



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN HIDRÁULICA Y ESPACIAL
PARA MEJORAR LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN EN ACUEDUCTOS VEREDALES, CASO DE
ESTUDIO ACUEDUCTO SAN ISIDRO.**

Yeison Castañeda Castaño

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2020



**HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN HIDRÁULICA Y ESPACIAL PARA
MEJORAR LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN
ACUEDUCTOS VEREDALES, CASO DE ESTUDIO ACUEDUCTO SAN ISIDRO.**

Yeison Castañeda Castaño

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

Ingeniero Sanitario

Asesora

Nora Elena Villegas Jiménez

Ingeniera Civil. MSc Ing Ambiental

Línea de Investigación:

Modelación de Sistemas Ambientales

Grupo de Investigación:

Semillero en gestión integrada del recurso hídrico

Grupo de Modelación Gestión Ambiental GAIA

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2020

Agradecimientos

En primer lugar, un agradecimiento muy especial a mi familia, quienes fueron parte esencial de este logro, a la profesora Nora Elena Villegas. Mi asesora, quien siempre estuvo disponible a guiarme y despejar dudas, al profesor Francisco Molina por su acompañamiento y asesoría, al personal técnico y administrativo del acueducto, quienes participaron activamente en el desarrollo de este proyecto. También a la universidad por abrirme sus puertas y permitirme crecer como persona y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen.....	6
2. Introducción	6
3. Objetivos	7
3.1. Objetivo general.....	7
3.2. Objetivos específicos.....	7
4. Generalidades	8
4.1. Localización	8
4.2. Topografía	8
4.3. Usos del suelo.....	9
5. Marco teórico.....	9
5.1. Sistema de acueducto y redes de distribución de agua potable	9
5.2. Marco normativo.....	12
5.3. Antecedentes	12
5.4. Herramientas de modelación hidráulica y geo- espacial.	14
5.4.1. Avenza maps	14
5.4.2. Sistemas de información geográfica (QGIS)	15
5.4.3. Modelación hidráulica (EPANET)	15
6. Metodología	16
7. Diagnostico preliminar del sistema de acueducto	18
7.1. Fuente de abastecimiento de agua	18
7.2. Indicadores.....	19
7.3. captaciones	21
7.4. Aducción y conducción.....	21
7.5. Planta de tratamiento de agua potable	22
7.6. Descripción de tren de tratamiento	23
Pre- tratamiento	23
Coagulación y floculación	23
Sedimentación	23
Filtración con arenas	23
Desinfección	23
7.6.1. Almacenamiento	24
7.6.2. Red de distribución	25

8.	Población	26
8.1.	Población actual	26
8.2.	Población proyectada.....	26
9.	Macro medición	28
10.	Micro medición	29
11.	Dotación y demanda	30
11.1.	Dotación neta.....	30
11.2.	Perdidas máximas del sistema	31
11.3.	Dotación bruta	31
11.4.	Coeficientes de consumo K1 y K2.....	31
11.5.	Caudal medio diario proyectado (Qmd).....	32
11.6.	Caudal máximo diario (QMD).....	32
11.7.	Caudal máximo horario (QMH)	32
12.	Simbología.....	33
13.	Sistema de proyección cartográfico “origen nacional”	35
14.	Georreferenciación de componentes y usuarios del sistema de acueducto	35
15.	Cartografía.....	36
15.1.	Componentes del sistema de acueducto	36
15.2.	Usuarios.....	39
16.	Modelación hidráulica.....	40
16.1.	Calculo hidráulico	40
16.2.	Redes de aducción y conducción	42
16.3.	Impulsión.....	44
16.4.	Redes de distribución	45
	16.4.1. Simulación en periodo estático	45
	16.4.2. Válvulas reguladoras de presión (VRP)	47
17.	Simulaciones en periodo extendido.....	52
17.1.	Patrones de consumo.....	53
	17.1.1. Uso doméstico residencial	54
	17.1.2. Uso doméstico institucional	54
17.2.	Identificación de zonas de expansión y evaluación del comportamiento hidráulico ...	56
17.3.	Válvulas de ventosa y de purga en líneas de aducción e impulsión	60
18.	Recomendaciones	62

19. Conclusiones.....	63
Bibliografía	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estimación de la disponibilidad hídrica de las fuentes de captación.....	19
Tabla 2. Capacidad de estructuras de captación.....	21
Tabla 3. Densidad poblacional adoptada y estimación de población actual.	26
Tabla 4. Métodos matemáticos para la estimación de población futura.....	27
Tabla 5. Tasa de crecimiento adoptada, habitantes actuales y proyectados	28
Tabla 6. Registros de macro y micro medición para el año 2019.	29
Tabla 7. Dotación neta máxima. Artículo 43 RAS 0330.....	31
Tabla 8. Factores de mayoración. Artículo 47 RAS 0330.....	31
Tabla 9. Estimación de caudales en un periodo de 25 años.	33
Tabla 10. Simbología de los componentes del acueducto.....	34
Tabla 11. Parámetros de proyección para el nuevo origen de coordenadas.	35
Tabla 12. Coeficientes de rugosidad absoluta para tuberías en PVC y PEAD.....	41
Tabla 13 y 14. Curvas característica y de eficiencia de la bomba.....	44
Tabla 14. Ficha técnica de VRP usadas en el acueducto.....	47
Tabla 15. Especificación de VRP del sistema	48
Tabla 16. RDE y presiones máximas en las redes.....	49
Tabla 17. Especificaciones de VRP actuales y propuestas.....	51
Tabla 18. Calculo de caudales para el sector residencial.	54
Tabla 19. Calculo de caudales para el sector institucional.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del acueducto San Isidro. Elaboración propia	8
Figura 2. Usos del suelo rural. Fuente: Capas básicas PBOT 2015 (municipio de Guarne).....	9
Figura 3. Esquema de redes abiertas. Elaboración propia.....	10
Figura 4. Esquema de redes cerradas. Elaboración propia.....	10
Figura 5. esquema de redes mixtas. Elaboración propia	11
Figura 6. Indicadores hídricos para condiciones de año medio. Fuente: Cartografía temática de CORNARE.....	20
Figura 7. Estructuras de captación sobre la fuente Birimbí. Fuente: acueducto rural San Isidro.....	21
Figura 8. Estructuras de pre- tratamiento del acueducto. Fuente: acueducto rural San Isidro.	23
Figura 9. Plantas compactas de potabilización. Fuente: Semillero GIRH	24
Figura 10. Estructuras de almacenamiento e impulsión del acueducto. Fuente: Semillero GIRH....	25
Figura 11. Mapa utilizado en la aplicación Avenza Maps. Elaboración propia.....	36
Figura 12. Geolocalización de componentes- acueducto rural San Isidro (Guarne).....	37
Figura 13. Geolocalización de macro medidores- acueducto rural San Isidro (Guarne)	37
Figura 14. Geolocalización de puntos de muestreo- acueducto rural San Isidro (Guarne).....	38

Figura 15. Diámetros comerciales de redes- acueducto rural San Isidro (Guarne).....	38
Figura 16. Geolocalización de usuarios- acueducto rural San Isidro (Guarne).....	39
Figura 17. Sectorización de subsistemas- acueducto rural San Isidro (Guarne)	39
Figura 18. Simulación red de aducción.....	42
Figura 19. Perfil hidráulico de la línea de aducción.....	43
Figura 20. Simulación de línea de impulsión.....	44
Figura 21. Perfil hidráulico de la línea de impulsión.....	45
Figura 22. Simulación en periodo estático de las redes de distribución.....	46
Figura 23. Sectorización de presión estática en las redes de distribución.....	46
Figura 24. Simulación en periodo estático con VRP actuales.....	48
Figura 25. Sectorización de presiones con VRP actuales.....	49
Figura 26. VRP actuales y propuestas.....	50
Figura 27. Modelación en periodo estático para las VRP propuestas.....	51
Figura 28. Sectorización de presiones con las VRP propuestas en operación.....	52
Figura 29. Curva típica de consumo diurno para el sector residencial. Fuente: Advance wáter distribution modeling and managment.....	53
Figura 30. Curva de consumo para uso doméstico residencial.....	54
Figura 31. Curva de consumo para uso doméstico institucional.....	55
Figura 32. Identificación de sectores de expansión.....	56
Figura 33. Formación de circuitos en la red de distribución.....	57
Figura 34. Modelación en periodo estático considerando las zonas de expansión y las VRP propuestas.....	58
Figura 35. Propuesta modificación en tramos en las redes de distribución.....	59
Figura 36. Presión y velocidad en la hora de mayor consumo.....	60
Figura 37. Presión y velocidad en la hora de menor consumo.....	60
Figura 38. Propuesta de válvulas de ventosa y de purga en ña línea de aducción.....	61
Figura 39. Propuesta de válvulas de ventosa y de purga en ña línea de impulsión.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Proyecciones de población, acueducto San Isidro.....	27
Gráfico 2. Registros de micro medición para el año 2019.....	30

ANEXOS

- Anexo 1.** Características de los componentes principales.
- Anexo 2.** Identificación y geolocalización de Instrumentos de macro medición.
- Anexo 3.** Identificación y geolocalización de puntos de muestreo de calidad del agua.
- Anexo 4.** Geolocalización de usuarios
- Anexo 5.** Modelación hidráulica (Línea de aducción).
- Anexo 6.** Modelación hidráulica (Línea de impulsión)
- Anexo 7.** Modelación hidráulica (Redes de distribución)

HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN HIDRÁULICA Y ESPACIAL PARA MEJORAR LA OPERACIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN ACUEDUCTOS VEREDALES, CASO DE ESTUDIO ACUEDUCTO SAN ISIDRO.

1. Resumen

Uno de los problemas más evidentes que presentan los acueductos rurales, es la expansión de redes y conexión de nuevos usuarios sin análisis y planeación previa. Entre los factores que contribuyen, se encuentra la falta de herramientas que permita al personal del acueducto ingresar, consultar y actualizar información, que guíe y apoye la toma acertada de decisiones.

La ejecución del proyecto, comienza con la capacitación al operador técnico en la herramienta utilizada para la recolección de información en campo (Avenza maps), se realiza el procesamiento de la información y se generan mapas preliminares del sistema en el software libre QGIS. Estos son sometidos a revisión por habitantes de la zona y operarios del acueducto.

A partir de la cartografía se identifican algunas zonas, que por inspección visual o conocimiento de las divisiones catastrales clasifican como posibles zonas de expansión. Con la verificación de los datos obtenidos en campo, se genera información geoespacial sobre usuarios y componentes del sistema. Los mapas generados son exportados a pdf e imágenes georreferenciadas que pueden ser usadas en dispositivos móviles para la captura y procesamiento de datos.

Mediante el software EPANET, se plantean algunos escenarios de operación, con el objetivo de evaluar el comportamiento general del sistema y proponer soluciones. Como resultado de las modelaciones se encuentra que los usuarios ubicados cerca a los tanques de almacenamiento tienen bajas presiones, mientras que sectores como el salado y la parte baja de El Sango, tienen presiones excesivas. Entre algunas de las recomendaciones, se propone la ubicación de válvulas reguladoras de presión (VRP), y según la normativa, accesorios como válvulas de purga y ventosa que mejoren la operación de las redes. La simulación para las zonas de expansión, muestra presiones bajas para algunas zonas en las horas de mayor consumo (6:00 -7:00 am), por lo que se propone cambiar algunos tramos de tubería por otras de mayor diámetro.

Finalmente, dar a conocer las herramientas usadas al personal del acueducto es esencial para que alimenten la información cartográfica con el crecimiento del sistema y puedan ejecutar los modelos hidráulicos que les permita evaluar su factibilidad.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica (SIG), QGIS, EPANET, cartografía, modelación en periodo estático, modelación en periodo extendido, Redes ramificadas, Presión de servicio.

2. Introducción

El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 (Campo con Progreso), tiene como objetivo establecer estrategias encaminadas a mejorar la competitividad y avanzar hacia la inclusión social y productiva de la población rural del país (DNP, 2019). El desarrollo y rentabilidad

de las zonas rurales requiere de la provisión de servicios sectoriales, contando con acceso al agua potable y saneamiento básico. Por ello, los prestadores del servicio de acueducto deben garantizar a la población el suministro de agua atendiendo a condiciones de calidad, cantidad y continuidad del servicio (Minvivienda, 2016).

Una de las problemáticas identificada en los sistemas de acueductos rurales es el crecimiento de las redes en respuesta a la demanda inmediata de atención a nuevos usuarios sin una planeación y análisis de expansión de redes, lo cual restringe el funcionamiento óptimo del sistema, disminuyendo la calidad del servicio y la sostenibilidad del sistema a futuro (Beltrán Niño & Abril Galindo, 2014).

Por lo anterior, es necesario dotar de herramientas que permitan a las entidades prestadoras del servicio en zonas rurales, contar con información ordenada y actualizada, de modo que la toma de decisiones sea rápida y eficaz. Para ello, se propone una metodología en que el objetivo principal es mejorar la gestión de las redes de distribución a través de herramientas de georreferenciación y simulación hidráulica aplicable a sistemas de acueductos veredales, tomando como caso de estudio el acueducto veredal San Isidro del municipio de Guarne-Antioquia, contribuyendo al logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), específicamente al objetivo 6: garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

La información de la base de datos que se construyó a través de trabajo de campo e información existente, se organizó en un sistema de información geográfica (QGIS) y se realizaron modelaciones hidráulicas en EPANET.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Desarrollar una metodología que permita en los acueductos rurales mejorar la operación y gestión de los sistemas de distribución y facilitar la interacción del operario con sus componentes, mediante la implementación de modelos computacionales y geoespaciales. Caso de estudio: acueducto veredal San Isidro en el municipio de Guarne.

3.2. Objetivos específicos

- Generar un modelo espacial de ubicación de usuarios en el sistema de información geográfica QGIS.
- Implementar un modelo computacional de código abierto para analizar el comportamiento hidráulico de la red de distribución.
- Realizar circulación del conocimiento, dirigido al personal técnico y administrativo del acueducto, en relación al manejo de información espacial a través de una aplicación de visualización en un dispositivo móvil (Avenza).

4. Generalidades

4.1. Localización

El acueducto Rural San Isidro se encuentra ubicado en el oriente Antioqueño, municipio de Guarne en la vereda del mismo nombre. Se accede por una terciaria que parte de la autopista Medellín -Bogotá en un recorrido aproximado de 3 km. Cuenta con un salón comunal, ubicado muy cerca de la planta de tratamiento (270 m). La zona de prestación de servicio del acueducto limita con las veredas Piedras Blancas, La Brizuela, La Pastorcita y Romeral. La fuente de abastecimiento del acueducto, es la quebrada Birimbí, afluente de la quebrada El Salado que desemboca en la quebrada La Mosca del municipio de Guarne (Figura 1).

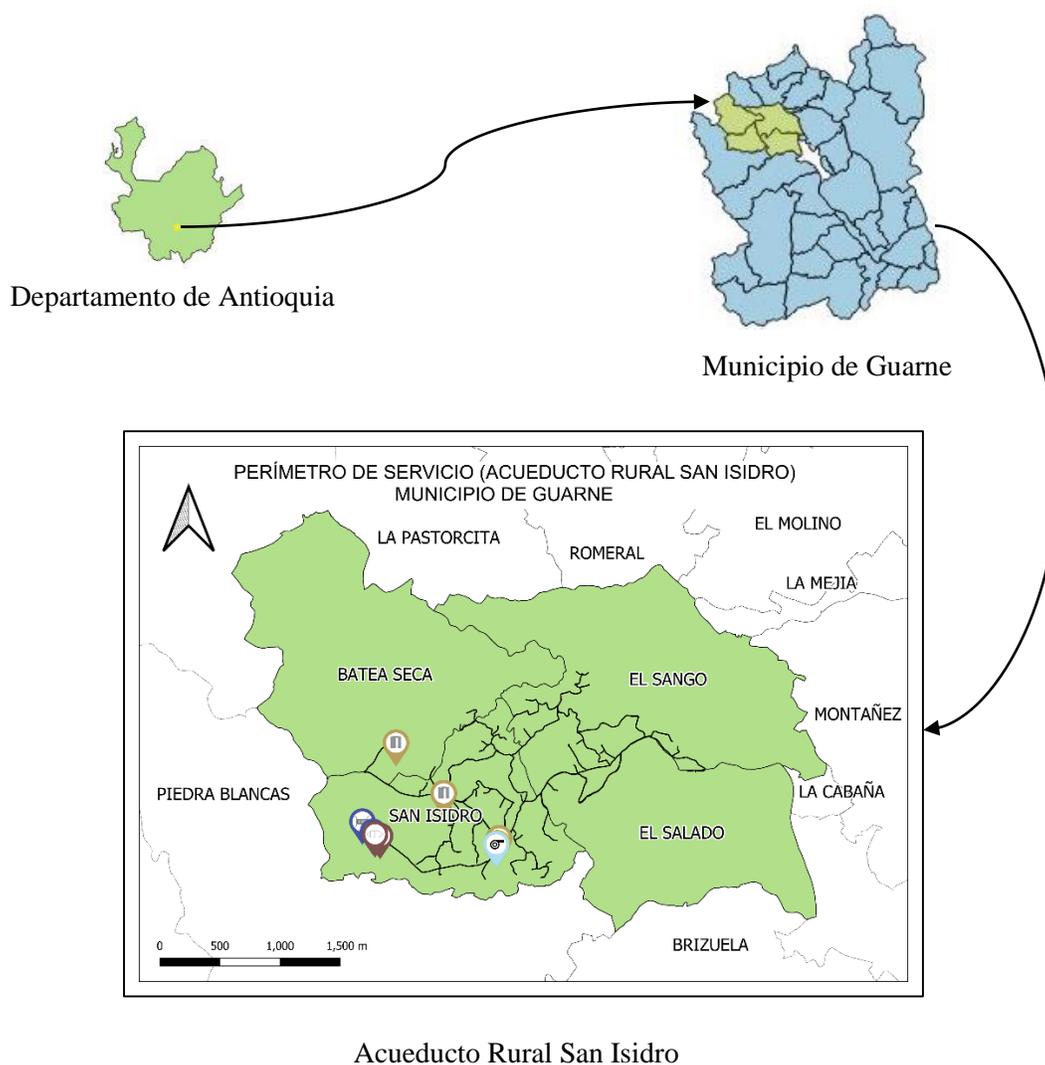


Figura 1. Ubicación geográfica del acueducto San Isidro.
Elaboración propia

4.2. Topografía

La zona de influencia del acueducto San Isidro se caracteriza por su topografía irregular y por tanto un amplio rango de pendientes.

Las veredas de El Salado y El Sango, tienen zonas bajas e intermedias. Estas dos veredas se ubican cerca de la autopista Medellín- Bogotá. Las veredas San Isidro y Batea Seca, constituyen las zonas de mayores elevaciones.

4.3. Usos del suelo

La cartografía que forma parte del Plan básico de ordenamiento territorial (Acuerdo 003 PBOT Guarne 2015), clasifica la zona de prestación del servicio del acueducto veredal San Isidro, como área de protección para la producción sostenible, por lo que se busca promover el desarrollo de actividades productivas agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueras. Estas áreas pertenecen a la subcategoría de protección para la producción agrícola, ganadera y de explotación de los recursos naturales (Concejo Municipal, 2015).

A continuación, se muestra el mapa del municipio de Guarne con la clasificación en los usos del suelo para la zona rural.

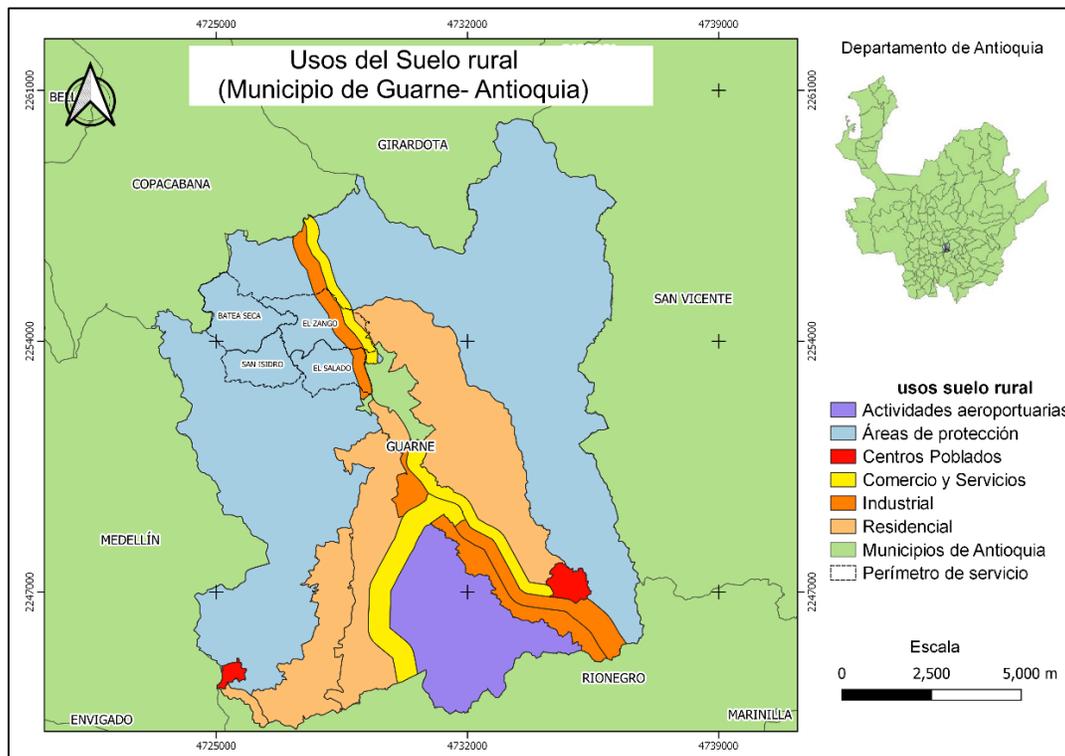


Figura 2. Usos del suelo rural. Fuente: Capas básicas PBOT 2015 (municipio de Guarne)

5. Marco teórico

5.1. Sistema de acueducto y redes de distribución de agua potable

Un sistema de acueducto, se define como un conjunto de elementos y estructuras cuya finalidad es la captación, tratamiento, almacenamiento y entrega al usuario final de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión (Minvivienda, 2017). La entrega al usuario se realiza a través de las redes de distribución, entendidas éstas como un conjunto de tuberías, accesorios y estructuras cuya función es suministrar agua

potable a los consumidores de una localidad (Cualla, 1995). Las redes de distribución, se clasifican de forma general en tres categorías, a saber:

Redes abiertas: consta de una tubería principal y un conjunto de tuberías secundarias que se ramifican para distribuir el agua a los usuarios, este tipo de red se encuentra principalmente en zonas rurales, donde la planimetría y la topografía son irregulares y se dificulta la formación de circuitos (comunes en redes cerradas). Este tipo de configuración presenta múltiples desventajas. En caso de reparaciones o daño en un tramo de red, se interrumpe el servicio más allá del punto de reparación, en zonas de ampliación las presiones son bajas y en los puntos extremos de la red puede acumularse sedimento o formarse crecimiento de microorganismos (CONAGUA, 2019).

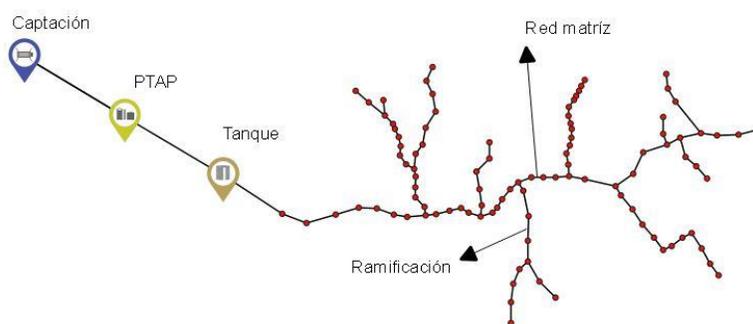


Figura 3. Esquema de redes abiertas. Elaboración propia

Redes cerradas: Es la forma más usual de trazado, y es común en poblaciones densas como municipios o ciudades, se conforma de varias cuadrículas alrededor de una red de relleno. Este tipo de red supone una ventaja operativa, en caso de falla en algún tramo el agua puede tomar trayectorias alternas con el fin de abastecer determinada zona, mientras que como desventaja presenta las dificultades para localizar las fugas (CONAGUA, 2019).

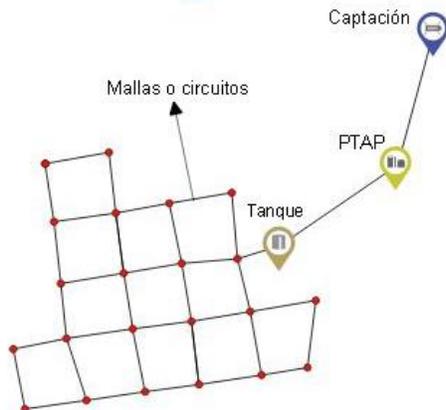


Figura 4. Esquema de redes cerradas. Elaboración propia

Redes mixtas: este tipo de red es el que conforma una malla en el centro de la población, mientras que perimetralmente se desprenden varios ramales abiertos (Cualla, 1995). Son

aplicables en poblaciones concentradas y que tienen un crecimiento a lo largo de vías de acceso (Morales, 2015).

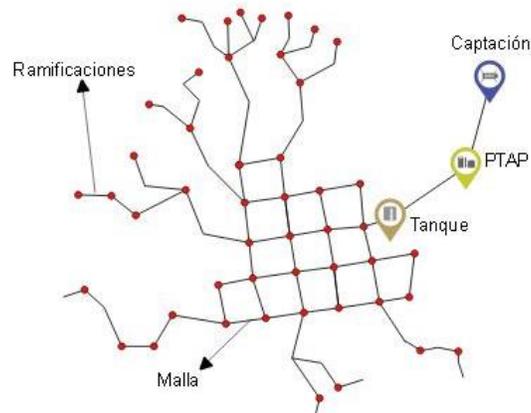


Figura 5. esquema de redes mixtas. Elaboración propia

Las tuberías pertenecientes a la red de distribución se pueden clasificar de acuerdo con sus funciones, se describe la **red de distribución primaria** como aquella que conforma la malla principal de servicio, conduce el agua procedente de la conducción sin repartir agua en ruta y es la que garantiza las presiones básicas de servicio para el buen funcionamiento del sistema. Según el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (Resolución 0330 de 2017), sección 3 (sistemas de transporte y distribución) artículo 63 establece que el diámetro interno mínimo en las redes de distribución en zonas rurales no debe ser inferior a 50 mm (2" tubería comercial). En todo caso, se debe verificar que el diámetro interno real seleccionado cumpla con las condiciones mínimas (Minvivienda, 2017). Las **redes de distribución secundarias** son divisiones que parten de la red principal y permiten repartir agua en ruta, por último, las **redes menores** son las encargadas de conectar las redes secundarias con las acometidas de los inmuebles (Empresas Publicas de Medellin, 2013).

En los sistemas de distribución de agua potable, se usan para su diseño y dimensionamiento modelos hidráulicos que permiten obtener la respuesta de un sistema frente a ciertos estímulos externos, aplicándolos para condiciones operativas cambiantes, mantenimiento o expansión del sistema. Su importancia también radica en que a partir de los resultados obtenidos puede sectorizarse de manera correcta una localidad, tal que se garantice la prestación del servicio en las mejores condiciones para cada sector. Las redes de distribución deben diseñarse bajo condiciones de presión, es así como el sistema debe tener un rango de valores admisibles que garanticen un buen funcionamiento. La presión mínima o altura de velocidad se refiere a la presión dinámica, la cual representa la energía cinética del fluido en cualquier punto del sistema, la Res. 0330 de 2017, establece que para poblaciones de diseño con menos de 12.500 habitantes la presión mínima debe ser de 15 metros columna de agua (mca). La presión estática máxima se entiende como la energía potencial asociada al fluido, es decir cuando no se encuentra en movimiento. El valor máximo aceptable es de 50 mca (Minvivienda, 2017).

5.2.Marco normativo

En lo referente a los sistemas de información geográfica (SIG) y a los modelos de simulación hidráulica, la normativa vigente en la Resolución 0330 de 2017.

El artículo 8, consigna las actividades preliminares para emprender proyectos. La actividad número 5, se refiere al diagnóstico y evaluación del sistema existente, de tal forma que se cuente con información acerca del funcionamiento general, la capacidad máxima real, la eficiencia y los criterios operacionales sobre la posibilidad de mejorar los niveles de eficiencia del sistema. Adicionalmente, se debe documentar el estado de las redes construidas técnicamente denominado “catastro de redes” en un sistema de información geográfico y se debe identificar zonas críticas que pueden requerir rehabilitación.

El artículo 41, referenciación de componentes, estipula que la persona prestadora del servicio debe recopilar y registrar las características geográficas (sistemas de coordenadas y datum específico) de todos los componentes del sistema de acueducto. Se debe utilizar el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS adoptado por Colombia y en caso de mantenimiento en alguno de los componentes, bien sea preventivo o correctivo, se debe consignar en el sistema de información empleado, considerando como mínimo los siguientes datos: fecha, localización, tipo de daño, causa del daño, repuestos utilizados y procedimiento realizado (Minvivienda, 2017).

El artículo 57 establece que las modelaciones hidráulicas deben realizarse en periodo extendido con frecuencia horaria, incorporando en cada nodo los patrones de consumo propios de la zona de estudio.

El artículo 91 trata de la actualización de los modelos hidráulicos, deben actualizarse con información topológica, operativa, patrones de consumo, demandas base y demás elementos con una periodicidad de 5 años o cuando se produzcan cambios significativos en la operación o infraestructura, en caso de que los modelos no puedan representar de manera adecuada el comportamiento de las curvas de presión y caudal medidas en campo, será necesario llevar a cabo un proceso de calibración.

5.3.Antecedentes

Los SIG integran un componente de hardware y software que permite la captura, almacenamiento, análisis, modelación y presentación de datos espacialmente referenciados para la solución de problemas complejos de planificación y gestión (Zarzosa & Andrés, 2004). Por otro lado, Un modelo hidráulico, se define como una formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema frente a diferentes condiciones operativas, de mantenimiento y de expansión (Minvivienda, 2017).

Los sistemas de distribución de agua (SDA), representan la mayor infraestructura física en los sistemas de suministro de agua, por tanto, es importante conocer las causas de cambios sustanciales que puedan ocurrir desde la salida de la planta de potabilización hasta que llega al consumidor. Algunos de los problemas en los SDA pueden estar asociados a fenómenos que afectan la integridad física, hidráulica y de calidad del agua, como: efectos de contra flujo en tramos de tuberías, bajas presiones y eventos que afectan el normal funcionamiento

de las redes como actividades de construcción, reparación y mantenimiento (Montoya, y otros, 2009).

Los SIG y los modelos hidráulicos son usados en gran parte de los proyectos que involucran el suministro de agua potable. En grandes o pequeños sistemas de acueducto, sirven para administrar, crear y actualizar la información, orientar la toma de decisiones en lo referente a operación y mantenimiento, planeación, gestión y diseño. Expresar los resultados por medio de mapas, permite una mejor comprensión de lo que quiere expresar el prestador del servicio, por lo que puede transmitir la información de manera más didáctica, lo que permite una mejor comprensión por parte del personal del acueducto y la socialización de los procesos con las comunidades.

Los SIG ofrecen un extenso conjunto de herramientas de análisis espacial y manejo de datos, que, integrado con herramientas de modelación hidráulica, permiten el uso de información más segura y actualizada como: problemas existentes en la red de distribución, posibles zonas de expansión donde se extenderá la prestación de servicios públicos domiciliarios, ubicación actual de elementos hidráulicos y la proyección de accesorios, ubicación de los usuarios, datos sobre el comportamiento de la demanda, entre otros.

A continuación, se presentan algunos casos de estudio de sistemas de acueducto que utilizan herramientas hidráulicas y geo-espaciales.

En la ciudad de Cali, se desarrolló una propuesta metodológica que involucra el uso de SIG para la localización de estaciones de monitoreo de calidad del agua en las redes de distribución. La información digitalizada y georreferenciada de las plantas de potabilización, redes de distribución (diámetro, edad de tuberías, materiales), accesorios hidráulicos y demás componentes se pueden visualizar, analizar y modelar en conjunto con información georreferenciada sobre quejas de la calidad del agua, daños en redes, demanda, edad del agua, presiones, densidades de población, entre otras variables. La integración y superposición de esta información son de gran importancia ya que permiten la construcción de mapas de riesgo y la localización de estaciones de monitoreo. La importancia de los SIG radica en su utilidad para la toma de decisiones técnicas, administrativas y económicas (Montoya, y otros, 2009).

