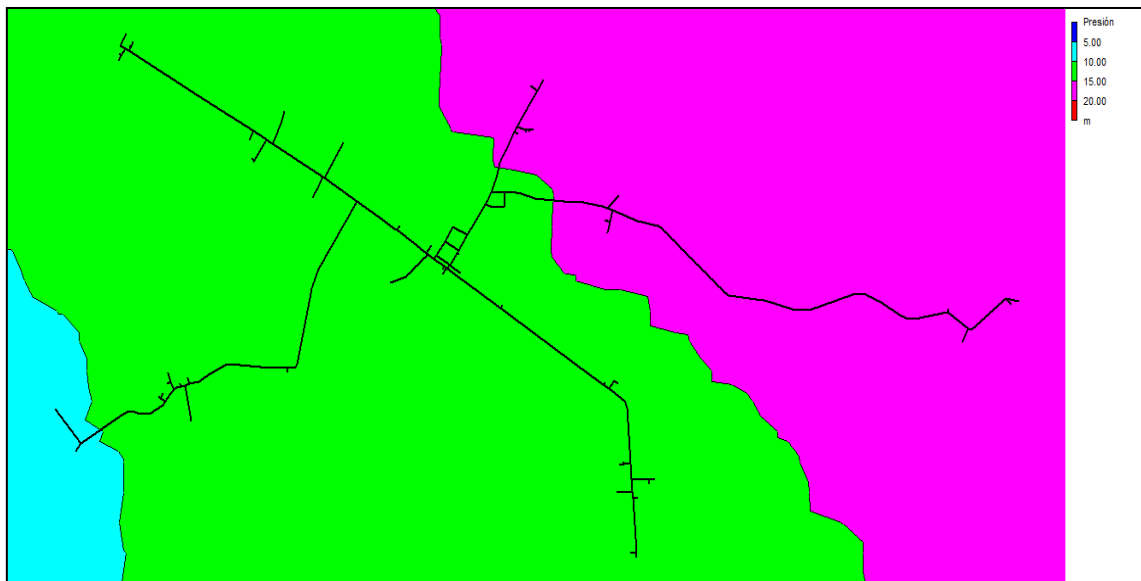
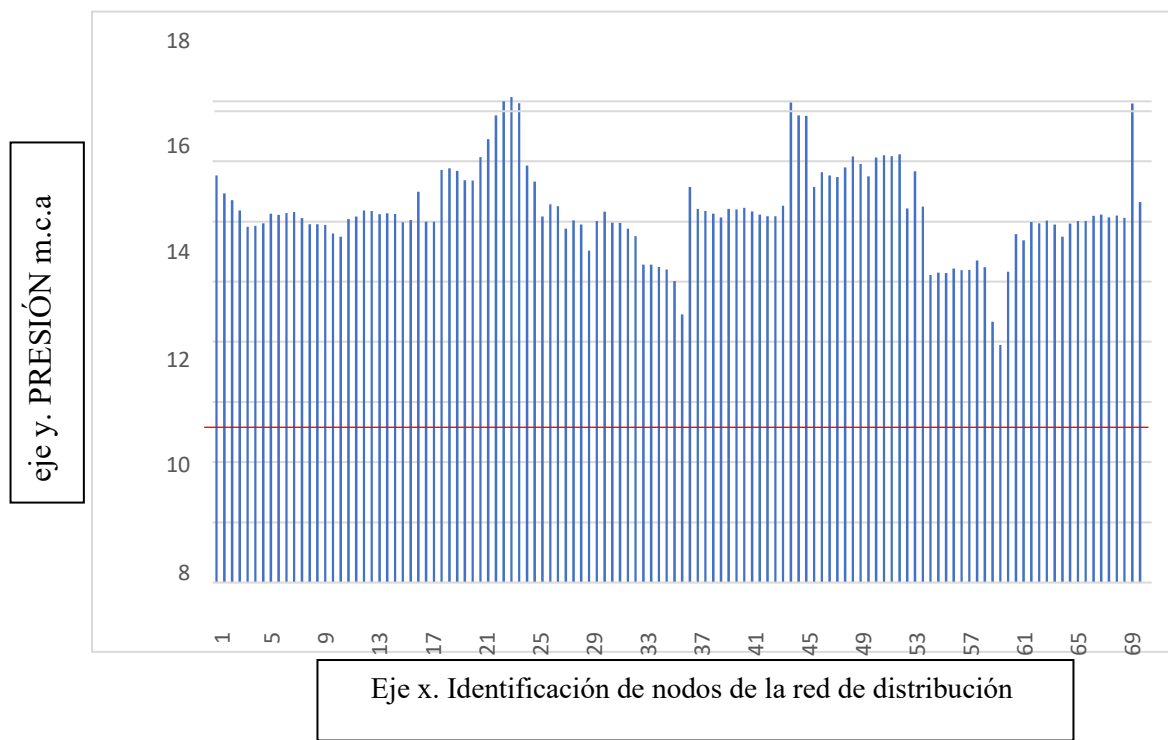


Figura 10. Plano de presiones estática Red de Distribución

En las Figuras 17 y 18 se observa que la parte inferior de la red de distribución presenta presiones estáticas inferiores de los 50 m.c.a, lo cual cumple con lo establecido en la

Resolución 799 de 2021.



(La línea roja representa el valor mínimo de presión requerido en la red de distribución, el cual sirve como criterio de evaluación para verificar el cumplimiento de las condiciones de servicio establecidas).

Figura 11. Presiones en la red en el QMH.

En la Figura 19 se observa los resultados de las presiones en la red con el QMH en donde las presiones se mantienen por encima de 5.0 m.c.a en cumplimiento de lo establecido en la normatividad.

Estado De Las Tuberías

Realizada la simulación en el modelo se puede observar que la velocidad en algunos tramos es muy baja casi nula, principalmente por las bajas demandas en los nodos y por la restricción del diámetro mínimo, por lo cual se proyectan válvulas de purga para realizar el mantenimiento periódico.

RDE de la tubería

Mediante el análisis de golpe de ariete se obtiene el RDE óptimo para cada tramo de tubería,

a la presión dinámica se le suma la sobrepresión por golpe de ariete y se compara con la presión estática tomándose el valor más alto como el crítico para el diseño del tramo de tubería.

Tabla 8. Cálculo del RDE de la red de distribución

TUBERIA	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL	Longitud Real (m)	Cota Clave inicio (msnm)	Cota Clave final(msnm)	Sw (%)	Presión Estática Inicial(mca)	Presión Estática Final(mca)	Presión Dinámica Inicial(mca)	Presión Dinámica Final(mca)	Cota Piezométrica inicio (msnm)	Cota Piezométrica final(msnm)
T1	TANQUE	N-74	12.64	186.8	173.8	102.85	0	13.00	0	12.93	186.8	186.73
T2	N-74	N-72	11.89	173.8	173.8	0.00	13.00	13.00	12.93	12.71	186.73	186.51
T3	N-72	N-42	44.96	173.8	173.31	1.09	13.00	13.49	12.71	12.37	186.51	185.68
T4	N-42	N-43	68.05	173.31	173.58	0.40	13.49	13.22	12.37	11.82	185.68	185.4
T5	N-43	N-45	16.66	173.58	173.48	0.60	13.22	13.32	11.82	11.86	185.4	185.34
T6	N-45	N-47	7.863	173.48	173.38	1.27	13.32	13.42	11.86	11.94	185.34	185.32
T7	N-47	N-48	369.9	173.38	172.98	0.11	13.42	13.82	11.94	12.26	185.32	185.24
T8	N-48	N-50	715	172.98	172.92	0.01	13.82	13.88	12.26	12.22	185.24	185.14
T9	N-50	N-52	38.62	172.92	172.85	0.18	13.88	13.95	12.22	12.28	185.14	185.13
T10	N-52	N-56	42.06	172.85	172.82	0.07	13.95	13.98	12.28	12.31	185.13	185.13
T11	N-56	N-57	391.9	172.82	173	0.05	13.98	13.80	12.31	12.11	185.13	185.11
T12	N-57	N-61	89.62	173	173.2	0.22	13.80	13.60	12.11	11.91	185.11	185.11
T13	N-61	N-65	50.78	173.2	173.2	0.00	13.60	13.60	11.91	11.91	185.11	185.11
T14	N-65	N-67	36.74	173.2	173.22	0.05	13.60	13.58	11.91	11.89	185.11	185.11
T15	N-67	N-69	276	173.22	173.51	0.11	13.58	13.29	11.89	11.6	185.11	185.11
T16	N-69	N-71	24.66	173.51	173.6	0.36	13.29	13.20	11.6	11.49	185.11	185.09
T17	N-47	N-40	20.86	173.38	173.2	0.86	13.42	13.60	11.94	12.08	185.32	185.28
T18	N-38	N-36	72.15	173.11	172.85	0.36	13.69	13.95	12.17	12.37	185.28	185.22
T19	N-35	N-32	93.47	172.86	172.9	0.04	13.94	13.90	12.35	12.24	185.21	185.14
T20	N-32	N-31	59.13	172.9	172.8	0.17	13.90	14.00	12.24	12.27	185.14	185.07
T22	N-32	N-33	88.3	172.9	173.2	0.34	13.90	13.60	12.24	11.97	185.14	185.17
T23	N-33	N-34	91.26	173.2	173.21	0.01	13.60	13.59	11.97	12.05	185.17	185.26
T24	N-34	N-42	108.1	173.21	173.31	0.09	13.59	13.49	12.05	12.37	185.26	185.68
T25	N-34	N-35	90.31	173.21	172.86	0.39	13.59	13.94	12.05	12.35	185.26	185.21
T26	N-40	N-41	76.47	173.2	172.29	1.19	13.60	14.51	12.08	12.99	185.28	185.28
T27	N-30	N-29	70.15	173	173	0.00	13.80	13.80	12	11.99	185	184.99
T28	N-29	N-28	340.19	173	171.48	0.45	13.80	15.32	11.99	13.5	184.99	184.98
T29	N-26	N-20	221	171.27	171.21	0.03	15.53	15.59	13.71	13.77	184.98	184.98
T30	N-20	N-18	67.97	171.21	171.2	0.01	15.59	15.60	13.77	13.68	184.98	184.88

