

**Diagnóstico Hidráulico de las Redes de Aducción del Acueducto Peña Negra de la
vereda Llano Grande del municipio de Paipa – Boyacá**

Mildred Camila Pabón Rivero

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Sanitaria
Tunja
2024**

**Diagnóstico Hidráulico de las Redes de Aducción del Acueducto Peña Negra de la
vereda Llano Grande del municipio de Paipa – Boyacá**

Mildred Camila Pabón Rivero

**Trabajo de grado de semillero de investigación CLIMA para optar al título de
Ingeniera Sanitaria**

Director:

**David Felipe Bermúdez Duarte
Ingeniero Sanitario e Ingeniero Ambiental**

Codirector:

**Catherin Dayani Caro Avendaño
Magister en Ingeniería Ambiental**

**Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Sanitaria**

Tunja

2024

Nota de aceptación:

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 05 de junio del 2024.

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.
(Lineamientos constitucionales, legales e institucionales que rigen la propiedad intelectual).

Queridos mamá y papá,

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo de grado a ustedes, quienes han sido mi inspiración, apoyo incondicional y guía en cada paso de mi camino académico. Su amor, sabiduría y sacrificio han sido la luz que ha iluminado mi camino hacia el éxito. Gracias por creer en mí y por ser mis mayores ejemplos de perseverancia y dedicación. Este logro también es de ustedes.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al ingeniero David Felipe Bermúdez Duarte y a la ingeniera Catherin Dayani Caro Avendaño por su constante acompañamiento y valioso aporte durante el desarrollo de este trabajo de grado. Su experiencia y conocimiento en el tema fueron fundamentales para enriquecer este proyecto y alcanzar los resultados deseados.

Asimismo, deseo extender mi gratitud al señor Pedro Isafías Gutiérrez Benavidez y a la junta directiva del Acueducto Peña Negra por su generosa disposición para suministrar la información necesaria y por brindarme su apoyo a lo largo de todo el proceso. Sus contribuciones fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

Agradezco sinceramente a todos ellos por su colaboración y dedicación, que fueron esenciales para llevar a cabo este proyecto de manera satisfactoria. Su guía y respaldo fueron de inestimable valor y siempre serán recordados con gratitud.

Contenido

	Pág.
Introducción	18
Validación de usuarios y caudales emitidos en 2023.....	20
Reseña Histórica.....	20
Población Actual	20
Usos del agua	22
Medición de Caudal Doméstico	23
Análisis de la Topografía de la Zona	27
Ubicación de las Estructuras	27
Análisis del Terreno	27
Topografía de la Línea de Aducción.....	30
Software Utilizado.....	32
Modelación a 2023	33
Elevaciones	33
Presiones	34
Caudal	36
Modelación a 2049	37
Censos	37
Proyección de Población.....	37
Población Flotante	40
Dotación per-carpita.....	41
Proyección de Caudal	41
Presiones Modelo a 2049	42
Diagnóstico Hidráulico de la Red de Aducción.....	44
Fuente de Abastecimiento	44
Sistemas de Captación Existentes	44
Estructura de captación 1	45
Estructura de captación 2	46
Tubería existente	48

Conclusiones	51
Recomendaciones	52
Referencias.....	54
Anexos	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Registro de Usuarios desde el Año 2018 a 2023	21
Tabla 2. Caudal no doméstico.....	23
Tabla 3. Caudales registrados durante todo el año 2023 en la entrada y salida de la PTAP	24
Tabla 4. Caudales promedio año 2023.....	26
Tabla 5. Censos de población municipio de Paipa	37
Tabla 6. Tasas de crecimiento.....	38
Tabla 7. Proyección de población.....	38
Tabla 8. Proyección de caudal doméstico.....	41
Tabla 9. Características estructura de captación 1	45
Tabla 10. Características estructura de captación 2	46
Tabla 11. Características bocatoma de fondo	47
Tabla 12. Características tramos línea de aducción	49

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Análisis de la tendencia de la Población através de los años	22
Figura 2. Caudales emitidos en 2023 a la entrada de la PTAP	25
Figura 3. Ubicación de las Estructuras de captación, Bocatoma, Desarenador y PTAP.	27
Figura 4. Perfil de Elevación del Terreno Línea desarenador a la PTAP	28
Figura 5. Zona de Influencia.....	29
Figura 6. Curvas de Nivel en la zona de Influencia	30
Figura 7. Línea de aducción a modelar	31
Figura 8. Perfil hidráulico de la tubería	31
Figura 9. Elevaciones de la línea de aducción	34
Figura 10. Presiones de la línea de aducción	35
Figura 11. Caudal de la línea de aducción	36
Figura 12. Proyección de población.....	40
Figura 13. Presiones modelo a 2049	43
Figura 14. Quebrada el Totumo	44
Figura 15. Estructura de captación 1.....	45
Figura 16. Estructura de captación 2.....	46
Figura 17. Bocatoma de fondo.....	47
Figura 18. Tubería de entrada y salida del desarenador.....	49

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto	56

Glosario

Aducción: componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión. (RAS, 2000).

Caudal máximo diario: consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado. (RAS, 2000)

Corrosión: deterioro de un material metálico a consecuencia de un ataque químico por su entorno. (RAS, 2000).

Cuenca hidrográfica: área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (RAS, 2000).

Desarenador: componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica. (RAS, 2000).

Dotación: cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en una unidad de tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes. (RAS, 2000).

Fuente de abastecimiento de agua: depósito o curso de aguas superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas. (RAS, 2000).

Fuga: volumen de agua que se escapa a través de las instalaciones internas de un inmueble y es detectable directamente por los sentidos. (RAS, 2000).

Mantenimiento: conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen. (RAS, 2000).

Micromedición: sistema de medición de volumen de agua, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado período de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto. (RAS, 2000).

Modelo hidráulico: formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema hidráulico a estímulos externos. (RAS, 2000).

Pérdidas: diferencia entre el volumen de agua que entra a un sistema de acueducto y aquel que sale o es facturado, dependiendo del sistema. (RAS, 2000).

Planta de potabilización: conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable. (RAS, 2000).

Población flotante: población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio corto de tiempo por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal. (RAS, 2000).

Tubería: ducto de sección circular para el transporte de agua. (RAS, 2000).

Vida útil: tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento. (RAS, 2000).

Resumen

Diagnóstico Hidráulico de las Redes de Aducción del Acueducto Peña Negra de la vereda Llano Grande del municipio de Paipa – Boyacá.

El proyecto de evaluación de la red de aducción del acueducto Peña Negra en la vereda Llano Grande comienza con la recopilación de datos, la validación de usuarios y la determinación de caudales para el año 2023, proyectados a 25 años. Posteriormente, se realiza un análisis de la topografía del área, identificando desafíos y oportunidades para el sistema hidráulico. Con el análisis topográfico completado, se procede a modelar las tres líneas de aducción que conforman la red del acueducto, utilizando herramientas especializadas para simular su comportamiento y evaluar su eficiencia. Este proceso de investigación y análisis establece las bases para futuras acciones destinadas a mejorar la infraestructura y asegurar un suministro de agua confiable y eficaz para la comunidad.

Finalizado el análisis de los datos recolectados, se realiza un exhaustivo diagnóstico hidráulico de las redes de aducción del acueducto Peña Negra en la vereda Llano Grande del municipio de Paipa, Boyacá junto con salidas a campo acompañadas con los respectivos fontaneros del Acueducto y el Representante Legal del mismo.

La metodología empleada se basa en la recolección de información, tanto mediante salidas de campo como a partir de los datos proporcionados por el acueducto. Estos datos se procesan utilizando el software EPANET, en conformidad con las normativas nacionales vigentes y junta a la información suministrada por el acueducto se procede a identificar los problemas y dificultades que tiene la línea de aducción y estructuras complementarias.

Desde su establecimiento en 1982, el Acueducto Regional Peña Negra ha desempeñado un papel fundamental en la provisión de agua potable para las comunidades de Paipa. A pesar de su compromiso ambiental y el aumento en el número de usuarios, aún persisten deficiencias en las estructuras que no han sido optimizadas. A medida que se identifican deficiencias y problemas en los tramos de la línea de aducción, obstaculizando el transporte del caudal proyectado, se hace

evidente la necesidad de tomar medidas inmediatas. Se recomienda la implementación de un programa de mantenimiento regular, junto con mejoras en la infraestructura y capacitación del personal, con el fin de garantizar un suministro de agua confiable y sostenible para la comunidad.

Palabras claves: Red de aducción, Acueducto, Modelo, Diagnóstico Hidráulico.

Abstract

Hydraulic diagnosis of the adduction networks of the Peña Negra aqueduct in the Llano Grande district of the municipality of Paipa - Boyacá.

The evaluation project for the Peña Negra aqueduct's adduction network in the Llano Grande area begins with data collection, user validation, and determining flow rates for the year 2023, projected over 25 years. Subsequently, an analysis of the area's topography is conducted, identifying challenges and opportunities for the hydraulic system. With the topographic analysis completed, the three adduction lines that make up the aqueduct network are modeled using specialized tools to simulate their behavior and evaluate their efficiency. This research and analysis process lays the foundation for future actions aimed at improving the infrastructure and ensuring a reliable and efficient water supply for the community.

Upon completion of the data analysis, a thorough hydraulic diagnosis of the Peña Negra aqueduct's adduction networks in the Llano Grande area of the municipality of Paipa, Boyacá is conducted, along with field visits accompanied by the aqueduct's plumbers and its Legal.

The methodology employed is based on information gathering through field visits as well as data provided by the aqueduct. These data are processed using EPANET software, in compliance with current national regulations, and combined with the information provided by the aqueduct, the problems and difficulties of the adduction line and complementary structures are identified.

Since its establishment in 1982, the Peña Negra Regional Aqueduct has played a fundamental role in providing potable water to the communities of Paipa. Despite its environmental commitment and the increase in the number of users, deficiencies in the structures that have not been optimized still persist. As deficiencies and problems are identified in sections of the adduction line, hindering the transport of the projected flow, the need for immediate action becomes evident. It is recommended to implement a regular maintenance program, along with infrastructure improvements and staff training, to ensure a reliable and sustainable water supply for the community.

Keywords: Adduction network, Aqueduct, Model, Hydraulic Diagnosis.