En el municipio de Bahía Solano- Chocó, se implementó el uso de sistemas de información geográfica enfocado a la administración y gestión del sistema de acueducto. El objetivo es desarrollar una Geodatabase que permita la migración, tratamiento y depuración de la información existente del acueducto. El primer paso fue la recolección de información, dada por la autoridad municipal (Alcaldía de Bahía Solano) y los administradores del sistema, lo que permitió establecer atributos que alimentaron los objetos del SIG para suplir las necesidades del sistema en la actualidad. Se creó una “personal Geodatabase” a partir de archivos tipo shape que representan cada uno de los componentes del sistema. Una vez creada la geodatabase se puede hacer uso de la misma con fines de consulta, manipulación y publicación. La utilidad y la eficiencia del SIG dependerá de la constante actualización y de la experticia del operador (Buitrago Puerta, 2018).

En San Francisco de León Cortés- Costa Rica, se utilizan los SIG en la elaboración del catastro de usuarios de un sistema de acueducto. En primer lugar, toman la ubicación de usuarios capturando puntos GPS en los micro medidores, posteriormente se georreferencian en un sistema de información geográfico (SIG) de software libre Quantum GIS (QGIS) y se cargan imágenes satelitales y ortofotos de la comunidad de San Francisco con el fin de reconocer el lugar e identificar más fácilmente cada uno de los usuarios. Se alimenta la tabla de atributos de la capa que contiene los puntos con la ubicación de los usuarios, con información como: nombre, tipo de usuario y volumen de agua facturada por mes, para llevar un registro y control sobre cada usuario y de actualizar de manera permanente la información del sistema. Para la simulación hidráulica, se usa el software EPANET, ubicando e ingresando la altura respecto al nivel del mar a los puntos de consumo (viviendas) y puntos donde se quiere conocer información por características particulares de la red. Se hace la aclaración acerca de la geometría de los tanques, ya que EPANET solo admite tanques de geometría circular, se encuentra un diámetro equivalente con el área de los tanques rectangulares para poder introducir los datos en el modelo. EPANET supone tuberías a flujo lleno y sin aire, por esta razón, las válvulas liberadoras de aire se obviaron en el modelo (Atahualpa, 2016).

En el municipio de San Juan de Nepomuceno- Bolívar, se utilizan los sistemas de información geográfica en la gestión técnica de las redes de acueducto. El objetivo principal es identificar áreas en las cuales no se cuente con la presión mínima de servicio que permita a los usuarios finales el consumo del recurso hídrico de manera adecuada, así como dar solución a diversos problemas empleando instrumentos tecnológicos que permitan recopilar, almacenar, organizar y analizar información asociada a los usuarios y las redes de acueducto del municipio, por lo que el SIG se constituye como una herramienta que facilitara la toma de decisiones gerenciales y operativas, para finalmente prestar un servicio de calidad a la comunidad. El modelo hidráulico se realiza mediante el uso del software comercial de Bentley WaterGEMS. Cuenta con una interfaz gráfica autónoma, además puede trabajarse de manera integrada en entornos CAD y GIS, por tanto, este software brinda la flexibilidad de poder trabajarlo en diferentes plataformas (Diaz & Mercado, 2016).

5.4. Herramientas de modelación hidráulica y geo- espacial.

5.4.1. Avenza maps

Avenza maps, es una aplicación móvil que provee una variedad de herramientas para usar con mapas georreferenciados, sin necesidad de acceso a internet o conexiones de red, la aplicación tiene una tienda donde se pueden obtener mapas temáticos o como en el presente caso, el usuario puede utilizar mapas creados en herramientas SIG y exportarlos a formatos como PDF geoespaciales, GeoPDF o Geo TIFF y subirlos a la aplicación. Avenza cuenta con la versión gratuita (usada en el presente trabajo), la cual está limitada a tres proyectos, mientras que la versión pro, tiene proyectos ilimitados, además de herramientas adicionales de importación, exportación, recopilación de datos, funciones de navegación adicionales, mejora en la precisión del GPS entre otros.

La aplicación, utiliza el GPS incorporado en el dispositivo, la precisión depende de muchas condiciones, incluida la ubicación del dispositivo y el entorno circundante. La localización será triangulada en pocos segundos, dependiendo del dispositivo y de los servicios disponibles, la ubicación se determina usando una combinación de celular, Wi-Fi, Bluetooth y GPS. Permite el ingreso de descripciones para cualquier geometría ingresada, enlazar fotografías a los puntos marcados y trazar rutas GPS. Avenza, permite exportar los mapas resultantes para un posterior análisis en los siguientes formatos: KML, CSV, GPX y la versión PRO permite exportar datos en formato shapefile (Avenza Maps, s.f.).

5.4.2. Sistemas de información geográfica (QGIS)

Un sistema de información geográfica (SIG), es una estructura que permite recopilar, gestionar, analizar y manipular datos referenciados espacialmente, con el fin de decidir, ordenar y planificar la información que se tenga disponible para dar solución a una problemática específica (Buitrago Puerta, 2018), para el caso de las empresas que prestan el servicio de distribución de agua potable, un SIG se entiende como una base de datos georreferenciada, que permite la construcción de mapas con la información disponible. Se puede obtener información de manera rápida y eficaz de la tipología del sistema, así mismo permite generar planos de identificación espacial de usuarios (Minvivienda, 2017). los SIG tienen la posibilidad de actualizar y realizar seguimiento continuo, alimentando el modelo espacial con información nueva, adquirida en trabajos de campo, tales como operaciones de reemplazo de tuberías y accesorios (Empresas Publicas de Medellin, 2013).

QGIS es una herramienta de código abierto, que está al alcance de cualquier persona con acceso básico a un ordenador. Es un software ligero y con una interfaz gráfica de usuario agradable y fácil de usar. Su función principal es la de visualización de datos SIG, admite datos en formato raster y vectorial. El software se distribuye bajo licencia publica general (GNU) lo que significa que se puede revisar y modificar el código fuente, garantizando que esta herramienta SIG es libre de costo y que puede ser libremente modificada (QGIS).

5.4.3. Modelación hidráulica (EPANET)

Un modelo hidráulico, se define como una formulación idealizada que representa la respuesta de un sistema frente a diferentes condiciones operativas, de mantenimiento y de expansión (Minvivienda, 2017). EPANET es un software de código abierto desarrollado por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), esta herramienta determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada nodo, el nivel de agua en los tanques y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red. EPANET puede emplearse en aplicaciones para el análisis de sistemas de distribución, como: diseño de programas de muestreo, calibración de modelos hidráulicos, análisis del cloro residual y el planteamiento de alternativas que permitan mejorar la calidad del agua en los sistemas que prestan el servicio de agua potable. En general, EPANET está diseñado para servir como una herramienta que mejora nuestra comprensión del movimiento y el destino del agua a lo largo de las redes de distribución (Rossman, 2000).

El artículo 57 de la Res. 0330, dicta que los programas utilizados en la modelación hidráulica deben incorporar el método del gradiente para sus cálculos. Es decir, un método utilizado por

EPANET para resolver simultáneamente las ecuaciones de continuidad en los nudos y las ecuaciones de comportamiento hidráulico de las tuberías para un instante dado (Rossman, 2000)

6. Metodología

1. Interacción previa con el sistema y su junta administrativa

- Revisión de información secundaria y Diagnóstico preliminar del sistema.
- análisis de población y demanda del recurso hídrico actual y proyectada.
- Visitas de campo, identificación y geolocalización de componentes.

2. Geolocalización de usuarios y trazado de redes (Avenza maps)

- Capacitación del personal técnico y administrativo para la toma de datos en campo.
- Procesamiento de la información obtenida (formato KML).
- Construcción de mapas preliminares y depuración de datos.

3. Procesamiento de información cartográfica, creación de capas y geodatabase (QGIS)

- Diseño de la simbología de los componentes del sistema.
- Creación de capas en formato shape (usuario, componentes y redes).
- Creación de geodatabase y organización de información en la geodatabase (Geopackage)

4. Modelación hidráulica (EPANET)

- Trazado de redes y simulación de escenarios propuestos (condiciones actuales y proyectadas).
- Propuestas de mejora y elección de modelo óptimo.

5. Circulación del conocimiento

- Talleres de capacitación al personal técnico y administrativo del acueducto sobre ingreso, actualización y consulta de información de la base de datos.

Inicialmente, se realizaron algunas visitas que permitieron conocer cada uno de los componentes del sistema de acueducto y consultar información disponible como: número de usuarios, zona de influencia del sistema, información cartográfica, registros de macro y micro medición e informes de gestión. Esta información es la base del diagnóstico preliminar del sistema de acueducto San Isidro. Se analiza la población y la demanda del recurso hídrico actual y proyectadas a un periodo de 25 años, de acuerdo a la Res. 0330 de 2017.

Se realizaron recorridos por el perímetro de prestación de servicio del acueducto para realizar el trazado de redes, ubicar los usuarios y componentes. Para el catastro de usuarios se tomaron como referencia el código y la ubicación de los micro medidores, de manera que la información de cada predio se encuentra enlazada con el código del mismo y no con el nombre del propietario, de esta forma, se evitan errores en los registros al momento en el que alguno de los predios cambie de propietario. La herramienta utilizada es Avenza maps, que utiliza un mapa PDF georreferenciado que facilita el registro e ingreso de la información, incluso, permite enlazar fotografías para zonas de interés. Los datos recolectados son enviados una vez se tiene conexión a internet en formato KML y se realizan unos mapas preliminares que permiten la revisión y depuración de información en conjunto con el personal del acueducto.

Se diseña una simbología que permita identificar las características físicas con cada uno de los componentes del sistema y se crean capas en formato shapefile en el software QGIS a partir de la información recolectada y revisada (usuarios, componentes y redes), se alimenta la tabla de atributos de cada capa con información relevante. Para el caso de las redes, una capa tipo línea, se ingresan datos como: tipo de red, material, longitud y diámetro. Se crea una geodatabase (Geopackage) en QGIS y se importan todas las capas que se tienen en formato shapefile, de manera que la información se encuentra ordenada y se puede compartir fácilmente, además, el empaquetar las capas en el formato Geopackage permite guardar la simbología del proyecto.

El trazado de las redes y el ingreso de nodos y demandas se realiza en QGIS por medio del plugin QGISRed. La extracción de elevaciones para los nodos y componentes se hace mediante la creación de un modelo de elevación digital (DEM) a partir de curvas de nivel con precisión de 10 metros obtenida de una geodatabase de la cartografía de zonificación sísmica de Antioquia, en escala 1:10.000. Posteriormente se exporta el modelo a EPANET, donde se realizan las modelaciones para diferentes condiciones operacionales actuales y proyectadas, con los resultados, se proponen acciones de mejora y se elige el modelo que mejor funcionamiento hidráulico presente. Se propone realizar la verificación de la información altimétrica obtenida del DEM, a partir del uso de instrumentos GPS o levantamientos topográficos de precisión, con el objetivo de evaluar la confiabilidad de los datos obtenidos.

Finalmente, se propone la socialización del proyecto y la capacitación del personal del acueducto en el uso de las herramientas utilizadas.

7. Diagnóstico preliminar del sistema de acueducto

La asociación de usuarios del acueducto San Isidro, tiene un perímetro sanitario que abarca la vereda San Isidro y parte de tres veredas del municipio de Guarne: El Sango (parte alta), El Salado y Batea Seca. Actualmente presta el servicio de distribución de agua potable a 324 usuarios.

De acuerdo a los informes de gestión que genera la asociación del acueducto San Isidro, se estima que el consumo por usuario para los años 2018 y 2019 es de 8.1 m³/usuario*mes, consumo inferior al establecido por la resolución de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) 750 de 2016, donde se define el consumo básico para ciudades y municipios con altitud promedio por encima de 2.000 metros sobre el nivel del mar (msnm) como el volumen de agua que satisface las necesidades esenciales de una familia, y establece un volumen promedio de 11 m³/usuario*mes ((CRA), 2016).

Para el análisis de la capacidad actual del sistema, se sigue la guía metodológica dada por Min vivienda “ (Minvivienda, 2019). Según la guía, un diagnóstico no debe tomarse como un fin en sí mismo, sino que constituye un instrumento que orienta a la toma de decisiones y dado que los resultados obtenidos cambian con el tiempo, el diagnóstico debe actualizarse periódicamente. El objetivo de realizar un diagnóstico es entonces identificar riesgos, optimizar, priorizar y planear acciones que mejoren el sistema.

Algunas visitas en campo e información aportada por el personal técnico y administrativo del sistema, permitieron la construcción del diagnóstico preliminar.

7.1.Fuente de abastecimiento de agua

La quebrada Birimbí, es la fuente principal que abastece el sistema de acueducto rural San Isidro. Actualmente, cuenta con una concesión de 2 L/s, que según la resolución aprobatoria del documento Concesión de aguas superficiales del año 2016, emitida por la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE), tiene una vigencia de 10 años (2026).

La microcuenca tiene un grado importante de cobertura boscosa, lo que influye en la calidad del agua y en la disponibilidad del recurso hídrico, además, la cobertura natural ayuda en la regulación de fenómenos como inundaciones, sequías, movimientos en masa y desertificación (FAO, s.f.). El acueducto San isidro actualmente se encuentra realizando la gestión para la obtención de árboles y plantas endémicos por medio de una empresa de servicios públicos local, los cuales serán plantados en áreas de influencia de la microcuenca, contribuyendo a la preservación del recurso hídrico.

Según el documento concesión de aguas superficiales, la fuente Birimbí, reduce su capacidad en épocas de verano (entre los meses de julio y agosto), por lo que se tiene una concesión de 1 L/s sobre la fuente Palo Santo con el fin de captar agua en épocas de contingencia. Actualmente la captación de Palo Santo no se utiliza. En cuanto a su estado, ambas fuentes se encuentran bien protegidas con cobertura de vegetación nativa, el PBOT registra los alrededores de las fuentes como zonas de protección del municipio (concesión de aguas).

El cálculo de los caudales y disponibilidad hídrica se hacen con base a información brindada por CORNARE, a partir de una geodatabase con información de los municipios que forman parte de su jurisdicción, entre ellos, el municipio de Guarne. Se usaron los mapas de: caudal medio, caudal ecológico, mapa de direcciones y modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca del Rio Negro.

Las estimaciones se realizan en el software libre HidroSIG 4.0 de la Universidad Nacional de Medellín, para la estimación de la disponibilidad hídrica, del caudal medio de la cuenca se resta el caudal ecológico, las captaciones y se suman los caudales de vertimientos. Del análisis se obtiene:

Tabla 1. Estimación de la disponibilidad hídrica de las fuentes de captación.

Fuente	Caudal medio (L/s)	Caudal mínimo (L/s)	Caudal ecológico (L/s)	Disponibilidad Hídrica (L/s)
Birimbí	13.3	5.9	1.7	11.6
Birimbí 2	19.6	8.3	2.5	17.2
Palo Santo	14.5	6.3	2	12.7

Según el documento de concesión de aguas, en épocas de estiaje la fuente Birimbí disminuye su caudal considerablemente, por lo que la oferta hídrica se ve seriamente afectada. Es necesario considerar las relaciones oferta- demanda sobre la cuenca para determinar la disponibilidad del recurso hídrico. la calidad del agua es buena, con excepción de alteraciones en parámetros como la turbiedad y el color. La fuente es monitoreada diariamente por el operador técnico del acueducto, mediante inspección visual. Se identifica el desarrollo de actividades porcícolas, de construcción y terrenos para ganado en los alrededores de la fuente.

7.2.Indicadores

Los indicadores se desarrollan con el fin de responder al cuestionamiento de la disponibilidad del recurso hídrico y las restricciones por afectaciones a la oferta, algunos asociados al régimen natural (Índice de regulación hídrica- IRH) y a la intervención antrópica (Índice de uso del agua- IUA, Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico- IVH) (IDEAM, s.f.).

Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH): permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta de abastecimiento de agua, que ante amenazas como largos periodos de estiaje podría generar riesgos de desabastecimiento.

Índice de retención y regulación hídrica (IRH): capacidad de retención de humedad de las cuencas. Este índice adopta valores de 0 a 1, donde los valores más bajos representan menor regulación.

Índice de uso de agua superficial (IUA): relación existente entre la demanda de agua para los diversos usos y la oferta hídrica superficial disponible.

En el siguiente mapa, se muestran los indicadores para el municipio de Guarne, en condiciones hidrológicas de año medio.

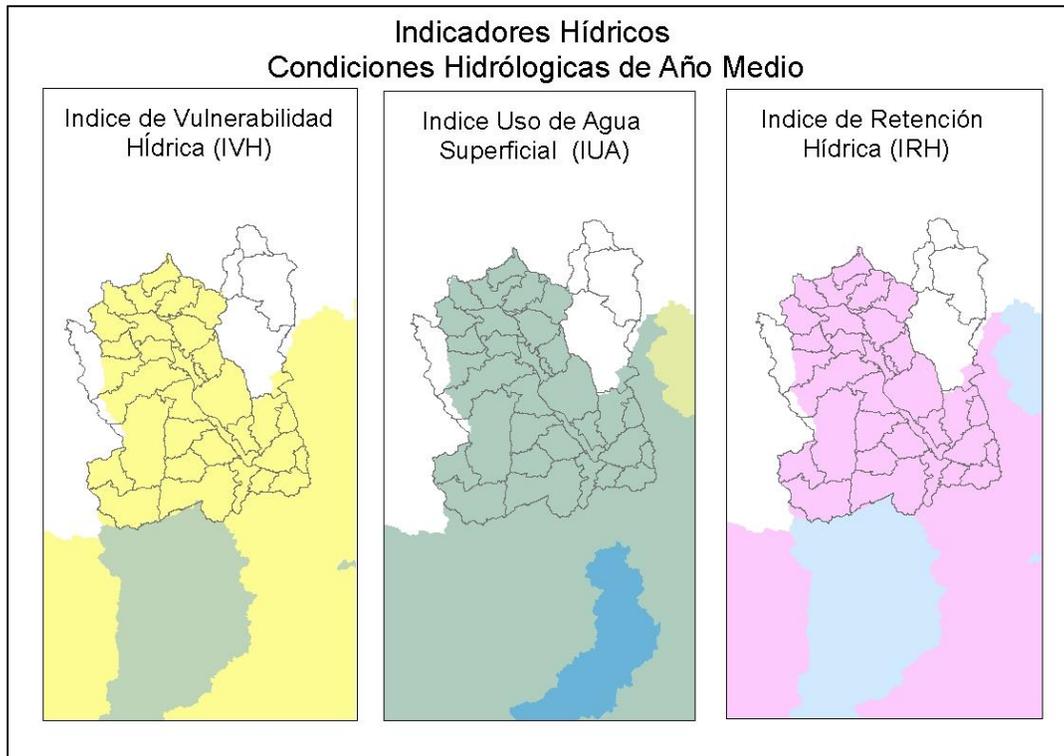


Figura 6. Indicadores hídricos para condiciones de año medio. Fuente: Cartografía temática de CORNARE

Indice de Vulnerabilidad Hídrica
IVH_Medio
 Alto
 Medio

Indice de Uso de Agua Superficial
IUA_medio
 Muy alto = La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.
 Alto = La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible.
 Moderado = La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.

Indice de Retención y regulación Hídrica
IRH
 Alta retención y regulación de humedad
 Media retención y regulación de humedad media

De la Figura 6, el índice de uso de agua superficial es alto, por lo que la demanda es superior a la oferta hídrica. Sin embargo, el índice de retención y regulación (IRH) también es alto, por lo que de alguna manera equilibra la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico.

7.3.captaciones

El agua que surte al acueducto San Isidro, se toma de la microcuenca Birimbí. El área de la zona de influencia de la captación es de aproximadamente 33.6 Ha.

Sobre la quebrada Birimbí, el acueducto San Isidro, cuenta con 2 obras de captación. Consiste en bocatomas de fondo vaciadas en concreto, las cuales se unen por medio de una aducción en material PVC para conducir el agua hasta la planta de tratamiento (PTAP).

Tabla 2. Capacidad de estructuras de captación.

Fuente	Caudal captación (L/s)
Birimbí 1	0.665
Birimbí 2	1.33

Actualmente, el agua de las captaciones no es contabilizada debido a las modificaciones que se realizaron en la planta de tratamiento, sin embargo, uno de los objetivos es volver a instalar el equipo de medición que permita contabilizar la cantidad de agua captada.

Las estructuras de captación se monitorean diariamente por inspección visual del fontanero. En general, se encuentran en buenas condiciones. El informe de gestión del acueducto del año 2020, contempla la posibilidad de cercar las zonas de influencia de las captaciones actuales con el fin de impedir el paso de animales o personas que puedan afectar la fuente y la calidad del agua.

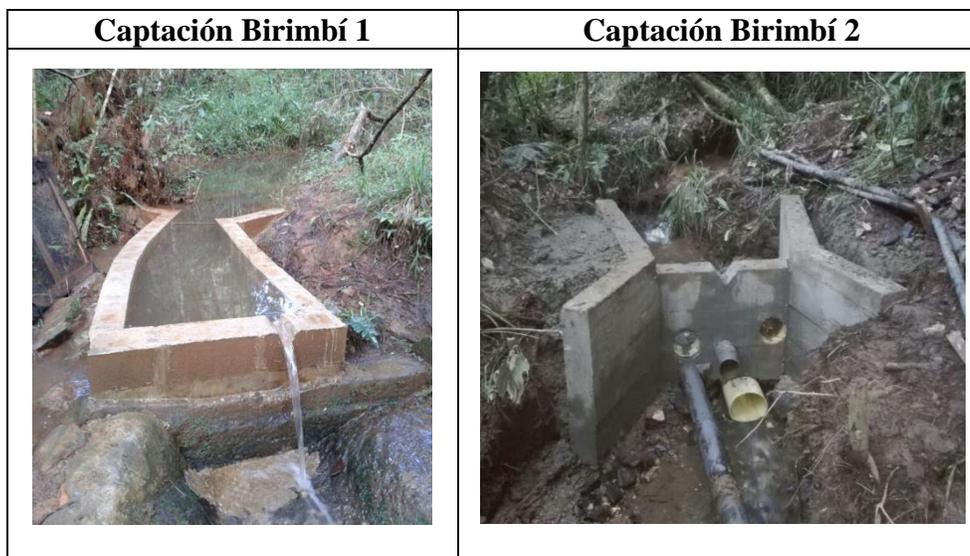


Figura 7. Estructuras de captación sobre la fuente Birimbí. Fuente: acueducto rural San Isidro.

7.4.Aducción y conducción

Aducción: componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión (Minvivienda, 2017).

El sistema tiene dos obras de captación sobre la fuente Birimbí, ambas cuentan con desarenador y líneas de aducción en tubería PVC de 3 pulgadas, luego se intersectan y dan

lugar a una única aducción del mismo diámetro y material. Posteriormente se lleva el agua hasta la planta de tratamiento. La longitud aproximada de las redes que conectan las captaciones con los desarenadores es de 217 m y la longitud de la red que conduce el agua hasta las plantas de tratamiento es de aproximadamente 1260 m.

Conducción: serie de tuberías que transportan el agua desde las plantas de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento y/o compensación, o entre tanques , sin conexión de suscriptores (Minvivienda, 2017).

El agua resultante del proceso de tratamiento en las plantas compactas, es distribuida a los tanques de almacenamiento en PRFV y al tanque de concreto, usado como tanque de impulsión al sector La Porra. Actualmente, la impulsión la realiza una motobomba eléctrica de 5 HP de uso eventual, dependiendo de la demanda, comúnmente se utiliza 2 horas en la mañana y 2 horas en la tarde, y una tubería en PVC de 1 ½ pulgada, la línea de conducción tiene una longitud aproximada de 650 m. se realizó una ampliación de las líneas de conducción, debido a los dos nuevos tanques de almacenamiento en PRFV, los cuales se encuentran cerca de la PTAP.

En general, las redes de aducción y conducción se encuentran en buen estado, solo son monitoreadas en caso de presentarse algún problema en el sistema.

7.5. Planta de tratamiento de agua potable

El acueducto cuenta con dos plantas compactas fabricadas en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV). En el año 2019, se realizó el traslado de la planta ubicada en el sector La Porra con el fin de optimizar el grado de tratamiento.

Mensualmente se realizan 2 muestreos analizados de forma independiente por el laboratorio de CORNARE y por el acueducto a través del laboratorio *Test Lab*. Los resultados de los análisis cumplen con los criterios de agua potable, con excepción de algunas ocasiones donde los parámetros de turbiedad y color se ven afectados, debido a movimientos de tierra que se presentan aguas arriba de la captación, siendo más severo en épocas de lluvia.

Las unidades operan por medio de flujo ascendente mediante 4 cavidades independientes, en estas cavidades se dan los procesos de:

- Floculación hidráulica por medio poroso.
- Sedimentación por manto de lodos.
- Filtración con arenas.

Se cuenta con una caseta de suministro de químicos, por medio de dosificadores eléctricos los cuales suministran:

- Floculante (sulfato de aluminio tipo B)
- Corrector de PH (cal hidratada tipo N)
- Desinfectante (cloro)

7.6.Descripción de tren de tratamiento

Pre- tratamiento: Posterior a la captación del agua, la bocatoma #1, pasa por un desarenador, y la bocatoma #2 (más reciente) pasa por un desarenador/sedimentador como se muestra a continuación.



Figura 8. Estructuras de pre- tratamiento del acueducto. Fuente: acueducto rural San Isidro.

Coagulación y floculación: el proceso de coagulación consta de adicionar químicos que contengan iones positivos al agua a tratar de modo que las partículas presentes (generalmente partículas de carga negativa) se desestabilicen y den paso al proceso de floculación que consta de la aglutinación de partículas. Posteriormente el agua floculada asciende por un medio poroso de material granulado.

Sedimentación: proceso físico que consta de precipitar la mayor cantidad de floc de las partículas en suspensión formado por la acción del químico coagulante y el proceso de floculación. Este proceso dentro de la planta se da de manera ascendente. La alta concentración de partículas que se encuentra en el manto de lodos hace que funcione como un filtro de flujo ascendente. Los floc formados no pueden conservar su forma o tamaño por lo que no pueden ascender, las partículas pequeñas que ingresan chocan con otras ganando peso e incrementando su tamaño hasta que adquieren un mayor volumen, suspendiendo su ascenso y cayendo, al precipitar los flóculos también chocan con partículas más pequeñas en ascenso (Velasquez Sanchez & Osuna Moreno, 2017).

Filtración con arenas: proceso que consiste en la remoción de partículas presentes en el agua, se compone de capas de arena con variedad de tamaños y gravedad específica, en este proceso se eliminan las partículas que no se removieron en procesos anteriores.

Desinfección: para el caso de las plantas compactas, la desinfección trata de la adición de cloro granulado que destruye, neutraliza o inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos presentes en el agua (Minvivienda, 2017). El agua que proveniente de los

desarenadores llega directamente a las 2 plantas de tratamiento. El sistema actualmente opera por gravedad.



Figura 9. Plantas compactas de potabilización.
Fuente: Semillero GIRH

7.6.1. Almacenamiento

Actualmente, el acueducto funciona con cuatro tanques de almacenamiento. La capacidad y el material se muestran a continuación.

Tanque	Sector	Material	Unidades	Capacidad (m ³)
	Impulsión al tanque La Porra y sector La Villa	Concreto	1	35
	Vereda San Isidro, El Salado y El Sango	PRFV	2	70

	<p>Batea Seca, Sector La Granja, y La Escuela (San Isidro)</p>	<p>Concreto</p>	<p>1</p>	<p>90</p>
---	--	-----------------	----------	-----------

Figura 10. Estructuras de almacenamiento e impulsión del acueducto. Fuente: Semillero GIRH

En el año 2019 se construyeron dos tanques fabricados en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV), con una capacidad de 70 m³ cada uno. Estos dos nuevos tanques duplican la capacidad actual, con lo que se garantiza no solo el crecimiento del sistema sino también la calidad del agua y de la prestación del servicio. Los tanques se lavan con una frecuencia mensual, el día de lavado, el sector la porra queda sin suministro de agua por unas horas, mientras que los demás sectores no se ven afectados ya que los dos nuevos tanques no funcionan al tiempo, mientras uno se encuentra en lavado o mantenimiento, el otro tanque suministra agua a la población.

El tanque del sector La Porra, actualmente requiere reparación, por lo que el acueducto plantea el recubrimiento interno del tanque en poliéster en fibra de vidrio para maximizar la calidad del agua que se almacena.

El tanque ubicado en la caseta de químicos con una capacidad de 35 m³, actualmente se utiliza para llevar agua al sector La Porra, por medio del sistema de bombeo, este tanque también abastece al sector de La Villa (10 usuarios).

7.6.2. Red de distribución

La distribución de agua potable se realiza por medio de tuberías en PVC y un tramo en PEAD, este último ubicado en el sector La Granja. La red de distribución corresponde a una red abierta, esta configuración es común en zonas rurales. El agua sale del tanque de distribución a través de una tubería PVC de 3 pulgadas, posteriormente las líneas de distribución toman diámetros de 2", 1 ½", 1", ¾" y las conexiones con las acometidas de ½".

La red cuenta con cuatro puntos para muestreo de calidad del agua ubicados en la parte media y baja del sistema de acueducto, mientras que el análisis de la presión de servicio se realiza en los grifos de las viviendas. Se menciona la ocurrencia de problemas como fugas, vibraciones, roturas, obstrucciones y conexiones no legalizadas en algunos sectores. Como parte del programa de modernización de redes, se han realizado operaciones como: reparación de fugas, reposición de tuberías o reubicación de tramos a una mayor profundidad, debido a que, algunos tramos, principalmente en la vía principal, se han identificado problemas asociados a la profundidad de las líneas de tubería, ya que el peso de los vehículos o las fuertes lluvias en ocasiones las deja expuestas a daños. En cuanto a la

instalación de accesorios hidráulicos, sobresale la instalación de válvulas reguladoras de presión. Por medio de los sistemas de macro y micro medición, se han podido analizar algunos sectores aportantes a las mayores pérdidas del sistema, lo que permite al acueducto llevar un control de conexiones erradas o ubicar sectores que presenten algún tipo de daño.

El sistema de acueducto suministra agua de manera continua las 24 horas del día, además es importante mencionar que las redes de distribución son relativamente nuevas, disminuyendo problemas asociados a la calidad del agua, perdidas y conexiones no legalizadas.

8. Población

8.1.Población actual

El acueducto San Isidro presta el servicio de agua potable a 324 usuarios. Abastece a 323 usuarios de uso doméstico residencial y un usuario institucional (Escuela primaria San Isidro).

El censo del año 2018, muestra una densidad poblacional baja (1.7 hab/vivienda) para la zona rural del municipio de Guarne, es posible que se deba a que un número importante de predios ubicados en zona rural son de recreo y suelen ser habitadas los fines de semana y días feriados. Por ello, siguiendo la densidad poblacional tomada por el documento concesión de aguas superficiales del acueducto San Isidro del año 2016, se adopta una densidad poblacional de 4 hab/vivienda para el área de estudio.

Tabla 3. Densidad poblacional adoptada y estimación de población actual.

Usuarios (suscriptores)	Densidad poblacional (hab/viv)	# Estimado de habitantes
324	4	1296

De acuerdo al número de usuarios que actualmente atiende el acueducto y adoptando una densidad poblacional para la zona, se obtuvo una población actual estimada de 1296 habitantes.

8.2.Población proyectada

Se define el **periodo de diseño** como el tiempo por el cual se diseña un sistema o sus componentes, en el que sus capacidades permiten atender la demanda proyectada para este tiempo (Minvivienda, 2017). Según el artículo 40 de la Res. 0330 para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo se adopta un periodo de diseño de 25 años, por tanto, las proyecciones de población se realizan para este periodo de tiempo.

La estimación de la población futura, se realizará mediante el uso de diversos métodos matemáticos, entre ellos el método geométrico, Wappus y exponencial. Se debe analizar los resultados obtenidos por todos los métodos y escoger aquellos que más se ajusten al comportamiento histórico de la población.

Tabla 4. Métodos matemáticos para la estimación de población futura.

Proyección de población (2020-2045) Sistema de acueducto San Isidro		
Método	Tasa Crecimiento	# Habitantes proyectados
Geométrico	2.80%	2562
Wappus	2.70 Hab/año	2615
Exponencial	2.70%	2562
Exponencial (POMCA- Promedio)	2.20%	2269
Exponencial (POMCA)	1.8%	2010

La población obtenida por el método aritmético se descarta, debido a la inconsistencia que presenta con los resultados frente las demás proyecciones.

Para los métodos geométrico y exponencial, se obtiene el mismo número de habitantes, pero se considera que, al ser un área rural, la tasa de crecimiento es un poco elevada, mientras que la población obtenida por la tasa de crecimiento dada por el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) de la cuenca de Rionegro se considera un poco baja, por lo que se realiza un promedio entre la tasa de crecimiento exponencial encontrada a partir del comportamiento de la población registrada en los censos y la tasa de crecimiento exponencial dada por el documento de **prospectiva y zonificación** del POMCA del Rio Negro (Consortio POMCAS Oriente Antioqueño, 2017).