TUBERIA	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL	Longitud Real (m)	Cota Clave inicio (msnm)	Cota Clave final(msnm)	Sw (%)	Presión Estática Inicial(mca)	Presión Estática Final(mca)	Presión Dinámica Inicial(mca)	Presión Dinámica Final(mca)	Cota Piezométrica inicio (msnm)	Cota Piezométrica final(msnm)
T31	N-29	N-15	691.1	173	171.59	0.20	13.80	15.21	11.99	13.37	184.99	184.96
T32	N-15	N-11	32.29	171.59	171.6	0.03	15.21	15.20	13.37	13.36	184.96	184.96
T33	N-11	N-10	414.4	171.6	170.8	0.19	15.20	16.00	13.36	14.14	184.96	184.94
T34	N-10	N-9	300	170.8	170.2	0.20	16.00	16.60	14.14	14.74	184.94	184.94
T35	N-9	N-8	666.6	170.2	169.4	0.12	16.60	17.40	14.74	15.53	184.94	184.93
T36	N-8	N-6	769.5	169.4	168.93	0.06	17.40	17.87	15.53	16	184.93	184.93
T37	N-6	N-4	150	168.93	168.8	0.09	17.87	18.00	16	16.13	184.93	184.93
T38	N-4	N-3	273.5	168.8	169	0.07	18.00	17.80	16.13	15.93	184.93	184.93
T39	N-74	N-76	206.5	173.8	172.8	0.48	13.00	14.00	12.93	13.86	186.73	186.66
T40	N-76	N-78	13.06	172.8	173.33	4.06	14.00	13.47	13.86	13.33	186.66	186.66
T41	N-78	N-79	261.4	173.33	174.4	0.41	13.47	12.40	13.33	12.17	186.66	186.57
T42	N-79	N-99	223.7	174.4	174	0.18	12.40	12.80	12.17	12.57	186.57	186.57
T43	N-99	N-101	11.29	174	174.06	0.53	12.80	12.74	12.57	12.51	186.57	186.57
T44	N-101	N-104	338.7	174.06	174.8	0.22	12.74	12.00	12.51	11.76	186.57	186.56
T45	N-104	N-107	46.74	174.8	174.52	0.60	12.00	12.28	11.76	12.04	186.56	186.56
T46	N-107	N-111	82.4	174.52	174.66	0.17	12.28	12.14	12.04	11.9	186.56	186.56
T47	N-111	N-113	834.1	174.66	175.53	0.10	12.14	11.27	11.9	11.03	186.56	186.56
T48	N-113	N-117	27.1	175.53	174.54	3.65	11.27	12.26	11.03	12.02	186.56	186.56
T49	N-117	N-121	97.06	174.54	174.2	0.35	12.26	12.60	12.02	12.33	186.56	186.53
T50	N-104	N-105	126.4	174.8	174.6	0.16	12.00	12.20	11.76	11.96	186.56	186.56
T51	N-105	N-106	51.02	174.6	174.6	0.00	12.20	12.20	11.96	11.95	186.56	186.55
T52	N-38	N-39	87.35	173.11	173.51	0.46	13.69	13.29	12.17	11.76	185.28	185.27
T53	N-38	N-40	2.971	173.11	173.2	3.03	13.69	13.60	12.17	12.08	185.28	185.28
T54	N-79	N-80	978.5	174.4	174.8	0.04	12.40	12.00	12.17	11.52	186.57	186.32
T55	N-80	N-82	594.2	174.8	175.6	0.13	12.00	11.20	11.52	10.57	186.32	186.17
T56	N-82	N-84	28.13	175.6	175.6	0.00	11.20	11.20	10.57	10.57	186.17	186.17
T57	N-84	N-86	28.13	175.6	175.67	0.25	11.20	11.13	10.57	10.49	186.17	186.16
T58	N-86	N-88	45.53	175.67	175.76	0.20	11.13	11.04	10.49	10.4	186.16	186.16
T59	N-88	N-92	72.61	175.76	176.14	0.52	11.04	10.66	10.4	10.02	186.16	186.16
T60	N-92	N-96	562.3	176.14	177.09	0.17	10.66	9.71	10.02	8.91	186.16	186
T61	N-100	N-99	210.4	173.37	174	0.30	13.43	12.80	13.15	12.57	186.52	186.57

TUBERIA	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL	Longitud Real (m)	Cota Clave inicio (msnm)	Cota Clave final(msnm)	Sw (%)	Presión Estática Inicial(mca)	Presión Estática Final(mca)	Presión Dinámica Inicial(mca)	Presión Dinámica Final(mca)	Cota Piezométrica inicio (msnm)	Cota Piezométrica final(msnm)
T62	N-107	N-108	125.6	174.52	174.14	0.30	12.28	12.66	12.04	12.42	186.56	186.56
T63	N-108	N-110	13.26	174.14	174.21	0.53	12.66	12.59	12.42	12.35	186.56	186.56
T64	N-108	N-109	20.17	174.14	174.3	0.79	12.66	12.50	12.42	12.26	186.56	186.56
T65	N-112	N-111	50.12	174.43	174.66	0.46	12.37	12.14	12.13	11.9	186.56	186.56
T66	N-120	N-118	32.63	174.14	174.16	0.06	12.66	12.64	12.42	12.4	186.56	186.56
T67	N-118	N-117	40.92	174.16	174.54	0.93	12.64	12.26	12.4	12.02	186.56	186.56
T68	N-119	N-118	15.27	174.11	174.16	0.33	12.69	12.64	12.45	12.4	186.56	186.56
T69	N-116	N-114	24.17	174.22	174.33	0.46	12.58	12.47	12.34	12.23	186.56	186.56
T70	N-114	N-113	26.37	174.33	175.53	4.55	12.47	11.27	12.23	11.03	186.56	186.56
T71	N-114	N-115	9.82	174.33	174.38	0.51	12.47	12.42	12.23	12.18	186.56	186.56
T72	N-43	N-44	18.66	173.58	173.03	2.95	13.22	13.77	11.82	12.18	185.4	185.21
T73	N-46	N-45	39.3	172.8	173.48	1.73	14.00	13.32	12.53	11.86	185.33	185.34
T74	N-4	N-5	77.6	168.8	168.97	0.22	18.00	17.83	16.13	15.95	184.93	184.92
T75	N-3	N-2	40.45	169	169.4	0.99	17.80	17.40	15.93	15.53	184.93	184.93
T76	N-3	N-1	73.28	169	169.4	0.55	17.80	17.40	15.93	15.52	184.93	184.92
T77	N-15	N-16	91.8	171.59	171.8	0.23	15.21	15.00	13.37	13.15	184.96	184.95
T78	N-13	N-12	59.47	171.29	171.42	0.22	15.51	15.38	13.64	13.53	184.93	184.95
T79	N-12	N-11	58.39	171.42	171.6	0.31	15.38	15.20	13.53	13.36	184.95	184.96
T80	N-14	N-12	28.96	171.46	171.42	0.14	15.34	15.38	13.48	13.53	184.94	184.95
T81	N-20	N-19	47.52	171.21	171.16	0.11	15.59	15.64	13.77	13.8	184.98	184.96
T82	N-26	N-25	58.98	171.27	170.82	0.76	15.53	15.98	13.71	14.16	184.98	184.98
T83	N-27	N-28	22.33	171.07	171.48	1.84	15.73	15.32	13.91	13.5	184.98	184.98
T84	N-25	N-24	10.16	170.82	170.84	0.20	15.98	15.96	14.16	14.13	184.98	184.97
T85	N-23	N-22	8.753	170.78	170.8	0.23	16.02	16.00	14.2	14.17	184.98	184.97
T86	N-25	N-23	15.72	170.82	170.78	0.25	15.98	16.02	14.16	14.2	184.98	184.98
T87	N-23	N-21	22.06	170.78	170.74	0.18	16.02	16.06	14.2	14.24	184.98	184.98
T88	N-37	N-36	13.99	172.79	172.85	0.43	14.01	13.95	12.43	12.37	185.22	185.22
T89	N-36	N-35	18.95	172.85	172.86	0.05	13.95	13.94	12.37	12.35	185.22	185.21
T90	N-72	N-73	269.1	173.8	172.8	0.37	13.00	14.00	12.71	13.67	186.51	186.47
T91	N-102	N-101	76.27	174.07	174.06	0.01	12.73	12.74	12.5	12.51	186.57	186.57
T92	N-76	N-77	27.17	172.8	173.12	1.18	14.00	13.68	13.86	13.53	186.66	186.65

