

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

ESTUDIO DE LÍNEA BASE DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA ASOCIACIÓN ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y
ALCANTARILLADO SANITARIO DE EL YAS, DISTRITO SEGUNDO SANTIAGO,
CANTÓN SEGUNDO PARAÍSO DE LA PROVINCIA DE CARTAGO.

FERNANDO JOSÉ CORDERO LÓPEZ

CARTAGO, 2022

ESTUDIO DE LÍNEA BASE DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA ASOCIACIÓN ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO Y
ALCANTARILLADO SANITARIO DE EL YAS, DISTRITO SEGUNDO SANTIAGO,
CANTÓN SEGUNDO PARAÍSO DE LA PROVINCIA DE CARTAGO.



Este obra está bajo una [licencia de
Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Fernando José Cordero López

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Ing. Fanny Brenes Bonilla
Asesor

Ing. Isabel Guzmán Arias
Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2022

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

A las 8:30 horas del día 05 del mes de setiembre del año 2022 el estudiante:
Fernando José Cordero López

presenta y defiende su trabajo de graduación titulado:

Estudio de línea base del sistema de abastecimiento de agua potable de la Asociación Administradora del acueducto y alcantarillado sanitario de El Yas, Distrito Segundo Santiago, Cantón Segundo Paraíso de la Provincia de Cartago.

ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Presidente (a): Laura Segura Serrano

Asesor (a) de la Escuela: Fanny Brenes Bonilla

Lector (a): Allan González Gómez

ALLAN
GONZALEZ
GOMEZ (FIRMA)
Firmado digitalmente
por ALLAN GONZALEZ
GOMEZ (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05
09:41:18-06'00'

Firman conforme lo dispone el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación:

LAURA PATRICIA SEGURA
SERRANO (FIRMA)
Firmado digitalmente por LAURA
PATRICIA SEGURA SERRANO
(FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 10:06:19-06'00'

PRESIDENTE (A)

Firmado Arriba

LECTOR (A)

FANNY ANDREA
BRENES BONILLA
(FIRMA)
Firmado digitalmente por
FANNY ANDREA BRENES
BONILLA (FIRMA)
Fecha: 2022.09.05 09:49:11
-06'00'

ASESOR (A) DE LA ESCUELA



ESTUDIANTE

DEDICATORIA

Mis padres, hermano y amigos cercanos por estar siempre anuentes durante este proceso de formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por permitirme culminar este proceso profesional y acompañarme en cada toma de decisión durante las diferentes etapas presentadas.

Agradecer infinitamente a mi familia quien es pilar fundamental en mi vida, a mis padres de crianza Oscar Alvarado y Cecilia Cordero por la paciencia que han tenido a lo largo de mis años de formación y los consejos aportados para convertirme en la persona que soy. Mi hermano Adrián Cordero y mi padre de sangre Fernando Cordero quienes me brindaron su apoyo incondicional.

A mis amigos de toda la vida y los encontrados en el proceso universitario; un enorme agradecimiento por su lealtad, amistad y apoyo, de ellos aprendí grandes cosas. También a cada profesor que aportó a mi proceso de formación profesional.