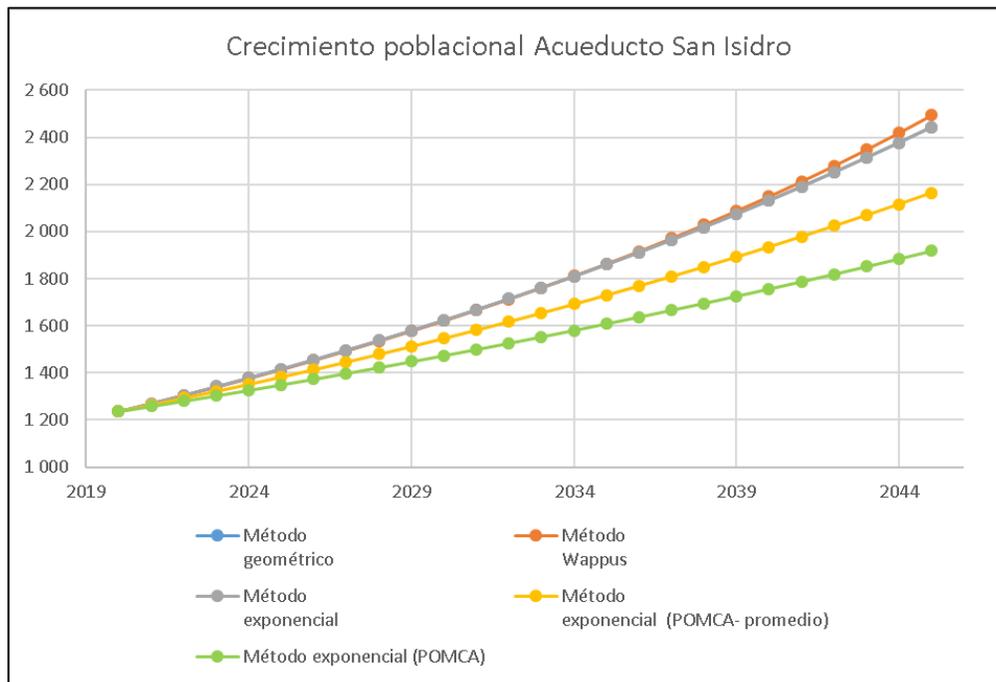


Gráfico 1. Proyecciones de población, acueducto San Isidro.

El Gráfico 1, muestra el comportamiento de la población dado por las proyecciones usando los diferentes métodos, se decide que la proyección que más se ajusta es el **Método exponencial** (usando el promedio entre la tasa dada por el POMCA y la tasa calculada), por lo que la población estimada para el año 2045 es de 2269 habitantes.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5. Tasa de crecimiento adoptada, habitantes actuales y proyectados

Tasa de crecimiento	Población inicial (hab) 2020	Población proyectada (hab) 2045	Diferencia de habitantes
2.20%	1296	2269	973

9. Macro medición

Los sistemas de macro medición se utilizan para medir grandes caudales destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada y que está siendo transportada por la red de conducción y distribución en diferentes sectores (Empresas Publicas de Medellín, 2013).

En la asociación de usuarios del acueducto San Isidro, el objetivo fundamental de la macro medición es cuantificar y registrar los volúmenes de agua que se distribuyen a la población, identificando 11 zonas en las que el sistema se puede sectorizar con el fin de ubicar en cada una macro medidores con fines de control operacional, planificación, diseño, construcción y mantenimiento (CONAGUA, 2019).

Los macro medidores son instrumentos útiles para las siguientes determinaciones.

- Estudio de la dotación per cápita real para los diferentes sectores de los sistemas de distribución.
- Control de volúmenes no facturados, fugas y agua no contabilizada con la ayuda de un sistema de medición de consumos (micro medición).
- Evaluación de sistemas de micro medición existentes, tal como su dimensionamiento, eficiencia de lectura y de no cumplir, planes de sustitución.
- Control e implementación de políticas tarifarias dependiendo del consumo de los usuarios.

De los 11 macro medidores de los que se tiene registro para el año 2019, seis son principales y cinco secundarios. El balance se realiza teniendo en cuenta que los medidores de los sectores La Escuela, Libardo, La Colina, La Villa y Los Hernández pertenecen al macro medidor El Altico.

El acueducto San Isidro, facilitó los registros de medición del sistema para los años 2018 y 2019. De acuerdo a esta información se pudo analizar el consumo de la población y las pérdidas del sistema que se evaluaron mediante un filtro de datos definiendo los valores validos como aquellos donde las pérdidas del sistema (diferencia entre el volumen de consumo y volumen facturado) son iguales o mayores a 0 m³/mes. Estos datos validos

corresponden a volumen de agua consumida y facturada en la tabla 5, mientras que la columna de volumen global facturado tiene en cuenta todos los registros.

Tabla 6. Registros de macro y micro medición para el año 2019.

Lectura Macro y micro medidores 2019						
Macro medidor	Categoría	Volumen global facturado (m³)	Volumen de agua consumida (m³)	Volumen de agua facturada (m³)	Perdidas (m³)	Pérdidas (%)
La Porra-Piedras Blancas	Principal	3200	1966	1621	345	18
Leonel	Principal	3488	3570	2908	662	19
Franklin	Principal	991	700	685	15	2
Miro	Principal	1248	1453	1248	205	14
Noé	Principal	2857	1794	1551	243	14
La Escuela	Secundaria	2246	2201	1983	218	10
Libardo	Secundaria	1489	180	178	2	1
La Colina	Secundaria	7658	6759	6006	753	11
La Villa	Secundaria	2232	178	178	0	0
Los Hernández	Secundaria	1185	1238	1185	53	4
El Altico	Principal	2510	4893	4081	812	17
Total		29104	24932	21624	3308	13

Para el año 2019 se facturaron un total de 29.104 m³, lo que implica una facturación mensual de 2.425 m³ y un consumo promedio de 8 m³/usuario*mes.

10. Micro medición

La micro medición consta de un sistema de medición de volumen, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado periodo de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto (Empresas Publicas de Medellin, 2013).

Los micro medidores están diseñados para ser instalados en cada toma domiciliaria dependiendo del uso que el usuario requiera con la prestación del servicio, puede ser residencial, público, local comercial o toma industrial. La micro medición se cataloga como una herramienta importante en los sistemas de distribución de agua potable ya que permite conocer el consumo histórico por cada usuario y determinar el cobro equitativo de acuerdo al volumen de agua consumido, además permite una mejor administración, operación y distribución del agua para que esta información constituya material para realizar análisis, planeación y proyección de volúmenes que permita establecer una aproximación de los consumos hacia una demanda futura (CONAGUA, 2019).

El acueducto, para el mes de diciembre del año 2019 abastece un total de 302 usuarios, todos ellos con sistema de micro medición, lo que permitió conocer la demanda ($m^3/usuario*mes$) actual del sistema.

El Gráfico 2, muestra la cantidad de agua que se consume a lo largo del año clasificada en intervalos de $5 m^3/mes$ y el número de usuarios que usan esa cantidad de agua.

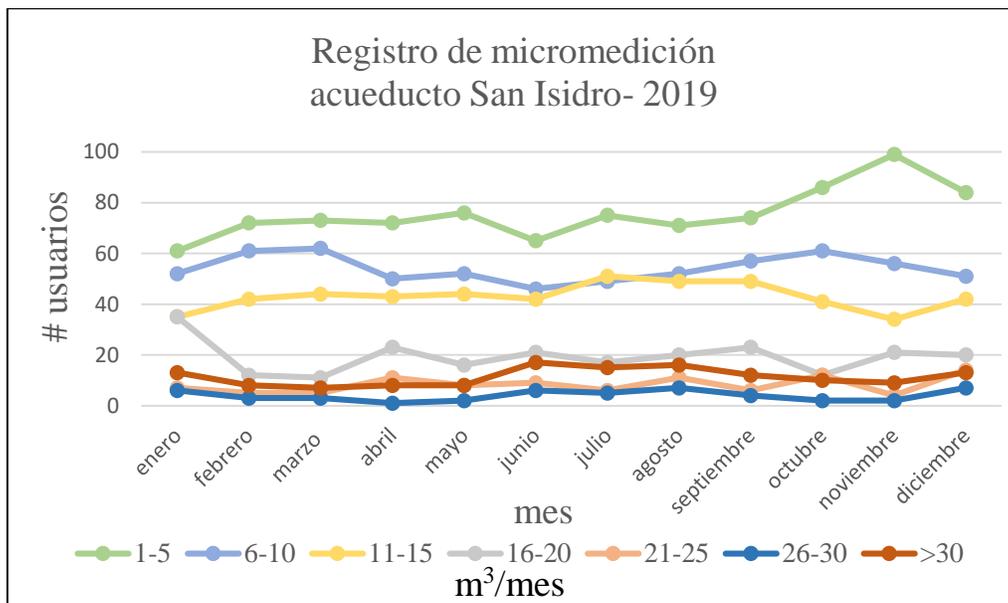


Gráfico 2. Registros de micro medición para el año 2019.

Se evidencia que el consumo de agua de la mayoría de los usuarios fue de 1 a 5 $m^3/usuario*mes$, es posible que el registro de bajos consumos se deba a que algunas de las propiedades en la actualidad no son habitadas de manera permanente.

11. Dotación y demanda

11.1. Dotación neta

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas en cada uno de los suscriptores, sin considerar las pérdidas que ocurren en el sistema de acueducto (Minvienda, 2017).

Para la estimación de la dotación neta se tendrán en cuenta los valores sugeridos por la Resolución 0330 de 2017 en función de la ubicación de la zona de interés con respecto a la altura sobre el nivel del mar. La razón de que se utilicen estos valores está argumentada en que la información aportada por los registros de medición muestra consumos de agua bajos en gran parte de los usuarios y con un registro mensual, por lo que resulta difícil establecer patrones de consumo confiables para la población.

Tabla 7. Dotación neta máxima. Artículo 43 RAS 0330.

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
>2000 msnm	120
1000-2000 msnm	130
<1000 msnm	140

Según el artículo 43 de la Res. 0330, considerando que la altitud promedio del municipio de Guarne es de 2150 msnm (Alcaldía de Guarne, s.f.) la dotación neta máxima para el área de estudio es de 120 L/hab*día.

11.2. Pérdidas máximas del sistema

Las pérdidas máximas engloban el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema como conducción, aducción y redes, así como las necesidades de la planta de tratamiento, este valor se estima según la resolución 0330 de 2017 artículo 44.

Las pérdidas en el sistema no deberán superar el 25%, por ello es importante garantizar un adecuado mantenimiento de las redes y un control en las conexiones fraudulentas, de esta manera se garantiza el funcionamiento óptimo de operación.

Las pérdidas registradas para el acueducto San Isidro, son relativamente bajas e históricamente se han calculado valores que no sobrepasan el 13%.

11.3. Dotación bruta

La dotación bruta se define en el artículo 44 del RAS 0330. Considera el porcentaje de pérdidas del numeral 11.2.

$$Dotación\ bruta = \frac{Dotación\ neta}{1 - \%Pérdidas} = \frac{120 \frac{L}{hab * día}}{1 - 13\%} = 138 \frac{L}{hab * día}$$

11.4. Coeficientes de consumo K1 y K2

K1: es el coeficiente de consumo máximo diario, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario (QMD) y el consumo medio diario (Qmd).

K2: es el coeficiente de consumo máximo horario, se define como la relación entre el caudal máximo horario (QMH) y el caudal máximo diario (QMD). No se tiene en cuenta datos de registros en días en los que hayan ocurrido fallas relevantes.

ambos factores dependen de la población y su valor se basa en los registros de caudal en los sistemas de acueducto durante un periodo mínimo de un año.

Tabla 8. Factores de mayoración. Artículo 47 RAS 0330.

Habitantes	K1	K2
<= 12.500	1.3	1.6
>12.500	1.2	1.5

Para este proyecto se utilizarán los factores de consumo consignados en la Res. 0330, debido a que los registros de caudal del acueducto San Isidro no se tienen con frecuencia diaria u horaria.

La población proyectada a 2045 es de 2269 habitantes, por tanto, el valor de los factores de mayoración adoptados son $k_1= 1.3$ y $k_2= 1.6$.

11.5. Caudal medio diario proyectado (Qmd)

Caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{md} = \frac{\text{Dotación bruta} * \text{Población proyectada}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{138 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}} * 2.269 \text{ hab}}{86400 \text{ s}} = 3.62 \text{ L/s}$$

Para el año 2045 el caudal medio diario proyectado es de 3.62 L/s.

11.6. Caudal máximo diario (QMD)

Corresponde al consumo máximo registrado en 24 horas durante un periodo de un año, se calcula multiplicando el caudal medio diario (Qmd) por el coeficiente de consumo máximo diario (k_1).

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1$$

$$Q_{MD} = 3.62 * 1.3 = 4.71 \text{ L/s}$$

Para el año 2045 el caudal máximo diario proyectado es de 4.71 L/s.

11.7. Caudal máximo horario (QMH)

Corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el producto entre el caudal máximo diario (QMD) y el coeficiente de consumo máximo horario (K_2).

$$Q_{MH} = Q_{MD} * K_2$$

$$Q_{MH} = 4.71 * 1.6 = 7.54 \text{ L/s}$$

Para el año 2045 el caudal máximo horario proyectado es de 7.54 L/s

Tabla 9. Estimación de caudales en un periodo de 25 años.

Proyección de consumo (Resolución 330 de 2017)							
Año	Población Futura	Pérdidas	Dotación bruta	Caudal medio diario "Qmd" (L/s)	Demanda de caudal (m3/Día)	Caudal máximo diario "QMD" (L/s)	Caudal máximo horario "QMH" (L/s)
2020	1296	13%	138	2.07	178.85	2.69	4.31
2021	1325	13%	138	2.12	182.90	2.75	4.40
2022	1355	13%	138	2.16	187.05	2.81	4.50
2023	1386	13%	138	2.21	191.28	2.88	4.61
2024	1418	13%	138	2.26	195.62	2.94	4.71
2025	1450	13%	138	2.32	200.05	3.01	4.82
2026	1483	13%	138	2.37	204.59	3.08	4.93
2027	1516	13%	138	2.42	209.22	3.15	5.04
2028	1550	13%	138	2.48	213.96	3.22	5.15
2029	1586	13%	138	2.53	218.81	3.29	5.27
2030	1622	13%	138	2.59	223.77	3.37	5.39
2031	1658	13%	138	2.65	228.84	3.44	5.51
2032	1696	13%	138	2.71	234.03	3.52	5.63
2033	1734	13%	138	2.77	239.33	3.60	5.76
2034	1774	13%	138	2.83	244.76	3.68	5.89
2035	1814	13%	138	2.90	250.30	3.77	6.03
2036	1855	13%	138	2.96	255.98	3.85	6.16
2037	1897	13%	138	3.03	261.78	3.94	6.30
2038	1940	13%	138	3.10	267.71	4.03	6.44
2039	1984	13%	138	3.17	273.78	4.12	6.59
2040	2029	13%	138	3.24	279.98	4.21	6.74
2041	2075	13%	138	3.31	286.33	4.31	6.89
2042	2122	13%	138	3.39	292.81	4.41	7.05
2043	2170	13%	138	3.47	299.45	4.51	7.21
2044	2219	13%	138	3.54	306.24	4.61	7.37
2045	2269	13%	138	3.62	313.18	4.71	7.54

12. Simbología

Se diseña la simbología de los componentes del sistema de acueducto, con el objetivo de que cada símbolo creado represente las características físicas de cada componente. El diseño se realiza en el software AutoCAD y se guarda en formato PNG con transparencia. Posteriormente en el software QGIS cada uno de los componentes se representa mediante una capa de puntos, a la cual se modifica la simbología, pasando de “marcador sencillo” a “marcador de imagen raster”. La simbología se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 10. Simbología de los componentes del acueducto.

Descripción	Simbología	Referencia
Captación		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Bocatoma
Desarenador/ Sedimentador		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Desarenador
Planta de tratamiento		Yeison Castañeda Castaño. (2020). PTAP
Estación de bombeo		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Bombeo
Tanques de almacenamiento		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Tanques
Instrumentos de macro medición		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Macro medidores
Puntos de muestreo en la red de distribución		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Puntos de muestreo

Punto de atención del sistema de acueducto		Yeison Castañeda Castaño. (2020). Oficina acueducto
--	---	--

13. Sistema de proyección cartográfico “origen nacional”

En el presente año surge la resolución 471 del IGAC que define un único origen nacional, lo que permite la disponibilidad de coordenadas unificadas e inequívocas sobre el conjunto del territorio nacional. Hasta la fecha, la cartografía se compartía con una proyección en seis orígenes y proyecciones cartesianas locales lo que conllevaba a la existencia de coordenadas iguales en distintos puntos del territorio, dificultando el intercambio, uso y gestión de la información geográfica del país. Con la presente resolución, los productos cartográficos se gestionarán más fácilmente ya que la propuesta de un único par de coordenadas de referencia facilitara y agilizará consultas y análisis espaciales (IGAC, 2020).

El artículo 4 de la resolución 471 establece que el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia es MAGNA-SIRGAS. La proyección cartográfica se definirá en un único origen de coordenadas con los siguientes parámetros.

Tabla 11. Parámetros de proyección para el nuevo origen de coordenadas.

Parámetros de proyección	
Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso Este	5.000.000
Falso Norte	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0.9992

14. Georreferenciación de componentes y usuarios del sistema de acueducto

Como herramienta para la localización de usuarios, componentes del sistema de acueducto y recorrido de redes, se utilizó la aplicación móvil Avenza Maps 3.10.2 versión 33. En recorridos iniciales se identificaron las redes de distribución, algunos accesorios hidráulicos y zonas que posiblemente presentan problemas.

Se capacito al técnico del acueducto en el manejo de la herramienta. En los recorridos de lectura de contadores, que se realizan a fin de cada mes, se referenciaron gran parte de los usuarios, los demás, pudieron localizarse gracias al apoyo de habitantes de la zona y personal del acueducto.

Como mapa base se utiliza un GeoPDF que abarca la zona de prestación de servicio del acueducto, el mapa contiene un trazado preliminar de las redes y la división política del municipio. Entre las funciones de la aplicación, un puntero en la pantalla del dispositivo muestra la ubicación actual y se mueve a medida que el usuario se desplaza, lo que permite ubicarse fácilmente, ingresar puntos, trazar rutas, crear polígonos, líneas y medirlos sobre el mapa.

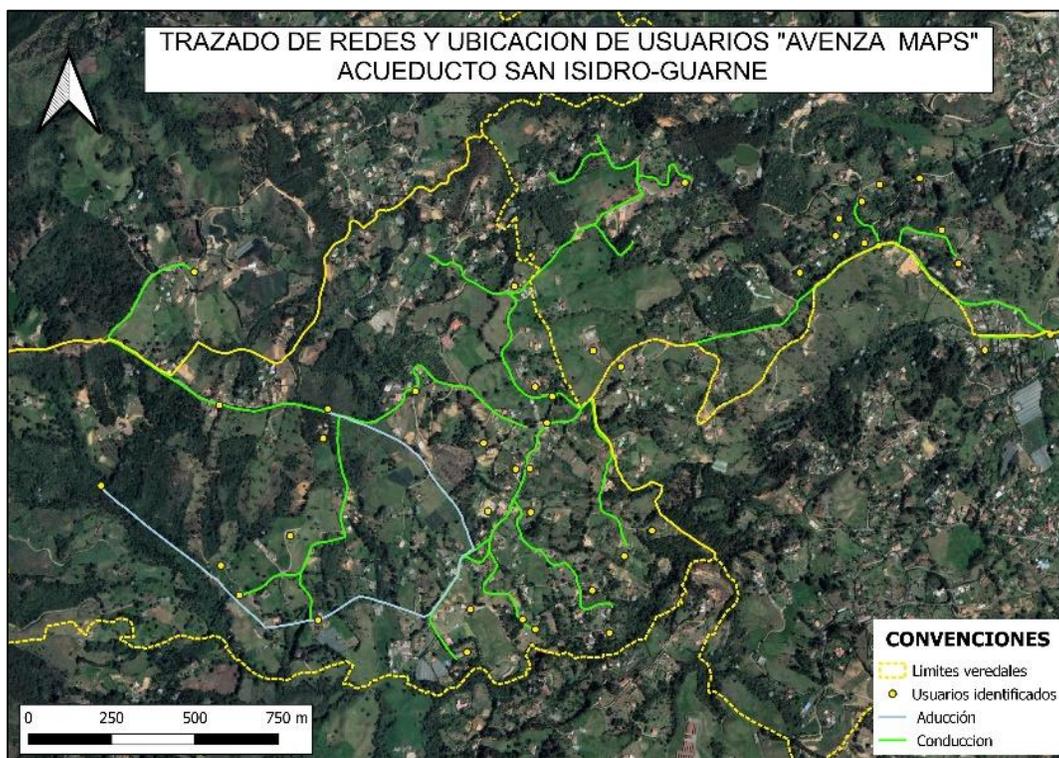


Figura 11. Mapa utilizado en la aplicación Avenza Maps. Elaboración propia

Avenza maps, funciona sin necesidad de acceso a internet, una vez terminado el recorrido y con acceso a internet, es posible enviar la información obtenida en diferentes formatos, para posteriormente ser procesada en equipos de escritorio.

15. Cartografía

15.1. Componentes del sistema de acueducto

Los mapas que se muestran a continuación, son el resultado del procesamiento de datos obtenidos en campo. Cabe resaltar que esta información fue verificada con la finalidad de minimizar errores y ubicar la totalidad de los componentes y usuarios. Los mapas generados para los usuarios, tienen información del código de contadores o micro medidores, coordenadas X e Y en el nuevo origen de coordenadas (EPSG 9377), subsistema al que pertenece y elevación respecto al nivel del mar, la información sobre usuarios se encuentra en el [Anexo4](#), componentes en el [Anexo1](#).

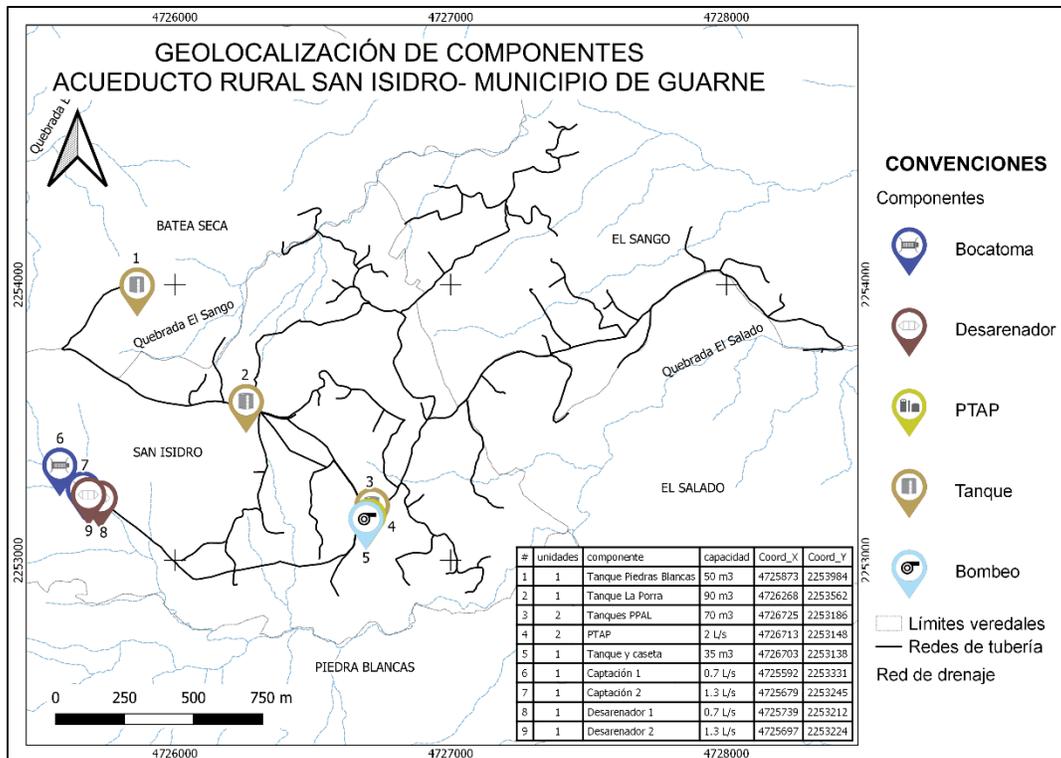


Figura 12. Geolocalización de componentes- acueducto rural San Isidro (Guarne)

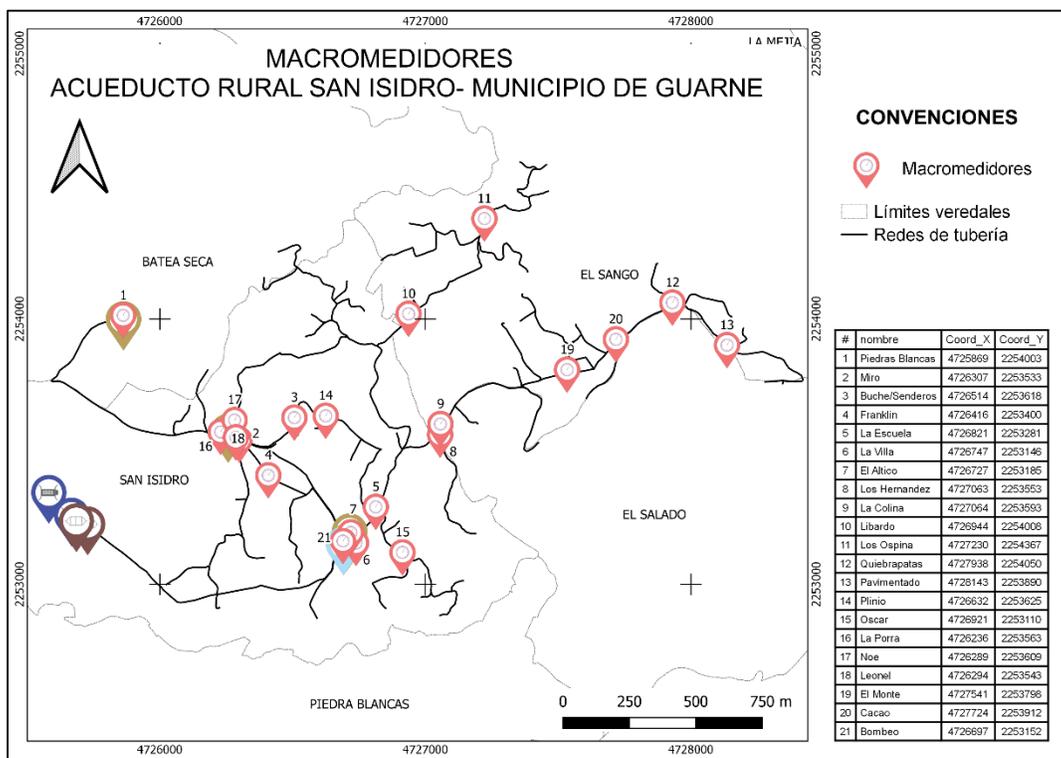


Figura 13. Geolocalización de macro medidores- acueducto rural San Isidro (Guarne)

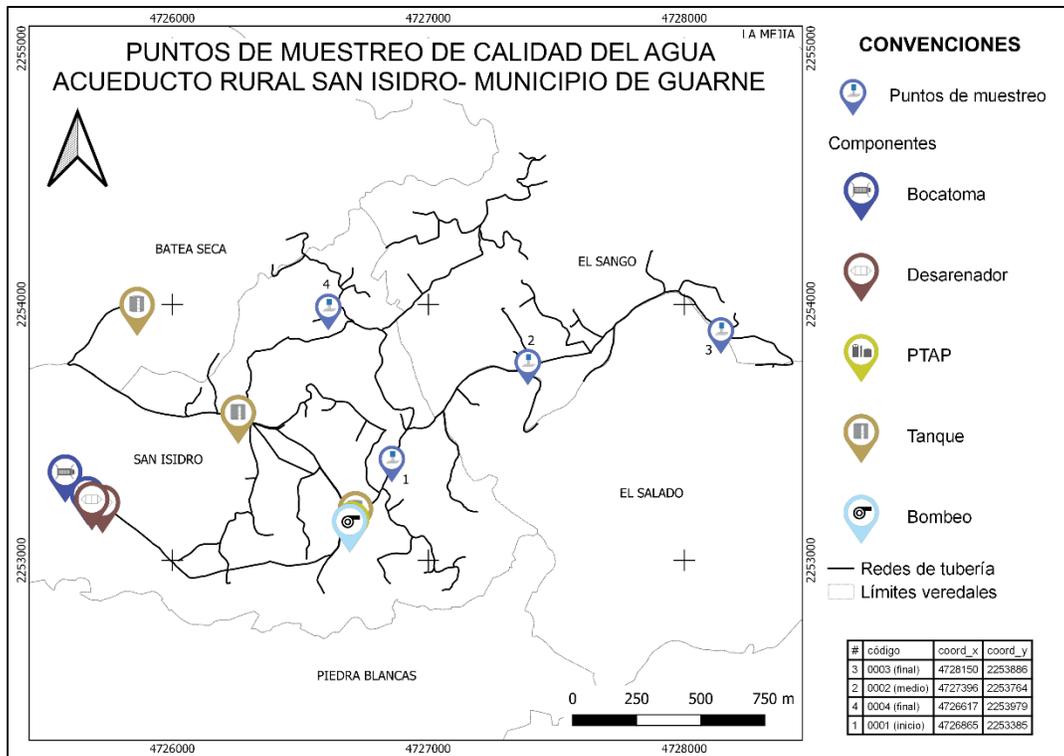


Figura 14. Geolocalización de puntos de muestreo- acueducto rural San Isidro (Guarne)

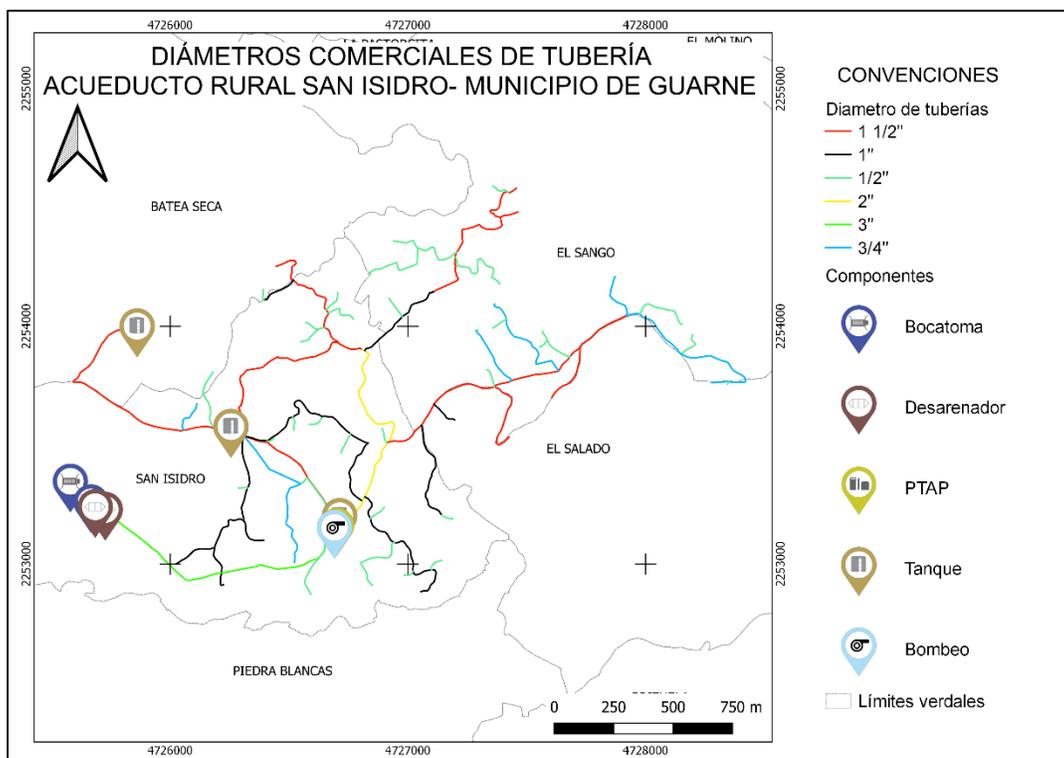


Figura 15. Diámetros comerciales de redes- acueducto rural San Isidro (Guarne)

15.2. Usuarios

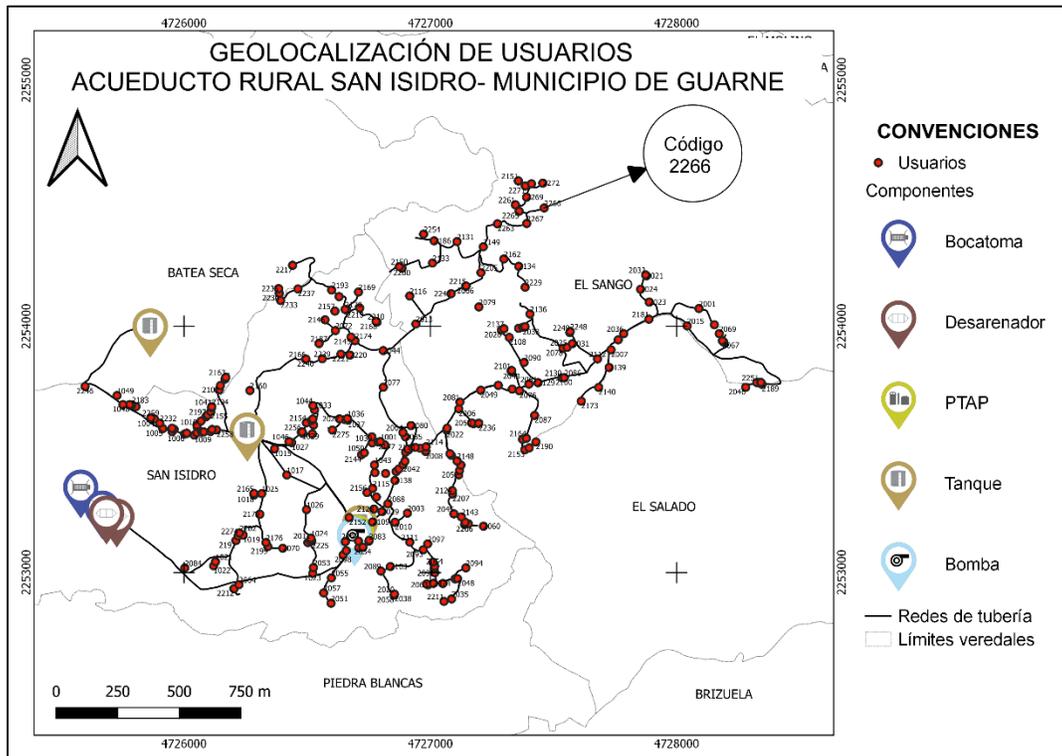


Figura 16. Geolocalización de usuarios- acueducto rural San Isidro (Guarne)

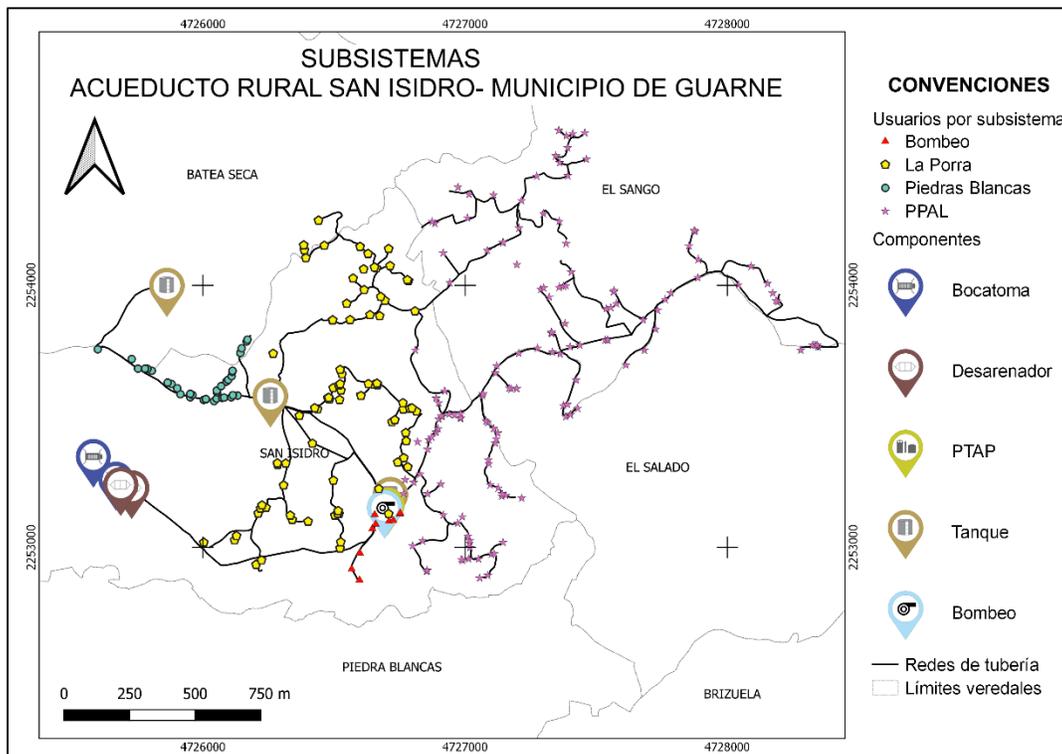


Figura 17. Sectorización de subsistemas- acueducto rural San Isidro (Guarne)

16. Modelación hidráulica

16.1. Cálculo hidráulico

El cálculo hidráulico de las redes de acueducto se realiza con el objetivo de conocer el funcionamiento actual de las redes y proyectar estructuras o planear cambio de redes en caso de ser necesario, es decir, para el presente caso de estudio se realiza las respectivas modelaciones hidráulicas con la finalidad de optimizar el funcionamiento del sistema y evaluar que en ningún punto de la red se presenten presiones tan bajas que impidan el correcto transporte del agua por las redes, o presiones tan elevadas que pueden causar daños.