TUBERIA	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL	Longitud Real (m)	Cota Clave inicio (msnm)	Cota Clave final(msnm)	Sw (%)	Presión Estática Inicial(mca)	Presión Estática Final(mca)	Presión Dinámica Inicial(mca)	Presión Dinámica Final(mca)	Cota Piezométrica inicio (msnm)	Cota Piezométrica final(msnm)
T93	N-92	N-93	34.52	176.14	175.93	0.61	10.66	10.87	10.02	10.22	186.16	186.15
T94	N-93	N-95	13.45	175.93	175.82	0.82	10.87	10.98	10.22	10.3	186.15	186.12
T95	N-93	N-94	26.98	175.93	175.84	0.33	10.87	10.96	10.22	10.29	186.15	186.13
T96	N-88	N-89	45.99	175.76	175.71	0.11	11.04	11.09	10.4	10.44	186.16	186.15
T97	N-89	N-91	45.96	175.71	175.66	0.11	11.09	11.14	10.44	10.38	186.15	186.04
T98	N-89	N-90	18.68	175.71	175.74	0.16	11.09	11.06	10.44	10.39	186.15	186.13
T99	N-82	N-83	33.76	175.6	175.44	0.47	11.20	11.36	10.57	10.7	186.17	186.14
T100	N-86	N-87	14.94	175.67	175.66	0.07	11.13	11.14	10.49	10.48	186.16	186.14
T101	N-96	N-97	49.49	177.09	177.24	0.30	9.71	9.56	8.91	8.67	186	185.91
T102	N-96	N-98	229.7	177.09	177.68	0.26	9.71	9.12	8.91	7.9	186	185.58
T103	N-84	N-85	184.5	175.6	175.71	0.06	11.20	11.09	10.57	10.33	186.17	186.04
T104	N-81	N-80	17.53	174.73	174.8	0.40	12.07	12.00	11.58	11.52	186.31	186.32
T105	N-66	N-65	89.75	173.6	173.2	0.45	13.20	13.60	11.38	11.91	184.98	185.11
T106	N-61	N-62	104.1	173.2	173.13	0.07	13.60	13.67	11.91	11.98	185.11	185.11
T108	N-62	N-63	29.81	173.13	173.08	0.17	13.67	13.72	11.98	12.03	185.11	185.11
T109	N-67	N-68	27.05	173.22	173.2	0.07	13.58	13.60	11.89	11.9	185.11	185.1
T110	N-70	N-69	36.21	173.6	173.51	0.25	13.20	13.29	11.49	11.6	185.09	185.11
T111	N-60	N-58	26.74	173.14	173.08	0.22	13.66	13.72	11.93	12.02	185.07	185.1
T112	N-58	N-57	39.84	173.08	173	0.20	13.72	13.80	12.02	12.11	185.1	185.11
T113	N-58	N-59	13.66	173.08	173.06	0.15	13.72	13.74	12.02	12.02	185.1	185.08
T114	N-52	N-53	47.43	172.85	172.93	0.17	13.95	13.87	12.28	12.19	185.13	185.12
T115	N-53	N-54	5.679	172.93	172.89	0.70	13.87	13.91	12.19	12.23	185.12	185.12
T116	N-53	N-55	27.2	172.93	172.94	0.04	13.87	13.86	12.19	12.13	185.12	185.07
T117	N-48	N-49	16.79	172.98	173.01	0.18	13.82	13.79	12.26	12.2	185.24	185.21
T118	N-51	N-50	11.89	173	172.92	0.67	13.80	13.88	12.12	12.22	185.12	185.14
T119	N-6	N-7	13.96	168.93	169	0.50	17.87	17.80	16	15.92	184.93	184.92
T120	N-102	N-103	48.99	174.07	173.91	0.33	12.73	12.89	12.5	12.65	186.57	186.56
T121	N-30	N-17	184.73	173	172.73	0.15	13.80	14.07	12	12.25	185	184.98
T122	N-31	N-30	124.53	172.8	173	0.16	14.00	13.80	12.27	12	185.07	185
T123	N-62	N-64	19.58	173.13	173.16	0.15	13.67	13.64	11.98	11.94	185.11	185.1
T124	N-28	N-26	27.21	171.48	171.27	0.77	15.32	15.53	13.5	13.71	184.98	184.98

TUBERIA	D(mm)	D(Pulg)	RDE	a (m/s)	V (m/s)	Sobrepresión(mca)	Presión Dinámica + golpe de ariete (mca)	Presión Crítica(mca)	Presión de diseño (mca)	Presión de diseño (kg/cm ²)	RDE 21
T1	80.42	3	21	368	0.4	14.99	27.92	27.92	30.71	3.07	SI
T2	54.58	2	21	368	0.79	29.61	42.54	42.54	46.79	4.68	SI
T3	54.58	2	21	368	0.78	29.23	41.94	41.94	46.13	4.61	SI
T4	54.58	2	21	368	0.34	12.74	25.11	25.11	27.62	2.76	SI
T5	54.58	2	21	368	0.31	11.62	23.48	23.48	25.82	2.58	SI
T6	54.58	2	21	368	0.3	11.24	23.18	23.18	25.50	2.55	SI
T7	54.58	2	21	368	0.07	2.62	14.88	14.88	16.37	1.64	SI
T8	54.58	2	21	368	0.06	2.25	14.51	14.51	15.96	1.60	SI
T9	54.58	2	21	368	0.05	1.87	14.15	14.15	15.57	1.56	SI
T10	54.58	2	21	368	0.03	1.12	13.43	13.98	15.38	1.54	SI
T11	54.58	2	21	368	0.03	1.12	13.43	13.80	15.18	1.52	SI
T12	54.58	2	21	368	0.02	0.75	12.86	13.60	14.96	1.50	SI
T13	54.58	2	21	368	0.02	0.75	12.66	13.60	14.96	1.50	SI
T14	54.58	2	21	368	0.01	0.37	12.28	13.58	14.94	1.49	SI
T15	54.58	2	21	368	0.01	0.37	12.26	13.29	14.62	1.46	SI
T16	15.4	1/2	21	368	0.05	1.87	13.47	13.47	14.82	1.48	SI
T17	54.58	2	21	368	0.21	7.87	19.95	19.95	21.94	2.19	SI
T18	54.58	2	21	368	0.14	5.25	17.62	17.62	19.38	1.94	SI
T19	54.58	2	21	368	0.14	5.25	17.60	17.60	19.36	1.94	SI
T20	54.58	2	21	368	0.17	6.37	18.64	18.64	20.50	2.05	SI
T22	54.58	2	21	368	0.09	3.37	15.61	15.61	17.17	1.72	SI
T23	54.58	2	21	368	0.15	5.62	17.67	17.67	19.44	1.94	SI
T24	54.58	2	21	368	0.33	12.37	24.74	24.74	27.21	2.72	SI
T25	54.58	2	21	368	0.11	4.12	16.47	16.47	18.12	1.81	SI
T26	54.58	2	21	368	0.03	1.12	14.11	14.51	15.96	1.60	SI
T27	54.58	2	21	368	0.06	2.25	14.25	14.25	15.67	1.57	SI

TUBERIA	D(mm)	D(Pulg)	RDE	a (m/s)	V (m/s)	Sobrepresión(mca)	Presión Dinámica + golpe de ariete (mca)	Presión Crítica(mca)	Presión de diseño (mca)	Presión de diseño (kg/cm ²)	RDE 21
T28	54.58	2	21	368	0.02	0.75	14.25	15.32	16.85	1.69	SI
T29	54.58	2	21	368	0.01	0.37	14.14	15.59	17.15	1.71	SI
T30	15.4	1/2	21	368	0.1	3.75	17.52	17.52	19.27	1.93	SI
T31	54.58	2	21	368	0.03	1.12	14.49	15.21	16.73	1.67	SI
T32	54.58	2	21	368	0.03	1.12	14.49	15.20	16.72	1.67	SI
T33	54.58	2	21	368	0.03	1.12	15.26	16.00	17.60	1.76	SI
T34	54.58	2	21	368	0.01	0.37	15.11	16.60	18.26	1.83	SI
T35	54.58	2	21	368	0	0.00	15.53	17.40	19.14	1.91	SI
T36	54.58	2	21	368	0	0.00	16.00	17.87	19.66	1.97	SI
T37	54.58	2	21	368	0	0.00	16.13	18.00	19.80	1.98	SI
T38	54.58	2	21	368	0	0.00	16.13	17.80	19.58	1.96	SI
T39	54.58	2	21	368	0.09	3.37	17.23	17.23	18.96	1.90	SI
T40	54.58	2	21	368	0.08	3.00	16.86	16.86	18.54	1.85	SI
T41	54.58	2	21	368	0.08	3.00	16.33	16.33	17.96	1.80	SI
T42	54.58	2	21	368	0.01	0.37	12.94	12.94	14.24	1.42	SI
T43	54.58	2	21	368	0.01	0.37	12.94	12.94	14.24	1.42	SI
T44	54.58	2	21	368	0.01	0.37	12.88	12.88	14.17	1.42	SI
T45	54.58	2	21	368	0.01	0.37	12.41	12.41	13.66	1.37	SI
T46	54.58	2	21	368	0	0.00	12.04	12.14	13.35	1.34	SI
T47	54.58	2	21	368	0	0.00	11.90	11.90	13.09	1.31	SI
T48	54.58	2	21	368	0	0.00	12.02	12.26	13.49	1.35	SI
T49	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	13.08	13.08	14.39	1.44	SI
T50	30.2	1	21	368	0.01	0.37	12.33	12.33	13.57	1.36	SI
T51	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.33	12.33	13.57	1.36	SI
T52	54.58	2	21	368	0.04	1.50	13.67	13.67	15.04	1.50	SI
T53	54.58	2	21	368	0.18	6.75	18.92	18.92	20.81	2.08	SI
T54	54.58	2	21	368	0.07	2.62	14.79	14.79	16.27	1.63	SI
T55	54.58	2	21	368	0.07	2.62	14.14	14.14	15.56	1.56	SI
T56	54.58	2	21	368	0.07	2.62	13.19	13.19	14.51	1.45	SI