Un agradecimiento especial a la ASADA de El Yas por su gran ayuda y disponibilidad; a cada uno de los miembros de su junta directiva y fontaneros, son grandes personas quienes me apoyaron para llevar a cabo mi proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | RESUMEN | 1 |
| 2. | ABSTRACT..... | 3 |
| 3. | INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 4. | OBJETIVOS | 7 |
| 5. | REVISIÓN DE LITERATURA | 9 |
| 5.1. | Recurso hídrico en Costa Rica..... | 10 |
| 5.2. | Calidad y cobertura del agua..... | 11 |
| 5.3. | Sistema de abastecimiento de agua potable..... | 12 |
| 5.3.1. | Tipos de sistema de abastecimiento..... | 12 |
| 5.3.2. | Elementos de un sistema de abastecimiento..... | 13 |
| 5.4. | Análisis de fuentes de agua..... | 21 |
| 5.4.1. | Diagrama de Rippl o Curva Masa..... | 21 |
| 5.4.2. | Caudal medio o seguro..... | 22 |
| 5.4.3. | Caudal mínimo remanente..... | 22 |
| 5.4.4. | Caudal disponible..... | 23 |
| 5.4.5. | Caudal inscrito..... | 23 |
| 5.5. | Estimación de la demanda hídrica..... | 23 |
| 5.5.1. | Dotación..... | 23 |
| 5.5.2. | Agua no contabilizada..... | 23 |
| 5.5.3. | Población de diseño..... | 24 |
| 5.5.4. | Proyección de la población..... | 24 |
| 5.5.5. | Caudal de incendio..... | 25 |
| 5.5.6. | Caudal promedio diario..... | 25 |
| 5.5.7. | Caudal máximo diario..... | 26 |
| 5.5.8. | Caudal máximo horario..... | 26 |
| 5.5.9. | Caudal de diseño o coincidente..... | 26 |
| 5.6. | Capacidad de Almacenamiento..... | 26 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.6.1. | Volumen de regulación..... | 26 |
| 5.6.2. | Volumen para incendios. | 26 |
| 5.6.3. | Volumen de reserva por interrupciones. | 27 |
| 5.7. | Análisis Hidráulico..... | 27 |
| 5.8. | Análisis Económico | 28 |
| 5.9. | Análisis Ambiental..... | 29 |
| 6. | METODOLOGÍA | 30 |
| 6.1. | Equipos y Softwares manejados..... | 31 |
| 6.2. | Reconocimiento zona de estudio..... | 31 |
| 6.3. | Toma de medidas y levantamiento topográfico. | 31 |
| 6.4. | Recolección de información base..... | 32 |
| 6.5. | Estudio hidrométrico de las fuentes de agua..... | 33 |
| 6.6. | Determinación de la demanda hídrica..... | 34 |
| 6.6.1. | Dotación neta. | 34 |
| 6.6.2. | Dotación Bruta..... | 35 |
| 6.6.3. | Estimación de la población de diseño..... | 35 |
| 6.6.4. | Demanda (Caudales de diseño)..... | 36 |
| 6.7. | Capacidad de almacenamiento..... | 37 |
| 6.7.1. | Volumen de regulación del consumo..... | 37 |
| 6.7.2. | Volumen de reserva por interrupciones. | 38 |
| 6.7.3. | Volumen de reserva para incendios. | 38 |
| 6.8. | Análisis hidráulico de la red de abastecimiento..... | 39 |
| 6.8.1. | Modelación Hidráulica. | 39 |
| 6.9. | Análisis de soluciones..... | 39 |
| 6.10. | Análisis Económico..... | 40 |
| 6.11. | Análisis Ambiental..... | 40 |
| 7. | RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 42 |
| 7.1. | Descripción general de la zona de estudio..... | 43 |
| 7.2. | Nivel socioeconómico de la población abastecida..... | 43 |
| 7.3. | Caracterización del acueducto..... | 44 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 7.3.1. | Estudio hidrométrico de las fuentes de agua. | 44 |
| 7.3.2. | Tuberías de conducción. | 51 |
| 7.3.3. | Tanques de almacenamiento. | 53 |
| 7.3.4. | Tubería de distribución. | 55 |
| 7.3.5. | Accesorios Hidráulicos. | 57 |
| 7.4. | Determinación de la demanda hídrica. | 58 |
| 7.4.1. | Dotación. | 58 |
| 7.4.2. | Población de diseño. | 59 |
| 7.4.3. | Demanda. | 60 |
| 7.5. | Capacidad de almacenamiento. | 61 |
| 7.6. | Balance Hídrico. | 62 |
| 7.7. | Análisis hidráulico de la red de abastecimiento. | 65 |
| 7.7.1. | Modelación hidráulica para condición actual. | 65 |
| 7.8. | Análisis de soluciones. | 82 |
| 7.8.1. | Propuesta de mejoramiento 1. | 82 |
| 7.8.2. | Propuesta de mejoramiento 2. | 85 |
| 7.8.3. | Propuesta de mejoramiento 3. | 90 |
| 7.8.4. | Mejoras en la capacidad de almacenamiento. | 94 |
| 7.9. | Análisis Económico. | 95 |
| 7.10. | Análisis Ambiental. | 97 |
| 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 98 |
| 8.1. | Conclusiones | 99 |
| 8.2. | Recomendaciones. | 100 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 101 |
| 10. | ANEXOS | 1 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Caudales en hidrantes según ocupación de edificaciones | 25 |
| Cuadro 2. Capacidad de tanque de reserva de acuerdo con la ocupación | 27 |
| Cuadro 3. Rangos de calificación que indican la importancia del impacto generado. | 41 |
| Cuadro 4. Caudales obtenidos para cada naciente en estudio..... | 51 |
| Cuadro 5. Longitud de tubería de conducción del sistema principal..... | 51 |
| Cuadro 6. Características de tanques principales del sistema principal. | 53 |
| Cuadro 7. Características de tanques secundarios del sistema principal. | 54 |
| Cuadro 8. Características del tanque de almacenaje sistema secundario. | 55 |
| Cuadro 9. Consumo por abonado según rango y mes de análisis..... | 58 |
| Cuadro 10. Proyección de población a 20 años para cada sistema..... | 59 |
| Cuadro 11. Caudales calculados para el sistema principal del acueducto de El Yas. | 60 |
| Cuadro 12. Caudales calculados para el sistema secundario del acueducto de El Yas. | 61 |
| Cuadro 13. Volumen de regulación del consumo y reserva por interrupciones para cada sistema. | 61 |
| Cuadro 14. Volumen total requerido para el acueducto de El Yas..... | 62 |
| Cuadro 15. Balance hídrico para el sistema principal. | 63 |
| Cuadro 16. Balance hídrico para el sistema secundario. | 64 |
| Cuadro 17. Presión de operación de válvulas reguladoras del sistema principal. | 70 |
| Cuadro 18. Presión de operación de válvulas reguladoras para la propuesta 2. | 88 |
| Cuadro 19. Costo total de las propuestas de mejora. | 95 |
| Cuadro 20. Egresos mensuales aproximados de la ASADA de EL Yas. | 96 |
| Cuadro 21. Ingresos mensuales estimados de la ASADA de El Yas | 96 |
| Cuadro 22. Análisis económico para las propuestas de mejoras. | 96 |
| Cuadro 23. Resumen de impactos estimados con el desarrollo de las propuestas planteadas. | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Uso del recurso hídrico en Costa Rica. | 11 |
| Figura 2. Captación de manantial (1) y captación de quebrada (2). | 15 |
| Figura 3. Diagrama de Rippl o Curva Masa. | 22 |
| Figura 4. Ubicación geográfica zona de estudio. | 43 |
| Figura 5. Ubicación geográfica de las nacientes. | 45 |
| Figura 6. Naciente La Virgen. | 46 |
| Figura 7. Curva masa naciente La Virgen. | 46 |
| Figura 8. Naciente Fernández. | 47 |
| Figura 9. Curva masa naciente Fernández. | 48 |
| Figura 10. Naciente Capira. | 49 |
| Figura 11. Curva masa naciente Fernández. | 50 |
| Figura 12. Ubicación tuberías de conducción del sistema principal. | 52 |
| Figura 13. Tubería de conducción protegida (sistema secundario). | 53 |
| Figura 14. Ubicación geográfica tanques de almacenamiento sistema principal. | 54 |
| Figura 15. Ubicación de tuberías de distribución del sistema principal. | 56 |
| Figura 16. Ubicación de tuberías de distribución del sistema secundario. | 57 |
| Figura 17. Balance hídrico para el sistema principal. | 63 |
| Figura 18. Balance hídrico para el sistema secundario. | 64 |
| Figura 19. Intervalos de elevación de los nodos del sistema principal. | 66 |
| Figura 20. Variación de diámetros en el sistema principal. | 67 |
| Figura 21. Presiones actuales del sistema principal del acueducto de El Yas. | 68 |
| Figura 22. Velocidades actuales en conducciones del sistema principal. | 69 |
| Figura 23. Velocidades actuales en la tubería de distribución del sector El Yas. | 71 |
| Figura 24. Pérdidas de carga unitaria actuales en la tubería de distribución del sector El Yas. | 72 |
| Figura 25. Caudales actuales en la tubería de distribución del sector El Yas. | 73 |
| Figura 26. Velocidades actuales en la tubería de distribución del sector Río Regado. | 74 |
| Figura 27. Pérdidas de carga unitaria actuales en la tubería de distribución del sector Río Regado. | 75 |
| Figura 28. Caudales actuales en la tubería de distribución del sector Río Regado. | 76 |