La infraestructura de redes en el acueducto en su mayoría es conformada por tuberías en polivinilo de cloruro (PVC), las características de este material son:

- Inerte a la corrosión
- Liviana y de fácil manejo
- Buena resistencia a las cargas externas
- Temperatura máxima de trabajo 50° C
- Baja resistencia a la flexión
- Fácil de perforar para incorporar acometidas
- Se degrada cuando está expuesta a los rayos solares

Para los cálculos hidráulicos se consideraron los siguientes aspectos:

Perdidas por fricción

Para los cálculos hidráulicos y la determinación de pérdidas por fricción, se utilizan las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook & White.

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

f: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería (m)

D: Diámetro de la tubería (m)

v: Velocidad media del fluido (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Para el método de Darcy- Weisbach, EPANET utiliza diferentes expresiones correspondientes a las distintas zonas en las que el factor de fricción presenta comportamientos distintos, dependiendo del régimen de trabajo.

- **Numero de Reynolds:** el tránsito de agua en las redes o conductos abiertos, pueden clasificarse como flujos laminares o turbulentos, el primero se describe como un movimiento de delgadas capas desplazándose unas sobre otras, mientras que el flujo turbulento se puede describir como un movimiento caótico e irregular de masas de fluido, respecto al tiempo y el espacio.

$$Re = \frac{\rho Dv}{\mu}$$

ρ = Densidad del agua (kg/m³)

D= Diámetro (m)

v= Velocidad del fluido (m/s)

μ = Viscosidad dinámica (Pa.s)

De acuerdo a los resultados obtenidos de la formula, el flujo se puede clasificar en

Si **Re<2000** el flujo se considera laminar

2000<Re<4000 zona de transición de laminar a turbulento

Re>4000 el flujo es turbulento

El factor de fricción para el cálculo de las perdidas puede estimarse de acuerdo al régimen de flujo, como sigue.

- **Régimen laminar:** Ecuación de Hagen-Poiseuille.

$$f = \frac{64}{Re}$$

Re= Numero de Reynolds

- **Régimen turbulento:** el factor de fricción se calcula mediante iteración.

$$\frac{1}{f} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

K_s = Rugosidad absoluta de la tubería (m).

Se presentan los valores de rugosidad absoluta para los materiales de tubería del acueducto (RAS 2000).

Tabla 12. Coeficientes de rugosidad absoluta para tuberías en PVC y PEAD.

Material	Rugosidad absoluta ks (mm)
Polietileno	0.007
PVC	0.0015

- **Flujo transitorio:** EPANET utiliza interpolación cubica del Abaco de Moody.

Perdidas menores

También conocidas como pérdidas locales, son las pérdidas asociadas a la existencia de turbulencias en accesorios hidráulicos como tee, codos, válvulas entre otros. Pueden contabilizarse para cada elemento asignando un coeficiente de pérdidas menores (valores tabulados), y está pérdida es proporcional a la energía cinética de entrada en la tubería.

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

K= Coeficiente de pérdidas menores (adimensional)

V= Velocidad de flujo (m/s)

g= Aceleración de la gravedad (m/s²)

Estas pérdidas, en ocasiones son despreciadas, ya que, comparadas con las pérdidas de fricción en las redes representan un valor muy pequeño, en otros casos, estas pérdidas cobran relevancia, como por ejemplo en tramos de tubería cortos con un numero de accesorios significativo. Para el acueducto caso de estudio, las pérdidas menores no constituyen un valor relevante en las pérdidas totales, ya que la cabeza de elevación (Z) en su mayoría es considerable, por lo que las pérdidas generadas por cada accesorio no constituyen un cambio significativo en la operación hidráulica de las redes. La pérdida de energía asociada a los accesorios, puede controlarse mediante la apertura o cierre de las VRP instaladas en a lo largo del sistema.

16.2. Redes de aducción y conducción

La red de aducción en el acueducto San Isidro funciona por gravedad, aprovechando la cabeza hidráulica disponible entre las estructuras de captación y la planta de tratamiento (19.2 m), la red de aducción tiene una longitud aproximada de 1480 metros, toda la red se conforma de tubería en PVC de 3" de diámetro comercial y diámetro interno 80.42 mm.

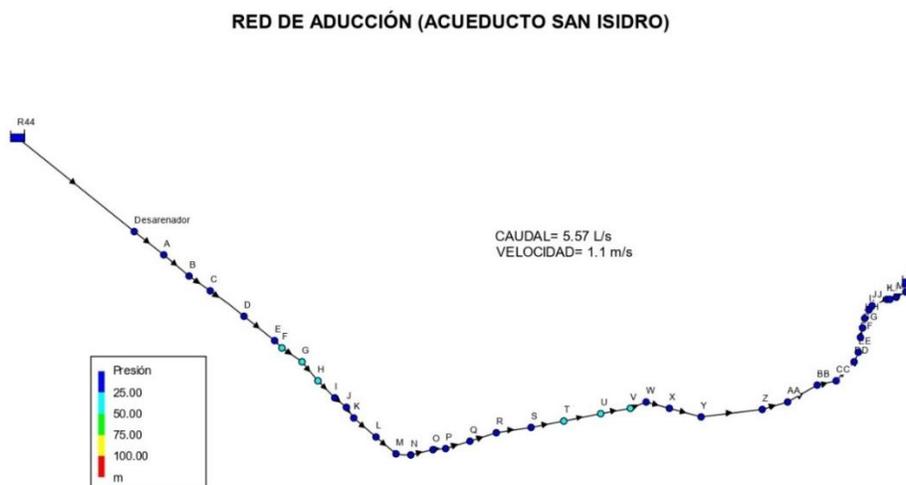


Figura 18. Simulación red de aducción.

Como resultados de la simulación de la línea de aducción ([Anexo5](#)), se obtiene que la red tiene capacidad para un caudal de 5.57 L/s, con una velocidad de 1.1 m/s, valor ajustado al límite establecido en el artículo 56 (aducción y conducción) del RAS 0330 donde se establece que la velocidad mínima debe ser mayor a 0.5 m/s y la velocidad máxima dependerá del material de la red, al ser tubería en PVC, se recomienda que la velocidad no sobrepase los 6 m/s.

Las presiones a lo largo de la red garantizan un buen funcionamiento sin necesidad de implementar algún sistema de bombeo o alguna estructura de disipación de energía al ingreso del sistema de potabilización, ya que la presión de ingreso es inferior a 3 mca, además, deberá evaluarse a profundidad cual es la pérdida de energía que se genera en las plantas compactas en cada uno de los procesos.

La Figura 19, muestra el perfil hidráulico de la aducción, la línea de la red y la línea del terreno coinciden, debido a que son redes superficiales.

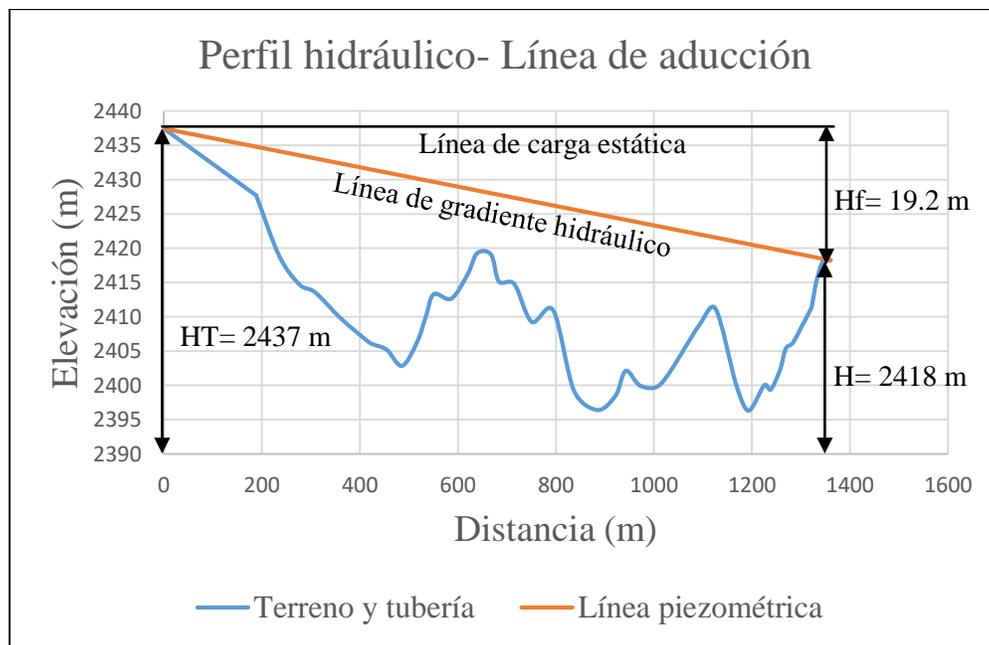


Figura 19. Perfil hidráulico de la línea de aducción.

La línea de gradiente hidráulico es la elevación obtenida de la suma de la altura de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un nivel de referencia (Empresas Publicas de Medellin, 2013). El agua que es transportada desde las bocatomas hasta las plantas, experimenta pérdidas de carga, principalmente asociadas a los esfuerzos cortantes que se generan al interior de las redes como resultado de la interacción entre el flujo y las paredes de la tubería, estas pérdidas son de 19.2 m en una longitud de 1361 m.

La Figura 20 muestra las altas presiones al inicio del recorrido (75-100 mca), como resultado de la energía que la bomba aporta al agua para poderla transportar a un punto de mayor elevación. A medida que asciende las presiones disminuyen hasta llegar al tanque de La Porra. Es de gran importancia mencionar el tipo de tubería instalada, su resistencia y verificar que las presiones de trabajo estén dentro del rango de operación. En general, la presión máxima en la línea de impulsión no sobrepasa los 127 mca y la tubería PVC cuenta con una presión de trabajo de hasta 141 mca, por lo que no presenta problemas de operación bajo las condiciones de operación actuales.

Se considera que la línea de impulsión, se encuentra un metro por debajo del perfil del terreno, el perfil hidráulico se muestra en la Figura 21 y los cálculos en el ([Anexo6](#)).

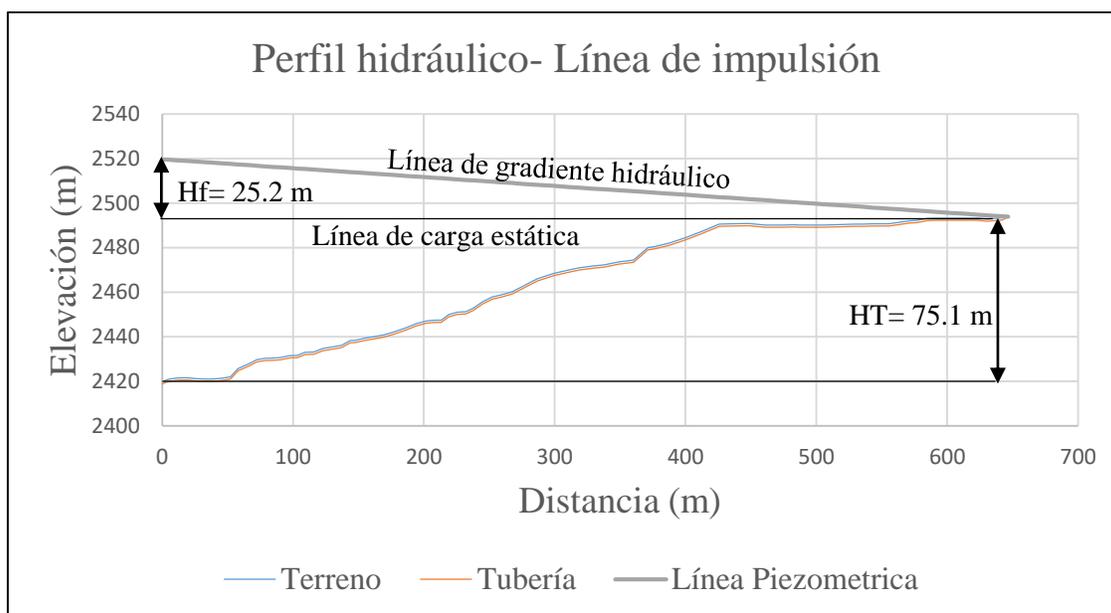


Figura 21. Perfil hidráulico de la línea de impulsión.

El transporte del agua a través de las redes, genera unas pérdidas asociadas principalmente a los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes del conducto, también pueden ser pérdidas asociadas con accesorios hidráulicos como válvulas, uniones, codos, tee, entre otros.

Las pérdidas de carga total obtenidas de la simulación son de 25.2 m, es decir, la bomba debe proporcionar una energía equivalente a 75.1 m, más 25.2 m para compensar las pérdidas en la red. La bomba utilizada se encuentra dentro del rango de operación actual dado por la curva característica del fabricante.

16.4. Redes de distribución

16.4.1. Simulación en periodo estático

La presión estática en las redes, es la presión en un conducto cuando no hay flujo a través de él, es decir, es la presión asociada a la altura de cada nodo en un instante determinado. La zona de influencia de prestación del servicio de agua potable del acueducto rural San Isidro,

se caracteriza por su relieve irregular, lo cual afecta de manera significativa las presiones del sistema en algunas zonas.

A continuación, se presenta la modelación en periodo estático en el software EPANET sin ningún tipo de regulación.

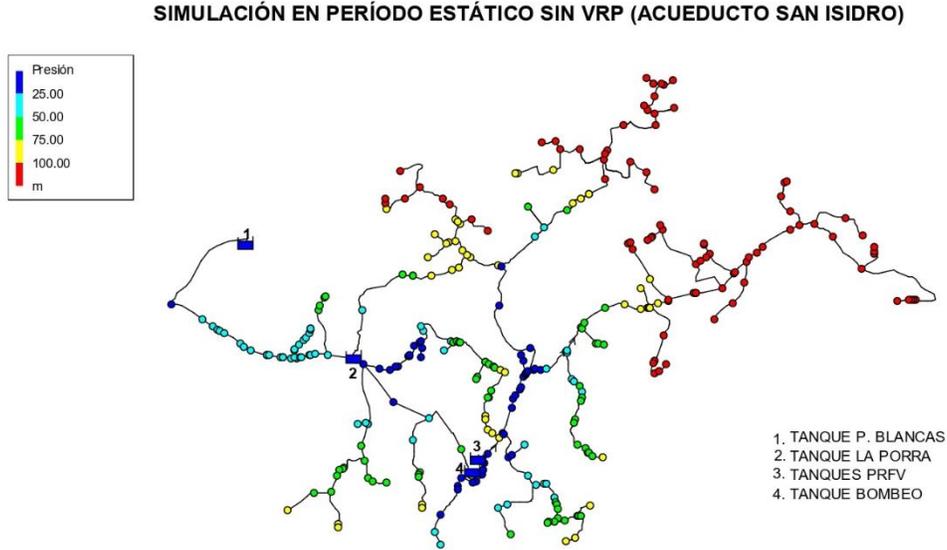


Figura 22. Simulación en periodo estático de las redes de distribución.

El mapa de contorno, muestra las regiones del plano donde los valores de presión están dentro de intervalos determinados en la paleta de colores.

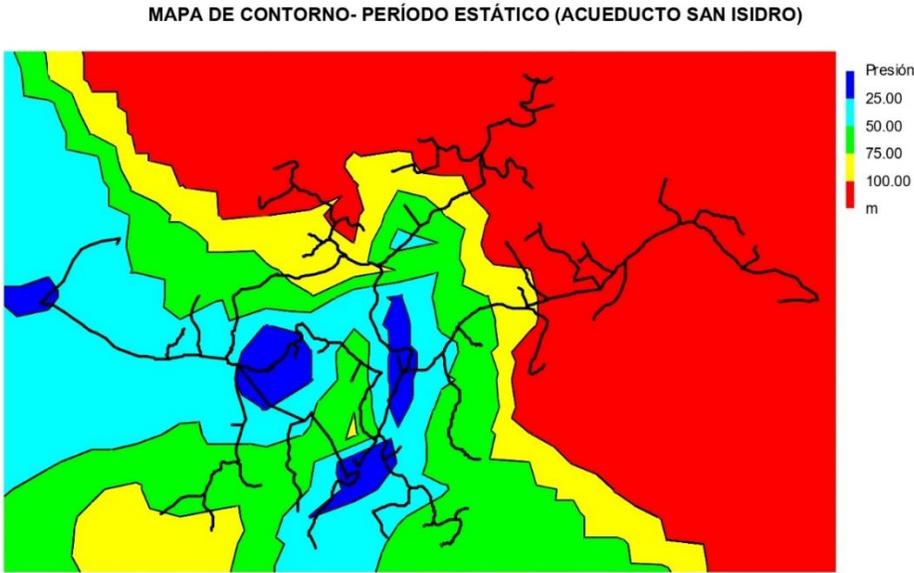


Figura 23. Sectorización de presión estática en las redes de distribución.

Las áreas más cercanas a los tanques de almacenamiento, como el tanque la porra, los tanques en PRFV y la vía desde el sector Cuatro Esquinas hacia la vereda El Sango, muestran presiones inferiores a 25 mca, mientras que gran parte de la vereda El Salado y la parte baja de la vereda El Sango, muestran presiones por encima de los 100 mca. Actualmente el acueducto cuenta con 4 válvulas reguladoras de presión (VRP), dos de ellas ubicadas en la parte baja de El Sango y otras dos en la vereda El Salado.

16.4.2. Válvulas reguladoras de presión (VRP)

Es común en los acueductos veredales ubicados en zonas montañosas de Colombia, encontrar zonas con presiones muy elevadas, que pueden llegar a ocasionar ruptura de tuberías y agudizar problemas de fuga en las redes, aumentando las pérdidas técnicas en el sistema e incrementando costos asociados a la reparación de los daños causados y generando desperdicio de agua (Lano Mosquera, 2017). Es conveniente, de acuerdo a las condiciones particulares de la zona, estudiar la posibilidad de instalar accesorios en las redes que regulen los altos valores de presión.

Las válvulas reductoras son dispositivos que reducen y estabilizan la Presión de entrada a un valor deseado, estos accesorios tienen la particularidad de ser regulables, lo que permite calibrar la Presión de salida a un valor deseado. Las válvulas que se encuentran en operación en el sistema de acueducto son válvulas de pistón con asiento compensado en latón niquelado y tienen un diámetro nominal de 1 ½". A continuación, se muestran las especificaciones técnicas.

Tabla 14. Ficha técnica de VRP usadas en el acueducto.

Válvulas Reguladoras de Presión (VRP)		
Parámetro	Valor	Unidad
Máxima presión de entrada	250	Mca
Regulación de la presión de salida	10-60	Mca
Pre- calibración	30	mca
Temperatura máxima de trabajo	80	° C
Disminución de presión mínima	10	Mca

La siguiente simulación, muestra los valores de presión con las VRP del sistema en operación.

SIMULACIÓN EN PERÍODO ESTÁTICO CON VRP (ACUEDUCTO SAN ISIDRO)

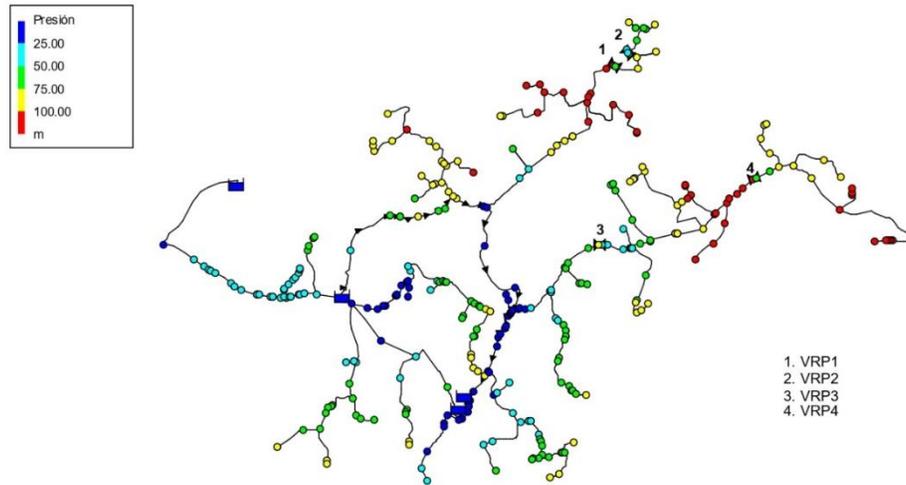


Figura 24. Simulación en periodo estático con VRP actuales.

Tabla 15. Especificación de VRP del sistema

Cuadro de válvulas reguladoras de Presión (VRP)						
Válvula	Cota (m)	Diámetro (Pulg)	Presión máxima entrada (mca)	Presión máxima salida (mca)	Pérdidas (mca)	Relación (P entrada/P salida)
VRP 1	2280	1 ½"	137	60	77	2.28
VRP2	2242	1 ½"	98	45	53	2.17
VRP 3	2333	1 ½"	82	35	47	2.34
VRP 4	2226	1 ½"	142	60	82	2.36

El mapa de contorno que se genera en EPANET, muestra la zonificación de presión actual para el acueducto.

MAPA DE CONTORNO- VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN EXISTENTES (ACUEDUCTO SAN ISIDRO)

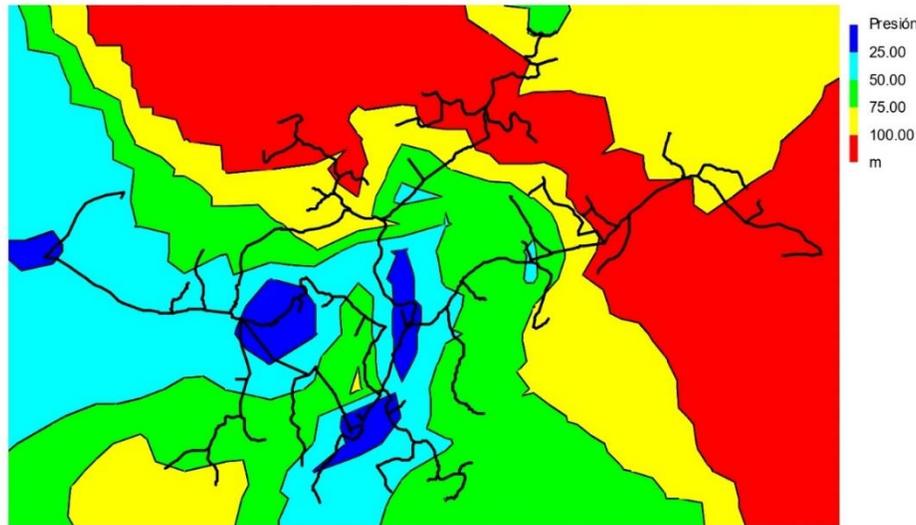


Figura 25. Sectorización de presiones con VRP actuales.

Según el catalogo técnico de las válvulas (Europress), es importante considerar la relación entre la presión de entrada y de salida de las VRP. El valor de esta relación no debe ser superior a 2.5, teniendo en cuenta esta consideración se contribuye a la disminución de riesgo de ocurrencia del fenómeno de cavitación por una gran diferencia entre la presión de entrada y salida, este problema se asocia a la formación de burbujas en zonas de baja presión dentro de un líquido, estas crecen, se desplazan y cuando llegan a puntos de mayor presión colapsan, en ocasiones de manera violenta, causando problemas en la red y las válvulas mediante vibraciones, erosión de paredes internas y también pueden causar ruidos elevados. (Ingeniería de Fluidos, 2016).

De la Tabla 15, para las presiones de salida, todas las VRP cumplen con este criterio.

Las redes de distribución constituyen la mayor infraestructura del sistema de acueducto, en su mayoría consta de tuberías en PVC. A continuación, se describe la presión de trabajo para las redes en material PVC.

Tabla 16. RDE y presiones máximas en las redes

Redes acueducto rural San Isidro			
Diámetro (pulg)	Diámetro interno (mm)	RDE (Diámetro/Espesor)	Presión (mca)
1/2"	16.6	9	352
3/4"	21.81	11	282
1"	30.2	21	141
1 1/2"	43.68	21	141
2"	54.58	21	141
3"	80.42	21	141

A pesar de las altas presiones, en la mayor parte de los casos, no se reportan daños en las redes de distribución por este parámetro, los daños se asocian principalmente a la carga por tráfico vehicular o labores de excavación en las zonas donde se ubican las redes. Aun con las VRP en funcionamiento, algunos sectores continúan con altos valores de presión, como se muestra en la Figura 25. Las redes en material PVC para los tramos con mayores presiones están constituidas por una relación diámetro- espesor (RDE) de 21, donde la presión de trabajo es de 141 mca. Sin embargo, para cumplir con los límites establecidos por la Res. 0330, sobre la presión máxima permisible, se propone la instalación de seis VRP adicionales distribuidas en las redes del acueducto. Estas válvulas propuestas, se pre-dimensionan tomando el diámetro de las tuberías, sin embargo, deberá estudiarse la elección del diámetro en base al QMH para el periodo de diseño (Res. 0330 de 2017).

El siguiente mapa contiene la ubicación de las válvulas en operación y de las válvulas propuestas.

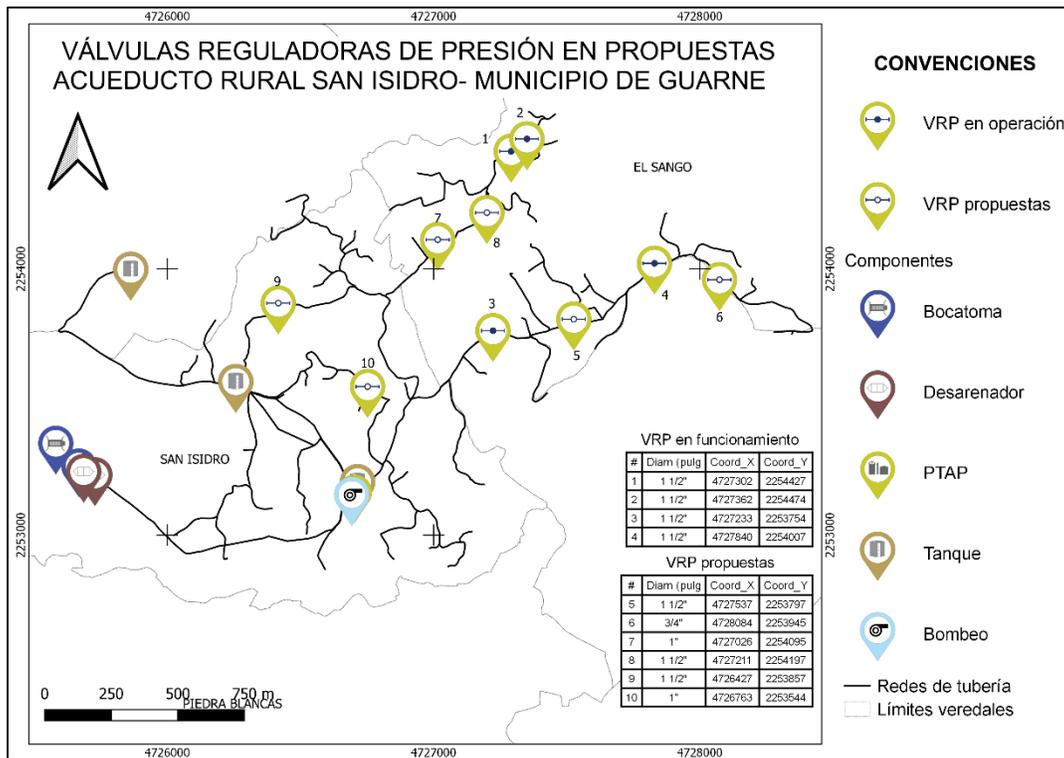


Figura 26. VRP actuales y propuestas

Se realiza la modelación en periodo estático con las válvulas propuestas en funcionamiento, los resultados muestran que la mayor parte de las presiones se encuentra dentro de los límites permitidos por la normativa, con excepción de algunas zonas, principalmente puntos extremos de la red que presentan altas presiones, sin embargo, no sobrepasan los 90 mca.

Tabla 17. Especificaciones de VRP actuales y propuestas.