TUBERIA	D(mm)	D(Pulg)	RDE	a (m/s)	V (m/s)	Sobrepresión(mca)	Presión Dinámica + golpe de ariete (mca)	Presión Crítica(mca)	Presión de diseño (mca)	Presión de diseño (kg/cm ²)	RDE 21
T57	54.58	2	21	368	0.06	2.25	12.82	12.82	14.10	1.41	SI
T58	54.58	2	21	368	0.05	1.87	12.36	12.36	13.60	1.36	SI
T59	54.58	2	21	368	0.03	1.12	11.52	11.52	12.68	1.27	SI
T60	30.2	1	21	368	0.06	2.25	12.27	12.27	13.50	1.35	SI
T61	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	13.90	13.90	15.29	1.53	SI
T62	30.2	1	21	368	0	0.00	12.42	12.66	13.93	1.39	SI
T63	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.79	12.79	14.07	1.41	SI
T64	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.79	12.79	14.07	1.41	SI
T65	15.4	1/2	21	368	0	0.00	12.13	12.14	13.35	1.34	SI
T66	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.79	12.79	14.07	1.41	SI
T67	30.2	1	21	368	0	0.00	12.40	12.40	13.64	1.36	SI
T68	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.82	12.82	14.11	1.41	SI
T69	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.71	12.71	13.99	1.40	SI
T70	30.2	1	21	368	0	0.00	12.23	12.23	13.45	1.35	SI
T71	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	12.60	12.60	13.87	1.39	SI
T72	15.4	1/2	21	368	0.27	10.12	22.30	22.30	24.53	2.45	SI
T73	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	13.28	13.32	14.65	1.47	SI
T74	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	16.50	17.83	19.61	1.96	SI
T75	15.4	1/2	21	368	0	0.00	15.93	17.40	19.14	1.91	SI
T76	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	16.30	17.40	19.14	1.91	SI
T77	15.4	1/2	21	368	0.01	0.37	13.74	15.00	16.50	1.65	SI
T78	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	14.39	15.38	16.92	1.69	SI
T79	30.2	1	21	368	0.01	0.37	13.90	15.20	16.72	1.67	SI
T80	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	14.28	15.38	16.92	1.69	SI
T81	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	14.55	15.64	17.20	1.72	SI
T82	30.2	1	21	368	0.03	1.12	15.28	15.98	17.58	1.76	SI
T83	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	14.66	15.32	16.85	1.69	SI
T84	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	14.91	15.96	17.56	1.76	SI
T85	15.4	1/2	21	368	0.07	2.62	16.82	16.82	18.51	1.85	SI

TUBERIA	D(mm)	D(Pulg)	RDE	a (m/s)	V (m/s)	Sobrepresión(mca)	Presión Dinámica + golpe de ariete (mca)	Presión Crítica(mca)	Presión de diseño (mca)	Presión de diseño (kg/cm ²)	RDE 21
T86	30.2	1	21	368	0.02	0.75	14.95	16.02	17.62	1.76	SI
T87	15.4	1/2	21	368	0	0.00	14.24	16.06	17.67	1.77	SI
T88	54.58	2	21	368	0.03	1.12	13.55	13.95	15.35	1.53	SI
T89	54.58	2	21	368	0.07	2.62	14.99	14.99	16.49	1.65	SI
T90	30.2	1	21	368	0.03	1.12	14.79	14.79	16.27	1.63	SI
T91	30.2	1	21	368	0.01	0.37	12.88	12.88	14.17	1.42	SI
T92	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	14.61	14.61	16.07	1.61	SI
T93	30.2	1	21	368	0.05	1.87	12.09	12.09	13.30	1.33	SI
T94	15.4	1/2	21	368	0.15	5.62	15.92	15.92	17.51	1.75	SI
T95	15.4	1/2	21	368	0.05	1.87	12.16	12.16	13.38	1.34	SI
T96	30.2	1	21	368	0.06	2.25	12.69	12.69	13.96	1.40	SI
T97	15.4	1/2	21	368	0.15	5.62	16.06	16.06	17.67	1.77	SI
T98	15.4	1/2	21	368	0.07	2.62	13.06	13.06	14.37	1.44	SI
T99	15.4	1/2	21	368	0.07	2.62	13.32	13.32	14.66	1.47	SI
T100	15.4	1/2	21	368	0.12	4.50	14.99	14.99	16.49	1.65	SI
T101	15.4	1/2	21	368	0.12	4.50	13.41	13.41	14.75	1.47	SI
T102	15.4	1/2	21	368	0.12	4.50	13.41	13.41	14.75	1.47	SI
T103	15.4	1/2	21	368	0.05	1.87	12.44	12.44	13.69	1.37	SI
T104	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	12.33	12.33	13.56	1.36	SI
T105	15.4	1/2	21	368	0.1	3.75	15.66	15.66	17.22	1.72	SI
T106	30.2	1	21	368	0.01	0.37	12.35	13.67	15.04	1.50	SI
T108	15.4	1/2	21	368	0	0.00	12.03	13.72	15.09	1.51	SI
T109	15.4	1/2	21	368	0.02	0.75	12.65	13.60	14.96	1.50	SI
T110	15.4	1/2	22	359	0.02	0.73	12.33	13.29	14.62	1.46	SI
T111	15.4	1/2	23	351	0.1	3.58	15.60	15.60	17.16	1.72	SI
T112	30.2	1	24	343	0.05	1.75	13.86	13.86	15.25	1.52	SI
T113	15.4	1/2	25	336	0.1	3.43	15.45	15.45	16.99	1.70	SI
T114	30.2	1	26	329	0.05	1.68	13.96	13.96	15.35	1.54	SI
T115	15.4	1/2	27	323	0.07	2.31	14.54	14.54	15.99	1.60	SI

TUBERIA	D(mm)	D(Pulg)	RDE	a (m/s)	V (m/s)	Sobrepresión(mca)	Presión Dinámica + golpe de ariete (mca)	Presión Crítica(mca)	Presión de diseño (mca)	Presión de diseño (kg/cm²)	RDE 21
T116	15.4	1/2	28	317	0.12	3.88	16.07	16.07	17.68	1.77	SI
T117	15.4	1/2	29	311	0.12	3.81	16.07	16.07	17.68	1.77	SI
T118	15.4	1/2	30	306	0.1	3.12	15.34	15.34	16.87	1.69	SI
T119	15.4	1/2	31	301	0.03	0.92	16.92	17.80	19.58	1.96	SI
T120	15.4	1/2	32	296	0.01	0.30	12.95	12.95	14.25	1.42	SI
T121	54.58	2	33	292	0.06	1.78	14.03	14.07	15.48	1.55	SI
T122	54.58	2	34	287	0.12	3.51	15.78	15.78	17.36	1.74	SI
T123	15.4	1/2	35	283	0.02	0.58	12.56	13.64	15.00	1.50	SI
T124	54.58	2	36	279	0.02	0.57	14.28	15.53	17.08	1.71	SI

Protecciones De La Tubería

Válvulas De Purga

Debe instalarse válvulas de purga en los puntos bajos de las redes, con el fin de permitir el lavado y la descarga de las mismas. El diámetro de la tubería de desagüe deberá estar entre 1/3 y 1/4 del diámetro de la tubería principal, con un mínimo de 100 mm para tuberías mayores de 100 mm. Para diámetros menores debe adoptarse el mismo diámetro de la tubería principal. Se deberán verificar las condiciones de presión y protección respectiva de la válvula para evitar su daño. (Art 67 Res 0330 junio de 2017).

Dispositivo mecánico empleado para descargar el agua de la red de distribución durante una operación de drenaje, tanto en la distribución primaria como secundaria.

Están localizadas en los puntos bajos del recorrido de las tuberías, donde se acumulan sedimentos, que reducen e impiden el paso de agua. Deben instalarse válvulas de purga en los puntos bajos de la tubería, con el propósito de descargar una conducción, durante una operación de drenaje.

El proceso para la ubicación de las válvulas de purga consistió en utilizar la topografía del para dibujar los perfiles de todos los tramos de la red de distribución, determinando así los puntos bajos en los que existirá acumulación de sedimentos.

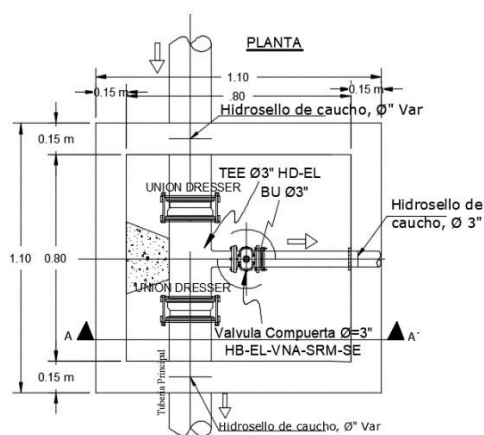


Figura 12. Detalle Típico de Purga.

Válvula de Ventosa

Las líneas de conducción y distribución deben contar con válvulas ventosas. Esta se ubicará en los sitios altos de la red, en cambios bruscos de pendiente de positiva a negativa, en tramos de tubería con pendiente constante y baja ($\leq 3\%$), cada 300 m y en otras zonas en las que se considere necesario, de acuerdo con un análisis técnico. El diámetro mínimo de las ventosas debe ser de 25 mm.

En todos los casos, el diámetro deberá calcularse para las condiciones particulares de cada proyecto (Art 66 Res 0330 de junio de 2017).

Las ventosas son dispositivos mecánicos sencillos, imprescindibles en todo tipo de redes de distribución de agua, cuya misión es asegurar el correcto funcionamiento de las tuberías, regulando la cantidad de aire libre que existe en el interior de las mismas.

Las ventosas protegen las tuberías resolviendo algunos problemas hidráulicos como aplastamiento o explosiones, desgaste de contadores, etc.

Por otra parte, no todo el aire que pueda haber en el interior de las redes es perjudicial, en algunos casos la presencia de aire en las tuberías puede reducir los efectos dañinos de la cavitación o de los golpes de ariete.

También la presencia de cantidades incontroladas de aire puede reducir seriamente el rendimiento de una red, ya que el aire se acumula en los puntos altos de las conducciones reduciendo la sección de paso y por tanto la capacidad de transporte de las mismas, llegándose a detenerse completamente el flujo en sistemas por gravedad de baja presión, cuando las velocidades son menores de 1 m/s, ya que a mayores velocidades las posibles bolsas de aire son gradualmente arrastradas y desaparecen.