Introducción

El Acueducto Regional Peña Negra del Municipio de Paipa departamento de Boyacá, es una asociación sin ánimo de lucro que presta los servicios básicos domiciliarios surtiendo en este momento agua potable a las veredas de Sativa, Llanogrande, y el Rosal, lo mismo que a los barrios Fatima, los Rosales, las Delicias y la Pradera del Municipio de Paipa con calidad responsabilidad y eficiencia durante las 24 horas (Acueducto Regional Peña Negra, s.f.).

El creciente aumento de la población y la falta de una modelación de la red de acueducto Peña Negra del municipio de Paipa ha causado una disminución en su oferta para abastecer a todos los habitantes de la vereda Llano Grande y demás zonas, de las cuales según el acueducto se refiere son 1200 usuarios, debido a este crecimiento poblacional que ha tenido en los últimos 8 años, el acueducto no cuenta con la misma capacidad y cobertura, por lo tanto, si no se tiene un proceso secuencial o un análisis hidráulico de las condiciones del acueducto en un futuro podría ocasionar problemas en la salud pública como, el no acceso a agua potable constante o una buena calidad de la misma, generando enfermedades como las EDAS (Enfermedades Diarreicas Agudas), problemas digestivos, diabetes, entre otros, debido a lo anterior, obtener los servicios de calidad es concurrente con el desarrollo social por medio de condiciones favorables en el bienestar (World Health Organization: [WHO], 2023).

Fue construido en 1982 con la iniciativa de 450 familias del sector, al día de hoy según (El Tiempo, 2000) “Con ayuda de Corpoboyacá hemos adelantado la reforestación de 15 hectáreas con especies nativos (alisos, mortiño y arrayán) en un programa que es modelo a nivel departamental”, planteando la eficacia del acueducto en abastecer a todas esas familias y catalogándolo como un acueducto modelo, donde al 2000 eran 716 usuarios y al 2023 se conoce que son 1200, sin embargo (El Tiempo, 2000), también menciona que algunos tramos de tuberías y accesorios para el año 2000 ya presentaban inconsistencias debido al cumplimiento de su vida útil, generando la necesidad de realizar una modelación para determinar las condiciones en las cuales se encuentra el acueducto con la ayuda de un análisis hidráulico de este y determinar la factibilidad al momento de abastecer a 1349 usuarios que se encuentran al 2023.

Teniendo en cuenta el crecimiento de los usuarios garantizar el acceso al agua potable con su respectiva dotación para el municipio de Paipa, de igual manera, según la resolución 0330 del 2017 el periodo de diseño para acueductos es de 25 años, al año 2023 el acueducto ya cuenta con

41 años de uso sin una modelación en todo este tiempo.

Según el objetivo 6 que refiere al agua y saneamiento básico de desarrollo sostenible indica en una de sus metas la importancia de salvaguardar el acceso a agua y el derecho al uso del agua potable, es decir, previamente tratada para su consumo, de esta manera, garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos; si bien se ha conseguido progresar de manera sustancial a la hora de ampliar el acceso a agua potable y saneamiento, existen miles de millones de personas (principalmente en áreas rurales) que aún carecen de estos servicios básicos. En todo el mundo, una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable salubre, dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica destinada a lavarse las manos con agua y jabón, y más de 673 millones de personas aún defecan al aire libre (Naciones Unidas, 2015).

Por ende, el estudio se centra en la población de las veredas y barrios que se abastecen de agua potable a través del acueducto Peña Negra. La metodología empleada se ha estructurado en dos fases principales. En primer lugar, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para obtener información relevante sobre la zona de estudio. Posteriormente, se llevaron a cabo visitas de campo con el propósito de llevar a cabo diversas actividades. Estas incluyeron la validación de los usuarios existentes en el área, el análisis detallado de la topografía local, la evaluación de los caudales a través de macro y micromedidores, así como la calibración y construcción de un modelo detallado de la red de acueducto en las tres líneas de aducción. Además, se efectuaron análisis hidráulicos exhaustivos en distintos escenarios para comprender mejor el funcionamiento y la eficiencia del sistema de suministro de agua potable en la región.

Utilizando el software EPANET, se generaron modelos hidráulicos que abarcan proyecciones hasta los años 2023 y 2049. Durante este proceso de modelado, se identificaron deficiencias significativas en la red de aducción existente, así como los problemas que enfrenta en términos de capacidad para satisfacer la demanda proyectada. Estas deficiencias resaltaron la urgente necesidad de diseñar e implementar una nueva red de aducción que pueda hacer frente al crecimiento del caudal requerido por el acueducto hacia el año 2049. Este diagnóstico subraya la importancia de tomar medidas proactivas para garantizar la seguridad y la eficiencia del suministro de agua potable a largo plazo en la región.

Validación de usuarios y caudales emitidos en 2023

Este capítulo se centra en la identificación y validación de los usuarios del acueducto Peña Negra en la vereda Llano Grande, el Rosal, Las delicias y los barrios que abastece, por otro lado, en la medición de los caudales emitidos para el año 2023. Este paso es crucial para asegurar que el modelo y las recomendaciones posteriores se basen en datos precisos y actualizados.

Reseña histórica

El Acueducto Regional Peña Negra, localizado en el municipio de Paipa del departamento de Boyacá, es una entidad sin ánimo de lucro que presta servicios públicos domiciliarios. Desde su creación en 1982 por iniciativa de 450 familias locales. La organización ha distribuido agua potable con calidad, responsabilidad y eficacia a las veredas Sativa, Llanogrande y El Rosal al igual a los barrios Fátima, Los Rosales, Las Delicias y La Pradera del Municipio de Paipa, las 24 horas del día. A lo largo de los años, el acueducto ha demostrado su compromiso con el medio ambiente mediante proyectos como la reforestación de 15 hectáreas con especies nativas, en colaboración con Corpoboyacá, convirtiéndose en un modelo a seguir a nivel departamental.

El crecimiento continuo de usuarios refleja la confianza en los servicios proporcionados por el acueducto, pasando de 716 usuarios en el año 2000 a 1200 en 2023. Sin embargo, a pesar de su eficacia, algunas secciones de tuberías y accesorios presentaban inconsistencias en el año 2000, evidenciando desafíos en el mantenimiento de la infraestructura debido al cumplimiento de su vida útil.

Población actual

Con el propósito de generar el modelo correspondiente al año actual (2023) y determinar si la tubería de aducción proporciona el caudal necesario para atender la demanda según el número de usuarios del acueducto, se procede al cálculo de la población actual que recibe el suministro de agua para el año 2023, específicamente en el mes de diciembre.

Los datos sobre el número de usuarios y los caudales se obtuvieron principalmente a través de los micromedidores instalados en los puntos de entrega de agua del acueducto. Se revisaron los

registros de micromedidores que están ubicados en cada conexión domiciliaria y en otros puntos de consumo significativos (comercial, institucional, industrial y escolar).

Según los registros de los micromedidores del acueducto, el número de usuarios conectados a la red en diciembre de 2023 es de 1.349, lo que equivale a una población de 4.047 habitantes,

Tabla 1.

Tabla 1

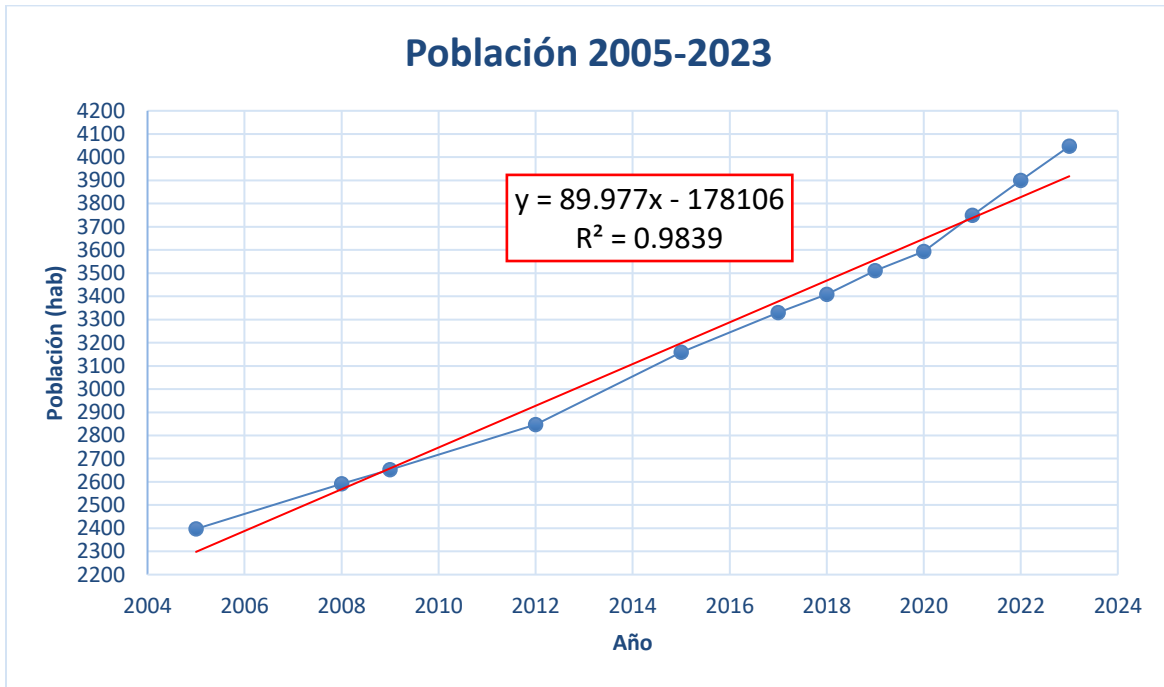
Registro de Usuarios desde el Año 2018 a 2023

Año	Nº Usuarios	Personas por hogar (Promedio)	Población (hab)
2018	1107	3.0	3321
2018	1136	3.0	3408
2019	1140	3.0	3420
2019	1170	3.0	3510
2020	1175	3.0	3525
2020	1198	3.0	3594
2021	1204	3.0	3612
2021	1250	3.0	3750
2022	1251	3.0	3753
2022	1298	3.0	3894
2022	1300	3.0	3900
2023	1309	3.0	3927
2023	1312	3.0	3936
2023	1313	3.0	3939
2023	1322	3.0	3966
2023	1325	3.0	3975
2023	1327	3.0	3981
2023	1349	3.0	4047

Fuente: autor de la investigación

Figura 1

Análisis de la tendencia de la Población através de los años



Fuente: autor de la investigación

Cuando se alcanza un coeficiente de determinación (R cuadrado) de 0.98 al analizar la población a lo largo de los años, esto sugiere que el 98% de la variabilidad en la población puede ser explicada por la relación lineal entre el tiempo (años) y la población. La alta proximidad de la línea de regresión ajustada a los datos observados indica una correlación significativa entre el tiempo y la población. Un R cuadrado tan elevado señala la capacidad altamente predictiva del modelo de regresión y la consistencia en la relación entre el tiempo y la población. Además, se observa una tendencia positiva con una pendiente de 89.97, **Figura 1**, lo que sugiere un crecimiento constante y significativo en la población a lo largo del tiempo.