| | |
|---|----|
| Figura 29. Intervalos de elevación de los nodos del sistema secundario..... | 77 |
| Figura 30. Variación de diámetros en el sistema secundario..... | 78 |
| Figura 31. Presiones actuales del sistema secundario del acueducto de El Yas..... | 79 |
| Figura 32. Velocidades actuales en el sistema secundario del acueducto de El Yas..... | 80 |
| Figura 33. Pérdidas de carga unitaria actuales en el sistema secundario del acueducto de El Yas. | 81 |
| Figura 34. Caudales actuales en el sistema secundario del acueducto de El Yas..... | 82 |
| Figura 35. Presiones obtenidas en el sector El Yas (Propuesta 1)..... | 83 |
| Figura 36. Presiones obtenidas en el sector Río Regado (Propuesta 1)..... | 84 |
| Figura 37. Presiones obtenidas en el sistema secundario (Propuesta 1)..... | 85 |
| Figura 38. Diámetros de la tubería de distribución del sector El Yas (Propuesta 2). | 86 |
| Figura 39. Diámetros de la tubería de distribución Río Regado (Propuesta 2). | 87 |
| Figura 40. Rango de presiones en el sistema principal (Propuesta 2). | 89 |
| Figura 41. Pérdidas de carga unitaria en el sistema principal (Propuesta 2). | 90 |
| Figura 42. Diámetros de la tubería de distribución del sector El Yas (Propuesta 3). | 91 |
| Figura 43. Diámetros de la tubería de distribución Río Regado (Propuesta 3). | 92 |
| Figura 44. Rango de presiones en el sistema principal (Propuesta 3). | 93 |
| Figura 45. Pérdidas de carga unitaria en el sistema principal (Propuesta 3). | 94 |

1. RESUMEN

Se realizó un estudio de línea base en la red de abastecimiento de agua del acueducto rural de El Yas ubicado en el distrito Santiago del Cantón de Paraíso. Se llevó a cabo una evaluación de los dos sistemas que conforman el acueducto; el sistema principal que abarca 10,64 km de tubería y el sistema secundario con 1,53 km de tubería que distribuyen el agua a 465 abonados para el año 2021.