Cuadro de válvulas reguladoras de Presión (VRP)						
Válvula	Cota (m)	Diámetro (Pulg)	Presión máxima entrada (mca)	Presión máxima salida (mca)	Pérdidas (mca)	Relación (P entrada/P salida)
VRP 1	2280	1 ½"	60.86	40	20.86	1.52
VRP 2	2242	1 ½"	77.50	40	37.5	1.94
VRP 3	2333	1 ½"	80.61	35	45.61	2.30
VRP 4	2226	1 ½"	83.99	40	53.99	2.10
VRP 5	2281	1 ½"	87	38	49	2.29
VRP 6	2186	¾"	83	38	45	2.18
VRP 7	2350	1"	65	30	35	2.17
VRP 8	2300	1 ½"	79	40	39	1.98
VRP 9	2427	1 ½"	65	30	35	2.17
VRP 10	2424	1"	70	35	35	2

VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN PROPUESTAS (ACUEDUCTO SAN ISIDRO)

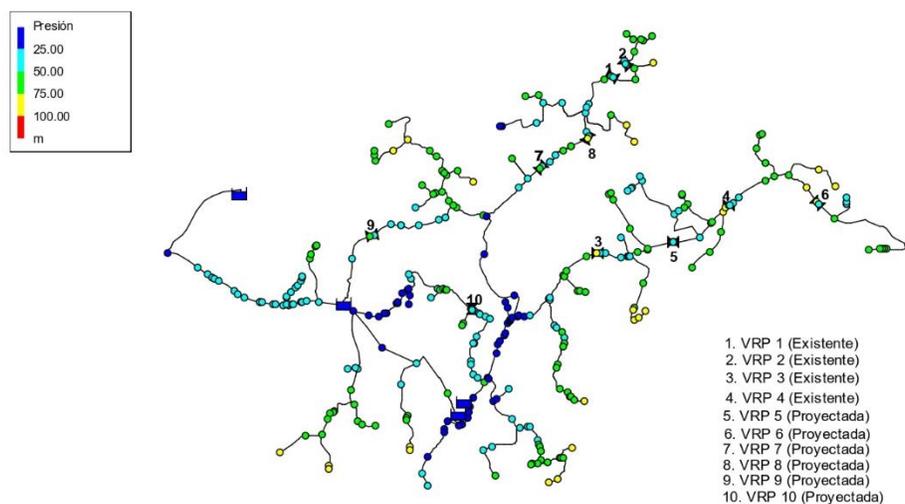


Figura 27. Modelación en periodo estático para las VRP propuestas.

El mapa de contorno, muestra las zonas de presión para las redes de distribución con las VRP propuestas en funcionamiento.

MAPA DE CONTORNO- VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN PROPUESTAS (ACUEDUCTO SAN ISIDRO)

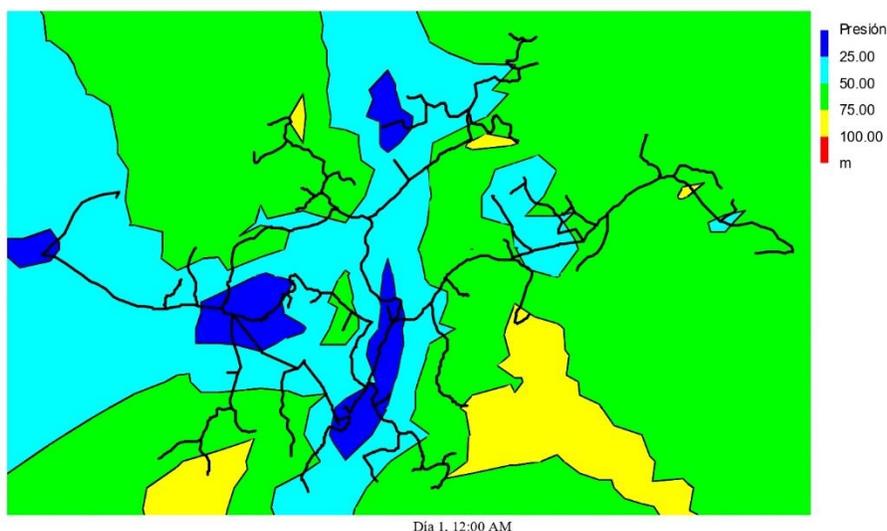


Figura 28. Sectorización de presiones con las VRP propuestas en operación.

Ninguna zona está sometida a presiones iguales o superiores a los 100 mca, por lo que la instalación de las válvulas propuestas disminuiría significativamente las sobrepresiones en las redes de distribución, lo que contribuye en la disminución de fugas o posibles rupturas en redes, contribuyendo en el uso eficiente del agua y, por tanto, aportando al cumplimiento del objetivo 6 de los ODS.

17. Simulaciones en periodo extendido

Según la resolución 0330 de 2017, artículo 57 los sistemas de acueducto deben contar con modelos hidráulicos que simulen bajo condiciones de periodo extendido con frecuencia horaria, incorporando en cada nodo los patrones de consumo medidos en campo, en caso de no contar con estos factores debe justificarse la selección de los patrones empleados (Res 0330). Los modelos hidráulicos deben actualizarse con una frecuencia mínima de cinco años o cuando se afecte sustancialmente las condiciones operativas del sistema.

El acueducto, tiene registros de consumo mensual, mas no se encontró información que permitiera calcular los patrones de consumo horario. Por ello, se proponen de acuerdo a curvas teóricas de consumo y a las condiciones propias de la zona, algunos factores que afectan el consumo normal (Qmd) en el sistema de acueducto y los modelos se realizan con una frecuencia de 24 horas. Las horas de mayor consumo son de 6:00 am- 8:00 am, a las 3:00 pm se presenta un leve ascenso, debido a que esa es una hora en la que algunas personas terminan su jornada laboral, y el ultimo pico se presenta de 6:00 pm- 8:00 pm, donde se asume que la mayor parte de la población se encuentra en sus hogares y consumen agua en la preparación de alimentos, lavado de vajilla y aseo personal. En la hora de mayor consumo (7:00 am), se alcanza el caudal máximo horario (QMH), el cual se calcula teniendo en cuenta los factores de mayoración dados en el artículo 47 de la resolución 0330 de 2017. Se considera a esta hora como la de mayor consumo, ya que la mayor parte de la población se prepara para iniciar su jornada laboral o escolar. Las horas de menor consumo, se consideran

en el intervalo de 12:00 am a 3:00 am, donde se supone que la mayor parte de la población se encuentra descansando.

17.1. Patrones de consumo

Para los prestadores del servicio de agua potable es de vital importancia conocer el comportamiento del volumen de agua que los usuarios consumen diariamente, establecer los hábitos de consumo y conocer las horas en las que generalmente se presentan las mayores y menores demandas, constituyendo estos registros en una herramienta que sirve como base para la toma de decisiones y el manejo integral del recurso hídrico.

Un patrón de consumo se define como un conjunto de factores multiplicadores que representan la variación horaria de la demanda en una red de distribución (Minvivienda, 2017), las variaciones en los consumos por lo general presentan un ciclo de 24 horas, lo que constituye la curva de consumo horaria. Esta curva, se realiza en base a registros históricos recolectados por equipos de medición, el sistema actualmente cuenta con registros de volumen consumido cada mes, sin embargo, no se conoce el consumo horario. Es importante recalcar que el uso del agua en una población es inestable y no siempre presenta el mismo comportamiento. En este caso en particular, el acueducto abastece a una población rural, por lo que el volumen de agua consumida varía de manera significativa no solo desde una perspectiva temporal diaria sino semanal y anual, así, por ejemplo, el consumo para los fines de semana es mayor que los registrados en los días de semana.

El comportamiento general del consumo para una zona residencial, presenta los picos de consumo en las primeras horas de la mañana cuando las personas se alistan para el día, hacen aseo o riegan su jardín, de allí se produce un valle, en el cual las personas están por fuera de casa en su jornada laboral o escolar y de nuevo se presenta un pico en las horas de la tarde al final del día, en las horas de la noche y la madrugada se presenta un valle, lo que muestra el bajo consumo mientras que la mayor parte de la población descansa (Methods).

La Figura 29, representa una curva diurna típica para el área residencial.

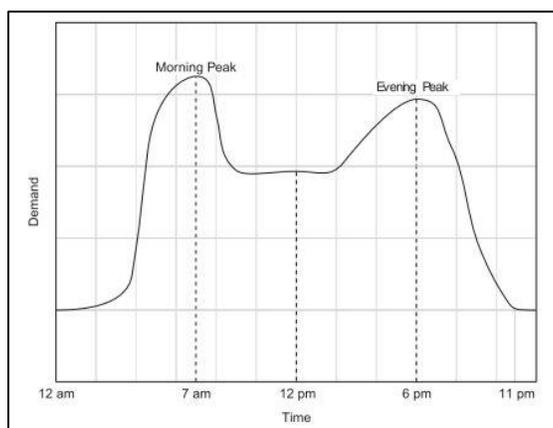


Figura 29. Curva típica de consumo diurno para el sector residencial. Fuente: Advance wáter distribution modeling and managment.

El acueducto aportó información general del comportamiento en el consumo del agua, identificando los mayores caudales de demanda en dos intervalos significativos durante el día, el primero se presenta en horas de la mañana mientras que el segundo pico se presenta entre la tarde y la noche. Por lo que el consumo para esta zona se ajusta de manera acertada a la curva para el sector residencial encontrado en la literatura. Con base en esta información, se proponen valores para crear la curva patrón de consumo correspondiente a los usos domestico residencial e institucional, tomando en consideración el caudal medio.

17.1.1. Uso doméstico residencial

El uso del agua para el sector doméstico residencial, constituye la mayor demanda del sistema, de acuerdo a la población actual se estima un caudal medio diario (Qmd) de 2.07 L/s y un caudal máximo horario (QMH) de 4.31 L/s. a continuación se muestra la curva de consumo creada para el acueducto rural San Isidro.

Tabla 18. Calculo de caudales para el sector residencial.

Doméstico residencial	
Qmd	2.07 L/s
QMD	2.69 L/s
QMH	4.31 L/s

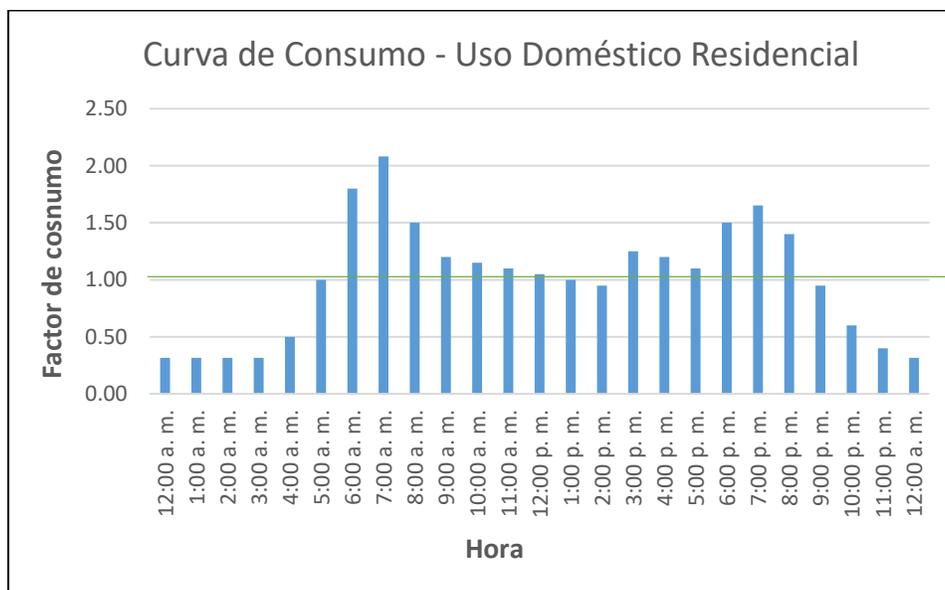


Figura 30. Curva de consumo para uso doméstico residencial.

17.1.2. Uso doméstico institucional

Entre los usuarios del acueducto, se encuentra una escuela ubicada en la vereda San Isidro, la institución ofrece básica primaria por lo que permanecen cerca de 50 personas de manera transitoria, el ingreso de los alumnos y el personal docente es de 8:00 am a 1:30 pm, con dos

descansos, en los cuales se supone un mayor consumo, en las demás horas, se supone consumo para limpieza, alimentación y riego del jardín. La dotación para el lugar es de 35 L/hab*día (concesión de aguas).

Tabla 19. Calculo de caudales para el sector institucional.

Doméstico institucional	
Qmd	0.03 L/s
QMD	0.04 L/s
QMH	0.06 L/s

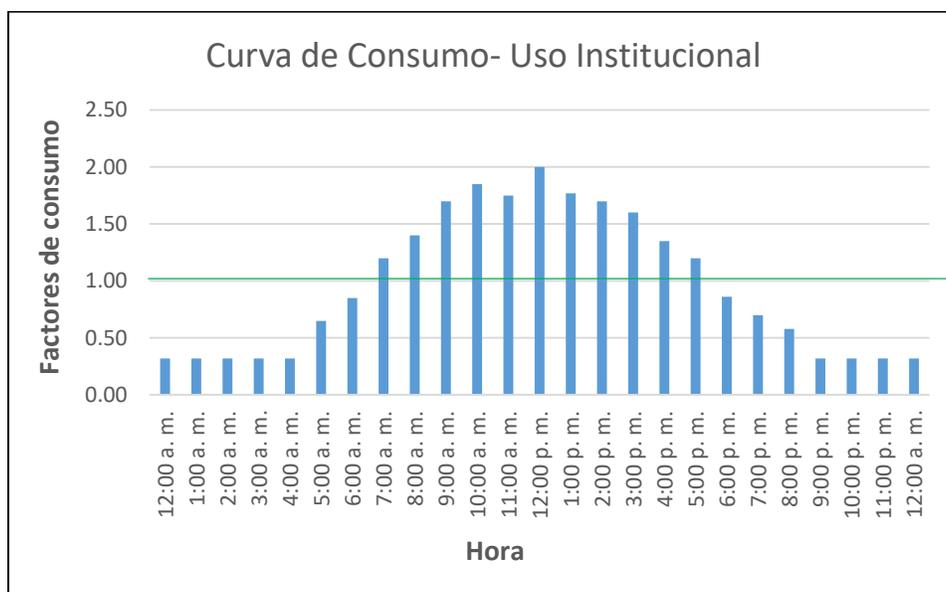


Figura 31. Curva de consumo para uso doméstico institucional.

La simulación se realiza ingresando para cada nodo el caudal medio diario (Qmd), teniendo en cuenta las pérdidas del sistema (13%), cada nodo (usuario) de uso doméstico residencial demanda 0.0064 L/s, 552 L/usuario*día, considerando una densidad poblacional de 4 habitantes/vivienda, cada persona tiene una dotación promedio de 138 L/hab*día.

La demanda de cada nodo es afectada por los factores de mayoración horarios, donde la hora de máximo consumo corresponde al caudal máximo horario (QMH) calculado en base a los factores de mayoración K1 y K2, dados en la resolución 0330.

Los tanques se modelan como depósitos, es decir, fuentes de agua ilimitada, generalmente representan lagos, ríos, o acuíferos, pero debido a que no se conoce en detalle cómo se comporta el nivel de los tanques con el paso del tiempo, se usan los depósitos como fuentes de almacenamiento.

17.2. Identificación de zonas de expansión y evaluación del comportamiento hidráulico

Se realizó una visita al acueducto San Isidro y junto al personal técnico y administrativo del sistema, se identificaron zonas de posible expansión sobre un mapa, posteriormente se procede digitalizar dicha información y realizar los cálculos hidráulicos para la población proyectada.

Entre los sectores que se identifican como posibles zonas de expansión se considera todo el corredor de la vía principal que atraviesa la vereda San Isidro y los límites de las veredas El Sango y El Salado, los alrededores del sector conocido como cuatro esquinas (cerca de la oficina del acueducto) y la parte baja de El Sango, por donde se encuentran ubicadas dos de las VRP. Los alrededores del tanque ubicado en La Porra, pueden ser posibles puntos de expansión, sin embargo, no es un sector que presente problemas de conexión, ya que recientemente se realizó la expansión de la red, sin embargo, cabe anotar que, si esta zona se abastece del tanque de La Porra, y a su vez este es abastecido por el tanque de bombeo, se deberá evaluar la capacidad de los tanques y de la bomba con el fin de conocer la viabilidad de operación a futuro. El siguiente mapa, muestra la identificación de sitios de crecimiento y el nombre con el que se conocen localmente algunas zonas.

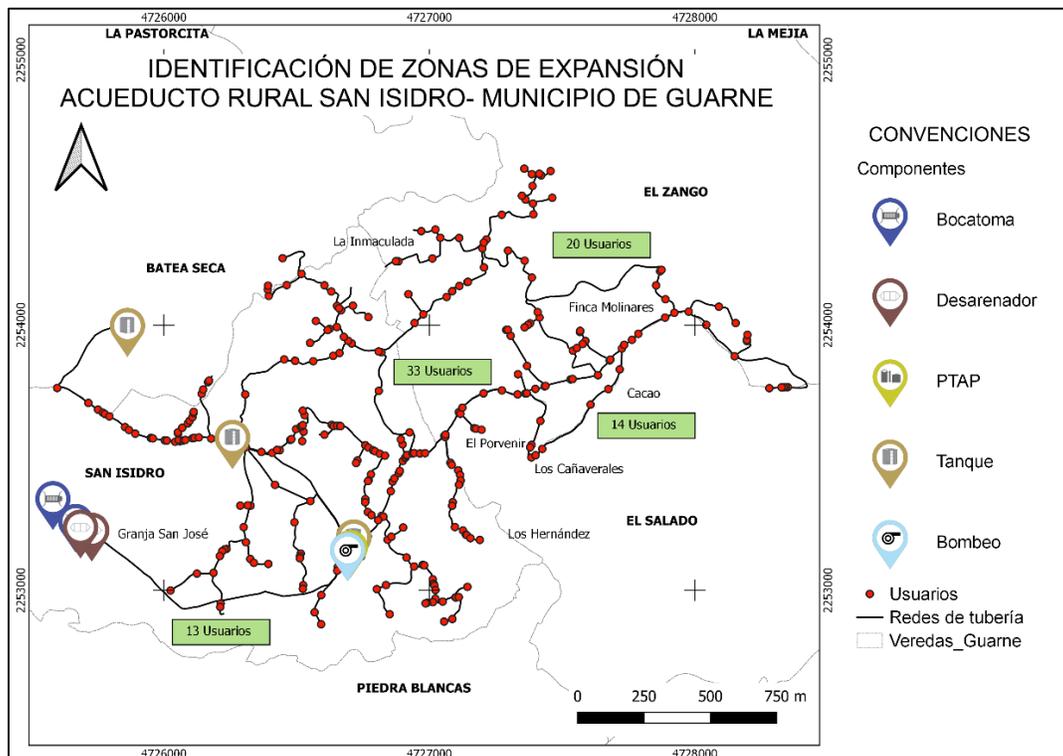


Figura 32. Identificación de sectores de expansión.

De acuerdo a inspecciones visuales o conocimiento acerca de las divisiones catastrales de la zona, se identifican aproximadamente 80 nuevos usuarios. Siguiendo con la densidad poblacional adoptada, se estiman 320 habitantes adicionales, por lo que el acueducto deberá

entrar a evaluar, de acuerdo al perímetro de servicio y las relaciones oferta- demanda de la cuenca abastecedora cual es el límite de usuarios a los que se les prestara el servicio.

Como se mencionó anteriormente, la formación de circuitos en sistemas de acueductos rurales, suele dificultarse por la planimetría y topografía que generalmente caracterizan estas zonas. Este tipo de estructuración es el más conveniente en el funcionamiento hidráulico de las redes de distribución, ya que las tuberías adoptan la configuración de polígono por lo que puede abastecer por distintas rutas y se evita tener puntos extremos muertos en las redes. A pesar de formar circuitos, cabe aclarar que la red continua con la clasificación de red abierta, ya que las mallas están conformadas netamente por tuberías secundarias (CONAGUA, 2019).

El siguiente mapa muestra la posible formación de circuitos en la parte baja del sistema de acueducto.

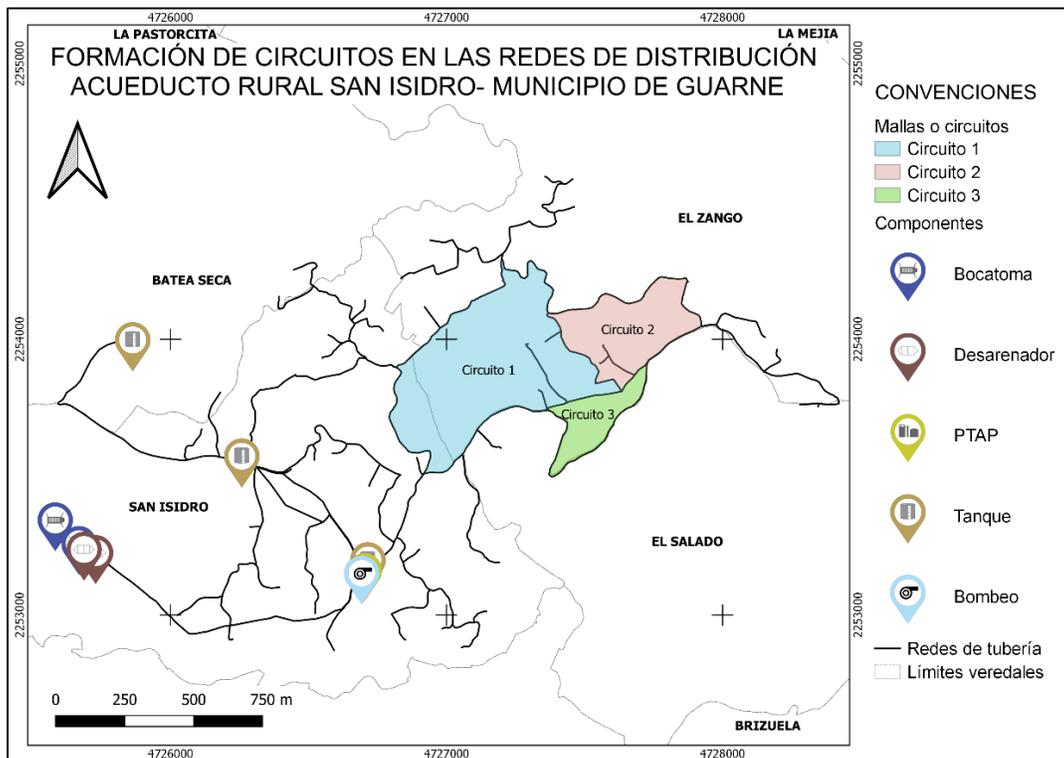


Figura 33. Formación de circuitos en la red de distribución

El circuito 1, se cierra mediante aproximadamente 88 m de tubería en PVC de 1/2". El segundo circuito 591 m de tubería en PVC de 3/4", y el tercer circuito, 260 m de tubería en PVC de 1 1/2".

Se realiza la modelación de la red para conocer el funcionamiento hidráulico de los circuitos y cómo se comporta el sistema con el ingreso de las nuevas demandas. Para la zona del segundo circuito, fue necesario ubicar una VRP de 3/4", controlando la presión a 30 mca, cabe aclarar que esta zona es bastante pendiente, por lo que la distribución de los nuevos usuarios es solo con fines evaluativos de la red, en caso de presentarse parcelación o desarrollo en esta

zona, se deberá evaluar la posibilidad de ubicar elementos de control, de acuerdo a la distribución de los usuarios. La Figura 34, muestra los resultados de la modelación estática para los circuitos de la red con el ingreso de la demanda de los usuarios proyectados.

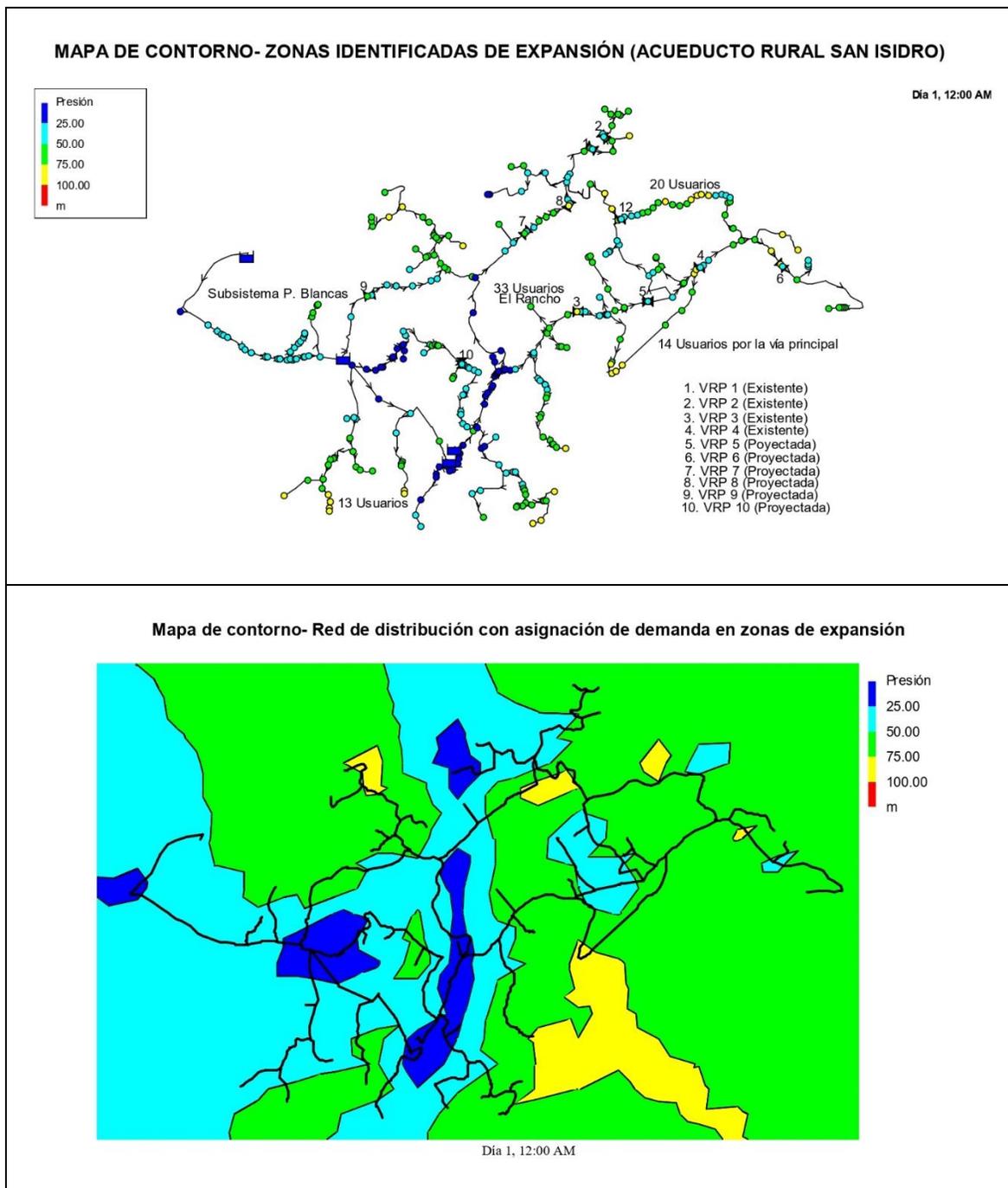


Figura 34. Modelación en periodo estático considerando las zonas de expansión y las VRP propuestas.

En cuanto a la modelación para cada hora del día, no se registran presiones superiores a 90 mca. Sin embargo, si se presentan presiones inferiores a 5 mca en algunas zonas cercanas al tanque La Porra y a los tanques principales, donde las presiones pueden llegar a cero o tomar valores negativos, lo que significa que en ese instante, la red no contiene agua, por lo que en casos extremos puede presentar riesgos de colapso de las tuberías por aplastamiento o zonas con posibilidades altas de cavitación (Empresas Publicas de Medellin, 2013).

El artículo 56 de la Res. 0330, establece que, en proyectos rurales, las líneas de aducción y conducción, deben garantizar una presión dinámica en las viviendas superiores a 5 mca. Por lo anterior, se propone el reemplazo de algunos tramos en las redes de distribución, con tuberías de mayor diámetro, las cuales permitirán regular las presiones en las horas de máximo consumo y de esta forma, cumplir con la normatividad. El primer tramo, tiene una longitud aproximada de 243 metros en el sector de La Porra, actualmente la tubería tiene un diámetro de 1", se propone cambiar el tramo con tubería en PVC de 1 1/2". La red de tubería que conecta con la salida de los tanques en PRFV, es de 2", se propone cambiar un tramo de aproximadamente 231 m a tubería en PVC de 3", lo que aliviara las bajas presiones que se presentan en las horas de mayor consumo para algunos sectores.

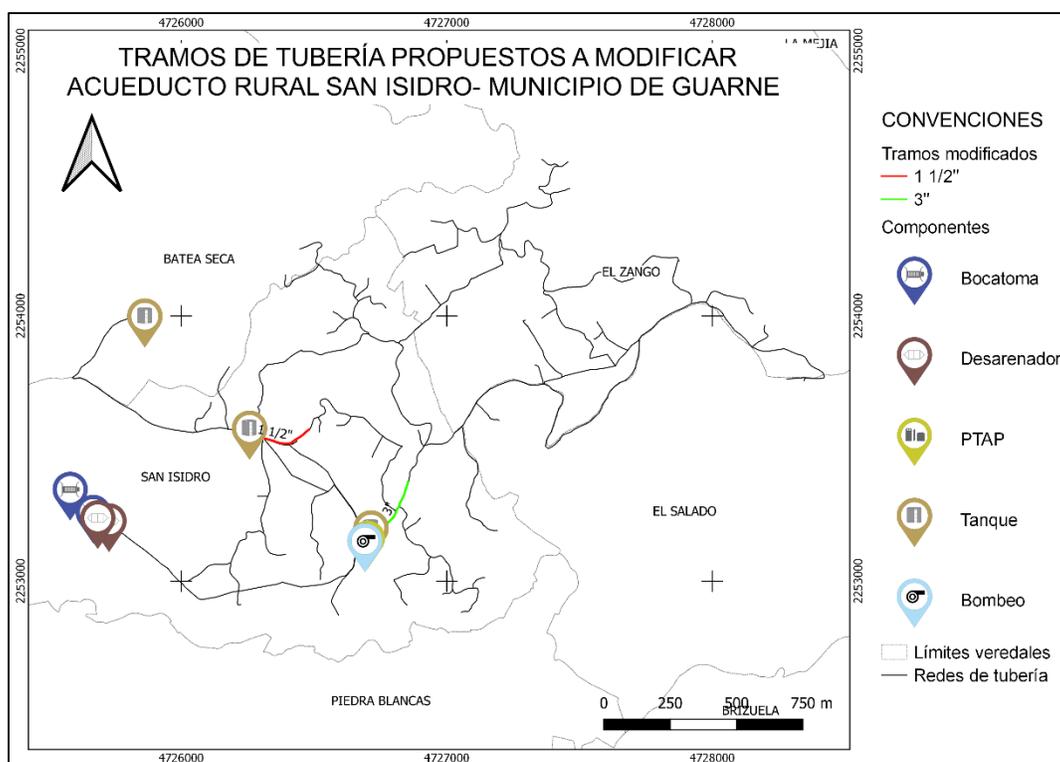


Figura 35. Propuesta modificación en tramos en las redes de distribución.

La simulación de las redes de distribución en periodo extendido para las modificaciones propuestas, muestra que todos los nodos a cualquier hora del día, cuentan con presiones superiores a 3 mca e inferiores a 90 mca, lo que optimiza el funcionamiento de las redes.

Presión y velocidad de flujo en las redes de distribución- Hora de mayor consumo 6:00 am

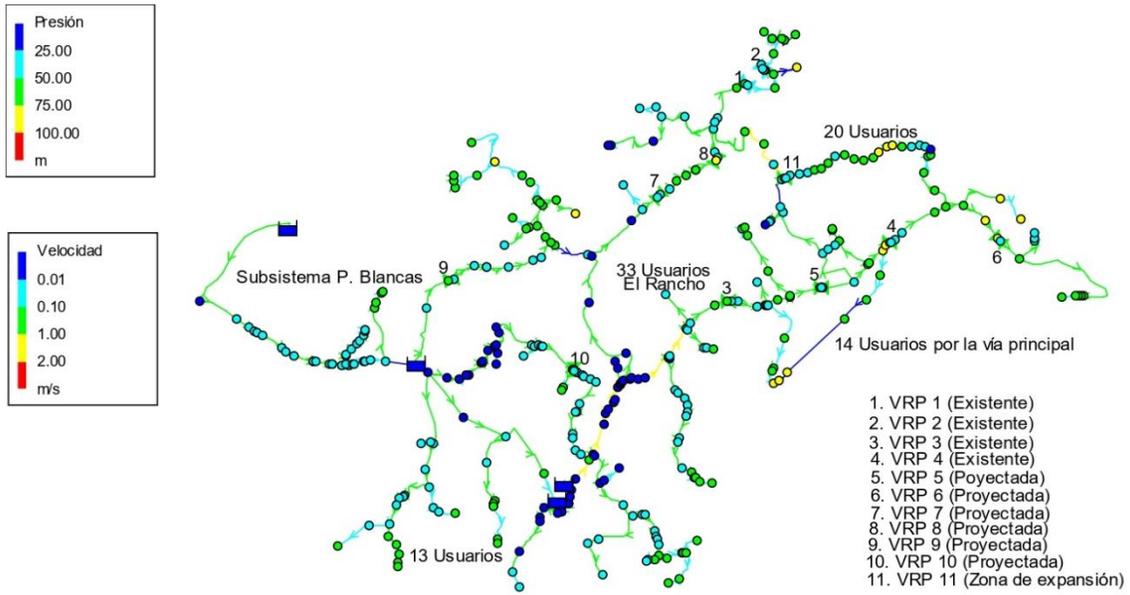


Figura 36. Presión y velocidad en la hora de mayor consumo.