Usos del agua

El acueducto suministra agua al sector escolar, incluyendo la Escuela El Rosal con 60 estudiantes, la Escuela Sativa con 50 estudiantes y el Colegio El Rosario con 240 estudiantes. Además, para el sector institucional, abastece a un asilo con 60 adultos. En cuanto al uso comercial, se suministra agua a 5 locales, y para uso industrial, se abastece a un centro de gestión ambiental.

Estos datos fueron suministrados por la junta y rectificadas mediante salidas a campo.

Teniendo en cuenta los usos del agua, se determinó que el caudal no doméstico corresponde a un total de 0.3 l/s, como se presenta en la **Tabla 2**. Esta cifra se obtuvo al considerar las necesidades de agua para actividades industriales, comerciales, escolares y otros usos no relacionados con el consumo doméstico. Para la estimación del caudal, se tomó en consideración el Capítulo 2.5.3.4 "Uso para Fines Públicos" del Título B del RAS 200.

Tabla 2

Caudal no doméstico

Consumo no doméstico	Cantidad	Caudal unitario (l/día)	Caudal total (l/día)
Uso comercial	5	6	30
Uso industrial	2	660	1320
Uso escolar	3	2333	7000
Uso institucional	1	18000	18000
Consumo total q_{total} (l/día)			26350
Consumo total q_{total} (l/s)			0.3

Fuente: autor de la investigación

Medición de caudal doméstico

Con el objetivo de conocer el caudal actual que está siendo transportado por la línea de aducción, se lleva a cabo un seguimiento de los caudales registrados por los macromedidores ubicados en la entrada y salida de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) a lo largo del año 2023. Este seguimiento se realizó mediante visitas a campo y con la asistencia de los fontaneros del acueducto. Los registros de caudal se tomaron diariamente a las 7 de la mañana. La información recopilada se presenta en la

Tabla 3.**Tabla 3***Caudales registrados durante todo el año 2023 en la entrada y salida de la PTAP*

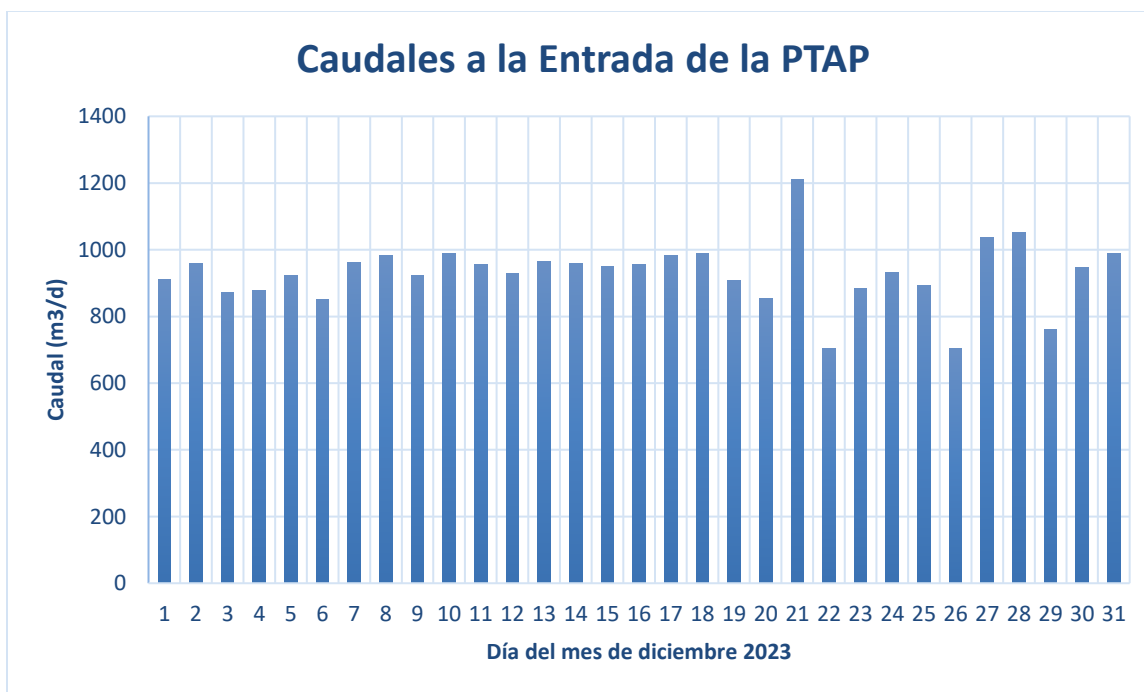
Fecha (día/mes/año)	Caudal en la Entrada (m ³ /d)	Caudal en la Salida (m ³ /d)
1/12/2023	910	595
2/12/2023	958	659
3/12/2023	873	617
4/12/2023	879	613
5/12/2023	923	629
6/12/2023	850	629
7/12/2023	962	657
8/12/2023	983	638
9/12/2023	922	617
10/12/2023	990	696
11/12/2023	956	719
12/12/2023	929	723
13/12/2023	966	665
14/12/2023	960	657
15/12/2023	950	631
16/12/2023	956	621
17/12/2023	984	596
18/12/2023	990	582
19/12/2023	909	683
20/12/2023	853	660
21/12/2023	1211	704

22/12/2023	705	649
23/12/2023	885	685
24/12/2023	932	622
25/12/2023	892	692
26/12/2023	703	702
27/12/2023	1038	758
28/12/2023	1052	698
29/12/2023	762	650
30/12/2023	948	736
31/12/2023	990	729

Fuente: autor de la investigación

Figura 2

Caudales emitidos en 2023 a la entrada de la PTAP



Fuente: autor de la investigación

En la **Figura 2**, se observa el comportamiento de los caudales que ingresan a la PTAP, es decir, el caudal transportado por la línea de aducción. Esta figura exhibe un comportamiento

unimodal o uniforme, lo que sugiere que presenta solo un pico alto dentro de los datos, correspondiente al día 21 de diciembre del 2023. Esta característica indica que el promedio de los datos puede ser utilizado como referencia para el modelo.

Finalmente, se realizó un promedio de los caudales obtenidos, resultando en un promedio de 10.76 l/s en la entrada de la PTAP, que es el caudal que transporta la línea de aducción, y de 7.66 l/s en la salida, información presentada en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Caudales promedio año 2023

Punto de Medición	Año	Caudal (l/s)
Entrada de la PTAP	2023	10.76
Salida de la PTAP	2023	7.66

Fuente: autor de la investigación

Análisis de la topografía de la zona

Ubicación de las estructuras

En la **Figura 3**, se evidenció el trazado de la línea de aducción en Google Earth, así como las dos estructuras de captación y la bocatoma, proporcionando una visualización clara y detallada de la ubicación y el recorrido de la tubería. Las coordenadas geográficas fueron obtenidas mediante una salida a campo utilizando un GPS, que cubrió el recorrido desde las dos estructuras de captación y la bocatoma hasta el desarenador, y posteriormente fueron ubicadas en Google Earth.

Figura 3

Ubicación de las Estructuras de captación, Bocatoma, Desarenador y PTAP



Fuente: autor de la investigación

Análisis del terreno

Para la valoración de la pendiente, se obtuvo el perfil de elevación a través de Google Earth, **Figura 4**. Se tomaron el valor máximo de elevación (2788 m) y el valor mínimo (2637 m) con una distancia horizontal de 1696.8 m. Posteriormente, se calculó el valor de la pendiente, arrojando un resultado de 8.9%. Según Cañas (1995), para terrenos con pendientes entre 3% y 12%, estas son consideradas como pendientes ligeras a moderadamente inclinadas.

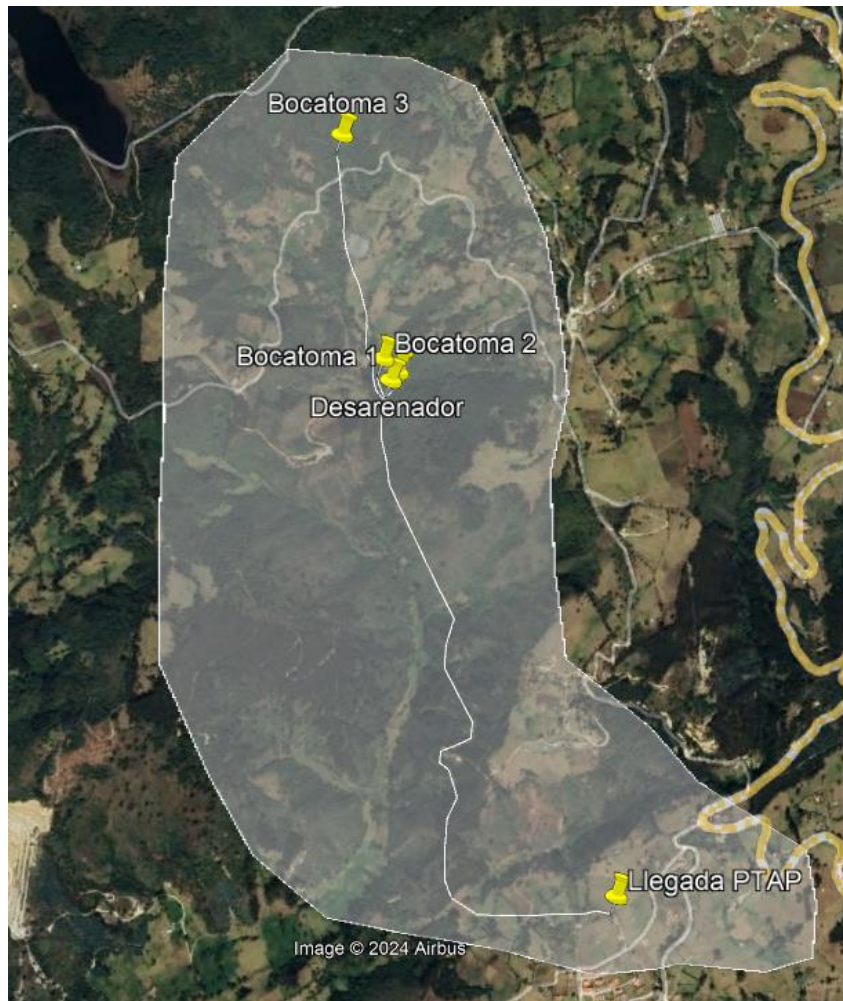
Figura 4

Perfil de Elevación del Terreno Línea desarenador a la PTAP



Fuente: autor de la investigación

Un terreno con pendientes ligeras a moderadamente inclinadas se refiere a un área donde el terreno presenta una inclinación gradual o suave. Esto implica que las elevaciones cambian gradualmente a medida que se avanza horizontalmente a lo largo del terreno. Estas pendientes no son extremadamente pronunciadas ni abruptas, sin embargo, en algunos tramos del terreno se presentaron cambios de pendientes significativas, lo que condicionó el terreno como inclinado y produjo dificultades para colocar la tubería en esas áreas.