Mediante el levantamiento topográfico de la zona, información de aforos, registros de consumo mensual y datos referentes a tuberías; se desarrolló un estudio hidrométrico de las nacientes, la estimación de demanda hídrica para 20 años y una modelación hidráulica de las redes de conducción y distribución del agua mediante el software EPANET 2,2 donde se determinó que el sistema opera fuera de las condiciones establecidas por la normativa del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

Se plantearon tres propuestas de mejoras con el objetivo de regular presiones, ampliar capacidad de almacenamiento y cumplir con diámetros requeridos para la instalación de hidrantes. Basado en un análisis económico y ambiental se determinó la viabilidad de implementar cada propuesta y el impacto que podrían generar las obras sobre el ambiente.

Palabras clave: Acueducto, Agua, conducción, distribución, tanque de almacenamiento.

2. ABSTRACT

A baseline study was carried out on the water supply network of the rural aqueduct of El Yas located in the Santiago district of the Paraíso canton. An evaluation was carried out of the two systems that make up the aqueduct; the main system comprising 10,64 km of pipe and the secondary system with 1,53 km of pipe that distribute water to 465 subscribers for the year 2021.

Through topographic survey of the area, production capacity information, monthly consumption records and pipes data; a hydrometric study of the springs was developed, the estimation of water demand for 20 years and a hydraulic modelling of water driving and distribution networks using EPANET 2,2 software where it was determined that the system operates outside the conditions established by the regulations of the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers (AyA).

Three improvement proposals were made with the aim of regulating pressures, expanding storage capacity and comply with the diameters required for the hydrant installation. Based on an economic and environmental analysis, the viability of implementing each proposal and the impact that the works could generate on the environment were determined.

Keywords: Aqueduct, water, driving, distribution, storage tank.

3. INTRODUCCIÓN

A nivel de Latinoamérica; Costa Rica es uno de los países destacados por su calidad y amplia cobertura del recurso hídrico. Sin embargo, en la actualidad los problemas de contaminación, desabastecimiento, escasez y legislación inconexa no cesan (Mora Pérez, 2020), es decir, el aprovechamiento es eficaz pero la gobernanza del recurso se dificulta ya que se presentan conflictos debido a su uso intensivo.

En los últimos 20 años las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) se han encargado no solo de brindar servicio de abastecimiento de agua, sino que juegan un papel fundamental en la gobernanza de aguas subterráneas y superficiales, protección ambiental y ordenamiento territorial; estos entes actualmente brindan cobertura al 28% de la población nacional (Cuadrado Quesada, 2021).

El desarrollo de la comunidad del El Yas del distrito de Santiago de Paraíso se debe principalmente a las actividades agrícolas, pecuarias y turísticas, donde la disponibilidad del recurso hídrico es prioridad y de suma importancia para el presente y futuro de la localidad. La Asociación Administradora del acueducto ha venido realizando mejoras a la red de abastecimiento para mejorar el servicio de agua potable en la zona, ya que en muchas ocasiones se han presentado problemas de rupturas en las tuberías debido a las altas presiones. Por otro lado, se desconoce la capacidad que tiene el sistema de abastecer nuevas conexiones a futuro y si cumplen con las especificaciones técnicas establecidas por el AyA en la norma “Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial” (2017).

De acuerdo con lo indicado anteriormente, surge la necesidad de conocer la funcionalidad actual y futura de la red de abastecimiento; por ende, se realizó un estudio de línea base donde se evaluó cada uno de los sistemas que integran el acueducto mediante un estudio hidrométrico de las nacientes, una estimación de la demanda hídrica actual y futura y una modelación hidráulica de las redes, basadas en los datos tomados en campo y proporcionados por la ASADA para posteriormente proponer las mejoras al sistema actual sustentadas mediante su simulación respectiva.

4. OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar el sistema de abastecimiento de agua potable del acueducto, mediante un estudio técnico que permita su valoración hidrológica e hidráulica, de acuerdo con la Norma Técnica para “Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial” del AyA.

Objetivos específicos.

- a) Realizar el estudio hidrométrico de los registros de aforos para el cálculo del caudal medio o seguro de las fuentes de agua disponibles de la ASADA.
- b) Definir los requerimientos de agua futura para una proyección de 20 años que permita la determinación del crecimiento vegetativo de la comunidad para consumo humano.
- c) Elaborar un balance hídrico para la determinación de la capacidad del acueducto en la entrega de nuevas disponibilidades de agua potable y una modelación numérica computacional de la red de abastecimiento de agua potable, para la identificación de los parámetros hidráulicos y optimización del sistema.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Recurso hídrico en Costa Rica.

En Costa Rica, el acceso al agua potable es un derecho fundamental y un bien de dominio público que es administrado de acuerdo con prioridades establecidas según la Ley de Aguas N.º 276 del 27 de agosto de 1942 y sus reformas respetando los derechos y garantías estipuladas en el Artículo 50 de la Constitución Política; además de los criterios ambientales especificados en la Ley Orgánica del Ambiente N.º 7554 del 13 de noviembre de 1995 (AyA, 2016).