En sistemas con altos caudales y altas velocidades, la instalación de ventosas de gran orificio puede causar golpes de ariete, debido a la gran diferencia de velocidades de agua y aire a través de un orificio en condiciones de presión similares

Cuando hablamos de tuberías vacías deberíamos decir tuberías llenas de aire que debe ser evacuado convenientemente. El aire puede entrar también en las conducciones por diversos

caminos, por ejemplo, cuando se pone en marcha una bomba, el aire atrapado en sus partes internas es introducido en el sistema. También la propia bomba puede crear vórtices o torbellinos en la aspiración

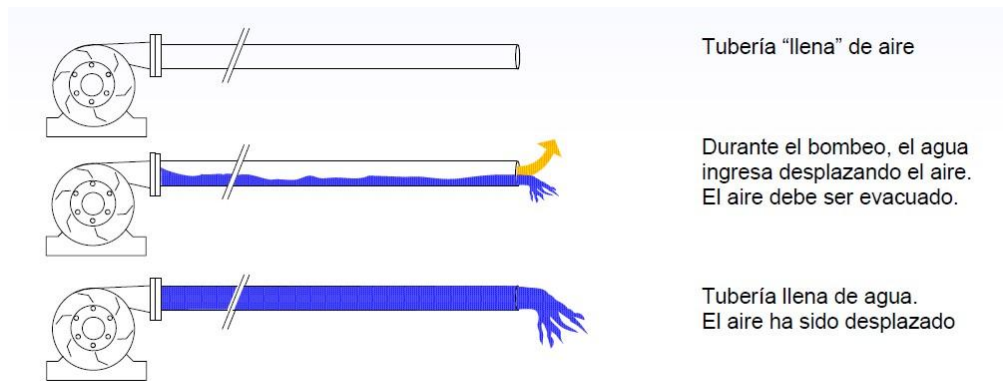


Figura 13. Aire en tuberías.

Cuando el agua pasa de la atmósfera a una conducción cerrada también puede aspirar una gran cantidad de aire en forma de pequeñas burbujas, lo mismo ocurre si el agua pasa, en una conducción, de una sección parcialmente llena a una totalmente llena.

El aire puede también ser introducido en las conducciones, voluntariamente, a través de las propias ventosas, de igual forma el aire puede tener un origen interno, ya que el agua contiene aire disuelto.

La cantidad de aire que puede estar disuelto por unidad de volumen de agua depende de la presión y la temperatura, de forma que aumenta con el valor de la presión y disminuye con la temperatura.



Figura 14. Bolsas de aire en puntos altos.

Durante el vaciado o drenaje de las tuberías (sea que se esté realizando en forma programada y controlado o sea que ocurra en forma violenta producto de una rotura), las presiones negativas pueden generar colapso y aplastamiento del tubo.

Este fenómeno se da especialmente en los tubos plásticos, especialmente los de baja clase (escaso espesor de pared).

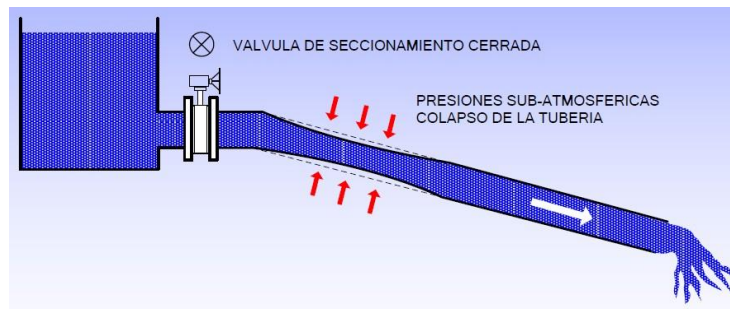


Figura 15. Efecto de presiones sub-atmosféricas en las redes de distribución.

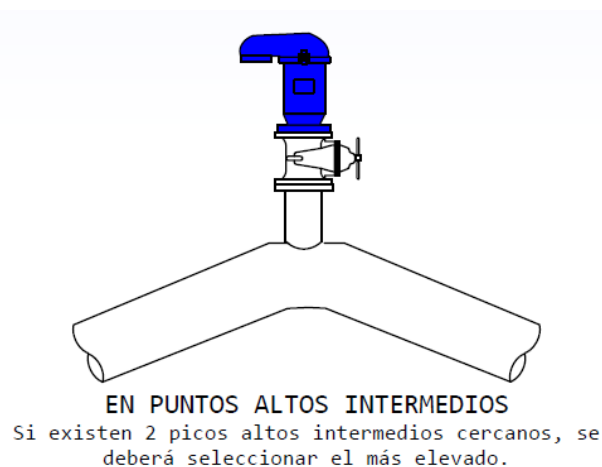


Figura 16. Válvulas de ventosa en puntos altos.

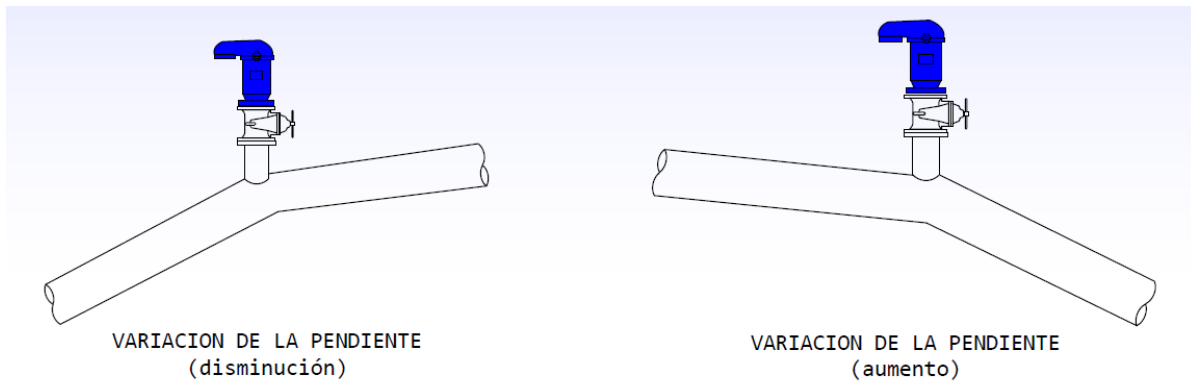


Figura 17. Válvulas de ventosa en cambios de pendiente.

Bajo las pautas mencionadas en los párrafos anteriores y con ayuda de la topografía de la zona determinaron los perfiles de todos los tramos de la red de distribución, determinando los puntos altos presentes en toda la red la topología de la red fue posible instalar pocas válvulas de ventosa.

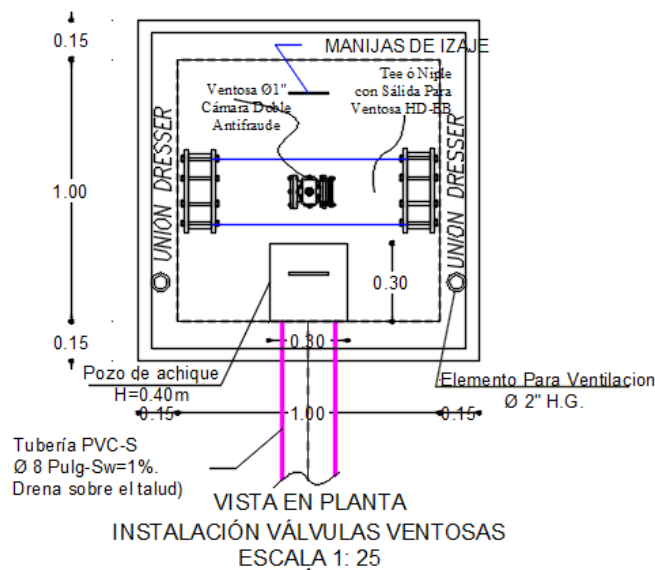


Figura 18. Detalle típico caja de válvulas de ventosa.

Válvulas De Corte o Cierre

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las válvulas de compuerta no se deben utilizar en tuberías con diámetros superiores o

- iguales a 350 mm, en cuyo caso se deben utilizar válvulas de mariposa.
- Debe instalarse una válvula de cierre en todas las conexiones de los sectores hidráulicos.
 - Deberán colocarse válvulas con drenaje y pozo de succión para mantenimiento de la red, evitando puntos muertos en la misma (Art 18 Res 0799 de junio 2021).

Mediciones De Caudal

En todos los sistemas se deben instalar instrumentos de medición en la tubería y respetando las condiciones de instalación del tipo de medidor, que permita la lectura y/o captura y almacenamiento de datos.

La medición debe hacerse como mínimo en los siguientes puntos:

- En la entrada de las plantas de tratamiento, por cada una de las fuentes.
- En la entrada y salida de sistemas de bombeo, superficial o pozo profundo.
- En la salida de las plantas de tratamiento.
- En la red de abastecimiento, en la entrada a los sectores hidráulicos. En la salida de los tanques de almacenamiento.

Para obtención de datos de caudales de consumo que permitan totalizar el caudal suministrado al centro poblado el Triunfo, se plantea estación de macromedición y control de flujo en la salida del tanque de almacenamiento elevado proyectado, con caudal máximo horario de 2.04 L/s con un diámetro de Ø2” y para las acometidas de cada vivienda las cuales serán en diámetro de ½” se proyecta la instalación de medidores de Ø ½”.

10.2 Análisis del cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente para la ejecución del proyecto

En cumplimiento del Objetivo 2, se realizó una auditoría documental y de campo contrastada con el marco normativo ambiental. Los hallazgos se sistematizaron en la Tabla 9, evaluando no solo la existencia del requisito, sino su nivel de implementación real bajo el Decreto 1076 de 2015 y normas concordantes.