Figura 5*Zona de Influencia*

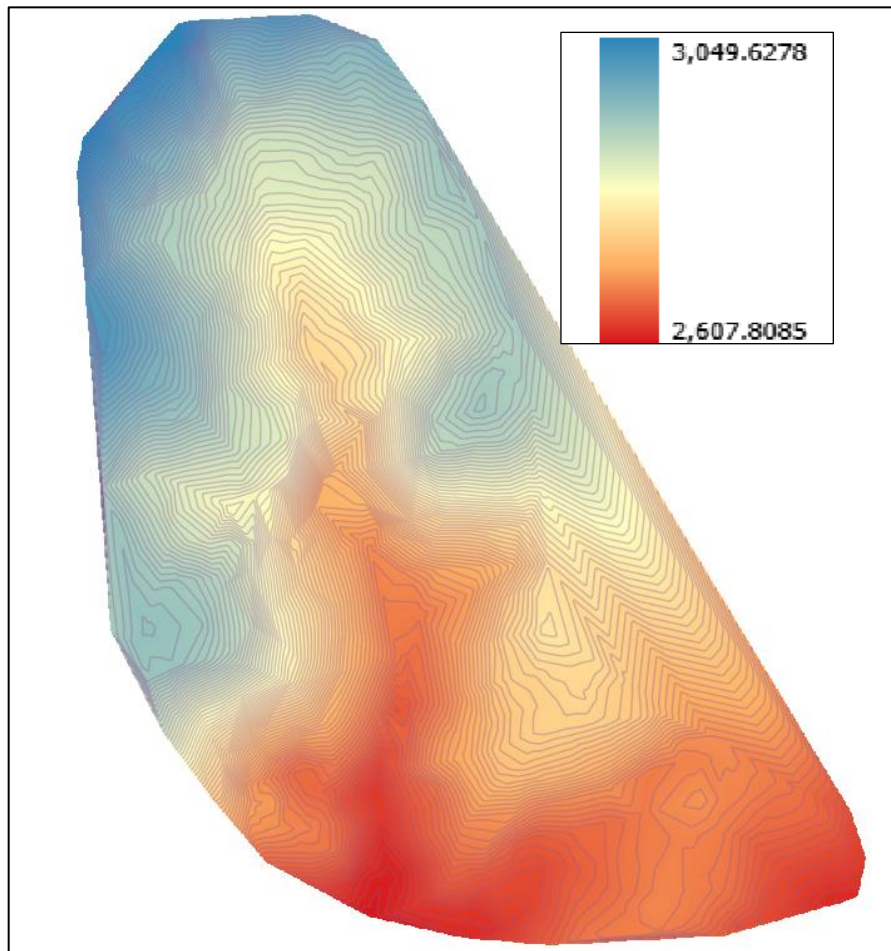
Fuente: autor de la investigación

En la zona indirecta del polígono del proyecto, representada en la **Figura 5**, se observaron curvas de nivel con valores entre 2607.8 m y 3049.6 m, **Figura 6**. Se pudo constatar que el terreno era montañoso, con altitudes superiores a 700 metros sobre el nivel del mar (msnm). Además, las curvas de nivel indicaron que también correspondía a un terreno altiplano, con altitudes superiores

a 1000 msnm, según Cañas (1995). Los datos de altitud fueron obtenidos a partir de la información satelital proporcionada por Global Mapper 2.0, utilizando como referencia la información suministrada por Google Earth a través de un documento Kmz.

Figura 6

Curvas de Nivel en la zona de Influencia



Fuente: autor de la investigación

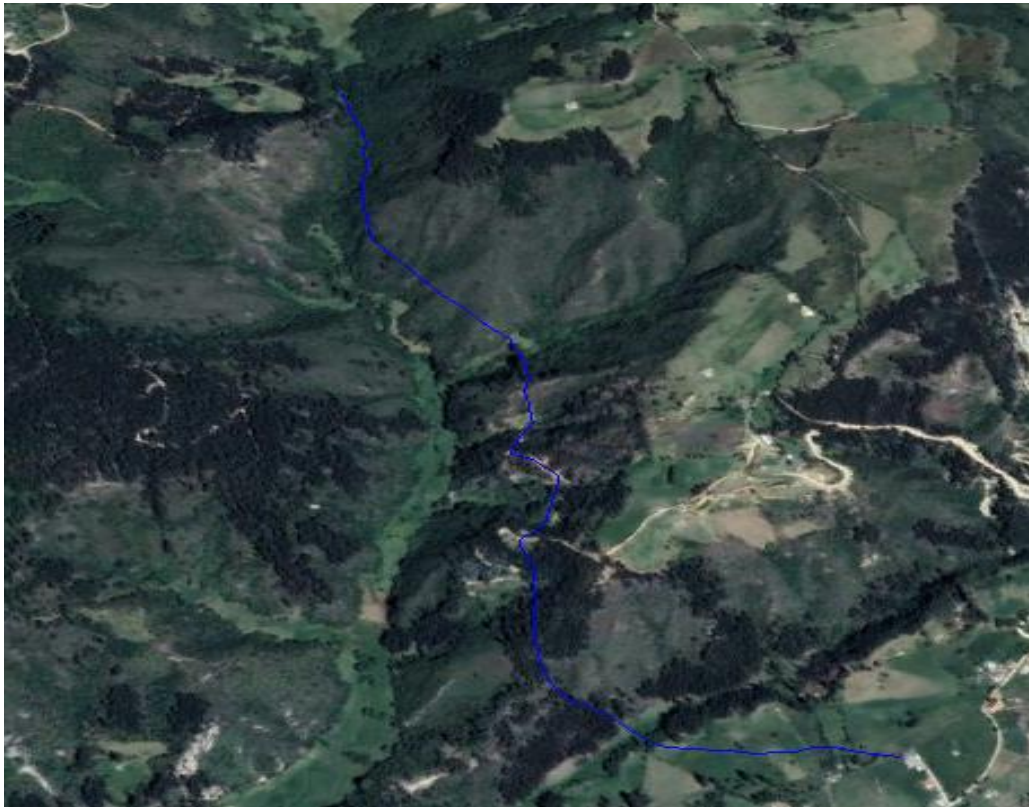
Topografía de la línea de aducción

En la **Figura 7**, se evidenció el recorrido de la tubería desde la captación principal hasta la PTAP en Google Earth. A partir de esta línea, se extrajo el perfil hidráulico de la tubería, como se muestra en la **Figura 8**. En este perfil, se observaron los cambios significativos en las pendientes

y se destacaron los tres puntos donde el acueducto implementó pasos altos de tubería. Estos pasos altos fueron necesarios para garantizar el suministro de agua, dado que la topografía no permitía que el agua llegara por sí sola.

Figura 7

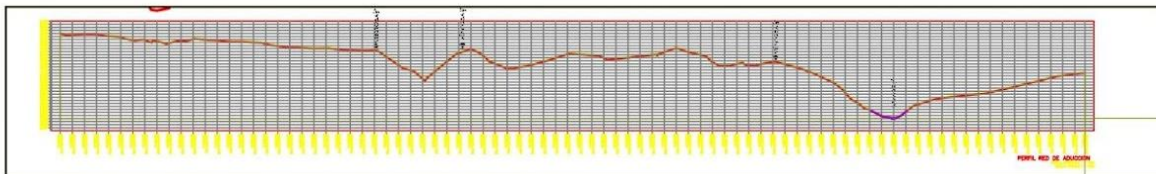
Línea de aducción a modelar



Fuente: Acueducto Regional PN, (2022).

Figura 8

Perfil hidráulico de la tubería



Fuente: Acueducto Regional PN, (2022).

Modelación de la línea de aducción de la red de acueducto

Se abordó la modelación de la línea de aducción del acueducto, considerando los datos de población y caudales emitidos hasta el año 2023, así como la topografía de la zona, con la inclusión de pasos altos. Se describió el proceso de modelado utilizado para evaluar la eficiencia y capacidad de la línea de aducción en la distribución del agua potable. Además, se realizó una proyección futura hasta el año 2045, basada en la resolución 0330 del año 2017, teniendo en cuenta los caudales proyectados y la población estimada para dicho período. Este análisis permitió evaluar la capacidad de la infraestructura existente para satisfacer las necesidades futuras de suministro de agua en la zona de estudio.

Inicialmente, se constató el funcionamiento de dos estructuras de captación y una bocatoma, las cuales son responsables de suministrar o captar el agua hasta el desarenador. Sin embargo, al realizar el diagnóstico detallado, se evidenció que dos de estas estructuras no estarán operativas en un futuro próximo. Esto se debe a la planificación de llevar a cabo un análisis hidrológico exhaustivo de la fuente de captación, con el fin de determinar la viabilidad de mantener únicamente en funcionamiento la bocatoma de fondo. Además, se llevará a cabo un estudio hidráulico para evaluar si esta bocatoma tiene la capacidad de captar el caudal necesario para abastecer la línea de aducción. Por consiguiente, y también atendiendo a la solicitud del acueducto, se procederá desde la bocatoma de fondo hasta la PTAP con el modelado hidráulico correspondiente.

Software utilizado

Se empleó el software EPANET 2.0 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para simular la red de aducción. Este programa, de acceso gratuito y fácil disponibilidad, permitió realizar simulaciones a largo plazo del comportamiento hidráulico y de

calidad del agua en redes de aducción a presión. EPANET monitoreó los caudales en las tuberías y las presiones en los nodos. El método de cálculo utilizado se basó en la teoría lineal, utilizando la ecuación de pérdidas por fricción de Darcy-Weisbach. Se optó por este software debido a su sencillez de uso, flexibilidad en la presentación de resultados y capacidad para intercambiar información con otros programas.