Presión y velocidad de flujo en las redes de distribución- Hora de menor consumo 0:00 am

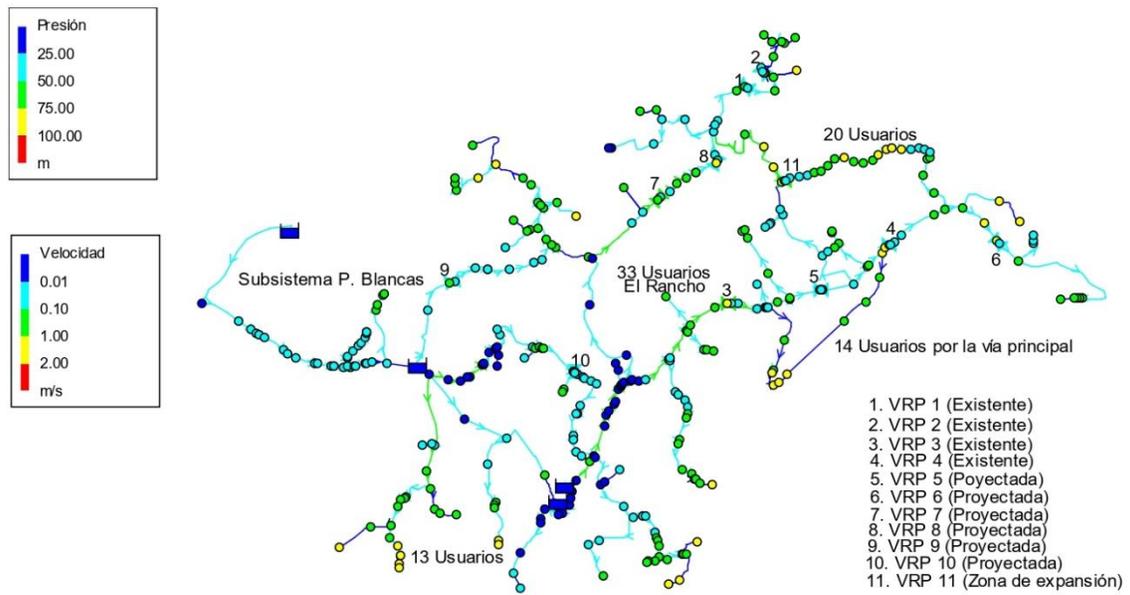


Figura 37. Presión y velocidad en la hora de menor consumo.

17.3. Válvulas de ventosa y de purga en líneas de aducción e impulsión

Las válvulas de purga son utilizadas para la limpieza y descarga, estos accesorios se proyectan en los puntos bajos de la red con el fin de permitir el lavado y la descarga de las mismas. Si el diámetro de la red principal es de 100 mm o mayores, la tubería de desagüe deberá estar entre 1/3 y 1/4 del diámetro de la tubería principal, si son menores, deberá

adoptarse el mismo diámetro. Se debe verificar las condiciones de presión y protección respectiva de la válvula para evitar daño.

Las válvulas de ventosa son accesorios hidráulicos que facilitan la expulsión o admisión de aire en las redes (ventosas de doble efecto). El aire se acumula en las redes durante su funcionamiento y llenado. La admisión de aire, es también necesaria durante las operaciones de descarga de la tubería o cuando el caudal de agua disminuye por causa de rotura, maniobras o de parada de flujo en la tubería (RAS 2000). Los criterios más comunes para la ubicación de estas válvulas son los puntos altos de la red, cambio brusco de pendiente de positiva a negativa, tramos de tubería con pendiente constante y baja (<3%), cada 300 m, a la salida de las VRP, estrechamientos en la tubería y otras zonas donde se considere necesario de acuerdo a los análisis técnicos, el diámetro mínimo de las válvulas de ventosa es de 25 mm. En todo caso, deberá calcularse para las condiciones particulares del proyecto (Res. 0330).

Siguiendo lo establecido en la normativa y de acuerdo con el perfil del terreno para la línea de aducción, se recomienda la instalación de 3 válvulas de purga con diámetro de 3" y dos válvulas de ventosa de diámetro 2" distribuidas de la siguiente manera.

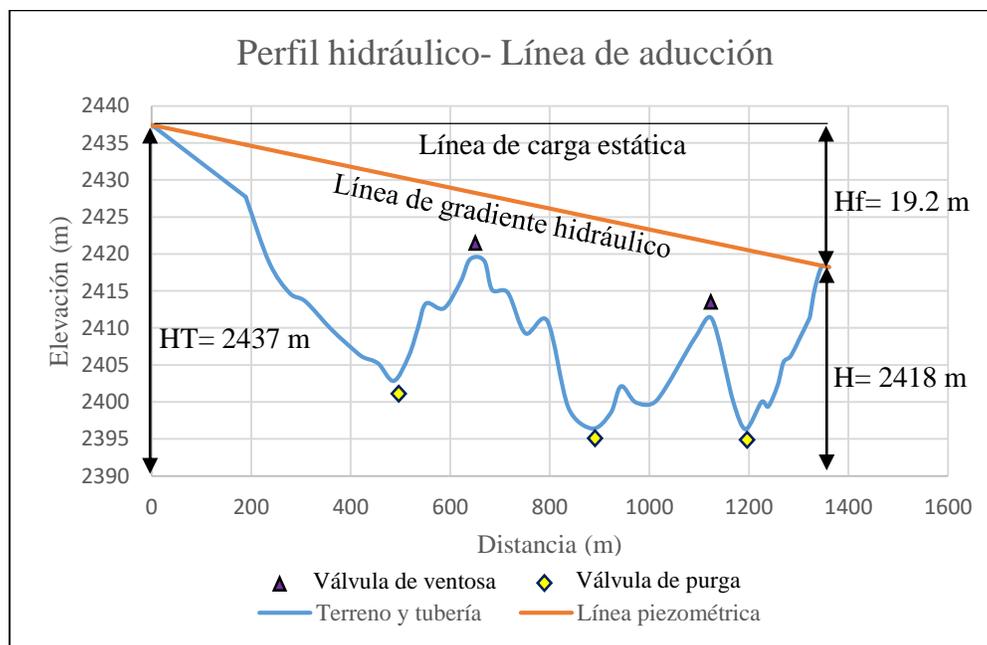


Figura 38. Propuesta de válvulas de ventosa y de purga en la línea de aducción.

En las redes de impulsión, el aire puede ingresar cuando la bomba está en funcionamiento, el aire atrapado en las partes internas es introducido a las redes, las bombas pueden crear vórtices en la aspiración, o en las captaciones, cuando el agua pasa de presión atmosférica a una red cerrada puede aspirar una cantidad de aire en forma de pequeñas burbujas, lo mismo ocurre cuando el agua pasa de una sección parcialmente llena a una totalmente llena, o al aire disuelto en el agua, el cual depende de la presión y de la temperatura. El aire disuelto aumenta con el valor de la presión y disminuye con la temperatura.

Para la línea de impulsión del bombeo, se recomienda la instalación de 3 válvulas de ventosa de 1" de diámetro. Esto siguiendo los criterios dados por la Res. 0330, de longitud y pendiente uniforme, cambio de pendiente y una válvula a la salida de la bomba.

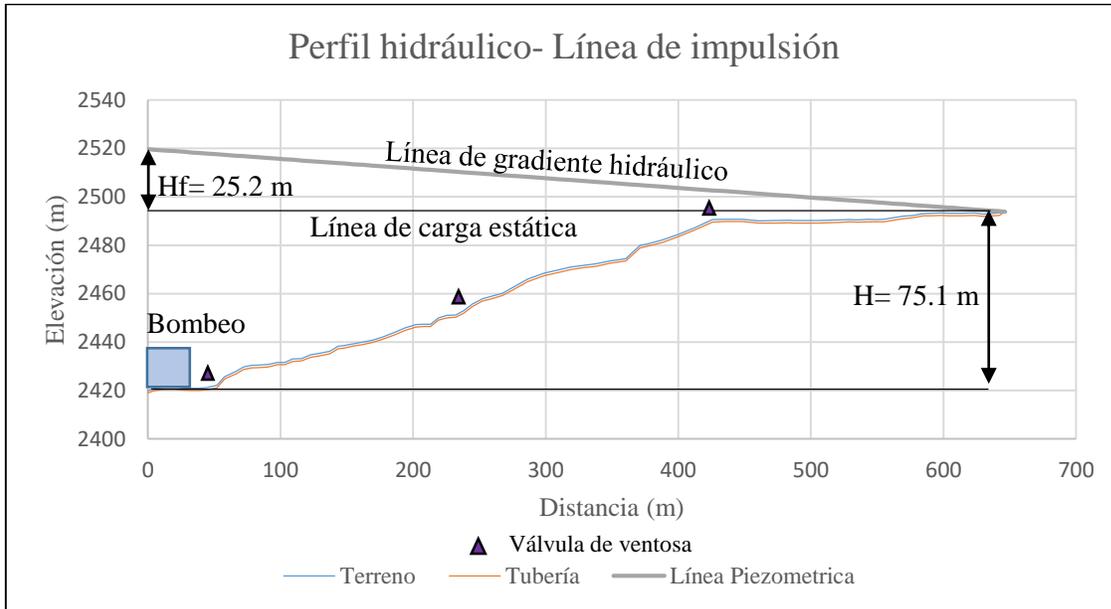


Figura 39. Propuesta de válvulas de ventosa y de purga en la línea de impulsión.

18. Recomendaciones

- Realizar un análisis de la demanda horaria del sistema, que permita crear las curvas de consumo propias del acueducto, considerando tomar mediciones independientes entre semana y los fines de semana.
- Analizar no solo la parte técnica y operacional del acueducto, sino las relaciones oferta demanda de la fuente, de manera que se pueda establecer un límite de usuarios para el acueducto.
- Ubicar los instrumentos de micro medición por fuera de los predios, debido a que en ocasiones es difícil acceder a ellos.
- Es importante verificar la factibilidad de la instalación de las VRP, el número de elementos, accesorios necesarios y su ubicación.
- Enlazar información de peticiones, quejas y reclamos (PQR) de los usuarios con los mapas generados, a fin de identificar sectores problema.
- Realizar las reparaciones respectivas al tanque La Porra, dada la importancia de este tanque dentro del sistema (97 usuarios).
- Evaluar la factibilidad técnica y económica en la instalación de los dispositivos hidráulicos propuestos en las redes de aducción y conducción (17.3).

19. Conclusiones

- La interacción con el personal del acueducto por medio de mapas, resulta ser muy útil para la recolección y verificación de información.
- El uso de herramientas SIG en el acueducto rural San Isidro, resultó de gran utilidad en la generación, procesamiento y consulta de información. Se generaron mapas sobre los componentes y usuarios que apoyan la buena gestión del acueducto y permiten una mejor interacción del personal con el sistema.
- Las modelaciones realizadas en el software EPANET indican que las presiones de servicio en predios cercanos a los tanques de almacenamiento pueden ser bajas en las horas de mayor consumo, mientras que otras zonas están sometidas a grandes presiones. Con el objetivo de optimizar el funcionamiento hidráulico del acueducto se propone la instalación de nuevas válvulas reguladoras de presión (VRP).
- Según las modelaciones, considerando las zonas de expansión, el cambio en los tramos de tubería por redes de mayor diámetro cerca a los tanques La Porra y PRFV, permiten aumentar las presiones de servicio en las horas de mayor consumo.
- Se calcula que, de acuerdo al caudal concesionado para el acueducto sobre la fuente Birimbí, el cual corresponde a 2 L/s, el acueducto puede crecer hasta un máximo de 400 usuarios a 2026 (vigencia de la concesión). Lo anterior, adoptando un consumo de 11 m³ por usuario al mes, estipulado como un consumo promedio por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico(CRA) para la zona de estudio.
- La capacitación al personal técnico y administrativo sobre las herramientas utilizadas, permiten la actualización constante de la información del acueducto, lo que apoya la toma de decisiones.
- Las pérdidas técnicas del sistema para el año 2019 fueron del 13%, lo que refleja su buen funcionamiento, la identificación temprana de sectores problema y la buena gestión del acueducto.

Bibliografía

- (CRA), C. d. (08 de febrero de 2016). *Resolucion CRA 750 de 2016*. Obtenido de <https://cra.gov.co/seccion/acueducto-y-alcantarillado.html>
- Alcaldía de Guarne. (s.f.). *Datos de interes*. Recuperado el 04 de Abril de 2020, de <http://www.guarne-antioquia.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Atahualpa, L. (Octubre de 2016). Evaluación de la capacidad hidráulica de la red de distribución del acueducto de San Francisco de León Cortés. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7390/08-11-16_TFG%20Atahualpa%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Avenza Maps. (s.f.). *How Aveza Map works* . Obtenido de <https://www.avenzamaps.com/maps/how-it-works.html>
- Beltrán Niño, A. L., & Abril Galindo, J. J. (2014). Análisis de la demanda y de la red de distribución de agua en el municipio de Aracataca, Colombia. *Universidad Católica de Colombia*. Bogota D.C. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1757/1/Optimizaci%C3%B3n-Red-de-Distribuci%C3%B3n-Aracataca.pdf>

- Buitrago Puerta, S. A. (Octubre de 2018). Propuesta de implementación de un SIG para la administración y gestión del sistema de acueducto del municipio de Bahía Solano- Chocó. *Universidad Militar Nueva Granada*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/18099>
- CONAGUA. (02 de Enero de 2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. *Diseño de redes de distribución de agua potable (Libro 12)*. Mexico. Obtenido de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-libro12.pdf>
- CONAGUA. (02 de Enero de 2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. *Sistemas de medición del agua: Producción, operación y consumo (Libro 9)*. Mexico. Obtenido de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro9.pdf>
- Consortio POMCAS Oriente Antioqueño. (Septiembre de 2017). POMCA Río negro. *Prospectiva y Zonificación*. Medellín, Antioquia, Colombia. Obtenido de http://www.cornare.gov.co/POMCAS/planes-de-ordenacion/DocumentosFasesNegro/Prospectiva_Zonificacion_NEGRO.pdf
- Cualla, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Santa fé de Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Diaz, D., & Mercado, N. (2016). Gestión técnica de redes de acueducto del municipio de San Juan Nepomuceno Bolívar mediante la implementación de herramientas SIG. *Universidad de Manizales*. Manizales, Colombia. Obtenido de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2886>
- DNP. (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de <https://id.presidencia.gov.co/especiales/190523-PlanNacionalDesarrollo/documentos/BasesPND2018-2022.pdf>
- Empresas Publicas de Medellin. (2013). *Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E. S. P.* Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/normatividad_y_legislacion/agua/Norma_Disenio_Acueducto_2013.pdf
- FAO. (s.f.). *Los bosques y el agua*. Obtenido de <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-and-water/basic-knowledge/es/>
- IDEAM. (s.f.). *Indicadores hídricos*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- IGAC. (2020). *Las nuevas especificaciones técnicas para a cartografía oficial de Colombia*. Obtenido de [https://www.igac.gov.co/es/noticias/las-nuevas-especificaciones-tecnicas-para-la-cartografia-oficial-de-colombia#:~:text=EI%20Instituto%20Geogr%C3%A1fico%20Agust%C3%ADn%20Codazzi%20\(IGAC\)%20expidi%C3%B3%20la%20Resoluci%C3%B3n%20471,terreno%20y%20bases%20d](https://www.igac.gov.co/es/noticias/las-nuevas-especificaciones-tecnicas-para-la-cartografia-oficial-de-colombia#:~:text=EI%20Instituto%20Geogr%C3%A1fico%20Agust%C3%ADn%20Codazzi%20(IGAC)%20expidi%C3%B3%20la%20Resoluci%C3%B3n%20471,terreno%20y%20bases%20d)
- Ingeniería de Fluidos*. (2016). Obtenido de <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>
- Lano Mosquera, J. A. (2017). *Análisis de la incidencia de los cambios fuertes de pendiente en el comportamiento hidráulico de las redes de acueducto. Casos de estudio: comunas Tesorito,*

- Palogrande, Ecoturístico Cerro de oro y la Florida (Villamaría)*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/61107/1/1053814175.2017.pdf>
- Methods, H. (s.f.). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*. Obtenido de <http://docshare01.docshare.tips/files/12604/126049159.pdf>
- Minvivienda. (23 de Noviembre de 2016). Decreto 1898. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/1898%20-%202016.pdf>
- Minvivienda. (08 de Junio de 2017). Reglamento tecnico para el sector de agua potable y saneamiento basico. Bogota D.C, Colombia. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Minvivienda. (septiembre de 2019). *Diagnostico del servicio de acueducto y de otras alternativas de suministro de agua en zonas rurales (Guia metodologica)*. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/Agua_al_Campo/Gu%C3%ADa%20Diagn%C3%B3stico%20Plan%20de%20Gesti%C3%B3n.pdf
- Montoya, C., Loaiza, D., Cruz, C., Torres, P., Escobar, J. C., & Delgado, L. G. (Septiembre de 2009). Propuesta metodológica para localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua en redes de distribución utilizando sistemas de información geográfica. *Facultad de Ingeniería*(49), 129-140. Obtenido de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/15967>
- Morales, F. A. (2015). Abastecimiento de agua para comunidades Rurales. *Universidad tecnica de Machala*, 113-115.
- QGIS. (s.f.). Guía de usuario de QGIS. *Documetación de QGIS 3.10*. Obtenido de https://docs.qgis.org/3.10/es/docs/user_manual/
- Rocha Felices, A. (s.f.). *Hidraulica de tuberias y canales*.
- Rossman, L. A. (Septiembre de 2000). EPANET 2 User's Manual. *Environmental Protection Agency*. Cincinnati, Ohio, EEUU. Obtenido de https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_User_Guide.pdf
- Velasquez Sanchez, J. A., & Osuna Moreno, M. N. (mayo de 2017). Diseño y construccion de un prototipo de clarificador de mato de lodos. Bogotá.
- Zarzosa, N., & Andrés, M. A. (2004). *Sistemas de información geografica (Prácticas con ArcView)* (Vol. 120). Catalunya, España.

Anexos

Anexo 1. Características de los componentes principales.

Simbología	Componente	Descripción	Unidades	Capacidad	Coordenada en X	Coordenada en Y	Elevación (msnm)
	Tanque Piedras Blancas	Almacenamiento	1	50 m ³	4725873	2253984	2521.1
	Tanque La Porra	Almacenamiento	1	90 m ³	4726268	2253562	2493.52
	Tanques PPAL	PRFV	2	70 m ³	4726725	2253186	2413.87
	PTAP	Plantas compactas	2	2 L/s	4726713	2253148	2418.23
	Tanque y caseta	Impulsión y químicos	1	35 m ³	4726703	2253138	2418.68
	Captación 1	Bocatoma 1	1	0.7 L/s	4725592	2253331	2436.83
	Captación 2	Bocatoma 2	1	1.3 L/s	4725679	2253245	2426.78
	Desarenador 1	bocatoma1	1	0.7 L/s	4725739	2253212	2435.96
	Desarenador 2	Bocatoma2	1	1.3 L/s	4725697	2253224	2428.96

Anexo 2. Identificación y geolocalización de Instrumentos de macro medición.

Componente	Nombre	Coordenada en X	Coordenada en Y	Elevación (msnm)
Macro medidor principal	Piedras Blancas	4725870.2	2253997.7	2520.4
Macro medidor Principal	Miro	4726302.5	2253533.0	2492.8
Macro medidor secundario	Senderos	4726514.1	2253616.8	2474.51
Macro medidor Principal	Franklin	4726415.9	2253399.9	2471.6
Macro medidor Secundario	La Escuela	4726819.8	2253281.5	2402.66
Macro medidor Secundario	La Villa	4726745.6	2253145.6	2406.28
Macro medidor Principal	El Altico	4726726.7	2253185.3	2412.5
Macro medidor Los Hernández	Los Hernández	4727065.1	2253553.1	2370.57
Macro medidor Secundario	La Colina	4727065.0	2253592.8	2371.05
Macro medidor Secundario	Libardo	4726943.7	2254008.8	2380
Macro Terciario	Los Ospina	4727229.6	2254366.9	2294.1
Macro medidor	Quebra patas	4727937.9	2254050.2	2210.35
Macro medidor	Pavimentado	4728143.9	2253891.1	2176.18

Componente	Nombre	Coordenada en X	Coordenada en Y	Elevación (msnm)
Macro medidor	Plinio	4726631.8	2253624.7	2444.53
Macro terciario	Oscar	4726921.2	2253109.9	2380.52
Macro medidor Principal	La Porra	4726235.9	2253563.1	2490.01
Macro medidor Principal	Noé	4726289.2	2253608.6	2492
Macro medidor Principal	Leonel	4726293.2	2253538.5	2493.19
Macro medidor Secundario	El Monte	4727542.2	2253800.3	2280.83
Macro medidor	Cacao	4727724.5	2253912.4	2239.71
Medidor	Bombeo	4726706.0	2253155.7	2421.36

Anexo 3. Identificación y geolocalización de puntos de muestreo de calidad del agua.

Código	Coordenada en X	Coordenada en Y	Elevación (msnm)
0001 (inicio)	4726865	2253385	2400.44
0002 (medio)	4727396	2253764	2316.39
0003 (final)	4728150	2253886	2174
0004 (final)	4726617	2253979	2399.12

Anexo 4. Geolocalización de usuarios

Los usuarios se identifican por el código de los instrumentos de micro medición. En el acueducto, actualmente la red esta sectorizada en cuatro subsistemas, que corresponden a los tanques de almacenamiento que abastecen a cada sector. Estos son:

- El tanque de impulsión que alimenta el tanque La Porra, abastece al sector La Villa, que presta el servicio a 10 usuarios.
- El tanque La Porra, abastece a 97 usuarios.
- El tanque Piedras Blancas pertenece a otro sistema, sin embargo, el acueducto San Isidro, es uno de sus usuarios, el cual adquiere agua en bloque, es decir, volúmenes de agua comprados a este acueducto con el fin de abastecer el sector perteneciente a la parte alta de la vereda San Isidro, debido a que la conexión con el tanque ubicado en La Porra imposibilita un servicio de calidad para estos usuarios. Abastece aproximadamente a 42 usuarios.
- Los tanques en PRFV, abastecen aproximadamente a 174 usuarios. Al contar con 2 unidades, se garantiza en gran medida la continuidad del servicio en situaciones de lavado o reparación de alguna de las unidades, lo que generalmente se realiza una vez al mes.

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2051	4726596.759	2252875.142	La Villa	Bombeo	2381.09
2057	4726566.708	2252917.128	La Villa	Bombeo	2388.6
2055	4726598.24	2252978.185	La Villa	Bombeo	2392.65
2098	4726645.669	2253071.343	La Villa	Bombeo	2401.64
2096	4726658.268	2253088.683	La Villa	Bombeo	2404.87
2019	4726711.452	2253101.888	La Villa	Bombeo	2409.75
2034	4726725.843	2253102.742	La Villa	Bombeo	2408.36
2125	4726654.751	2253125.014	La Villa	Bombeo	2409.36
2083	4726750.492	2253127.511	La Villa	Bombeo	2404.17
2159	4726751.985	2253131.191	La Villa	Bombeo	2403.39
2212	4726202.498	2252934.15	Miro	La Porra	2407.8
2242	4726202.498	2252934.15	Miro	La Porra	2407.8
2273	4726202.498	2252934.15	Miro	La Porra	2407.8
2064	4726222.866	2252950.829	Miro	La Porra	2410.59
1023	4726522.446	2252996.418	Franklin	La Porra	2411.3
2084	4726002.767	2253018.417	Miro	La Porra	2407.42
2053	4726525.139	2253020.001	Franklin	La Porra	2417.53
1022	4726120.12	2253027.263	Miro	La Porra	2428.15
1021	4726127.576	2253043.818	Miro	La Porra	2428.85
2070	4726400.638	2253098.565	Miro	La Porra	2418.82
2199	4726340.17	2253105.302	Miro	La Porra	2430.01
2176	4726332.501	2253121.745	Miro	La Porra	2431.78
1047	4726530.067	2253125.972	Franklin	La Porra	2430.49
2225	4726518.639	2253127.685	Franklin	La Porra	2430.02
2047	4726707.885	2253127.712	Franklin	La Porra	2415.85
2011	4726513.298	2253129.369	Franklin	La Porra	2431.07
1020	4726210.433	2253129.88	Miro	La Porra	2433.46
2191	4726210.433	2253129.88	Miro	La Porra	2433.46
1024	4726515.19	2253139.315	Franklin	La Porra	2431.04
2274	4726216.612	2253149.391	Miro	La Porra	2431.14
1019	4726240.048	2253151.492	Miro	La Porra	2430.02
2202	4726224.781	2253160.597	Miro	La Porra	2432.62
2152	4726670.339	2253223.008	Franklin	La Porra	2430.76
2178	4726307.222	2253236.707	Miro	La Porra	2440.89
2179	4726307.222	2253236.707	Miro	La Porra	2440.89
1026	4726497.109	2253255.349	Franklin	La Porra	2444.33
2122	4726780.85	2253306.544	Leonel	La Porra	2409.43
1018	4726284.536	2253314.974	Miro	La Porra	2453.61

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
1025	4726315.365	2253320.358	Miro	La Porra	2452.45
2165	4726283.459	2253321.246	Miro	La Porra	2454.45
2156	4726742.571	2253324.79	Leonel	La Porra	2415.27
2115	4726765.705	2253341.271	Leonel	La Porra	2415.27
1017	4726417.171	2253396.192	Franklin	La Porra	2470.88
1045	4726775.047	2253405.745	Leonel	La Porra	2422.44
1043	4726772.981	2253436.908	Leonel	La Porra	2420.9
2144	4726720.425	2253478.448	Leonel	La Porra	2428.29
1050	4726731.527	2253485.953	Leonel	La Porra	2427.49
1015	4726365.479	2253503.537	Leonel	La Porra	2490
2198	4726814.314	2253518.558	Leonel	La Porra	2417.66
1039	4726763.445	2253526.725	Leonel	La Porra	2424.46
1027	4726436.79	2253527.533	Leonel	La Porra	2490.01
2177	4726788.544	2253529.556	Leonel	La Porra	2420.79
1001	4726796.669	2253531.545	Leonel	La Porra	2420.01
1046	4726425.928	2253531.824	Leonel	La Porra	2488.8
1038	4726762.269	2253551.063	Leonel	La Porra	2422.49
2214	4726520.698	2253563.082	Leonel	La Porra	2473.28
1028	4726482.155	2253564.554	Leonel	La Porra	2481.28
2255	4726479.236	2253571.204	Leonel	La Porra	2483.42
2256	4726479.236	2253571.204	Leonel	La Porra	2483.42
1029	4726475.795	2253570.349	Leonel	La Porra	2482.06
2118	4726475.795	2253570.349	Leonel	La Porra	2482.06
2275	4726602.297	2253578.364	Leonel	La Porra	2449.5
2062	4726526.031	2253598.634	Leonel	La Porra	2475.36
2154	4726496.381	2253608.359	Leonel	La Porra	2477.71
1030	4726517.453	2253617.845	Leonel	La Porra	2474.51
1031	4726518.011	2253618.764	Leonel	La Porra	2474.51
1032	4726518.011	2253618.764	Leonel	La Porra	2474.51
1037	4726665.019	2253619.359	Leonel	La Porra	2438.62
2117	4726508.838	2253317.415	Leonel	La Porra	2440.01
1034	4726523.013	2253623.533	Leonel	La Porra	2472.36
2027	4726630.549	2253623.947	Leonel	La Porra	2445.95
1035	4726663.203	2253625.451	Leonel	La Porra	2438.62
1036	4726663.203	2253625.451	Leonel	La Porra	2438.62
1033	4726529.808	2253660.717	Leonel	La Porra	2467.06
1044	4726522.902	2253677.914	Leonel	La Porra	2461.74
2160	4726267.362	2253739.218	Noé	La Porra	2453.94

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2240	4726493.36	2253866.447	Noé	La Porra	2420.22
2241	4726493.36	2253866.447	Noé	La Porra	2420.22
2166	4726494.654	2253866.994	Noé	La Porra	2420.22
2239	4726560.876	2253868.155	Noé	La Porra	2412.35
2220	4726673.643	2253882.922	Noé	La Porra	2415.26
2221	4726636.772	2253886.783	Noé	La Porra	2413.94
2044	4726808.561	2253901.27	Noé	La Porra	2406.83
2187	4726547.889	2253930.154	Noé	La Porra	2409.56
2188	4726547.889	2253930.154	Noé	La Porra	2409.56
2238	4726547.889	2253930.154	Noé	La Porra	2409.56
2174	4726693.657	2253941.631	Noé	La Porra	2398.96
2145	4726677.679	2253956.269	Noé	La Porra	2397.61
2072	4726614.354	2253982.56	Noé	La Porra	2398.73
2168	4726783.656	2254017.337	Noé	La Porra	2379.97
2210	4726779.428	2254020.306	Noé	La Porra	2379.11
2146	4726572.323	2254026.447	Noé	La Porra	2401.1
2157	4726738.057	2253959.247	Noé	La Porra	2399.51
2158	4726738.057	2253959.247	Noé	La Porra	2399.51
2213	4726660.857	2254065.292	Noé	La Porra	2398.65
2170	4726653.68	2254068.829	Noé	La Porra	2399.41
2167	4726713.282	2254074.261	Noé	La Porra	2387.36
2233	4726392.119	2254104.538	Noé	La Porra	2396.26
2171	4726629.393	2254120.374	Noé	La Porra	2390.28
2230	4726386.54	2254133.874	Noé	La Porra	2391.69
2169	4726707.871	2254139.174	Noé	La Porra	2380.05
2193	4726598.902	2254147.432	Noé	La Porra	2385.44
2237	4726462.431	2254151.58	Noé	La Porra	2381.76
2234	4726384.048	2254152.873	Noé	La Porra	2394.76
2235	4726384.048	2254152.873	Noé	La Porra	2394.76
2216	4726440.568	2254247.539	Noé	La Porra	2390.12
2217	4726440.568	2254247.539	Noé	La Porra	2390.12
1009	4726041.844	2253557.975	La porra	Piedras Blancas	2482.38
1006	4726002.21	2253562.587	La porra	Piedras Blancas	2481.53
1007	4726010.334	2253564.392	La porra	Piedras Blancas	2481.75
2196	4726010.71	2253565.865	La porra	Piedras Blancas	2481.75
1040	4726050.903	2253562.356	La porra	Piedras Blancas	2482.92
2227	4726072.705	2253570.18	La porra	Piedras Blancas	2483.68
2245	4726080.088	2253571.251	La porra	Piedras Blancas	2483.78

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2203	4725951.164	2253572.415	La porra	Piedras Blancas	2482.41
1014	4726107.393	2253572.596	La porra	Piedras Blancas	2483.78
2258	4726131.772	2253579.301	La porra	Piedras Blancas	2482.88
2185	4726113.334	2253580.679	La porra	Piedras Blancas	2483.85
2257	4726113.334	2253580.679	La porra	Piedras Blancas	2483.85
1008	4725959.323	2253581.593	La porra	Piedras Blancas	2481.78
1005	4725923.75	2253586.923	La porra	Piedras Blancas	2483.77
2192	4725951.228	2253586.056	La porra	Piedras Blancas	2481.89
1010	4726053.071	2253591.656	La porra	Piedras Blancas	2482
2204	4726052.181	2253598.481	La porra	Piedras Blancas	2481.77
2232	4725901.343	2253607.122	La porra	Piedras Blancas	2484.68
2201	4726068.861	2253615.177	La porra	Piedras Blancas	2480.08
1004	4725879.656	2253623.631	La porra	Piedras Blancas	2486.23
2259	4725864.925	2253628.863	La porra	Piedras Blancas	2486.5
1042	4726089.42	2253633.144	La porra	Piedras Blancas	2479.37
2056	4726089.42	2253633.144	La porra	Piedras Blancas	2479.37
2197	4726089.42	2253633.144	La porra	Piedras Blancas	2479.37
1011	4726095.906	2253639.565	La porra	Piedras Blancas	2478.14
2244	4726095.906	2253639.565	La porra	Piedras Blancas	2478.14
2155	4726108.698	2253653.33	La porra	Piedras Blancas	2477.63
2182	4726111.542	2253669.723	La porra	Piedras Blancas	2472.75
1041	4726111.924	2253672.486	La porra	Piedras Blancas	2472.75
2194	4726113.035	2253673.218	La porra	Piedras Blancas	2472.75
2195	4726113.035	2253673.218	La porra	Piedras Blancas	2472.75
1003	4725804.454	2253673.759	La porra	Piedras Blancas	2489.86
2183	4725787.89	2253681.396	La porra	Piedras Blancas	2489.49
1048	4725778.67	2253681.993	La porra	Piedras Blancas	2488.16
1002	4725775.552	2253685.694	La porra	Piedras Blancas	2484.99
1049	4725727.752	2253718.733	La porra	Piedras Blancas	2483.46
2102	4726142.133	2253741.654	La porra	Piedras Blancas	2463.89
2161	4726142.133	2253741.654	La porra	Piedras Blancas	2463.89
2246	4725598.228	2253755.684	La porra	Piedras Blancas	2498.96
1013	4726147.383	2253759.695	La porra	Piedras Blancas	2464.14
1012	4726166.32	2253785.781	La porra	Piedras Blancas	2463.53
2163	4726169.305	2253792.772	La porra	Piedras Blancas	2462.27
2211	4727055.155	2252882.748	La escuela	PPAL	2338.58
2035	4727086.189	2252892.555	La escuela	PPAL	2338.42
2058	4726852.562	2252907.852	La escuela	PPAL	2356.35