Tabla 9. Lista de chequeo de cumplimiento ambiental

No.	ASPECTO A VERIFICAR	CUMPLE (Sí/No)	OBSERVACIONES	REFERENCIA DOCUMENTAL
1.	Ley 99 de 1993 / Dec. 1076 de 2015	Parcial	Análisis de licencias y compensaciones.	Expediente Ambiental
1.1	Licencia ambiental del proyecto.	Sí	Vigente (PDA-045-2023). Asegura la legalidad operativa.	Contrato 066 de 2023
1.2	Participación comunitaria.	Sí	3 actas firmadas. Cumple con el Decreto 1076.	Informe Ambiental VII
1.3	Compensación forestal.	No	Faltan 200 árboles por plantar de los 1.210 meta.	PMA (Medidas de Manejo)
2.	Res. 0631 de 2015 / Res. 1362 de 2020	Parcial	Control de vertimientos y emisiones.	Bitácora de Obra
2.1	Segregación de residuos sólidos.	Sí	Implementación de puntos ecológicos funcionales.	Informe de Seguimiento 7
2.2	Disposición de residuos líquidos.	Sí	Trampas de grasa operativas en campamentos.	Programa Residuos Líquidos
2.3	Control de emisiones (Maquinaria).	No	2 retroexcavadoras sin mantenimiento vigente.	Tabla 42 (Informe 7)
3.	Programas Ambientales y SST	Parcial	Gestión operativa en campo.	Anexos Técnicos
3.1	Señalización en obra.	No	Ausencia de señales en almacén de químicos.	Tabla 40 (Informe 7)
3.2	Salud ocupacional (EPP).	Sí	Entrega del 100% de elementos de protección.	Inventario SST
4.	Calidad del agua	Parcial	Verificación de parámetros físico-químicos.	Reporte Laboratorio

Análisis de Desviaciones y Evidencias

En relación con el cumplimiento de la Ley 99 de 1993, se confirmó la vigencia de la licencia ambiental PDA-045-2023 hasta diciembre de 2024, lo cual garantiza la seguridad jurídica de la obra. Asimismo, se evidenció el cumplimiento del principio de participación ciudadana mediante tres actas de socialización firmadas por líderes de la vereda El Triunfo.

Sin embargo, se identificó un incumplimiento parcial en la compensación forestal. Aunque se gestionó la entrega de 1.210 plántulas, la auditoría física confirmó que 200 individuos aún no han sido plantados en la zona de protección predefinida. En la Figura 19 se observan los diversos tipos de plántulas sembradas (Bucare, Samán y Caracolí), las cuales presentan un estado fitosanitario adecuado, pero cuya falta de plantación total retrasa la restauración ecológica comprometida en el PMA.



Figura 19. Diversos tipos de plantas sembradas para el programa de compensación ambiental. Especie Bucare (A). Especie Samán (B). Especie Caracolí (C). Especie Samán (C).

Respecto a la Resolución 0631 de 2015, el proyecto demostró avances significativos en el manejo de residuos. Se implementaron contenedores segregados y trampas de grasa funcionales para residuos líquidos domésticos. No obstante, se detectó una desviación técnica en el control de emisiones: dos retroexcavadoras operaban sin el mantenimiento preventivo reciente, lo que contraviene los protocolos de calidad del aire. Como acción correctiva, se

recomendó la actualización inmediata de las fichas de mantenimiento de la maquinaria pesada.

En cuanto a la implementación de los programas ambientales, se destacó la realización de cuatro capacitaciones en seguridad ambiental. En contraste, se observó una deficiencia crítica en la señalización del área de almacenamiento de materiales, la cual carecía de señales de advertencia, incrementando el riesgo de incidentes químicos. Por otro lado, el manejo de materiales de construcción se ejecutó de manera protegida; dichos materiales se almacenaban en un terreno con una estructura alquilada y dispuesta para dicho fin, como se observa en la Figura 20.

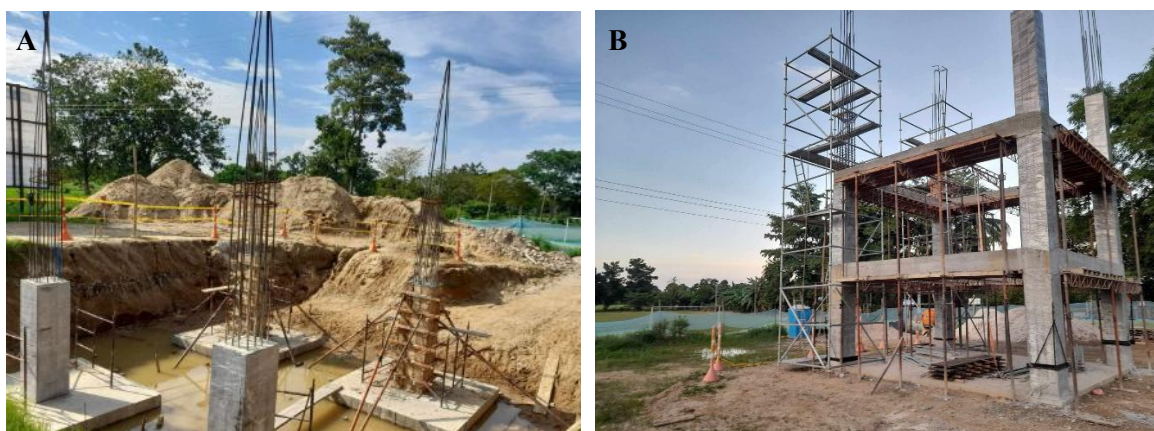


Figura 20. Disposición de materiales de construcción (A). Estructura del tanque elevado (B).

Finalmente, el análisis de calidad del agua reveló un exceso de hierro en el pozo captado, parámetro que bajo la Resolución 2115 de 2007 representa un riesgo para la aceptabilidad del agua. Este hallazgo técnico justifica la necesidad del sistema de filtración programado para septiembre de 2024, asegurando que el recurso cumpla con los estándares de potabilidad antes de llegar a los usuarios.



Figura 21. Seguimiento técnico realizado a la compensación ambiental.

En síntesis, este análisis refleja una gestión ambiental con avances notorios, pero que requiere acciones correctivas inmediatas en señalización y compensación forestal. Los hallazgos se fundamentan en la revisión documental y el contraste de evidencias, coherentes con el alcance del seguimiento técnico realizado (Figura 21).

10.3 Verificación de la implementación de las estrategias de mitigación ambiental establecidas en el proyecto.

En cumplimiento del Objetivo 3, se realizó el seguimiento sistemático a la gestión y utilización de los recursos asignados para la mitigación y compensación ambiental. A diferencia del análisis normativo previo, esta fase se centró en la verificación física y social de la apropiación de las medidas por parte de la comunidad y el contratista de obra.

Tabla 10. Matriz de seguimiento de medidas de compensación.

Medida de Mitigación	de	Avance Reportado	Avance Ejecutado	Discrepancia	Evidencia
Siembra de 1.210 árboles nativos		100%	100% (final)	0%	Verificación de reubicación y estado fitosanitario.
Capacitación en manejo de residuos		90%	90%	0%	Listas de asistencia y evaluación de conocimientos.

Instalación de señalización en obra	95%	80%	-15%	Observación de campo (Faltan 15 señales).
Entrega y uso de EPP al personal	100%	100%	0%	Verificación de uso diario en frentes de obra.
Entrega de bolsas ecológicas	100%	100%	0%	Registro de entrega en talleres de sensibilización.
Instalación de puntos ecológicos	100%	100%	0%	Verificación de funcionalidad en sede educativa.

Análisis de la Gestión y Utilización de Medidas

El seguimiento técnico realizado permitió validar que la gestión de los recursos ambientales superó la fase de entrega administrativa para centrarse en la supervivencia y ubicación estratégica de las especies. Se confirmó que el programa de compensación forestal alcanzó la cifra oficial de 1.210 plántulas nativas, logrando unificar los registros documentales con la realidad verificada en campo. La gestión inicial enfrentó un reto operativo crítico cuando se detectó que 200 individuos habían sido trasladados a un predio ajeno al proyecto, lo que exigió una labor de supervisión inmediata para garantizar que el beneficio ambiental permaneciera dentro de la zona de protección de la vereda El Triunfo, cumpliendo así con los compromisos de restauración ecológica originales.

En contraste con el éxito de la reforestación, la verificación de la señalización preventiva en los frentes de obra reveló deficiencias significativas en la fase de mantenimiento y reposición. Durante las visitas de inspección técnica, se identificó que el 15% de la señalización reportada como instalada presentaba fallas por ausencia física o deterioro avanzado. Específicamente, en el área de almacenamiento de insumos químicos, se constató la inexistencia de señales de prohibición y advertencia de peligro, contraviniendo lo establecido en las Medidas de Manejo Ambiental. Esta situación, documentada en la Figura 22, representó un riesgo de seguridad industrial que fue notificado al contratista para su corrección inmediata mediante la reposición de los elementos faltantes.



Figura 22. Ausencia de señalización.



Figura 23. Entrega de bolsas ecológicas y kits sustentables a niños de la Institución Educativa Bibiana Toredo.

El componente de educación ambiental fue evaluado bajo un criterio de utilidad pedagógica y no solo como un proceso de distribución de materiales. La entrega de 550 bolsas ecológicas

y 56 kits escolares se realizó de forma paralela a talleres de sensibilización sobre el cuidado del recurso hídrico y la gestión de residuos. Un hito importante fue la dotación de puntos ecológicos en la Institución Educativa Bibiana Toredó, donde se verificó mediante observación directa que los estudiantes realizan una segregación efectiva de residuos sólidos gracias a la funcionalidad de los contenedores instalados. Estas acciones de fortalecimiento social se encuentran ilustradas en la Figura 23, reflejando la apropiación de la comunidad escolar frente a las herramientas de sostenibilidad proporcionadas.