A partir del inventario de estructuras y del trazado preliminar realizado en el campo, se procedió a representar la línea de aducción del proyecto en el software seleccionado. Se crearon nodos en puntos donde los diámetros variaban, había cambios de dirección en la tubería y donde se concentraban las demandas de agua (salidas). Además, se utilizó este software para facilitar la socialización del proyecto con la junta del acueducto, permitiendo que accedieran al proyecto sin problemas.

Modelación a 2023

Elevaciones

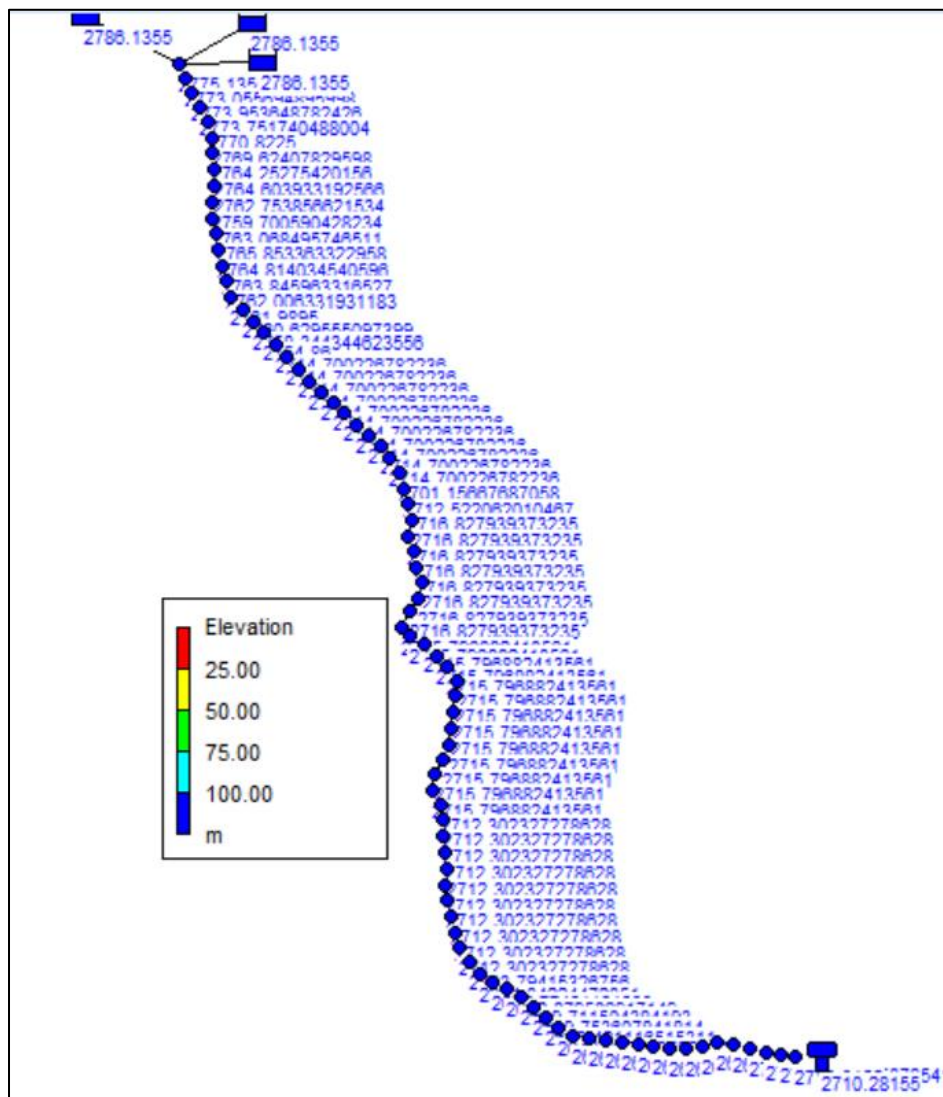
Las elevaciones registradas del levantamiento topográfico se ingresaron en el software. Según la información presentada en la **Figura 9**, se observó que las elevaciones superaban los 100 metros sobre el nivel del mar (msnm). Este detalle proporcionó una comprensión precisa de la altitud de las áreas relevantes del terreno.

Estas elevaciones permitieron identificar las zonas más altas y bajas del terreno, lo que resultó crucial para el diagnóstico y la planificación de la línea de aducción. Además, al conocer estas altitudes, se pudieron determinar los puntos críticos donde podrían surgir desafíos hidráulicos, como la necesidad de implementar pasos altos de tubería para superar elevaciones significativas y garantizar un flujo de agua eficiente a lo largo de la línea.

Con respecto a esto, se evidencia que las altitudes más altas corresponden a los sitios donde efectivamente están ubicados los pasos altos ya implementados por el acueducto, opción que es efectiva para garantizar que el agua pueda superar estas elevaciones y llegar a su destino sin problemas. Esta observación sugiere que la ubicación estratégica de los pasos altos está en consonancia con la topografía del terreno y contribuirá significativamente a mantener un flujo constante de agua a lo largo de la línea de aducción en el futuro.

Figura 9

Elevaciones de la línea de aducción



Fuente: autor de la investigación

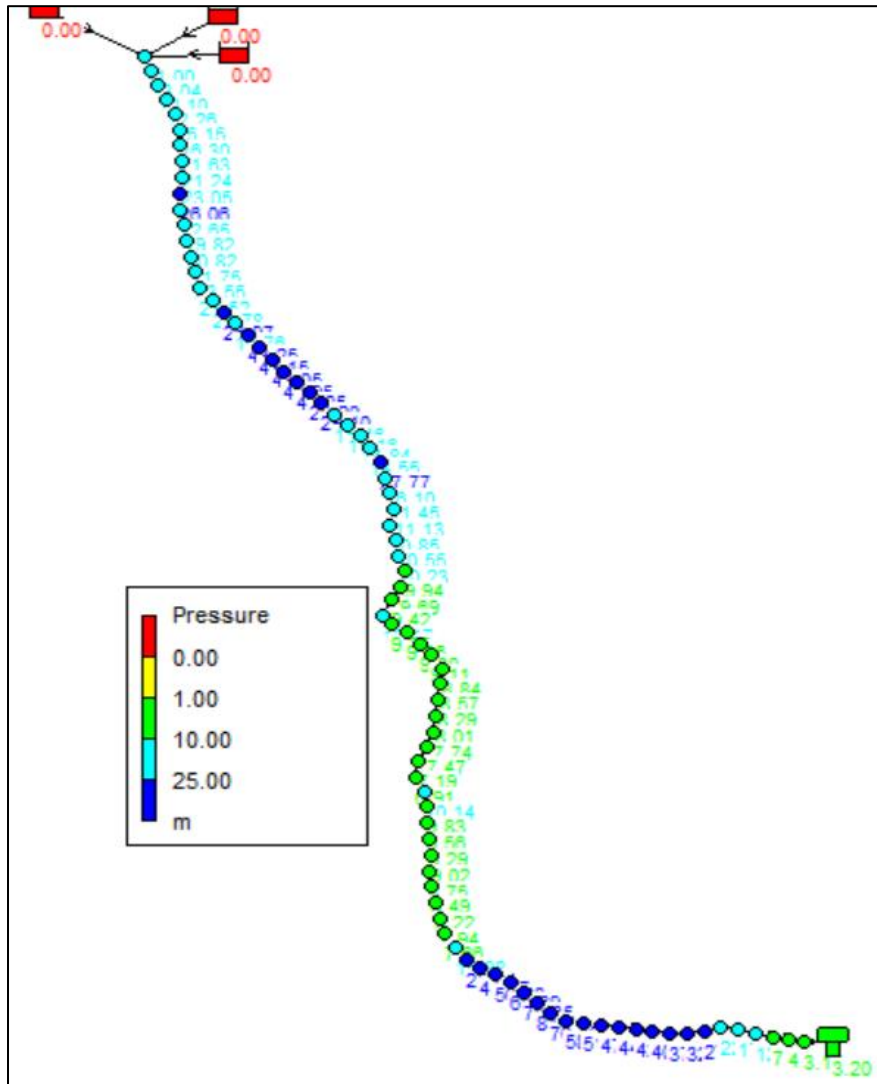
Presiones

El modelo mostró presiones positivas para todos los tramos, como se observa en la **Figura 10**. Estas presiones fueron superiores a 25 metros en las áreas donde se ubicaron los pasos altos, debido a que atraviesa áreas con elevaciones significativamente cambiantes, como en terrenos montañosos, las variaciones en la altura del terreno pueden causar presiones más altas en ciertos puntos de la tubería.

Además, oscilan entre 10 y 25 metros desde la bocatoma de fondo hasta el desarenador, y entre 1 y 10 metros para los demás tramos. Este análisis indica que la red de aducción del proyecto es capaz de mantener presiones adecuadas en todos sus tramos, lo que garantiza un suministro eficiente y continuo de agua a lo largo de la línea. La distribución de presiones proporcionada por el modelo es fundamental para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema y para identificar posibles áreas de mejora en la infraestructura hidráulica.