La regulación del recurso hídrico del país está a cargo de cuatro entidades: El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) que se encarga del establecimiento de normas y reglamentos de carácter técnico dirigidos a sistemas de agua potable y saneamiento poblacional; el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) que promulga reglamentos y normas enfocadas al uso y aprovechamiento del recurso hídrico y calidad de aguas residuales; el Ministerio de Salud (MINSa) que participa en la formulación de normas de calidad del agua y autorización de sistemas de saneamiento y la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) quien es la encargada de la regulación tarifaria y velar por la calidad de la prestación del agua potable; en síntesis, de acuerdo con AyA (2016), las entidades especificadas son las que poseen la potestad de normar y reglamentar el funcionamiento de los acueductos para suministro de agua poblacional.

Con respecto a la disponibilidad y uso del recurso hídrico en nuestro país; Angulo (2015) indica que el 78% del agua está concesionada para actividades de producción; mientras que el 22% del agua es para consumo humano, según el último balance de la Dirección de Aguas; es decir, el agua en su mayoría es utilizada para la producción nacional, en la Figura 1 se muestra en detalle lo indicado anteriormente.

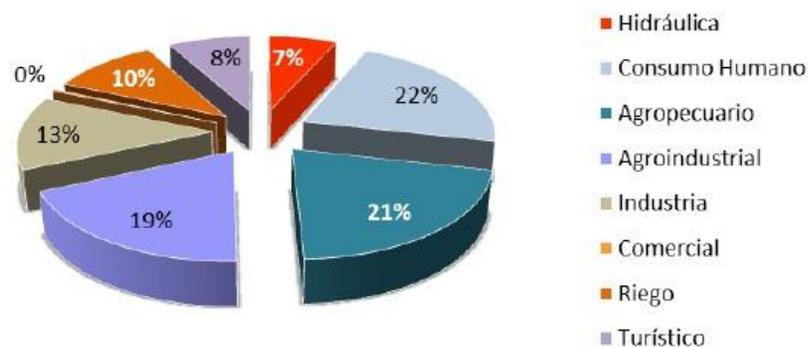


Figura 1. Uso del recurso hídrico en Costa Rica.

Fuente: Angulo, 2015.

5.2. Calidad y cobertura del agua.

Actualmente el abastecimiento de agua potable en Costa Rica lo deben realizar instituciones autorizadas de manera legal: AyA como ente rector y operador de abastecimiento del recurso a nivel nacional, municipalidades, Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y ASADAS.

Para el año 2019 la cobertura de agua potable en Costa Rica fue del 99,6% de la población; del cual, el 97,8% era abastecida de manera intradomiciliaria, el 1,8% con tubería en el patio y un 0,4% carecía del servicio; todos abastecidos por 2615 acueductos, de los cuales el 80,3% brindaban agua potable y el restante 19,7% de agua con calidad no potable; es decir, el 93% de la población recibía el agua gestionada de forma segura y el 6,6% restante abastecida con servicio básico (Mora & Portuquez, 2020).

La calidad del agua está regulada por el Decreto Ejecutivo 38924-S “Reglamento para la Calidad del Agua Potable” y sus reformas, que a su vez influye directamente en la administración de operación de los acueductos; si se incumple este decreto podría provocar un alto impacto en la salud pública, lo que conllevaría a suspender el servicio por parte de las instituciones reguladoras, según el artículo 4 del Decreto Ejecutivo Número 30413 – MP – MINAE – S – MEIC sobre “Reglamento Sectorial para la Regulación de los Servicios de Acueducto y Alcantarillado Sanitario” (Angulo Zamora , 2015).

5.3. Sistema de abastecimiento de agua potable.

Según el Artículo 1, Reglamento 44, Acuerdo 281 del Sistema Nacional de Legislación Vigente: Norma Técnica para “Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial” del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017); un sistema de abastecimiento de agua potable es la unión de las fuentes, infraestructura y equipamiento para la captación, potabilización y distribución del recurso hídrico a un determinado grupo de población, el sistema incluye: plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento, tuberías de aducción y conducción, pozos, estaciones de bombeo, redes de distribución, hidrantes y otros elementos que influyen en la correcta cobertura hídrica.

5.3.1. Tipos de sistema de abastecimiento.

Sistema por gravedad: funciona debido al efecto de la gravedad, el agua baja hasta el tanque de almacenamiento debido a su peso, ya que las fuentes o nacientes que abastecen el sistema se ubican en la parte más alta del terreno, con respecto a los demás componentes del sistema; para que el abastecimiento sea el óptimo es necesario el uso de elementos como tanques que quiebra gradientes o válvulas para controlar la presión hasta los puntos de entrega (Vividea Castro , 2018).

Sistema por bombeo: al contrario del anterior, las fuentes o nacientes se ubican en un nivel inferior con respecto a los puntos de entrega, por ende, se requiere del uso de bombas para impulsar el agua hasta los tanques de almacenaje (Vividea Castro , 2018).