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2038	4726854.426	2252911.898	La escuela	PPAL	2356.35
2020	4726854.058	2252912.084	La escuela	PPAL	2356.35
2063	4726989.991	2252949.785	La escuela	PPAL	2358.12
2005	4726984.845	2252953.68	La escuela	PPAL	2358.63
2092	4727050.886	2252955.397	La escuela	PPAL	2350
2074	4727012.892	2252955.945	La escuela	PPAL	2355.1
2095	4727100.038	2252973.967	La escuela	PPAL	2347.43
2048	4727110.372	2252975.024	La escuela	PPAL	2341.8
2107	4727018.077	2252999.239	La escuela	PPAL	2358.65
2089	4726799.35	2253005.802	La escuela	PPAL	2372.49
2091	4727015.942	2253016.024	La escuela	PPAL	2360.16
2094	4727144.149	2253018.922	La escuela	PPAL	2332.97
2103	4726837.618	2253024.239	La escuela	PPAL	2369.96
2054	4727017.464	2253025.787	La escuela	PPAL	2361.55
2135	4727010.349	2253042.411	La escuela	PPAL	2367.65
2093	4726970.927	2253092.184	La escuela	PPAL	2379.42
2097	4726989.117	2253116.246	La escuela	PPAL	2377.55
2111	4726916.293	2253123.41	La escuela	PPAL	2380.47
2060	4727215.547	2253188.071	Los Hernández	PPAL	2331.17
2206	4727139.113	2253195.14	Los Hernández	PPAL	2342.85
2018	4727154.363	2253198.107	Los Hernández	PPAL	2340.38
2010	4726856.542	2253203.879	La escuela	PPAL	2389.17
2180	4727141.111	2253203.992	Los Hernández	PPAL	2342.87
2109	4726765.063	2253205.417	El altico	PPAL	2404.99
2143	4727125.999	2253226.063	Los Hernández	PPAL	2345.83
2045	4727095.677	2253238.424	Los Hernández	PPAL	2349.83
2003	4726906.889	2253241.246	La escuela	PPAL	2386.66
2029	4726803.625	2253247.08	Leonel	PPAL	2403.74
2128	4726770.844	2253257.926	Leonel	PPAL	2410.04
2088	4726827.571	2253279.226	La escuela	PPAL	2401.87
2207	4727090.105	2253318.938	Los Hernández	PPAL	2351.06
2124	4727088.682	2253332.729	Los Hernández	PPAL	2352.12
2138	4726856.238	2253373.655	El altico	PPAL	2403.85
2052	4727114.914	2253396.785	Los Hernández	PPAL	2360.88
2127	4726818.192	2253402.223	Leonel	PPAL	2416.29
2040	4726861.023	2253410.5	El altico	PPAL	2400.05
2260	4726861.023	2253410.5	El altico	PPAL	2400.05
2184	4727118.357	2253414.552	Los Hernández	PPAL	2362.65

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2041	4726872.137	2253420.586	El altico	PPAL	2399.98
2071	4727123.899	2253436.297	Los Hernández	PPAL	2361.77
2228	4727123.899	2253436.297	Los Hernández	PPAL	2361.77
2028	4726888.823	2253438.573	El altico	PPAL	2399.06
2039	4726888.823	2253438.573	El altico	PPAL	2399.06
2042	4726888.823	2253438.573	El altico	PPAL	2399.06
2226	4726896.632	2253451.808	El altico	PPAL	2396.12
2002	4727108.413	2253453.066	Los Hernández	PPAL	2363.51
2148	4727108.413	2253453.066	Los Hernández	PPAL	2363.51
2231	4727085.079	2253475.896	Los Hernández	PPAL	2366.53
2104	4727079.458	2253482.308	Los Hernández	PPAL	2367.43
2105	4726897.758	2253494.938	El altico	PPAL	2400.48
2008	4726981.296	2253491.225	El altico	PPAL	2389.13
2132	4726982.043	2253493.249	El altico	PPAL	2387.9
2073	4726981.495	2253494.358	El altico	PPAL	2387.9
2153	4727383.548	2253498.491	La colina	PPAL	2285.26
2123	4726895.975	2253508.034	El altico	PPAL	2398.52
2247	4726895.975	2253508.034	El altico	PPAL	2398.52
2126	4726905.372	2253505.778	El altico	PPAL	2399.99
2119	4726959.041	2253504.602	El altico	PPAL	2390.6
2120	4727401.087	2253506.077	La colina	PPAL	2283.86
2121	4727401.087	2253506.077	La colina	PPAL	2283.86
2110	4726938.215	2253508.203	El altico	PPAL	2393.47
2114	4726982.494	2253510.575	El altico	PPAL	2387.86
2190	4727428.564	2253530.16	La colina	PPAL	2281.99
2209	4727374.239	2253540.945	La colina	PPAL	2293.22
2164	4727389.739	2253545.232	La colina	PPAL	2293.47
2085	4726898.76	2253550.971	El altico	PPAL	2400.01
2004	4726888.515	2253568.716	El altico	PPAL	2400.53
2022	4727066.006	2253578.425	El altico	PPAL	2372.45
2059	4727067.8	2253586.044	El altico	PPAL	2371.7
2080	4726921.664	2253596.763	El altico	PPAL	2391.21
2082	4726921.664	2253596.763	El altico	PPAL	2391.21
2030	4727175.263	2253604.372	La colina	PPAL	2349.83
2218	4727196.346	2253606.107	La colina	PPAL	2344.74
2219	4727196.346	2253606.107	La colina	PPAL	2344.74
2222	4727196.346	2253606.107	La colina	PPAL	2344.74
2223	4727196.346	2253606.107	La colina	PPAL	2344.74

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2224	4727196.346	2253606.107	La colina	PPAL	2344.74
2236	4727196.346	2253606.107	La colina	PPAL	2344.74
2050	4727167.634	2253607.432	La colina	PPAL	2350.77
2087	4727423.199	2253637.91	La colina	PPAL	2305.31
2006	4727115.453	2253664.718	La colina	PPAL	2358.19
2081	4727119.827	2253692.406	La colina	PPAL	2354
2173	4727612.774	2253695.708	La colina	PPAL	2257.37
2075	4727361.947	2253738.152	La colina	PPAL	2321.63
2076	4727361.947	2253738.152	La colina	PPAL	2321.63
2049	4727204.495	2253740.256	La colina	PPAL	2340.32
2014	4727332.376	2253744.925	La colina	PPAL	2327.43
2140	4727683.491	2253751.719	La colina	PPAL	2252.29
2046	4728280.111	2253752.209	La colina	PPAL	2165.5
2077	4726809.15	2253752.692	El altico	PPAL	2403.33
2065	4727275.601	2253760.128	La colina	PPAL	2331.77
2106	4728346.05	2253764.837	La colina	PPAL	2163.4
2189	4728346.05	2253764.837	La colina	PPAL	2163.4
2061	4727399.993	2253765.017	La colina	PPAL	2315.48
2129	4727437.094	2253770.926	La colina	PPAL	2310.4
2251	4728333.833	2253771.477	La colina	PPAL	2163.76
2252	4728333.833	2253771.477	La colina	PPAL	2163.76
2253	4728333.833	2253771.477	La colina	PPAL	2163.76
2068	4728325.57	2253771.494	La colina	PPAL	2164
2037	4728342.098	2253771.791	La colina	PPAL	2163.47
2099	4728342.098	2253771.791	La colina	PPAL	2163.47
2113	4728342.098	2253771.791	La colina	PPAL	2163.47
2100	4727542.506	2253790.521	La colina	PPAL	2280.29
2175	4727542.506	2253790.521	La colina	PPAL	2280.29
2130	4727533.47	2253790.932	La colina	PPAL	2281.68
2086	4727543.894	2253791.393	La colina	PPAL	2280.29
2043	4727329.773	2253815.673	La colina	PPAL	2324.53
2101	4727327.762	2253819.369	La colina	PPAL	2323.89
2017	4727329.612	2253820.65	La colina	PPAL	2323.89
2139	4727725.815	2253832.436	La colina	PPAL	2245.66
2141	4727725.815	2253832.436	La colina	PPAL	2245.66
2090	4727380.673	2253853.222	La colina	PPAL	2307.98
2112	4727677.128	2253868.364	La colina	PPAL	2253.37
2007	4727733.582	2253904.33	La colina	PPAL	2238.72

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2078	4727538.298	2253910.069	La colina	PPAL	2274.7
2025	4727555.068	2253914.354	La colina	PPAL	2272.31
2031	4727576.686	2253929.302	La colina	PPAL	2267.32
2142	4728191.041	2253935.818	La colina	PPAL	2177.22
2067	4728185.763	2253941.12	La colina	PPAL	2177.89
2012	4727762.62	2253945.191	La colina	PPAL	2232.94
2108	4727320.39	2253954.913	La colina	PPAL	2312.11
2069	4728172.931	2253969.921	La colina	PPAL	2185.85
2036	4727784.764	2253970.037	La colina	PPAL	2230.51
2249	4727565.858	2253974.3	La colina	PPAL	2259.35
2248	4727567.392	2253979.125	La colina	PPAL	2258.7
2250	4727567.392	2253979.125	La colina	PPAL	2258.7
2026	4727288.298	2253984.274	La colina	PPAL	2309.52
2137	4727298.977	2253990.097	La colina	PPAL	2307.93
2172	4727358.153	2253991.753	La colina	PPAL	2292.64
2033	4727374.924	2253996.038	La colina	PPAL	2289.99
2009	4727384.325	2253998.306	La colina	PPAL	2288.86
2015	4728042.428	2254001.812	La colina	PPAL	2194.64
2016	4728153.173	2254006.343	La colina	PPAL	2197.06
2013	4726940.767	2254009.405	Libardo	PPAL	2379.22
2181	4727887.23	2254028.95	La colina	PPAL	2215.18
2136	4727404.358	2254050.021	La colina	PPAL	2278.91
2001	4728090.548	2254072.257	La colina	PPAL	2196.5
2079	4727197.067	2254078.734	Libardo	PPAL	2314
2023	4727888.87	2254098.206	La colina	PPAL	2201.5
2208	4727888.87	2254098.206	La colina	PPAL	2201.5
2116	4726916.023	2254123.274	Libardo	PPAL	2352.01
2243	4727084.164	2254132.329	Libardo	PPAL	2331.74
2024	4727853.518	2254150.355	La colina	PPAL	2202.86
2229	4727384.696	2254158.649	Libardo	PPAL	2266.72
2066	4727142.908	2254162.924	Libardo	PPAL	2321.77
2215	4727145.18	2254163.457	Libardo	PPAL	2321.77
2021	4727877.2	2254204.991	La colina	PPAL	2208.08
2032	4727873.897	2254208.694	La colina	PPAL	2208.39
2205	4727205.327	2254218.115	Libardo	PPAL	2299.36
2200	4726884.51	2254235.906	Libardo	PPAL	2327.19
2150	4726873.858	2254242.789	Libardo	PPAL	2325.19
2134	4727358.648	2254243.676	Libardo	PPAL	2263.85

Código	Coordenadas en X	Coordenadas en Y	Macro medidor	Sector	Elevación (msnm)
2133	4727008.487	2254256.994	Libardo	PPAL	2313.96
2162	4727298.292	2254273.421	Libardo	PPAL	2274.8
2149	4727214.86	2254322.958	Libardo	PPAL	2292.67
2131	4727108.102	2254344.113	Libardo	PPAL	2289.13
2186	4727542.506	2253790.521	Libardo	PPAL	2293.12
2254	4726972.492	2254374.258	Libardo	PPAL	2286.96
2263	4727272.479	2254416.329	Libardo	PPAL	2285.68
2267	4727391.268	2254417.611	Libardo	PPAL	2255.08
2265	4727360.332	2254467.528	Libardo	PPAL	2244.67
2266	4727462.023	2254480.689	Libardo	PPAL	2241.62
2261	4727345.146	2254493.592	Libardo	PPAL	2241.26
2268	4727345.146	2254493.592	Libardo	PPAL	2241.26
2269	4727390.665	2254524.345	Libardo	PPAL	2226.45
2271	4727385.531	2254569.901	Libardo	PPAL	2215.2
2262	4727410.47	2254578.81	Libardo	PPAL	2215.13
2264	4727456.191	2254581.505	Libardo	PPAL	2210.15
2272	4727456.191	2254581.505	Libardo	PPAL	2210.15
2151	4727357.041	2254590.681	Libardo	PPAL	2210.6
2270	4727357.041	2254590.681	Libardo	PPAL	2210.6

Anexo 5. Modelación hidráulica (Línea de aducción).

Los términos registrados en la tabla, se describen a continuación.

L: Longitud acumulada (m)

Φ: Diámetro de la tubería (m)

Q: Caudal que circula por la red (m³/s)

V: Velocidad de flujo (m/s)

H_f: pérdida de energía (m)

P min: Presión dinámica (m)

P máx: Presión estática (m)

Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	H _f (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
Bocatoma-desarenador	188.80	80.42	0.0056	1.10	2.6640	2437.4	2427.7	2437.4	2434.8	0	9.73
Desarenador-A	235.44	80.42	0.0056	1.10	0.6581	2427.7	2418.9	2434.8	2434.1	7.07	18.51
A-B	276.67	80.42	0.0056	1.10	0.5818	2418.9	2414.7	2434.1	2433.5	15.19	22.7
B-C	309.02	80.42	0.0056	1.10	0.4564	2414.7	2413.6	2433.5	2433.1	18.8	23.87

Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
C-D	361.55	80.42	0.0056	1.10	0.7413	2413.6	2409.8	2433.1	2432.3	19.51	27.68
D-E	411.29	80.42	0.0056	1.10	0.7018	2409.8	2406.7	2432.3	2431.6	22.58	30.72
E-F	425.16	80.42	0.0056	1.10	0.1958	2406.7	2406	2431.6	2431.4	24.92	31.41
F-G	455.05	80.42	0.0056	1.10	0.4217	2406	2405.2	2431.4	2431	25.41	32.24
G-H	486.33	80.42	0.0056	1.10	0.4413	2405.2	2402.8	2431	2430.6	25.82	34.59
H-I	516.50	80.42	0.0056	1.10	0.4257	2402.8	2406.2	2430.6	2430.1	27.73	31.21
I-J	534.89	80.42	0.0056	1.10	0.2595	2406.2	2410	2430.1	2429.9	23.92	27.42
J-K	551.06	80.42	0.0056	1.10	0.2282	2410	2413.3	2429.9	2429.7	19.87	24.13
K-L	587.07	80.42	0.0056	1.10	0.5080	2413.3	2412.7	2429.7	2429.2	16.36	24.78
L-M	620.76	80.42	0.0056	1.10	0.4754	2412.7	2416.3	2429.2	2428.7	16.5	21.16
M-N	639.75	80.42	0.0056	1.10	0.2680	2416.3	2419.3	2428.7	2428.4	12.4	18.15
N-O	668.14	80.42	0.0056	1.10	0.4005	2419.3	2419.1	2428.4	2428	9.12	18.38
O-P	683.96	80.42	0.0056	1.10	0.2232	2419.1	2415.1	2428	2427.8	8.95	22.3
P-Q	715.36	80.42	0.0056	1.10	0.4430	2415.1	2414.8	2427.8	2427.3	12.65	22.66
Q-R	751.09	80.42	0.0056	1.10	0.5042	2414.8	2409.3	2427.3	2426.8	12.57	28.18
R-S	794.70	80.42	0.0056	1.10	0.6154	2409.3	2411	2426.8	2426.2	17.58	26.48
S-T	837.11	80.42	0.0056	1.10	0.5984	2411	2399.2	2426.2	2425.6	15.27	38.21
T-U	884.49	80.42	0.0056	1.10	0.6685	2399.2	2396.4	2425.6	2425	26.4	41.03
U-V	921.98	80.42	0.0056	1.10	0.5289	2396.4	2398.5	2425	2424.4	28.55	38.93
V-W	942.93	80.42	0.0056	1.10	0.2957	2398.5	2402.1	2424.4	2424.1	25.92	35.31
W-X	973.00	80.42	0.0056	1.10	0.4242	2402.1	2399.9	2424.1	2423.7	22.01	37.51
X-Y	1014.82	80.42	0.0056	1.10	0.5901	2399.9	2400.2	2423.7	2423.1	23.78	37.2
Y-Z	1092.35	80.42	0.0056	1.10	1.0939	2400.2	2408.8	2423.1	2422	22.88	28.68
Z-AA	1125.84	80.42	0.0056	1.10	0.4725	2408.8	2411.2	2422	2421.6	13.27	26.25
AA-BB	1168.30	80.42	0.0056	1.10	0.5991	2411.2	2400	2421.6	2421	10.37	37.4
BB-CC	1192.98	80.42	0.0056	1.10	0.3482	2400	2396.3	2421	2420.6	20.92	41.12
CC-DD	1225.47	80.42	0.0056	1.10	0.4584	2396.3	2400	2420.6	2420.1	24.29	37.41
DD-EE	1238.46	80.42	0.0056	1.10	0.1833	2400	2399.4	2420.1	2420	20.12	38.06
EE-FF	1257.52	80.42	0.0056	1.10	0.2690	2399.4	2402.3	2420	2419.7	20.59	35.18
FF-GG	1269.06	80.42	0.0056	1.10	0.1628	2402.3	2405.3	2419.7	2419.5	17.44	32.1
GG-HH	1282.29	80.42	0.0056	1.10	0.1867	2405.3	2406.1	2419.5	2419.3	14.2	31.36
HH-II	1294.04	80.42	0.0056	1.10	0.1657	2406.1	2407.5	2419.3	2419.2	13.27	29.95
II-JJ	1300.22	80.42	0.0056	1.10	0.0872	2407.5	2408.4	2419.2	2419.1	11.69	29.05
JJ-KK	1320.74	80.42	0.0056	1.10	0.2895	2408.4	2411.2	2419.1	2418.8	10.71	26.24
KK-LL	1323.64	80.42	0.0056	1.10	0.0410	2411.2	2412	2418.8	2418.8	7.61	25.43
LL-MM	1332.25	80.42	0.0056	1.10	0.1214	2412	2415.3	2418.8	2418.6	6.76	22.13

Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m3/s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
MM-NN	1346.07	80.42	0.0056	1.10	0.1950	2415.3	2418.3	2418.6	2418.4	3.33	19.15
NN-PTAP	1360.88	80.42	0.0056	1.10	0.2090	2418.3	2418.2	2418.4	2418.2	0.16	19.2

Anexo 6. Modelación hidráulica (Línea de impulsión)

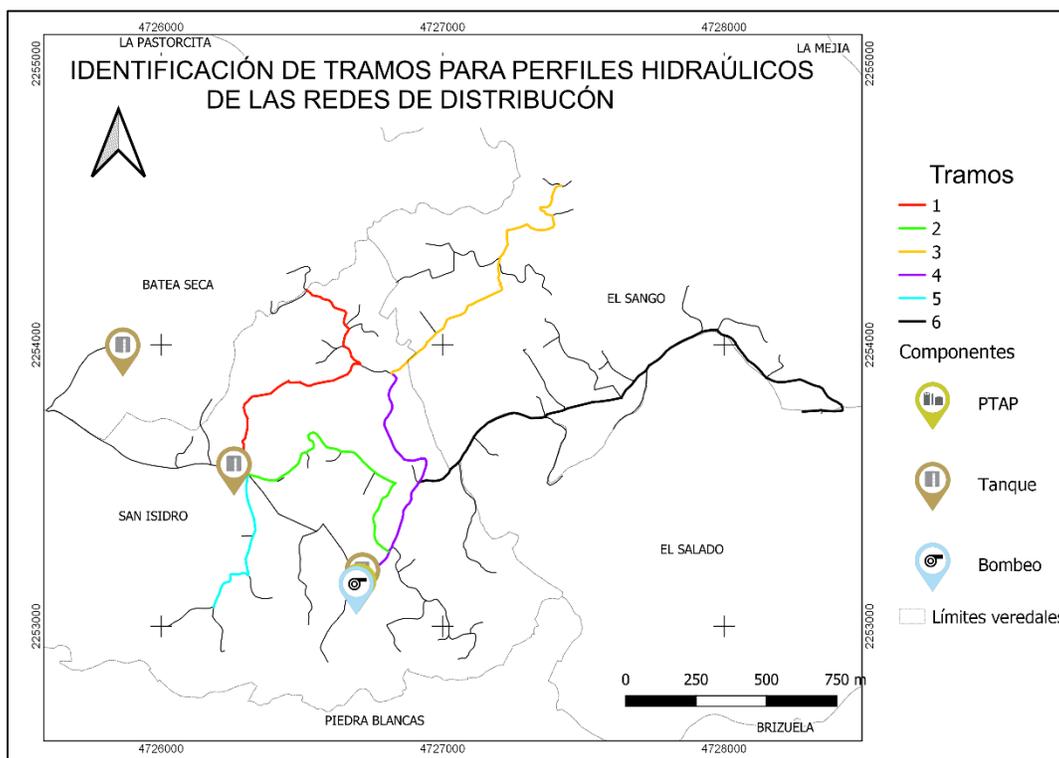
Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m3/s)	V (m/s)	Hf (m)	COTA TUBERÍA		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
Bombeo-A	0	43.68	0.00194	1.29	0.00	2418.71	2418.92	2418.71	2519.65	99.73	75.11
A-B	4.555	43.68	0.00194	1.29	0.18	2418.92	2419.9	2519.65	2519.46	98.56	74.13
B-C	10.643	43.68	0.00194	1.29	0.24	2419.9	2420.36	2519.46	2519.22	97.86	73.67
C-D	15.165	43.68	0.00194	1.29	0.18	2420.36	2420.55	2519.22	2519.04	97.49	73.48
D-E	19.639	43.68	0.00194	1.29	0.18	2420.55	2420.55	2519.04	2518.86	97.31	73.48
E-F	26.75	43.68	0.00194	1.29	0.28	2420.55	2420.12	2518.86	2518.58	97.46	73.91
F-G	33.44	43.68	0.00194	1.29	0.27	2420.12	2419.98	2518.58	2518.31	97.33	74.05
G-H	38.022	43.68	0.00194	1.29	0.18	2419.98	2419.96	2518.31	2518.13	97.17	74.07
H-I	44.371	43.68	0.00194	1.29	0.25	2419.96	2420.23	2518.13	2517.88	96.65	73.8
I-J	52.098	43.68	0.00194	1.29	0.31	2420.23	2421.05	2517.88	2517.57	95.52	72.98
J-K	57.892	43.68	0.00194	1.29	0.23	2421.05	2424.72	2517.57	2517.34	91.62	69.31
K-L	66.828	43.68	0.00194	1.29	0.36	2424.72	2427.04	2517.34	2516.98	88.94	66.99
L-M	72.253	43.68	0.00194	1.29	0.22	2427.04	2428.73	2516.98	2516.76	87.03	65.3
M-N	78.109	43.68	0.00194	1.29	0.23	2428.73	2429.34	2516.76	2516.53	86.19	64.69
N-O	85.043	43.68	0.00194	1.29	0.28	2429.34	2429.48	2516.53	2516.25	85.77	64.55
O-P	90.953	43.68	0.00194	1.29	0.24	2429.48	2429.76	2516.25	2516.02	85.26	64.27
P-Q	97.946	43.68	0.00194	1.29	0.28	2429.76	2430.63	2516.02	2515.74	84.11	63.4
Q-R	103.141	43.68	0.00194	1.29	0.21	2430.63	2430.64	2515.74	2515.53	83.89	63.39
R-S	109.146	43.68	0.00194	1.29	0.24	2430.64	2432	2515.53	2515.29	82.29	62.03
S-T	115.866	43.68	0.00194	1.29	0.27	2432	2432.21	2515.29	2515.02	81.81	61.82
T-U	122.657	43.68	0.00194	1.29	0.27	2432.21	2433.7	2515.02	2514.75	80.05	60.33
U-V	129.944	43.68	0.00194	1.29	0.29	2433.7	2434.37	2514.75	2514.46	79.09	59.66
V-W	137.042	43.68	0.00194	1.29	0.28	2434.37	2435.13	2514.46	2514.18	78.05	58.9
W-X	143.553	43.68	0.00194	1.29	0.26	2435.13	2437.22	2514.18	2513.92	75.7	56.81
X-Y	147.937	43.68	0.00194	1.29	0.18	2437.22	2437.48	2513.92	2513.74	75.26	56.55
Y-Z	155.446	43.68	0.00194	1.29	0.30	2437.48	2438.36	2513.74	2513.44	74.08	55.67
Z-A1	161.717	43.68	0.00194	1.29	0.25	2438.36	2438.99	2513.44	2513.19	73.2	55.04
A1-B1	169.5	43.68	0.00194	1.29	0.31	2438.99	2439.84	2513.19	2512.88	72.04	54.19

Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m3/s)	V (m/s)	Hf (m)	COTA TUBERÍA		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
B1-C1	177.118	43.68	0.00194	1.29	0.30	2439.84	2441.12	2512.88	2512.58	70.46	52.91
C1-D1	186.197	43.68	0.00194	1.29	0.36	2441.12	2443.02	2512.58	2512.22	68.2	51.01
D1-E1	194.135	43.68	0.00194	1.29	0.32	2443.02	2444.85	2512.22	2511.9	66.05	49.18
E1-F1	202.223	43.68	0.00194	1.29	0.32	2444.85	2446.16	2511.9	2511.58	64.42	47.87
F1-G1	208.15	43.68	0.00194	1.29	0.24	2446.16	2446.41	2511.58	2511.34	63.93	47.62
G1-H1	213.275	43.68	0.00194	1.29	0.20	2446.41	2446.41	2511.34	2511.14	63.73	47.62
H1-I1	219.22	43.68	0.00194	1.29	0.24	2446.41	2448.99	2511.14	2510.9	60.91	45.04
I1-J1	225.444	43.68	0.00194	1.29	0.25	2448.99	2450.03	2510.9	2510.65	59.62	44
J1-K1	232.21	43.68	0.00194	1.29	0.27	2450.03	2450.22	2510.65	2510.38	59.16	43.81
K1-L1	237.901	43.68	0.00194	1.29	0.23	2450.22	2451.81	2510.38	2510.15	57.34	42.22
L1-M1	244.986	43.68	0.00194	1.29	0.28	2451.81	2454.73	2510.15	2509.87	54.14	39.3
M1-N1	252.241	43.68	0.00194	1.29	0.29	2454.73	2456.88	2509.87	2509.58	51.7	37.15
N1-O1	258.444	43.68	0.00194	1.29	0.25	2456.88	2457.75	2509.58	2509.33	50.59	36.28
O1-P1	267.313	43.68	0.00194	1.29	0.35	2457.75	2459.13	2509.33	2508.98	48.85	34.9
P1-Q1	274.94	43.68	0.00194	1.29	0.30	2459.13	2461.41	2508.98	2508.68	46.27	32.62
Q1-R1	286.415	43.68	0.00194	1.29	0.46	2461.41	2465	2508.68	2508.22	42.22	29.03
R1-S1	299.062	43.68	0.00194	1.29	0.50	2465	2467.45	2508.22	2507.71	39.26	26.58
S1-T1	310.848	43.68	0.00194	1.29	0.47	2467.45	2468.93	2507.71	2507.24	37.31	25.1
T1-U1	319.041	43.68	0.00194	1.29	0.33	2468.93	2469.99	2507.24	2506.92	35.93	24.04
U1-V1	328.466	43.68	0.00194	1.29	0.38	2469.99	2470.71	2506.92	2506.54	34.83	23.32
V1-W1	337.895	43.68	0.00194	1.29	0.38	2470.71	2471.31	2506.54	2506.17	33.86	22.72
W1-X1	348.535	43.68	0.00194	1.29	0.42	2471.31	2472.54	2506.17	2505.74	32.2	21.49
X1-Y1	360.34	43.68	0.00194	1.29	0.47	2472.54	2473.46	2505.74	2505.27	30.81	20.57
Y1-Z1	371.09	43.68	0.00194	1.29	0.43	2473.46	2478.92	2505.27	2504.84	24.92	15.11
Z1-A2	377.383	43.68	0.00194	1.29	0.25	2478.92	2479.61	2504.84	2504.59	23.98	14.42
A2-B2	388.063	43.68	0.00194	1.29	0.43	2479.61	2481.14	2504.59	2504.16	22.02	12.89
B2-C2	399.686	43.68	0.00194	1.29	0.46	2481.14	2483.45	2504.16	2503.7	19.25	10.58
C2-D2	412.378	43.68	0.00194	1.29	0.51	2483.45	2486.2	2503.7	2503.19	15.99	7.83
D2-E2	425.767	43.68	0.00194	1.29	0.53	2486.2	2489.58	2503.19	2502.66	12.08	4.45
E2-F2	435.398	43.68	0.00194	1.29	0.38	2489.58	2489.76	2502.66	2502.28	11.52	4.27
F2-G2	448.326	43.68	0.00194	1.29	0.52	2489.76	2489.77	2502.28	2501.76	10.99	4.26
G2-H2	460.689	43.68	0.00194	1.29	0.49	2489.77	2489.12	2501.76	2501.27	11.15	4.91
H2-I2	472.921	43.68	0.00194	1.29	0.49	2489.12	2489.17	2501.27	2500.78	10.61	4.86
I2-J2	483.9	43.68	0.00194	1.29	0.44	2489.17	2489.27	2500.78	2500.34	10.07	4.76
J2-K2	487.129	43.68	0.00194	1.29	0.13	2489.27	2489.19	2500.34	2500.21	10.02	4.84

Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m3/s)	V (m/s)	Hf (m)	COTA TUBERÍA		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
K2-L2	498.906	43.68	0.00194	1.29	0.47	2489.19	2489.13	2500.21	2499.74	9.61	4.9
L2-M2	504.931	43.68	0.00194	1.29	0.24	2489.13	2489.17	2499.74	2499.5	9.33	4.86
M2-N2	512.918	43.68	0.00194	1.29	0.32	2489.17	2489.33	2499.5	2499.18	8.85	4.7
N2-O2	521.415	43.68	0.00194	1.29	0.34	2489.33	2489.42	2499.18	2498.84	8.42	4.61
O2-P2	528.754	43.68	0.00194	1.29	0.29	2489.42	2489.6	2498.84	2498.55	7.95	4.43
P2-Q2	535.751	43.68	0.00194	1.29	0.28	2489.6	2489.5	2498.55	2498.27	7.77	4.53
Q2-R2	543.325	43.68	0.00194	1.29	0.30	2489.5	2489.72	2498.27	2497.97	7.25	4.31
R2-S2	548.55	43.68	0.00194	1.29	0.21	2489.72	2489.62	2497.97	2497.76	7.14	4.41
S2-T2	555.263	43.68	0.00194	1.29	0.27	2489.62	2489.72	2497.76	2497.49	6.77	4.31
T2-U2	563.888	43.68	0.00194	1.29	0.34	2489.72	2490.47	2497.49	2497.15	5.68	3.56
U2-V2	570.225	43.68	0.00194	1.29	0.25	2490.47	2490.97	2497.15	2496.9	4.93	3.06
V2-W2	577.177	43.68	0.00194	1.29	0.28	2490.97	2491.33	2496.9	2496.62	4.29	2.7
W2-X2	584.893	43.68	0.00194	1.29	0.31	2491.33	2492.11	2496.62	2496.31	3.2	1.92
X2-Y2	591.043	43.68	0.00194	1.29	0.25	2492.11	2492.22	2496.31	2496.07	2.85	1.81
Y2-Z2	598.19	43.68	0.00194	1.29	0.29	2492.22	2492.28	2496.07	2495.78	2.5	1.75
Z2-A3	604.102	43.68	0.00194	1.29	0.24	2492.28	2492.19	2495.78	2495.54	2.35	1.84
A3-B3	606.548	43.68	0.00194	1.29	0.10	2492.19	2492.19	2495.54	2495.45	2.26	1.84
B3-C3	613.851	43.68	0.00194	1.29	0.29	2492.19	2492.19	2495.45	2495.16	1.97	1.84
C3-D3	623.387	43.68	0.00194	1.29	0.38	2492.19	2492.33	2495.16	2494.78	1.45	1.7
D3-E3	630.366	43.68	0.00194	1.29	0.28	2492.33	2491.84	2494.78	2494.5	1.66	2.19
E3-F3	642.13	43.68	0.00194	1.29	0.47	2491.84	2492.35	2494.5	2494.03	0.68	1.68
F3-LA PORRA	646.583	43.68	0.00194	1.29	-0.45	2492.35	2493.85	2494.03	2493.85	0	0.18

Anexo 7. Modelación hidráulica (Redes de distribución)

A continuación, se muestran los cálculos hidráulicos para los tramos principales de las redes de distribución con las VRP propuestas y las demandas asignadas a las zonas de expansión. Para identificar cada tramo, se propone el siguiente mapa. El número de tramo es utilizado en las hojas de cálculo y cada número tiene asociado un color sobre el mapa (En las hojas de cálculo, se resaltan las VRP en color amarillo).