Figura 10

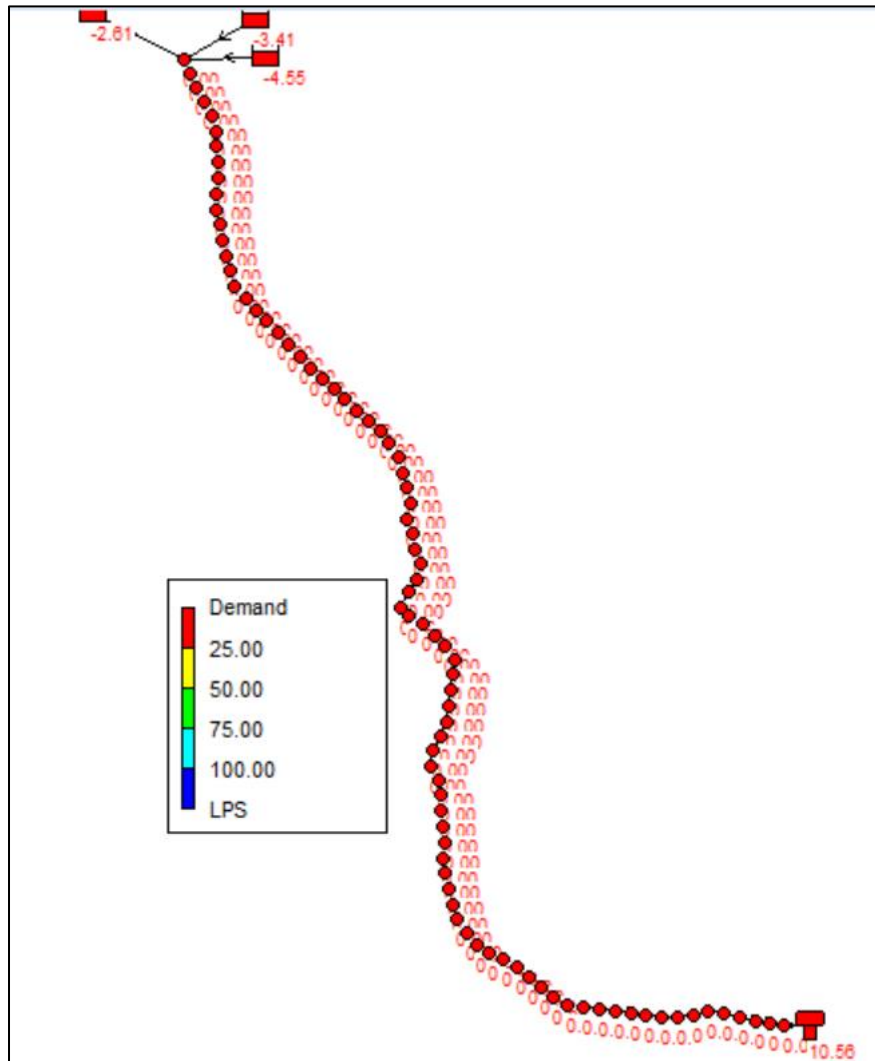
Presiones de la línea de aducción



Fuente: autor de la investigación

Caudal

El modelo hidráulico, que tomó en cuenta los diámetros de las tuberías, las presiones registradas y la topografía del terreno, reveló que la línea de aducción tenía la capacidad de transportar un caudal de 10.56 litros por segundo hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), como se muestra en la **Figura 11**. Este caudal resultó ser cercano al promedio obtenido de los caudales registrados en la PTAP por los macromedidores, lo que sugiere que no hay fugas significativas en la línea de aducción hasta el momento.

Figura 11*Caudal de la línea de aducción*

Fuente: autor de la investigación

Modelación a 2049***Censos***

De acuerdo con el Título B del RAS 200, en la estimación de la proyección de la población, es necesario considerar los datos proporcionados por el DANE sobre la población. Estos datos son fundamentales tanto para determinar el nivel de complejidad del sistema como para proyectar la población futura. Se destacó la importancia de utilizar el último dato de población establecido por el DANE para el municipio específico como referencia principal en la proyección poblacional, ya

que representa el censo más reciente y fiable disponible para este propósito.

Para el análisis demográfico de la zona rural del municipio de Paipa, se utilizó los datos de los dos últimos censos registrados por el DANE, correspondientes a los años 2005 y 2018, información presentada en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Censos de población municipio de Paipa

Año del Censo	Población rural (hab)
2005	12028
2018	13514

Fuente: autor de la investigación

Proyección de población

Se aplicó la metodología del RAS 2000 para la proyección de la población. Se emplearon los tres métodos de proyección demográfica: el aritmético, el geométrico y el exponencial. Cada uno con enfoques y supuestos particulares. El método aritmético presupone un crecimiento vegetativo equilibrado por la mortalidad y la emigración. En contraste, el método geométrico se utiliza en poblaciones con una importante actividad económica y un desarrollo significativo, así como áreas de expansión que pueden ser fácilmente provistas de servicios públicos. Por otro lado, el método exponencial requiere al menos tres censos para calcular el promedio de la tasa de crecimiento poblacional, siendo el último censo proporcionado por el DANE utilizado como referencia para la proyección. (RAS, 2000)

Inicialmente, se calculó las tasas de crecimiento con base en la población censada, información presentada en la **Tabla 6**, se aplicó estas tasas y se proyectó la población desde el año 2023. Esta proyección se extendió a 25 años, hasta el año 2049 información presentada en la **Tabla 7**, siguiendo lo establecido en la resolución 0330 del 2027.

Tabla 6

Tasas de crecimiento

Año	Aritmético	Geométrico	Exponencial
-----	------------	------------	-------------

	(K)	(R)	(K)
2005			
2018	114.31	0.009	0.009

Fuente: autor de la investigación

Tabla 7

Proyección de población

Año	Población de diseño (Hab)		
	Aritmético	Geométrico	Exponencial
2023	4,047	4,047	4,047
2024	4,161	4,083	4,083
2025	4,276	4,120	4,120
2026	4,390	4,157	4,157
2027	4,504	4,195	4,195
2028	4,619	4,232	4,232
2029	4,733	4,271	4,271
2030	4,847	4,309	4,309
2031	4,961	4,348	4,348
2032	5,076	4,387	4,387
2033	5,190	4,426	4,426
2034	5,304	4,466	4,466
2035	5,419	4,506	4,506
2036	5,533	4,547	4,547
2037	5,647	4,588	4,588
2038	5,762	4,629	4,629
2039	5,876	4,671	4,671
2040	5,990	4,713	4,713
2041	6,105	4,755	4,755
2042	6,219	4,798	4,798
2043	6,333	4,841	4,841
2044	6,447	4,885	4,885

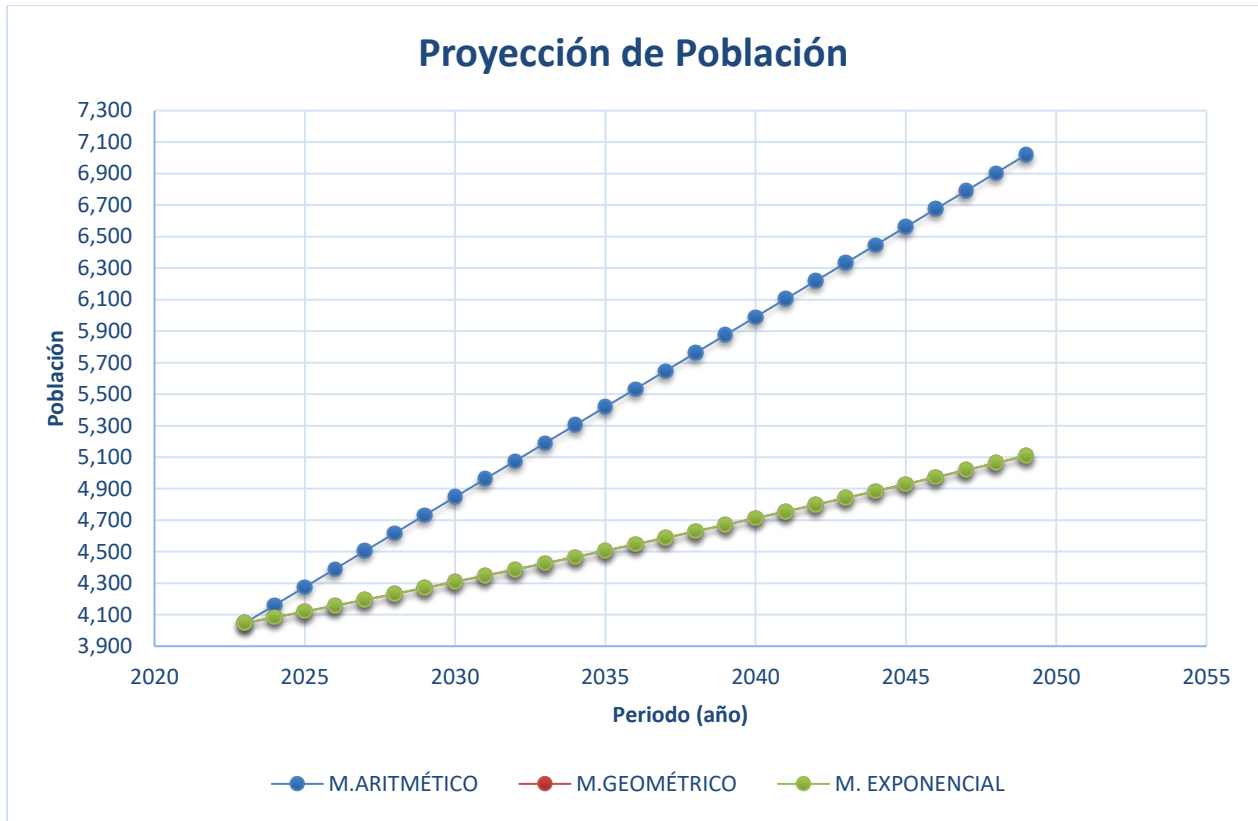
2045	6,562	4,929	4,929
2046	6,676	4,973	4,973
2047	6,790	5,018	5,018
2048	6,905	5,063	5,063
2049	7,019	5,109	5,109

Fuente: autor de la investigación

Basándose en la información presentada en la **Figura 12** y considerando el notable crecimiento que experimentó el acueducto en cuanto al número de usuarios, se decidió utilizar la población proyectada mediante el método aritmético. Esto se debe a que este método también arrojó un comportamiento lineal similar al observado en la **Figura 1**.

Figura 12

Proyección de población



Fuente: autor de la investigación

Población flotante

Durante la fase de diseño, se realizó los ajustes pertinentes a la población efectiva estimada, considerando tanto la población flotante como la migratoria del proyecto. El cálculo de esta población tuvo en cuenta actividades como el turismo, el empleo, la industria y el comercio, que representen una población flotante. A pesar de la falta de estadísticas para el área rural, en el contexto de esta consulta, se estimó que esta población corresponde aproximadamente al 40% de la población total calculada.

Dotación per-carpita

Para el Acueducto Regional Peña Negra, situado en el municipio de Paipa con una elevación de 2525 metros sobre el nivel del mar, correspondió una dotación neta per cápita de 120 L/hab-día, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0330 de 2017.

Proyección de caudal

Según la Resolución 844 de 2018 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MVCT, 2018), cuando el suministro de agua incluya la necesidad de atender volúmenes de subsistencia, el caudal se calcula multiplicando la población a atender por la dotación establecida. Luego, se suman los caudales asociados a los diferentes entornos presentes en la zona de actuación, con un máximo del 25% de pérdidas técnicas totales. Así, se determinó el caudal de diseño, que corresponde al QMD para el año 2049. Teniendo en cuenta los parámetros para la proyección del caudal doméstico, como, la dotación neta y bruta, las pérdidas, la población flotante, entre otros factores, se observa que el caudal doméstico proyectado a 2049 corresponde a un total de 21.8 l/s, información presentada en la **Tabla 8**.