Sistema mixto: este sistema combina el uso de gravedad y presión mediante bombeo; generalmente es utilizado cuando la presión de la red de abastecimiento no es suficiente para que el agua potable llegue a los tanques de almacenamiento o a las conexiones domiciliarias (Vividea Castro , 2018).

5.3.2. Elementos de un sistema de abastecimiento.

Fuente de abastecimiento.

Corresponde al principal componente del sistema; al momento de seleccionar una fuente para abastecer de agua potable a una población es importante tomar en cuenta lo siguiente (Escobar Navas & Rivera González, 2015):

- Ubicación: este factor determinará si el sistema operará mediante gravedad o por bombeo.
- Capacidad de suministro: debe ser suficiente para cubrir la demanda del proyecto a abastecer, por lo que realizar mediciones periódicas y proyecciones futuras permitirá la condición y evaluación de esta.
- Calidad de agua: la condición de este parámetro definirá las obras pertinentes de potabilización o tratamiento, en Costa Rica la calidad del agua que suministran las fuentes deben cumplir con los requerimientos detallados en el Decreto 38924-S del Reglamento para la calidad del agua potable del Ministerio de Salud que indica los límites máximos recomendados en los que se debe encontrar la calidad del agua que suministra las fuentes (MINSA, 2015).
- Tipo de fuente hídrica: se debe conocer las características físicas e hídricas de la toma hídrica apta para consumo, el agua se puede originar u obtener de ríos, arroyos, embalses, manantiales, lagos o pozos.

Según Escobar y Rivera (2015), las fuentes se clasifican en: Superficiales que comprenden los ríos, canales, lagunas y embalses; subterráneas que pueden ser profundas y subsuperficiales y a su vez freáticas o subálveas y las fuentes meteóricas que corresponden a las lluvias, nieve o granizo.

Cuantificación o medición de caudales hidrométricos.

Para realizar una correcta evaluación de las fuentes (nacientes, quebradas), diseñar las obras de captación que mejor se adecuen a las condiciones y lograr una planificación óptima para el uso del recurso hídrico es necesario conocer la variabilidad de los caudales a lo largo de

un período determinado (García, 2011). Para lograr lo anterior, es importante contar con registros hidrométricos que permitan analizar el comportamiento hidrológico de las fuentes, los cuales se pueden obtener mediante aforos realizados en intervalos determinados a lo largo del año.

Es recomendable estimar los caudales tanto en la época de estiaje como en la época lluviosa (períodos críticos) para obtener los caudales máximos y mínimos, y posteriormente tomar decisiones dirigidas al aprovechamiento del agua. No obstante, para efectos de diseño de infraestructuras, se deben plantear considerando las condiciones más críticas para los períodos hidrológicos; García (2011) indica que los métodos para aforar más comunes son los siguientes:

- Método directo o volumétrico: es el método más simple y rápido de ejecutar, sirve para estimar caudales pequeños, este trata de calcular el tiempo que tarda un flujo de agua en llenar un dispositivo de volumen conocido.
- Método indirecto: para aplicar este método se debe medir la velocidad y el área transversal de la sección del curso del agua, se pueden utilizar equipos como flotadores, correntómetros o estructuras hidráulicas.

Captación.

Una captación es el conjunto de elementos (infraestructura, equipos, estructuras civiles e hidráulicas y otros) necesarios para tomar el agua de una fuente de abastecimiento subterránea o superficial para un sistema de abastecimiento de agua potable (AyA, 2017).

De acuerdo con Quispe (2019), las captaciones se clasifican en:

- Captaciones pluviales: estas son construidas en los techos de casas y otras estructuras para cosechar el agua proveniente de las lluvias, generalmente es utilizada para otras actividades y no para consumo humano.
- Captaciones superficiales: Para su construcción se debe contar con información obtenida mediante estudios hidrológicos que permite conocer el comportamiento de las fuentes (ríos, lagos o embalses); estas pueden ser sumergidas o semisumergidas como represas, canales, drenajes y pozos de captación o desvío.

- Captaciones subterráneas: estas son realizadas para captar el agua de fuentes como nacientes, acuíferos o pozos de poca profundidad que generalmente se ubican en montañas o cerros para transportar el agua hacia lugares de menor elevación, un ejemplo es la perforación de pozos profundos.

El diseño de los sistemas de captación va a estar influenciado principalmente por el tipo de fuente que se quiera aprovechar y las condiciones presentes en el medio; el agua que circula desde una ladera puede provenir ya sea de manantiales concentrados o de manantiales difusos para ambos casos el sistema de captación está compuesto por una captación del afloramiento, una cámara de carga (recolección y pase al sistema de conducción) y una cámara seca (protección válvulas y llaves de paso); mientras que el agua proveniente de pequeñas quebradas, el diseño del sistema de captación estará enfocado por la pendiente y el material del lecho del curso del agua, estos sistemas pueden ser: tomas libres y obras auxiliares de tomas superficiales (tomas libres mejoradas y desarenadores) (García, 2011). En la Figura 2 se muestra ambos sistemas mencionados.