La gestión del proyecto también incluyó la resolución de conflictos sociales que amenazaban la cronología de las obras y la implementación de las medidas ambientales. Se identificó una resistencia inicial por parte de algunos propietarios de predios agrícolas, quienes solicitaban una cantidad de puntos de agua domiciliar superior a la estipulada en los diseños técnicos. Para mitigar esta situación, se llevaron a cabo reuniones de concertación donde se explicó técnicamente el balance hidráulico necesario para mantener las presiones operativas en toda la red de 3.2 km. Este proceso de diálogo social, capturado en la Figura 24, fue determinante para asegurar la continuidad de la infraestructura sin comprometer la equidad en el servicio para los demás habitantes de la vereda.



Figura 24. Reunión entre representantes del Consorcio CUMARE SA ESP y la comunidad de la Vereda el Triunfo.

En cuanto a la seguridad y salud en el trabajo, la verificación se centró en la utilización constante de los elementos de protección personal (EPP) por parte de las cuadrillas de excavación. A través de inspecciones aleatorias en diversos frentes de obra, se confirmó que

el 100% del personal portaba chalecos reflectivos, cascos y calzado de seguridad de acuerdo con la normativa vigente. Este hallazgo valida que la entrega administrativa de los elementos se tradujo en una práctica operativa segura, reduciendo efectivamente la probabilidad de accidentes laborales durante la manipulación de tuberías y maquinaria pesada en el entorno rural del municipio de Arauquita.

La sostenibilidad a largo plazo de las medidas de mitigación fue un eje central en la verificación del cumplimiento técnico. Se estableció que la siembra de los 1.210 árboles requiere un monitoreo continuo durante el primer año para asegurar el enraizamiento y crecimiento de las especies nativas como el Bucare y el Samán. La gestión de CUMARE S.A. E.S.P. en este sentido pasó de ser un simple verificador de hitos a un facilitador de procesos ambientales, involucrando a los beneficiarios de los predios en el cuidado de las zonas de protección hídrica cercanas al río Chiquito, lo cual fortalece la resiliencia del ecosistema frente a futuras temporadas de sequía.

Finalmente, los resultados obtenidos en este tercer objetivo demuestran que el seguimiento técnico efectivo permite cerrar la brecha entre la planificación contractual y la ejecución física en campo. Se verificó la implementación de las estrategias de mitigación ambiental establecidas en el proyecto, asegurando que los medios proporcionados para la compensación ambiental, como la entrega de árboles a la comunidad, hayan sido gestionados y utilizados según lo planificado. Al auditar no solo la posesión de los recursos sino su gestión y uso final, se garantizó que la inversión realizada en la vereda El Triunfo cumpla con su propósito social y ambiental. La combinación de evidencias fotográficas, registros de asistencia y visitas de campo proporcionó el rigor necesario para concluir que el componente de mitigación fue implementado de manera satisfactoria, consolidando un modelo de gestión pública responsable con el entorno natural y participativa con la comunidad.

11. CONCLUSIONES

La modelación hidráulica realizada en el software EPANET® permitió validar que el diseño de la red de distribución para la vereda El Triunfo cumple con los parámetros de presión y velocidad exigidos por la Resolución 0330 de 2017. Se confirmó que el sistema tiene la capacidad técnica para abastecer a las 112 familias proyectadas. No obstante, es importante aclarar que esta herramienta se limitó al comportamiento físico del agua (caudales y presiones), por lo cual el cumplimiento de la calidad del agua (Resolución 2115 de 2007) dependerá estrictamente de la puesta en marcha del sistema de filtración de hierro identificado como necesario en los análisis de laboratorio.

El análisis de cumplimiento normativo reveló que, aunque el proyecto cuenta con una base legal sólida gracias a la vigencia de la licencia ambiental PDA-045-2023, existen fallas operativas en la ejecución de los planes de manejo ambiental. Las principales desviaciones se encontraron en la falta de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada y la ausencia de señalización de seguridad en áreas de almacenamiento de químicos. Estos hallazgos indican que la gestión ambiental de CUMARE S.A. E.S.P. debe pasar de un cumplimiento puramente administrativo a una supervisión más rigurosa en los frentes de obra.

Se verificó que las estrategias de mitigación ambiental fueron gestionadas de manera satisfactoria tras superar desafíos sociales y logísticos. A pesar de los inconvenientes iniciales con la ubicación de las plántulas, se logró la siembra definitiva de los 1.210 árboles nativos programados, asegurando la compensación forestal en la zona de influencia. Asimismo, la resolución de conflictos con la comunidad respecto a los puntos de agua demostró que el seguimiento técnico debe estar acompañado de procesos de concertación social para garantizar que la infraestructura sea aceptada y utilizada correctamente por los beneficiarios.

El apoyo técnico brindado durante la práctica permitió identificar que la eficiencia del acueducto regional no solo depende de la instalación de tuberías, sino de la integración de la vigilancia técnica con la normativa ambiental. Las recomendaciones generadas sobre el control de emisiones de maquinaria y el tratamiento de metales en el agua captada proporcionan a la empresa una hoja de ruta clara para corregir desviaciones antes de la entrega final del proyecto, asegurando un servicio que sea técnicamente funcional y ambientalmente responsable.

12.RECOMENDACIONES

Incorporar herramientas de modelación predictiva en etapas tempranas de diseño, no solo para identificar riesgos hidráulicos, sino para anticipar impactos ambientales y sociales. Esto permitiría optimizar recursos y reducir brechas entre lo proyectado y lo ejecutado.

Diseñar protocolos de monitoreo dinámicos que incluyan indicadores cualitativos y cuantitativos, facilitando la detección temprana de desviaciones. Por ejemplo, integrar sistemas de georreferenciación para rastrear actividades de compensación forestal o plataformas digitales para reportes comunitarios en tiempo real.

Desarrollar estrategias de educación ambiental continuas, más allá de capacitaciones puntuales, utilizando materiales didácticos contextualizados (ej.: campañas audiovisuales en lenguas locales). Esto fortalecería la apropiación comunitaria y reduciría conflictos durante la ejecución.

Establecer alianzas con instituciones educativas y ONGs locales para dar seguimiento a las medidas de mitigación, como el mantenimiento de áreas reforestadas o la auditoría independiente de la calidad del agua. Esto aseguraría que los beneficios del proyecto trasciendan su fase de construcción.

Documentar lecciones aprendidas en un manual de buenas prácticas, enfocado en la gestión de conflictos con propietarios, la optimización de recursos y la integración de tecnologías accesibles. Este insumo sería invaluable para replicar el modelo en otras regiones con desafíos similares.

13. OTRAS ACTIVIDADES ASOCIADAS A LA PRÁCTICA

A lo largo de mi pasantía, además de las tareas delineadas en el plan del proyecto, participé en tareas que no estaban previamente planificadas y que surgieron durante el proceso del proyecto y que contribuyeron significativamente a mi desarrollo general como ingeniero ambiental. Una de estas actividades fue ayudar a organizar una conferencia sobre el estado de la comunidad local. Gracias al interés de los vecinos de la vereda El Triunfo por el saneamiento, pude preparar e implementar dos proyectos no planificados. Estas instrucciones, llevadas a cabo bajo la presidencia de la Junta de Acción Comunal, implicaron el desarrollo de un folleto de muestra para proyectos de conservación de agua y reducción de desechos domésticos. Esta experiencia me permitió desarrollar excelentes habilidades de comunicación, adaptar el lenguaje técnico para diferentes públicos y adquirir rápidamente habilidades prácticas como preparar materiales y brindar soporte. Se proporcionaron imágenes de materiales de lectura y folletos como evidencia.

Otro paso importante es la gestión de los registros físicos y digitales de la obra. Durante una auditoría anual, descubrimos que documentos clave (correspondencia de salud, comunicaciones y estados financieros) estaban dispersos en carpetas no estructuradas, lo que dificultaba su acceso. Describí una solución sencilla, organizando los archivos por nombre y fecha, y creé una herramienta digital en Excel para una referencia rápida. Este proceso, aunque corto, me enseñó la importancia de la conservación de documentos en el trabajo de campo, donde las cuestiones legales son críticas. Además, centré mi atención en detalles como la autenticidad de las firmas y los sellos de los documentos oficiales.

Por último, incluyo un registro manual de inquietudes y sugerencias del público, un proyecto inesperado que comenzó después de recibir quejas de la población con respecto al polvo que generaban de las máquinas. Con un cuaderno del terreno, anoté las preocupaciones de los vecinos y las envié al Consorcio, que implementó medidas como el riego de las calles durante las horas pico. A través de esta experiencia, desarrollé excelentes habilidades para escuchar y hablar en público, esenciales para enfrentar los desafíos dentro de la comunidad.

Estas actividades, aunque modestas, demostraron que la ingeniería ambiental no se limita a modelos técnicos complejos, sino que requiere gestión organizada, adaptabilidad y sensibilidad social. Aprendí que incluso tareas cotidianas, como organizar documentos o

escuchar a la comunidad, son fundamentales para el éxito de proyectos sostenibles. Estas experiencias reforzaron mi compromiso con enfoques prácticos y humanos, donde la claridad en la comunicación y el orden en la gestión son tan valiosos como el conocimiento técnico especializado.

Estas experiencias, aunque significativas, han demostrado que la ingeniería ambiental no es sólo se conforma de la parte técnica, sino que requiere cuidado colaborativo, adaptación y participación con la comunidad. Aprendí que incluso las tareas menos importantes aparentemente, como crear documentos o escuchar a las comunidades locales, son fundamentales para el éxito los proyectos sostenibles. Estas experiencias moldearon mi carácter y mis habilidades de manera profesional y personal, donde la claridad y comunicación en los procesos y procedimientos son tan importantes como el conocimiento técnico especializado.