Tabla 8

Proyección de caudal doméstico

Año	Población proyectada (hab)	Población flotante (hab)	Población total (hab)	Pérdidas técnicas	d_{neta} (l/hab*día)	d_{bruta} (l/hab*día)	Caudal proyectado (l/día)	qmd (l/s)	QMD (l/s)
2023	4047	1619	5666	25%	120	160	906528.0	10.49	12.6
2024	4161	1665	5826	25%	120	160	932132.9	10.79	12.9
2025	4276	1710	5986	25%	120	160	957737.8	11.08	13.3
2026	4390	1756	6146	25%	120	160	983342.8	11.38	13.7
2027	4504	1802	6306	25%	120	160	1008947.7	11.68	14.0
2028	4619	1847	6466	25%	120	160	1034552.6	11.97	14.4
2029	4733	1893	6626	25%	120	160	1060157.5	12.27	14.7
2030	4847	1939	6786	25%	120	160	1085762.5	12.57	15.1
2031	4961	1985	6946	25%	120	160	1111367.4	12.86	15.4
2032	5076	2030	7106	25%	120	160	1136972.3	13.16	15.8
2033	5190	2076	7266	25%	120	160	1162577.2	13.46	16.1

2034	5304	2122	7426	25%	120	160	1188182.2	13.75	16.5
2035	5419	2167	7586	25%	120	160	1213787.1	14.05	16.9
2036	5533	2213	7746	25%	120	160	1239392.0	14.34	17.2
2037	5647	2259	7906	25%	120	160	1264996.9	14.64	17.6
2038	5762	2305	8066	25%	120	160	1290601.8	14.94	17.9
2039	5876	2350	8226	25%	120	160	1316206.8	15.23	18.3
2040	5990	2396	8386	25%	120	160	1341811.7	15.53	18.6
2041	6105	2442	8546	25%	120	160	1367416.6	15.83	19.0
2042	6219	2488	8706	25%	120	160	1393021.5	16.12	19.3
2043	6333	2533	8866	25%	120	160	1418626.5	16.42	19.7
2044	6447	2579	9026	25%	120	160	1444231.4	16.72	20.1
2045	6562	2625	9186	25%	120	160	1469836.3	17.01	20.4
2046	6676	2670	9347	25%	120	160	1495441.2	17.31	20.8
2047	6790	2716	9507	25%	120	160	1521046.2	17.60	21.1
2048	6905	2762	9667	25%	120	160	1546651.1	17.90	21.5
2049	7019	2808	9827	25%	120	160	1572256.0	18.20	21.8

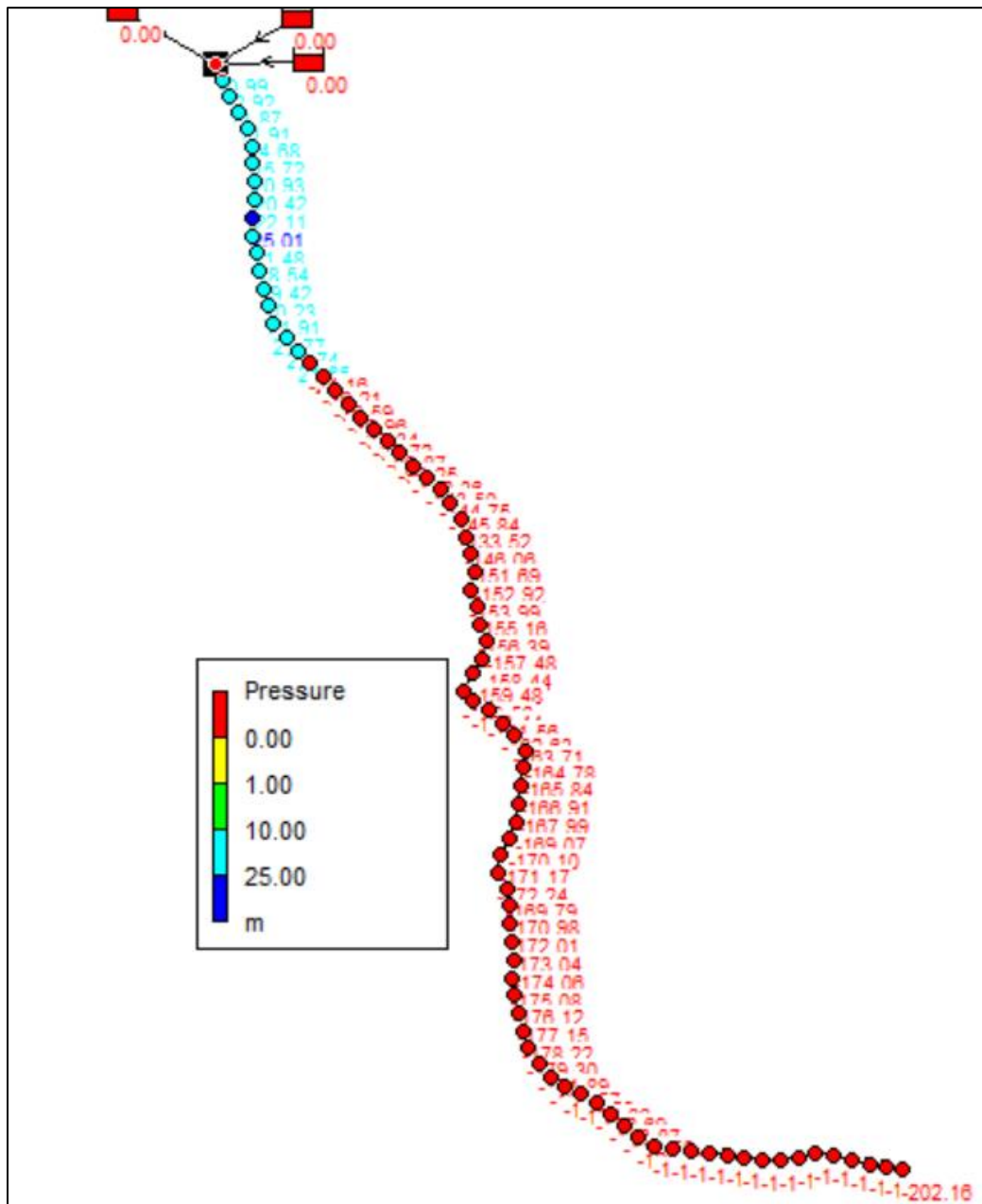
Fuente: autor de la investigación

Presiones modelo a 2049

Se consideró el caudal proyectado para el año 2049 (22.2 l/s) y se introdujo en el modelo. Sin embargo, el análisis reveló presiones negativas en más de la mitad de los tramos de la línea de aducción, como se muestra en la **Figura 13**. Esto sugiere que la capacidad de la infraestructura existente podría no ser suficiente para manejar el aumento proyectado en el caudal, lo que podría resultar en un suministro insuficiente de agua en algunos puntos de la red. Este hallazgo destacó la necesidad de realizar mejoras en la infraestructura hidráulica para garantizar un suministro de agua confiable y adecuado para la comunidad en el futuro.

Figura 13

Presiones modelo a 2049



Fuente: autor de la investigación

Diagnóstico hidráulico de la red de aducción

Fuente de abastecimiento

Según el informe "INFORME_MADS2_PERIODO_ENE_DIC_DE_2009" elaborado por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, el Acueducto Regional Peña Negra del municipio de Paipa se abastece de la quebrada El Totumo (**Figura 14**), la cual se encuentra en la cuenca alta del río Chicamocha.

Figura 14

Quebrada el Totumo



Fuente: Acueducto Regional PN.

Sistemas de captación existentes

De esta fuente se desprenden nacimientos que provienen de una loma, y se establecen tres puntos de captación en funcionamiento, donde el agua se capta mediante dos estructuras de captación y una bocatoma de fondo, en la **Tabla 9**, **Tabla 10** y **Tabla 11** se evidencia las características como la ubicación, el caudal concesionado para cada nacimiento. Asimismo, en la **Figura 15**, **Figura 16** y **Figura 17**, se muestran fotos de las estructuras tomadas en campo, lo que permite una inspección visual directa de su estado y condiciones actuales.

*Estructura de captación 1***Tabla 9***Características estructura de captación 1*

Tipo	Ubicación			Caudal concesionado (l/s)
Estructura de captación	N 05°48'08.1"	O 73°08'17.8"	2764 msnm	3.15

Fuente: autor de la investigación

Figura 15*Estructura de captación 1*

Fuente: autor de la investigación

El primer punto de captación corresponde a una estructura construida hace más de 40 años por los habitantes de la zona, la cual carece de un diseño hidráulico óptimo, **Figura 15**. Esta estructura está compuesta por una zona de entrada de agua equipada con rejillas, las rejillas se encuentran dispuestas en posición horizontal en la zona de entrada de agua, utilizadas para retener materiales como hojas o ramas, seguida por un área de almacenamiento subterránea de forma cuadrada. A medida que esta área se llena, el agua fluye hacia la tubería que conduce al desarenador. Toda la estructura está construida con concreto y no cuenta con protección contra

agentes climáticos, lo que ha provocado deterioro en la zona y la proliferación de flora no deseada.

Estructura de captación 2

El segundo punto de captación correspondía igualmente a una estructura de captación construida en concreto, **Figura 16**. Inicialmente, el agua captada pasaba por rejillas ubicadas de forma vertical, las cuales ya se podían observar que estaban oxidadas. Posteriormente, el agua fluía por la estructura de forma rectangular que conducía posteriormente a la tubería hacia el desarenador. Esta estructura estaba ubicada en una zona con mucha proliferación de flora, como árboles, matas, etc. Aunque la parte donde llegaba el agua estaba protegida con una malla, esta no garantizaba que animales o vectores ingresaran.