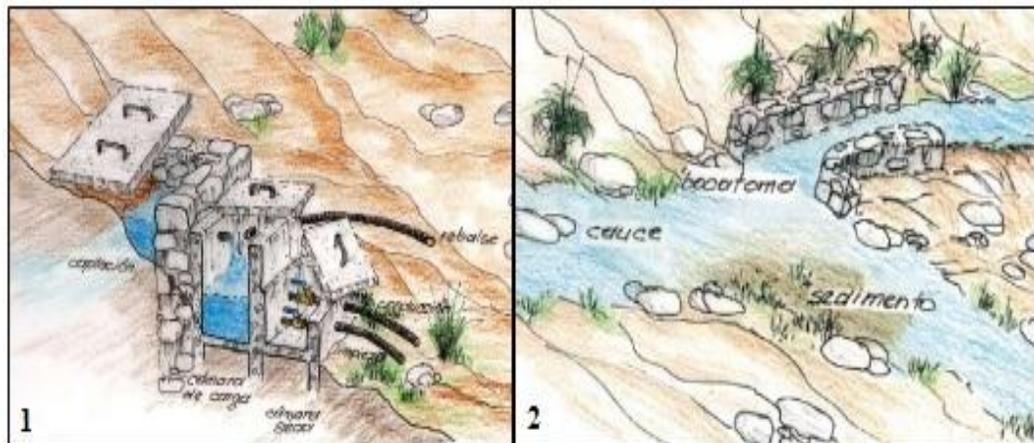


Figura 2. Captación de manantial (1) y captación de quebrada (2).

Fuente: García, 2011.

Tuberías de aducción.

De acuerdo con lo investigado por González (2018), son las tuberías que conducen ya sea por gravedad o bombeo aguas no tratadas (crudas), desde las captaciones hasta las plantas de tratamiento.

Planta potabilizadora.

Es el conjunto de equipos y estructuras que someten el agua superficial o subterránea proveniente de distintas fuentes de abastecimiento a procesos con el objetivo de que sea adecuada para el consumo y demás actividades del ser humano; generalmente cuenta con las etapas de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección (CONAGUA, 2017).

En Costa Rica, existen acueductos que no cuentan con planta potabilizadora, sino que utilizan procesos de desinfección mediante cloro en estado líquido, gaseoso o granular debido a su gran potencia de germicida, de fácil manipulación y bajo costo. Las formas más comunes son:

- Cloro líquido envasado a presión (CL2): se dosifica ya sea en sistemas con funcionamiento al vacío o funcionamiento a presión.
- Hipoclorito de Sodio (NAOCl): se lleva a cabo mediante la electrólisis de una solución de sal común, agua y electricidad.
- Hipoclorito de Calcio (Ca (OCl)2): se presenta en forma de pastillas y no requiere de electricidad.

Tuberías de conducción.

Estas tuberías transportan agua de diferentes maneras: de la fuente hídrica hasta la planta potabilizadora, de la fuente hasta los tanques de almacenaje, de la planta potabilizadora hasta los tanques o bien de tanque a tanque. Generalmente no poseen entregas de agua a lo largo de su longitud (González García , 2018).

Según AyA (2017), cuando se requiera diseñar o construir un sistema de abastecimiento, específicamente para tuberías de conducción, el período de retorno debe ser de 25 años, la velocidad máxima permitida es de 5 m/s y mínima de 0,6 m/s, la presión estática interna que deben resistir no debe ser inferior a 80 m.c.a. (incluyendo sobrepresión por golpes de ariete), pero de manera general deben tener la capacidad mínima de soportar 100 m.c.a. y el diámetro mínimo obedecerá al del cálculo hidráulico. Estas disposiciones pueden no representar los valores estándares internacionales, sin embargo, el diseñador y evaluador del proyecto, debe

considerar no sobrepasar velocidades mayores a 3 m/s, así como, diseñar con altas presiones solo para condiciones específicas y con materiales adecuados para soportar esas condiciones operativas.

Tanque de almacenamiento y regulación.

Este es uno de los componentes principales del sistema para suministrar agua potable a una población; Valades (2017) indica que no todos los tanques tienen la función de almacenar y regular a la vez; es decir, no pueden almacenar agua adicional para eventos extraordinarios.

Es importante que los sistemas de abastecimiento cuenten con un tanque con la capacidad de almacenar volumen de agua cuando la demanda generada por la población es menor que el agua que suministra la fuente y poder utilizar este volumen cuando la demanda sea superior; la operatividad, tipo y sitio del tanque de almacenamiento dependen de las condiciones de topografía, disponibilidad de materiales y terreno, las tuberías de conducción y distribución, ya sean las existentes o del proyecto; existen varios tipos de tanques de almacenamiento (Valades , 2017):

- Tanques superficiales: construidos en lugares con adecuada topografía, generalmente son de concreto, acero vitrificado, aluminio u otros materiales constructivos.
- Tanques elevados: son construidos en lugares con topografía plana, pueden ser de acero o concreto; en algunos casos poseen la limitante de no almacenar y regular la demanda del sistema.
- Tanques semienterrados o enterrados: son empleados generalmente cuando el terreno de la zona presenta una elevación adecuada para el funcionamiento de la red de abastecimiento.