14.LITERATURA CITA

- Alvarez-Zaldívar, M. & Barranco-Pilides, N. (2019). Modelo de gestión de la junta administradora de acueducto rural, para desinfección de agua con tecnología sostenible en Ipetí Emberá, Panamá. *Revista de I + D Tecnológico*, 15(1), 49–58. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.33412/idt.v15.1.2097>
- Camacho Botero, L. A. (2020). La Paradoja De La Disponibilidad De Agua De Mala Calidad en El Sector Rural Colombiano. *Revista de Ingeniería*, 49, 38–51. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.16924/revinge.49.6>
- Castañeda Sánchez, T. A., Bracho Colina, E. C., & Ardilla Pinto, T. Y. (2025). Estudio de impacto ambiental para la creación de una empresa consultora en RSPO para cultivos de palma de aceite. *Revista EIA*, Vol. 22, N°. 43, 2025.
- Méndez, M., & Estrada de Oses, V. (2024). *Impacto de la deforestación de los manglares de la Bahía de Chame y medidas de mitigación ambiental*.
- Moreno Méndez, J. O. (2020). Los Retos Del Acceso a Agua Potable Y Saneamiento Básico De Las Zonas Rurales en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 49, 28–37. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.16924/revinge.49.5>
- Pareja-Pineda, C. (2025). Límites a la articulación, descentralización y participación en el agua potable rural chilena. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 16(1), 41–83. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.24850/j-tyca-2025-01-02>
- Sánchez Galán Quintero, E. A., Conte, A. A., & Murillo, M. (2024). Diagnóstico de la gobernanza del agua para el desarrollo de la comunidad rural de Platanilla, Darién, Panamá: Diagnóstico da governança da água para o desenvolvimento da comunidade rural de Platanilla, Darién, Panamá = Diagnosis of water governance for the development of the rural community in Platanilla, Darién, Panama. *Perspectivas Rurales: Nueva Época*, 22(43), 2. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.15359/prne.22-43.2>
- Somoza Ríos, J. A. (2025). Análisis correlacional de la gestión del agua dulce en México : Evidencia basada en datos de la OCDE. *Revista Ciencia y Reflexión*, 4(1), 1–15. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.70747/cr.v4i1.79>

- Valdivia Cabral, J. J., Ortiz Medina, I., & Hernández Ortiz, M. (2024). Hacia una gestión sostenible del agua en México: Innovación agroecológica y gobernanza policéntrica. *Scientia et PRAXIS*, 4(8), 1–31. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.55965/setp.4.08.uady.a1>
- Vera Torrejón, J. A. (2015). La mitigación ambiental en las actividades productivas o extractivas: concepto, obligatoriedad y aplicación práctica. *Revista de Derecho Administrativo*, . 15. 15, 129129–148148.

15.ANEXOS

Anexo 1. Tablas 5 y 7 del documento Medidas de Manejo Ambiental

Tabla 5 Criterios para la evaluación de impactos ambientales

CALIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
CLASE DE IMPACTO		
Positiva	+	El efecto mejora el estado actual del recurso afectado
Negativa	-	El efecto deteriora el estado actual del recurso afectado
PRESENCIA DE 0,0 – 1,0		
Cierto	1,0	Existe absoluta certeza de que el impacto se presente
Probable	0,8	Es probable hasta en un 50 % que impacto se dé
Incierto	0,4	Es poco probable que el impacto se presente
Imposible	0,1	Es casi imposible que se dé, pero podría presentarse
MAGNITUD DE 0,0 – 1,0		
Muy Severo	1,0	Daño permanente al ambiente
Severo	0,8	Daños serios pero temporales al ambiente
Medianamente Severo	0,5	Daños menores pero permanentes al ambiente
Ligeramente Severo	0,3	Daños menores al ambiente
Nada Severo	0,1	Ningún daño al ambiente
DURACIÓN DE 0,0 – 1,0		
Muy Larga	1,0	Más de un año
Larga	0,8	De seis meses a un año
Moderada	0,5	De un mes a seis meses
Corta	0,3	De un día a un mes
Muy Corta	0,1	Menos de un día
EVOLUCIÓN DE 0,0 – 1,0		
Muy Rápido	1,0	Menos de un día
Rápido	0,8	De un día a un mes
Medio	0,6	De un mes a seis meses.
Lento	0,4	De seis meses a un año
Muy Lento	0,2	Más de un año

Tabla 7 Identificación de Impactos dentro de las etapas del proyecto.

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE CONSTRUCCION						
			Manejo Temporal De Aguas	línea de conducción y distribución	caja de estación reguladora de presión	tanque de almacenamiento	sala equipo y herramientas	acometidas acueducto	cerramiento	instalaciones eléctricas
ABIOTICO	GEOLÓGICO GEOMORFOLÓGICO GEOTECNICO	Alteración de la morfología.		X			X		X	
		Activación o generación de procesos erosivos o de generación de movimientos	X	X		X	X	X	X	X
	EDAFOLÓGICO	Pérdida de suelo.		X	X	X		X	X	
		Cambios en la calidad de los suelos.		X		X		X	X	X
	PAISAJE	Alteración del uso actual.		X		X		X	X	X
		Alteración de los valores escénicos de una unidad de paisaje.		X		X	X		X	X
	HIDROLÓGICO	Cambios en la calidad del agua superficial y sedimentos.	X		X	X				
Alteración en la capacidad de transporte de agua.		X	X	X	X		X			
Alteración del cauce.										

Descripción de los impactos ambientales del medio biótico

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE CONSTRUCCION						
			Manejo Temporal De Aguas	línea de conducción y distribución	caja de estación reguladora de presión	tanque de almacenamiento	sala equipo y herramientas	acometidas acueducto	cerramiento	instalaciones eléctricas
BIOTICO	FLORA	Cambios en la composición florística.								
		Reducción y pérdida de conectividad ecológica.		X					X	X
		Aumento de especies invasoras (especies exóticas o nativas generalistas).								
		Cambios en la abundancia de especies en veda de especies epífitas vascular y no vascular.								
		Afectación de los procesos fotosintéticos de la vegetación expuesta.								
		Afectación de los procesos fotosintéticos de la vegetación expuesta.								
		Contaminación de suelos.		X			X	X	X	X
Afectación de la percepción escénica de paisajes.		X			X		X	X	X	

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE CONSTRUCCION							
			Manejo Temporal De Aguas	línea de conducción y distribución	caja de estación reguladora de presión	tanque de almacenamiento	sala equipo y herramientas	acometidas acueducto	cerramiento	instalaciones eléctricas	
BIOTICO	FAUNA	Pérdida de individuos de fauna terrestre.		X			X			X	X
		Ahuyentamiento de las especies de fauna y alteración de su comportamiento.		X	X	X				X	
		Disminución y pérdida de los tamaños de poblaciones de fauna endémica, migratoria y/o en condición de amenaza o vulnerabilidad.									
		Alteración del comportamiento y reducción de áreas de actividad de la fauna.		X		X				X	

Descripción de los impactos ambientales del medio socioeconómico

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE CONSTRUCCION							
			Manejo Temporal De Aguas	línea de conducción y distribución	caja de estación reguladora de presión	tanque de almacenamiento	sala equipo y herramientas	acomodadas acueducto	cerramiento	instalaciones eléctricas	
SOCIO ECONOMICO	DEMOGRÁFICO	Cambios en las estructuras demográficas.									
		Cambios en las distribuciones espaciales de la población.		X		X		X	X		
		Cambios en las dinámicas poblacionales.									
		Colonización de nuevas áreas.									
		Cambios en la densidad poblacional.									
		Emigración de la población.									
		Incremento de la población flotante.									
		Alteración de los obstáculos en el acceso a la movilidad		X		X		X			
Alteración de las desigualdades por razón de género.											
SOCIO ECONOMICO	ESPACIAL	Posible afectación a la infraestructura y/o equipamientos aledaños.		X		X		X	X		
		Afectación a la infraestructura de servicios públicos e infraestructura social y/o comunitaria.						X			X
		Afectación de la conectividad, accesibilidad y movilidad de las poblaciones y comunidades aledañas y en el área de influencia.		X					X		
		Posible incidencia en la generación de espacios de inseguridad o nodos de conflictividad en el área de influencia.				X	X				X
		Posible incidencia en el riesgo de siniestralidad y accidentalidad en el área de influencia.		X	X	X		X	X	X	X
		Posible afectación al acceso de los predios, bienes y servicios.		X				X			
		Posible incidencia en el origen de amenazas naturales.	X								

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE CONSTRUCCION							
			Manejo Temporal De Aguas	línea de conducción y distribución	caja de estación reguladora de presión	tanque de almacenamiento	sala equipo y herramientas	acometidas acueducto	cerramiento	instalaciones eléctricas	
SOCIO ECONOMICO	ECONÓMICO	Cambio en actividades productivas.		X	X	X			X	X	
		Cambio en la estructura empresarial.				X		X			
		Modificación en el acceso a recursos naturales para actividades de subsistencia.									
		Modificación en la ubicación de unidades económicas productivas.		X							
		Alteración en la estructura y dinámica de la oferta y demanda de bienes y servicios.		X			X		X		
		Alteración del mercado laboral local.									
		Cambio en la calidad de vida.		X			X		X	X	
		Cambio en el uso del suelo.		X			X		X	X	
Generación de expectativas por beneficios sociales derivados del proyecto.		X	X	X	X	X	X	X			

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE CONSTRUCCION							
			Manejo Temporal De Aguas	línea de conducción y distribución	caja de estación reguladora de presión	tanque de almacenamiento	sala equipo y herramientas	acometidas acueducto	cerramiento	instalaciones eléctricas	
SOCIO ECONOMICO	INFORMACIÓN Y ATENCIÓN A LA COMUNIDAD	Generación de expectativas sobre el proyecto		X	X	X			X	X	
		Falta de información y divulgación completa, clara y oportuna del proyecto y sus actividades.		X							
		Conflictos con la comunidad.		X							
		Contribución en la atención de las necesidades informativas de la población respecto al proyecto.		X			X		X	X	

Anexo 2. Formato planilla de Informe final del Proyecto aplic