Tabla 10

Características estructura de captación 2

Tipo	Ubicación			Caudal concesionado (l/s)
Estructura de captación	N 05°48'28.1"	O 73°08'25.5"	2896 msnm	1.03

Fuente: autor de la investigación

Figura 16

Estructura de captación 2



Fuente: autor de la investigación

Bocatoma de fondo

El tercer punto de captación corresponde a una bocatoma de fondo, que se ha planificado dejar en funcionamiento en el futuro y que se ha modelado en el presente estudio, **Figura 17**. Esta bocatoma está compuesta por una cámara de recolección, rejillas ubicadas horizontalmente en la entrada de la recolección y una caja de control instalada por Corpoboyacá. Además, la estructura está construida en concreto y actualmente cuenta con protección contra agentes climáticos, incluyendo mallas para protegerla. Se realiza mantenimiento cada ocho días para garantizar su correcto funcionamiento y durabilidad a lo largo del tiempo

Tabla 11

Características bocatoma de fondo

Tipo	Ubicación			Caudal concesionado (l/s)
Bocatoma de fondo	N 05°48'09"	O 73°08'19.2"	2781 msnm	3.29

Fuente: autor de la investigación

Figura 17

Bocatoma de fondo



Fuente: autor de la investigación

Las estructuras de captación, incluida la bocatoma de fondo, fueron construidas hace aproximadamente 50 años, lo que ha generado áreas de deterioro. Aunque hasta el momento no han mostrado fugas, la falta de un mantenimiento regular ha permitido que la corrosión se manifieste debido a la exposición prolongada a los elementos climáticos. Además, se han observado problemas en las rejillas de entrada, las cuales carecen de protección adecuada, resultando en la obstrucción frecuente con materiales como hojas y ramas. Estos factores resaltan la necesidad urgente de implementar medidas de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar el funcionamiento óptimo de estas estructuras clave en el sistema de abastecimiento de agua.

Por otro lado, se ha observado que las estructuras de captación están extrayendo un caudal que supera los límites permitidos o asignados. Esta situación plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo de la fuente de abastecimiento. El exceso de extracción podría agotar los recursos hídricos disponibles en la zona, lo que podría conducir a una disminución de la disponibilidad de agua y a la degradación del ecosistema circundante.

Tubería existente

Los tramos de tubería que se extienden desde las estructuras de captación se encuentran enterrados en el suelo. Estas tuberías fueron instaladas hace aproximadamente 50 años y no han experimentado ningún cambio o mejora desde entonces. Durante este periodo, no se llevó a cabo ningún monitoreo de fugas, y tampoco se instalaron válvulas de control para regular el flujo de caudal. Como resultado, estas tuberías captan la totalidad del caudal disponible y lo transportan hasta el desarenador. Sin embargo, el desarenador carece de la capacidad suficiente para tratar todo el caudal recolectado, lo que representa un problema en el proceso de tratamiento del agua. Las características de los tramos de tubería de la línea de aducción se presentan en la **Tabla 12**.

Además, el análisis realizado mediante el modelo mostró que las tuberías son capaces de transportar el caudal actual de manera efectiva. Sin embargo, al proyectar el modelo hasta el año 2029, se encontró que las tuberías no son capaces de transportar el caudal proyectado debido a todos los inconvenientes mencionados anteriormente. Estos hallazgos destacan la necesidad de realizar mejoras significativas en la infraestructura existente para garantizar un suministro de agua adecuado y sostenible para la comunidad en el futuro.

Tabla 12*Características tramos línea de aducción*

Tramo	Material	Diámetro (")	Longitud (m)
Estructura de captación 1 – Desarenador	PVC	4	30.2
Estructura de captación 2 – Desarenador	PVC	6	70.2
Bocatoma de fondo - Desarenador	PVC	4	9.8
Desarenador - PTAP	PVC	4	1696.8

Fuente: autor de la investigación

Figura 18*Tubería de entrada y salida del desarenador*

Fuente: autor de la investigación

En el tramo que va desde el desarenador hasta la planta, se han instalado tres pasos altos en tuberías de 4 pulgadas. Sin embargo, estas tuberías no están protegidas contra los agentes climáticos, lo que ha resultado en corrosión y desgaste. Además, en la salida del desarenador, las tuberías están expuestas y muestran signos de deterioro. También, debido a la incapacidad del desarenador para tratar toda el agua que recibe, el agua que sale del desarenador cae sobre estas

tuberías, lo que agrava aún más su deterioro (**Figura 18**).

La capacidad de conducción de la red es de 10.56 litros por segundo en el tramo que se extiende desde la bocatoma de fondo hasta el desarenador y de este hasta los tanques de almacenamiento ubicados bajo la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). Sin embargo, se han observado signos de cristalización en algunos tramos de la tubería, y también se han detectado fugas debido a que algunos usuarios realizan conexiones directas para usos no domésticos. Esto ha provocado un aumento significativo en el índice de pérdidas del sistema. Debido a estas limitaciones, en la situación actual, aunque la estructura puede manejar el caudal promedio, no tiene la capacidad hidráulica necesaria para transportar un caudal de 22.2 litros por segundo, que es el caudal proyectado.

Conclusiones

El análisis de la validación de usuarios y caudales emitidos en 2023, junto con la revisión histórica del Acueducto Regional Peña Negra, resalta su importancia como proveedor de agua potable confiable. La constante expansión de la población y la diversidad de usos del agua subrayan la necesidad de una infraestructura adecuada y un monitoreo preciso del sistema. Si bien se observó un comportamiento uniforme en los caudales emitidos, se identificaron diferencias significativas entre los caudales de entrada y salida, lo que indica la necesidad de una evaluación detallada del sistema de distribución. Este diagnóstico proporciona una base sólida para futuras mejoras y asegura un suministro de agua seguro y sostenible para la comunidad en el futuro.

El análisis de la topografía de la zona reveló importantes características para el diseño y funcionamiento eficiente de la línea de aducción del acueducto. La ubicación precisa de las estructuras de captación y la bocatoma, obtenida mediante herramientas de geolocalización como Google Earth, proporcionó una base sólida para la planificación de la red de aducción de agua. Aunque la mayoría de los tramos presentaron pendientes ligeras a moderadamente inclinadas, se identificaron áreas con cambios abruptos en la pendiente, lo que requirió la implementación de pasos altos de tubería. Este análisis detallado permitió comprender mejor el entorno operativo del acueducto.

La modelación de la línea de aducción del acueducto proporcionó una evaluación exhaustiva de la capacidad actual y futura de suministro de agua potable. Se consideraron datos de población y caudales hasta el año 2023, junto con la topografía del área y la inclusión de pasos altos. Se identificaron áreas críticas, como la necesidad de un análisis hidrológico detallado para determinar la viabilidad de mantener en funcionamiento solo la bocatoma de fondo. Además, se observaron deficiencias en las tuberías existentes, instaladas hace unos 50 años, que podrían comprometer su capacidad para manejar el aumento proyectado en el caudal para el año 2049. Estos hallazgos subrayan la urgencia de mejorar la infraestructura y gestionar de manera más eficiente el recurso hídrico para garantizar un suministro confiable de agua en el futuro.

Recomendaciones

Realizar una evaluación detallada del sistema de distribución de agua para identificar y abordar las diferencias significativas entre los caudales de entrada y salida. Esto implicaría la instalación de dispositivos de monitoreo adicionales y la implementación de medidas correctivas según sea necesario para garantizar un suministro equitativo y eficiente de agua a todos los usuarios.

Planificar e implementar mejoras significativas en la infraestructura de la línea de aducción, incluyendo la sustitución de las tuberías existentes y la instalación de válvulas de control para regular el flujo de caudal. Además, se deben proteger adecuadamente las tuberías contra los agentes climáticos para prevenir la corrosión y el deterioro. Se recomienda también la corrección de las conexiones directas ilegales que causan fugas y aumentan el índice de pérdidas del sistema. Estas mejoras son esenciales para garantizar un suministro de agua adecuado y sostenible para la comunidad en el futuro.

Efectuar una evaluación hidrológica exhaustiva de la fuente de captación, centrándose específicamente en la viabilidad de mantener en funcionamiento solo la bocatoma de fondo. Esta evaluación proporcionaría información crucial para determinar si la bocatoma existente puede manejar el caudal necesario para abastecer la línea de aducción en el futuro. En función de los resultados, se podrían considerar medidas adicionales, como la construcción de nuevas estructuras de captación o la implementación de tecnologías de captación más eficientes.

Realizar el diseño hidráulico completo de toda la línea de aducción para determinar los diámetros adecuados y todas las características hidráulicas necesarias para el transporte eficiente del agua requerido. Esto incluye el cálculo de diámetros óptimos, análisis de parámetros como velocidad, caudal y presión, selección de materiales apropiados para tuberías y accesorios, diseño y ubicación de válvulas (compuerta, retención, alivio, etc.), implementación de medidas contra el golpe de ariete, estudios detallados de pérdidas de carga, evaluación de alternativas de diseño, consideraciones de mantenimiento para asegurar la accesibilidad y facilidad operativa, análisis del impacto ambiental y desarrollo de un plan de implementación con cronogramas y costos estimados. Este enfoque integral garantizará que el diseño hidráulico de la línea de aducción sea eficiente, seguro y sostenible, cumpliendo con todas las necesidades de transporte.

Monitorear exhaustivamente para identificar precisamente los puntos de la línea de aducción donde se presentan mayores problemas de presión y velocidad. Este monitoreo debe incluir la instalación de sensores en ubicaciones estratégicas a lo largo de la línea, recopilando y analizando datos en tiempo real, y evaluando periódicamente los resultados. Con esta información, se podrán detectar áreas críticas e implementar soluciones específicas para optimizar el flujo y asegurar un funcionamiento eficiente y seguro.

Conocer todos los proyectos realizados es fundamental para que la junta de acción comunal y los encargados del acueducto puedan invertir su tiempo y recursos económicos en las soluciones óptimas que se brindan. Esto es necesario para continuar siendo un acueducto modelo que abastece satisfactoriamente a la comunidad rural y urbana de Paipa. Este conocimiento permitirá identificar áreas de mejora, implementar tecnologías avanzadas y mantener un servicio eficiente y sostenible. Además, facilitará la toma de decisiones informadas y estratégicas para garantizar la calidad y continuidad del suministro de agua, beneficiando a todos los habitantes y promoviendo el desarrollo integral.

Referencias

- Acueducto Regional Peña Negra. (s.f.). *¿Quiénes somos?*.
<https://www.arpenanegraesp.com.co/blog.php>
- Cañas, I. (1995). *Valoración del Paisaje*. Unicopia.
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ). (2009). *Reporte resolución 866 de 2004 para el periodo enero 1 - diciembre 31 de 2009*.
https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/01/INFORME_MADS2_PERIODO_ENE_DIC_DE_2009.pdf
- El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable*. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>
- El Tiempo. (2000). *El de peña negra, un acueducto modelo*. El Tiempo.
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1289724>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). *Por la cual se adopta el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS*. [Resolución No. 844 de 2018].
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0844-2018.pdf>
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- World Health Organization: WHO. (2023, 13 septiembre). *Agua para consumo humano*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis.>