TRAMO 1											
Tramo	L (m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
La Porra-J39	195.17	43.68	0.06	0.04	0.014	2493.85	2449.99	2493.85	2493.84	43.85	43.86
J39- 8	393.97	43.68	0.06	0.04	0.014	2449.99	2427.2	2493.84	2493.82	66.62	66.65
VRP	393.97	43.68	0.06	0.04	36.620	2427.2	2427.2	2493.82	2457.2	30	66.65
J7- J171	400.00	43.68	0.06	0.04	0.000	2427.2	2421.55	2457.2	2457.2	35.65	72.3
J171- J40	443.04	43.68	0.06	0.04	0.003	2421.55	2420.22	2457.2	2457.19	36.97	73.63
J40-J41	444.30	43.68	0.06	0.04	0.000	2420.22	2420.22	2457.19	2457.19	36.97	73.63
J41- J42	516.45	43.68	0.06	0.04	0.005	2420.22	2412.35	2457.19	2457.19	44.84	81.5
J42- J43	594.78	43.68	0.05	0.04	0.005	2412.35	2413.94	2457.19	2457.18	43.24	79.91
J43- J44	620.74	43.68	0.05	0.03	0.002	2413.94	2412.64	2457.18	2457.18	44.54	81.21

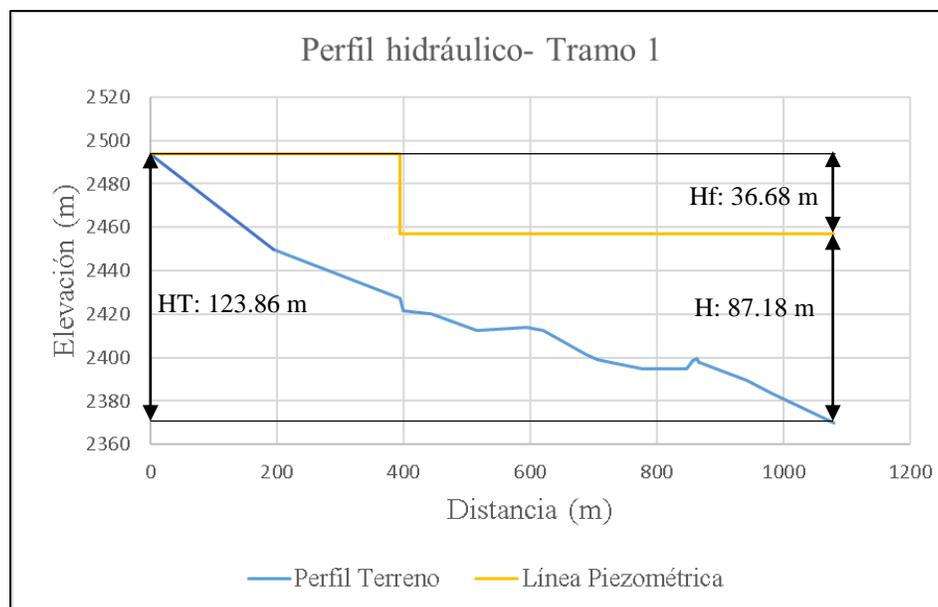
Tramo	L (m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
J44- J45	688.60	43.68	0.05	0.03	0.004	2412.64	2401.64	2457.18	2457.18	55.54	92.21
J45- J46	706.55	43.68	0.05	0.03	0.001	2401.64	2398.96	2457.18	2457.18	58.22	94.89
J46- J47	728.45	43.68	0.05	0.03	0.001	2398.96	2397.61	2457.18	2457.18	59.57	96.24
J47- J281	777.47	43.68	0.04	0.03	0.002	2397.61	2394.88	2457.18	2457.17	62.29	98.97
J281- J53	846.23	43.68	0.04	0.02	0.003	2394.88	2394.82	2457.17	2457.17	62.35	99.03
J53- J67	857.30	43.68	0.03	0.02	0.000	2394.82	2398.65	2457.17	2457.17	58.52	95.2
J67- J56	863.49	43.68	0.03	0.02	0.000	2398.65	2399.41	2457.17	2457.17	57.76	94.44
J56- J57	866.12	43.68	0.02	0.02	0.000	2399.41	2397.82	2457.17	2457.17	59.35	96.03
J57-J58	869.01	43.68	0.02	0.02	0.000	2397.82	2397.82	2457.17	2457.17	59.35	96.03
J58- J276	942.52	43.68	0.02	0.01	0.001	2397.82	2389.48	2457.17	2457.17	67.69	104.37
J276- J60	979.48	43.68	0.02	0.01	0.001	2389.48	2383.89	2457.17	2457.17	73.28	109.96
J60- J61	1080.32	43.68	0.01	0.01	0.002	2383.89	2369.99	2457.17	2457.17	87.18	123.86

Perfil hidráulico del tramo 1: El perfil naranja, representa la línea de gradiente hidráulico, es decir la suma entre la energía de elevación Z (m) y la energía de presión. Este perfil, aporta información de la presión al interior de la red en cualquier punto, el escalón se debe a la caída de presión causada por la VRP. La línea azul corresponde al perfil del terreno. Las pérdidas causadas por la VRP son de 36.7 m.

HT: Altura total (m)

H: Energía de presión (m)

Hf: pérdidas en la red (m)



TRAMO 2

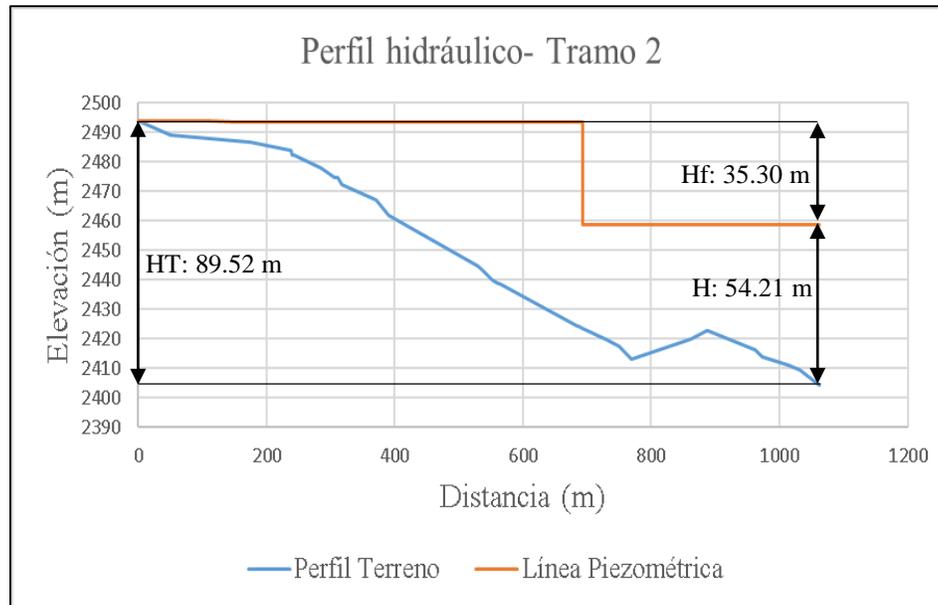
Tramo	L (m)	φ (mm)	Q (m3/s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
La Porra- J227	51.24	30.2	0.17	0.24	0.170	2493.85	2489	2493.85	2493.68	4.68	4.85
J227 - J128	112.97	30.2	0.09	0.12	0.058	2489	2488	2493.68	2493.62	5.62	5.85
J128 - J129	153.78	30.2	0.08	0.12	0.036	2488	2487	2493.62	2493.59	6.59	6.85
J129 - J131	175.40	30.2	0.08	0.11	0.018	2487	2486.5	2493.59	2493.57	7.07	7.35
J131 - J132	237.77	30.2	0.08	0.11	0.047	2486.5	2484.01	2493.57	2493.52	9.51	9.84
J132 - J133	240.15	30.2	0.08	0.11	0.002	2484.01	2482.18	2493.52	2493.52	11.34	11.67
J133 - J134	243.08	30.2	0.07	0.1	0.002	2482.18	2482.06	2493.52	2493.52	11.46	11.79
J134 - J135	285.90	30.2	0.07	0.1	0.021	2482.06	2477.73	2493.52	2493.5	15.77	16.12
J135 - J136	307.00	30.2	0.07	0.09	0.009	2477.73	2474.51	2493.5	2493.49	18.98	19.34
J136 - J139	309.01	30.2	0.06	0.09	0.001	2474.51	2474.51	2493.49	2493.49	18.98	19.34
J139 - J140	310.44	30.2	0.06	0.09	0.001	2474.51	2474.51	2493.49	2493.49	18.98	19.34
J140 - J141	317.25	30.2	0.06	0.08	0.002	2474.51	2472.36	2493.49	2493.48	21.12	21.49
J141 - J142	371.27	30.2	0.05	0.08	0.016	2472.36	2467.06	2493.48	2493.47	26.41	26.79
J142 - J143	390.87	30.2	0.05	0.07	0.005	2467.06	2461.74	2493.47	2493.46	31.72	32.11
J143 - J144	529.70	30.2	0.05	0.07	0.036	2461.74	2444.53	2493.46	2493.43	48.9	49.32
J144 - J145	537.80	30.2	0.05	0.07	0.002	2444.53	2443.17	2493.43	2493.42	50.25	50.68
J145 - J147	551.82	30.2	0.05	0.06	0.003	2443.17	2440.01	2493.42	2493.42	53.41	53.84
J147 - J148	562.71	30.2	0.04	0.06	0.003	2440.01	2438.62	2493.42	2493.42	54.8	55.23
J148 - J149	564.49	30.2	0.04	0.06	0.000	2438.62	2438.62	2493.42	2493.42	54.8	55.23
J149 - J151	685.93	30.2	0.04	0.05	0.023	2438.62	2424.1	2493.42	2493.4	69.3	69.75
J151 - J154	686.98	30.2	0.03	0.05	0.000	2424.1	2424.1	2493.4	2493.39	69.29	69.75
J154 -22	693.85	30.2	0.03	0.05	0.001	2424.1	2423.58	2493.39	2493.39	69.81	70.27
VRP	693.85	30.2	0.03	0.05	34.810	2423.58	2423.58	2493.39	2458.58	35	70.27
23- J155	700.73	30.2	0.03	0.05	0.001	2423.58	2422.64	2458.58	2458.58	35.94	71.21
J155 - J156	721.08	30.2	0.03	0.04	0.003	2422.64	2420.5	2458.58	2458.58	38.08	73.35
J156 - J157	728.93	30.2	0.03	0.04	0.001	2420.5	2420.02	2458.58	2458.57	38.55	73.83
J157 - J158	749.73	30.2	0.03	0.04	0.003	2420.02	2417.66	2458.57	2458.57	40.91	76.19
J158 - J159	770.13	30.2	0.03	0.04	0.003	2417.66	2412.99	2458.57	2458.57	45.58	80.86
J159 - J160	861.33	30.2	0.02	0.03	0.011	2412.99	2420.07	2458.57	2458.56	38.49	73.78
J160 - J161	885.48	30.2	0.02	0.03	0.003	2420.07	2422.54	2458.56	2458.55	36.01	71.31
J161 - J162	889.11	30.2	0.02	0.03	0.000	2422.54	2422.5	2458.55	2458.55	36.05	71.35
J162 - J163	961.91	30.2	0.02	0.02	0.007	2422.5	2416.33	2458.55	2458.55	42.22	77.52
J163 - J164	974.02	30.2	0.02	0.02	0.001	2416.33	2413.91	2458.55	2458.55	44.64	79.94
J164 - J165	1013.24	30.2	0.01	0.02	0.003	2413.91	2411.12	2458.55	2458.54	47.42	82.73
J165 - J166	1030.78	30.2	0.01	0.02	0.001	2411.12	2409.42	2458.54	2458.54	49.12	84.43
J166 - J167	1062.43	30.2	0	0	0.000	2409.42	2404.33	2458.54	2458.54	54.21	89.52

Perfil hidráulico del tramo 2: La energía de presión al punto de llegada es de 54.21 mca. En el tramo se proyecta una VRP que genera unas pérdidas de energía de 35.30 m. La presión asociada a la diferencia de cotas es de 89.52 m

HT: Altura total (m)

H: Energía de presión (m)

Hf: pérdidas en la red (m)



TRAMO 3											
Tramo	L (m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final				
J398 - J70	171.14	30.2	0.1	0.14	0.2293	2405	2380	2413.44	2413.21	33.21	33.44
J70- J400	217.51	30.2	0.05	0.07	0.0116	2380	2367.21	2413.21	2413.19	45.98	46.23
J400 -11	294.11	30.2	-0.1	0.14	0.0958	2367.21	2349.75	2413.19	2413.1	63.35	63.69
VRP	294.11	30.2	0.1	0.14	23.35	2349.75	2349.75	2413.1	2389.75	40	63.69
10- J73	334.32	30.2	0.1	0.13	0.0499	2349.75	2339.88	2389.75	2389.7	49.82	73.56
J73- J403	366.09	30.2	0.09	0.13	0.0378	2339.88	2332.41	2389.7	2389.66	57.25	81.03
J403 - J172	402.94	30.2	0.09	0.13	0.042	2332.41	2325.16	2389.66	2389.62	64.46	88.28
J172 - J75	436.77	43.68	0.09	0.06	0.0044	2325.16	2321.77	2389.62	2389.62	67.85	91.67
J75- J76	439.09	43.68	0.09	0.06	0.0003	2321.77	2321.77	2389.62	2389.62	67.85	91.67
J76-13	516.44	43.68	-0.09	0.06	0.0093	2321.77	2300.47	2389.62	2389.61	89.14	112.97
VRP	516.44	43.68	0.09	0.06	49.14	2300.47	2300.47	2389.61	2340.47	40	112.97

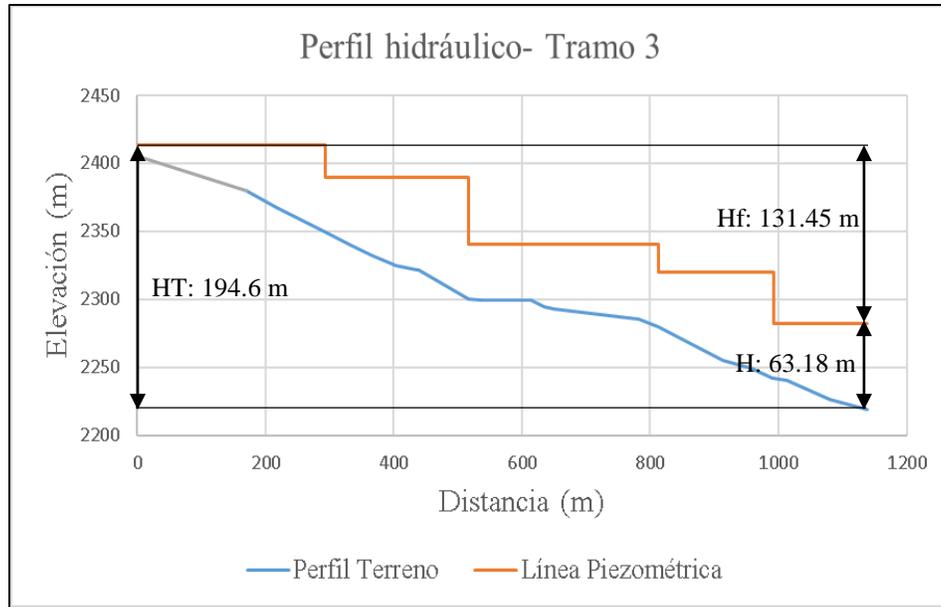
Tramo	L (m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
12- J406	538.3	43.68	-0.09	0.06	0.0026	2300.47	2299.36	2340.47	2340.47	41.11	114.08
J406 - J407	613.29	43.68	0.09	0.06	0.0082	2299.36	2299.58	2340.47	2340.46	40.88	113.86
J407 - J412	635.52	43.68	0.04	0.03	0.0011	2299.58	2294.4	2340.46	2340.46	46.06	119.04
J412 - J169	651.17	43.68	0.01	0.01	0.0003	2294.4	2292.67	2340.46	2340.46	47.79	120.77
J169 - J90	783	43.68	0.03	0.02	0.004	2292.67	2285.68	2340.46	2340.45	54.77	127.76
J90-1	813.18	43.68	0.02	0.02	0.0006	2285.68	2279.61	2340.45	2340.45	60.84	133.83
VRP	813.18	43.68	0.02	0.02	20.84	2279.61	2279.61	2340.45	2319.61	40	133.83
2- J421	913.08	43.68	0.02	0.02	0.003	2279.61	2255.08	2319.61	2319.61	64.53	158.36
J421 - J422	956.6	43.68	0.02	0.01	0.0009	2255.08	2249.09	2319.61	2319.61	70.52	164.35
J422 - J94	990.3	43.68	0.01	0.01	0.0003	2249.09	2242.11	2319.61	2319.61	77.5	171.33
J94-3	992.3	43.68	0.02	0.01	0	2242.11	2242.11	2319.61	2319.61	77.5	171.33
VRP	992.3	43.68	0.02	0.01	37.5	2242.11	2242.11	2319.61	2282.11	40	171.33
4- J425	1014.1	43.68	0.02	0.01	0.0004	2242.11	2240.56	2282.11	2282.11	41.55	172.88
J425 - J426	1080	43.68	0.01	0.01	0.0013	2240.56	2226.45	2282.11	2282.11	55.66	186.99
J426 - J97	1137.6	43.68	0.01	0.01	0.0006	2226.45	2218.93	2282.11	2282.11	63.18	194.51

Perfil hidráulico del tramo 3: La energía de llegada al nodo J97 es de 63.18 m. el tramo corresponde a la tubería que abastece la vereda El Sango. Es una zona que históricamente ha presentado problemas de altas presiones. Actualmente el acueducto tiene dos VRP instaladas, la recomendación, de acuerdo a las modelaciones, es instalar otras dos VRP. En las simulaciones, la presión de salida de las válvulas es de 40 mca. La energía asociada a la diferencia de cotas es de 194.6 m, las pérdidas de energía intencionales causadas por las VRP son de 131.45 m.

HT: Altura total (m)

H: Energía de presión (m)

Hf: pérdidas en la red (m)



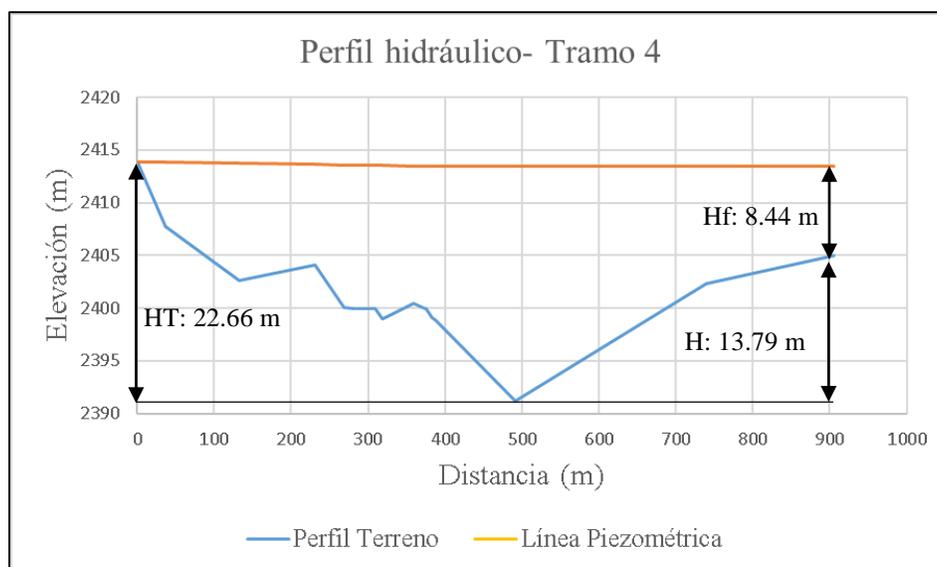
TRAMO 4											
Tramo	L (m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf (m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
PRFV-J345	36.811	80.4	0.48	0.09	0.0070	2413.9	2407.7	2413.9	2413.9	6.14	6.15
J345-J357	132.202	54.6	0.48	0.21	0.1135	2407.7	2402.7	2413.9	2413.7	11.1	11.2
J357-J384	231.452	54.6	0.43	0.18	0.0983	2402.7	2404.1	2413.7	2413.6	9.54	9.8
J384-J385	268.767	54.6	0.43	0.18	0.0362	2404.1	2400.1	2413.6	2413.6	13.5	13.8
J385-J386	282.878	54.6	0.42	0.18	0.0134	2400.1	2400	2413.6	2413.6	13.6	13.9
J386-J387	308.666	54.6	0.42	0.18	0.0245	2400	2400	2413.6	2413.5	13.5	13.9
J387-J388	318.498	54.6	0.41	0.18	0.0090	2400	2399	2413.5	2413.5	14.5	14.9
J388-J389	359.362	54.6	0.41	0.18	0.0372	2399	2400.5	2413.5	2413.5	13	13.4
J389-J390	374.36	54.6	0.41	0.18	0.0136	2400.5	2400	2413.5	2413.5	13.5	13.9
J390-J391	375.6	54.6	0.41	0.17	0.0010	2400	2400	2413.5	2413.5	13.5	13.9
J391-J392	383.573	54.6	0.41	0.17	0.0072	2400	2399.1	2413.5	2413.5	14.4	14.8
J392-J393	386.852	54.6	0.4	0.17	0.0028	2399.1	2398.8	2413.5	2413.5	14.6	15
J393-J396	490.862	54.6	0.1	0.04	0.0052	2398.8	2391.2	2413.5	2413.5	22.3	22.7
J396-J397	739.639	54.6	0.1	0.04	0.0124	2391.2	2402.3	2413.5	2413.4	11.1	11.5
J397-J398	905.1	54.6	0.1	0.04	0.0083	2402.3	2405	2413.4	2413.4	8.44	8.87

Perfil hidráulico del tramo 4: Estas redes transportan el agua desde los tanques en PRFV al sector de Cuatro Esquinas y a la vereda El Sango. La cabeza hidráulica desde los tanques hasta el nodo de llegada (J398), es de 8.87 m, la presión de llegada es 8.44 m. La red presenta pérdidas de energía de aproximadamente 0.4 m.

HT: Altura total (m)

H: Energía de presión (m)

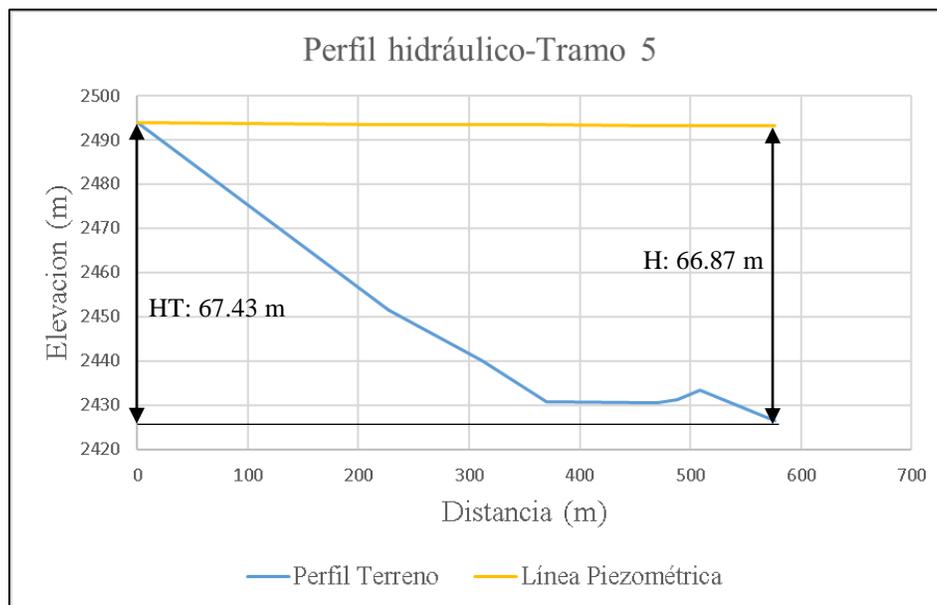
H: Elevación en el nodo de llegada (m)



TRAMO 5											
Tramo	L(m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf(m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
La Porra- J102	226.844	26	0.07	0.12	0.238	2493.9	2451.6	2493.9	2493.4	41.9	42.27
J102-J105	312.048	26	0.06	0.11	0.066	2451.6	2440	2493.4	2493.4	53.4	53.88
J105-J229	370.135	26	0.06	0.1	0.037	2440	2430.9	2493.4	2493.3	62.5	62.96
J229-J107	469.067	30.2	0.05	0.07	0.025	2430.9	2430.7	2493.3	2493.3	62.7	63.2
J107-J108	476.161	30.2	0.05	0.07	0.002	2430.7	2430.8	2493.3	2493.3	62.5	63.01
J108-J109	488.202	30.2	0.05	0.06	0.003	2430.8	2431.1	2493.3	2493.3	62.2	62.71
J109-J110	508.7	30.2	0.04	0.06	0.005	2431.1	2433.5	2493.3	2493.3	59.9	60.39
J110-J111	576.562	30.2	0.04	0.06	0.014	2433.5	2426.4	2493.3	2493.3	66.9	67.43

Perfil hidráulico del tramo 5: Tramo que transporta agua hasta el sector la granja. Parte de la tubería es de PEAD, mientras que los extremos son de tubería en PVC de 1" de diámetro. La presión estática asociada a la diferencia de cotas es de 67.43 m, la modelación en periodo estático registra pérdidas de 0.4 m, por tanto, la presión de llegada es de 66.87 m.

HT: Altura total (m)
H: Energía de presión (m)



TRAMO 6											
Tramo	L(m)	ϕ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf(m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
J393-J432	21.886	43.7	0.3	0.2	0.033	2398.8	2395	2413.5	2413.4	18.5	18.48
J432-J433	28.125	43.7	0.3	0.2	0.009	2395	2393.3	2413.4	2413.4	20.2	20.21
J433-J434	50.151	43.7	0.29	0.19	0.031	2393.3	2391.1	2413.4	2413.4	22.3	22.34
J434-J435	69.324	43.7	0.29	0.19	0.027	2391.1	2387.7	2413.4	2413.4	25.7	25.76
J435-J436	169.67	43.7	0.28	0.19	0.137	2387.7	2374.4	2413.4	2413.2	38.8	39.06
J436-J520	175.131	43.7	0.03	0.02	3E-04	2374.4	2372.5	2413.2	2413.2	40.8	40.99
J520-J452	274.57	30.2	0.03	0.04	0.015	2372.5	2358.5	2413.2	2413.1	54.7	55.01
J452-J457	284.164	30.2	0.03	0.04	0.001	2358.5	2353.7	2413.1	2413.1	59.4	59.76
J457-J458	381.52	43.7	0.16	0.11	0.051	2353.7	2340.3	2413.1	2413	72.7	73.14
J458-15	435.031	43.7	-0.16	0.1	0.027	2340.3	2333.3	2413	2413	79.8	80.21
VRP	435.031	43.7	0.16	0.1	44.76	2333.3	2333.3	2413	2368.3	35	80.21
14-J459	453.39	43.7	0.16	0.1	0.009	2333.3	2331.8	2368.3	2368.2	36.5	81.69
J459-J460	515.429	43.7	0.15	0.1	0.03	2331.8	2327.4	2368.2	2368.2	40.9	86.1
J460-J461	544.873	43.7	0.15	0.1	0.013	2327.4	2322.5	2368.2	2368.2	45.7	90.98
J461-J462	546.898	43.7	0.14	0.09	9E-04	2322.5	2321.6	2368.2	2368.2	46.6	91.9

Tramo	L(m)	φ (mm)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Hf(m)	Cota Terreno (m)		Cota Piezométrica (m)		P min (m)	P máx. (m)
						Inicio	Final	Inicio	Final		
J462-J464	550.127	43.7	0.14	0.09	0.001	2321.6	2321.6	2368.2	2368.2	46.6	91.9
J464-J471	590.215	43.7	0.12	0.08	0.012	2321.6	2315.1	2368.2	2368.2	53.1	98.41
J471-J472	626.478	43.7	0.12	0.08	0.01	2315.1	2310.7	2368.2	2368.2	57.4	102.7
J472-J473	630.097	43.7	0.11	0.07	8E-04	2310.7	2310.4	2368.2	2368.2	57.8	103.1
J473-J478	727.677	43.7	0.11	0.07	0.02	2310.4	2283.6	2368.2	2368.2	84.6	129.9
J478-16	730.667	43.7	0.1	0.07	4E-04	2283.6	2280.8	2368.2	2368.2	87.3	132.6
VRP	730.667	43.7	0.1	0.07	49.32	2280.8	2280.8	2368.2	2318.8	38	132.6
17-J479	733.657	43.7	0.1	0.07	4E-04	2280.8	2280.8	2318.8	2318.8	38	132.6
J479-J480	735.827	43.7	0.1	0.07	5E-04	2280.8	2280.8	2318.8	2318.8	38	132.6
J480-J481	832.376	43.7	0.09	0.06	0.014	2280.8	2269.3	2318.8	2318.8	49.5	144.1
J481-J488	903.977	43.7	0.08	0.06	0.008	2269.3	2253.4	2318.8	2318.8	65.4	160.1
J488-J489	908.218	43.7	0.08	0.05	5E-04	2253.4	2252.3	2318.8	2318.8	66.5	161.2
J489-J495	968.875	43.7	0.07	0.05	0.005	2252.3	2239.7	2318.8	2318.8	79.1	173.8
J495-J521	985.468	43.7	0.06	0.04	0.001	2239.7	2237.3	2318.8	2318.8	81.5	176.2
J521-18	1002.86	43.7	0.06	0.04	0.001	2237.3	2234.8	2318.8	2318.8	84	178.6
VRP	1002.86	43.7	0.06	0.04	43.96	2234.8	2234.8	2318.8	2274.8	40	178.6
19-J499	1020.25	43.7	0.06	0.04	0.001	2234.8	2232.9	2274.8	2274.8	41.9	180.5
J499-J500	1053.17	43.7	0.05	0.04	0.002	2232.9	2230.7	2274.8	2274.8	44.1	182.7
J500-J501	1172.27	43.7	0.05	0.03	0.007	2230.7	2215.2	2274.8	2274.8	59.7	198.3
J501-J502	1291.36	43.7	0.05	0.03	0.007	2215.2	2210.5	2274.8	2274.8	64.4	203
J502-J507	1346.24	21.8	0.03	0.09	0.033	2210.5	2205.3	2274.8	2274.8	69.5	208.2
J507-J832	1432.48	21.8	0.03	0.08	0.047	2205.3	2194.6	2274.8	2274.8	80.1	218.8
J832-20	1512.96	21.8	0.03	0.07	0.04	2194.6	2186.4	2274.8	2274.7	88.3	227
VRP	1512.96	21.8	0.03	0.07	50.27	2186.4	2186.4	2274.7	2224.4	38	227
21-J511	1593.44	21.8	0.03	0.07	0.04	2186.4	2173.1	2224.4	2224.4	51.3	240.4
J511-J515	1987.91	21.8	0.02	0.05	0.15	2173.1	2163.2	2224.4	2224.3	61	250.3
J515-J516	1995.52	21.8	0.02	0.04	0.002	2163.2	2163.4	2224.3	2224.3	60.9	250.1
J516-J517	2003.55	21.8	0.01	0.03	0.002	2163.4	2163.7	2224.3	2224.3	60.5	249.8
J517-J518	2011.52	21.8	0	0.01	6E-04	2163.7	2164	2224.3	2224.2	60.3	249.5
J518-J519	2057.68	21.8	0	0.01	0.002	2164	2165.3	2224.2	2224.2	59	248.2

Perfil hidráulico del tramo 6: La tubería parte del sector Cuatro Esquinas hacia la parte baja de El Salado. Es un sector que cuenta con una diferencia de elevación importante, lo que influye en las altas presiones. Actualmente el acueducto tiene en funcionamiento 2 VRP de 1 ½”, pero debido a las altas presiones, se recomienda instalar 2 VRP más. La cabeza

hidráulica disponible es de 248 m, las pérdidas asociadas a las VRP son de 189 m y la presión de llegada al último usuario ubicado en el salado es de 58.97 m.

HT: Altura total (m)

H: Energía de presión (m)

Hf: pérdidas en la red (m)