En Costa Rica, los sistemas de abastecimiento de agua potable deben tener tanques diseñados con la capacidad de compensación para fluctuaciones horarias de demanda, combatir incendios y contar con reserva para interrupciones (AyA, 2017).

Red de distribución.

La red de distribución está conformada por tuberías de distribución y accesorios que transportan el agua potable para consumo, desde los tanques de almacenamiento hasta las tomas domiciliarias de las viviendas o hidrantes (Aguirre Morales , 2015).

En el país, para acueductos rurales; de igual manera que las tuberías de conducción, las tuberías de distribución deben ser capaces de resistir tanto la presión estática interna como los golpes de ariete que se puedan generar durante la operación del sistema, por lo tanto, la resistencia en dichos conductos no debe ser inferior a los 100 m.c.a. La velocidad máxima permitida es de 3 m/s, la máxima presión estática en el punto más bajo de la red de distribución deber ser de 50 m.c.a. mientras que la presión dinámica en el punto crítico de la red no debe ser menor de 15 m.c.a. en la conexión con la red; para el caso de diseño o rediseño de un acueducto, el período de diseño de las tuberías de distribución es de 20 años (AyA, 2017).

Tipos de tubería.

AyA (2017), indica que la tubería a emplear en los sistemas de agua potable en Costa Rica debe ser de sección hidráulica circular y el tipo de material permitido para la aducción, conducción y distribución se detallan a continuación:

- Metálicas: Hierro (galvanizado y fundido), acero y cobre son los materiales metálicos permitidos, generalmente es utilizado para altas presiones, instalaciones aéreas (pasos elevados) y enterradas ya que su versatilidad permite crear instalaciones de regulación de caudal y presión, las uniones entre tubos se deben realizar mediante soldadura (Molia, 2018).
- Poliméricas: Cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno de alta densidad (PEAD) son los permitidos y los más utilizados en los sistemas de abastecimiento; se caracterizan por ser resistentes al óxido y tener baja conductibilidad térmica, son de fácil instalación y sus diámetros varían de los 12 mm hasta los 300 mm en el mercado, se recomienda enterrar la tubería para evitar el debilitamiento causado por la luz solar (Hernández, 2019).

- Otros materiales: Hernández (2019) menciona que años atrás se utilizaba tubería de cemento que se caracterizaba por ser muy resistente al calor, durables y de bajo costo, pero en la actualidad su uso es prohibido porque limita la seguridad de la población ya que el material se ha asociado con la presencia de enfermedades. De igual manera, otros materiales han dejado de usarse con los años, tales como hierro negro o acero al carbono, ya que se oxidan con facilidad y facilitan la aparición de bacterias férricas al carecer de un recubrimiento.

En Costa Rica, el tubo para las acometidas domiciliarias (conexión doméstica) debe ser de polietileno de alta densidad; además, no es permitido la utilización de tubería de material PVC SDR 41 (AyA, 2017).

Válvulas.

Corresponden a dispositivos para detener, regular, modular, conectar, desconectar o aislar fluidos que se instalan en las redes de abastecimiento de agua potable para la operación eficiente de las redes. Las válvulas permiten aislar sectores específicos, mantener la dirección de flujo e impedir el vaciado en las tuberías (Escobar García, 2009). Las válvulas de uso más común se detallan a continuación:

- Válvulas de aire: Manejan la entrada de aire en la conducción cuando se necesite vaciar la tubería u ocurra una ruptura, controla la salida de aire durante el llenado de la tubería y permiten la salida del aire cuando la conducción entra bajo presión (Sánchez Bejarano, 2010).
- Válvulas de compuerta: Son válvulas hidromecánicas que poseen un obturador dentro de una carcasa que permite abrir o cerrar el flujo de agua en una tubería de manera total. (Trapote, 2014).
- Válvulas reguladoras de presión: Son dispositivos de control de presión que funcionan mediante la restricción de flujo generando una pérdida de carga, permitiendo presiones menores y constantes aguas abajo de la válvula con respecto a la presión de entrada (Fernández & Zamudio , 2016).

- Válvula antirretorno: Según Trapote (2014), tienen el objetivo de permitir el paso del flujo o caudal en una sola dirección; se cierran cuando el flujo de caudal circula en sentido opuesto.

Tanque quiebra gradiente.

Montero y Moreno (2018) indican que son tanques que se incorporan a la red de distribución con el fin de garantizar presiones de entrega adecuadas; es decir, se lleva el agua a presión cero para regular las presiones a la capacidad de la tubería. Deben ser diseñados con tuberías de entrada, salida, limpieza y rebalse y generalmente son construidos en zonas con topografía muy quebrada, disponiendo de una cámara húmeda y una seca.

Macromedidor.

Es uno de los elementos de control más importantes en un sistema de agua potable porque permite conocer y medir el volumen de agua que entra a la red ya sea en los procesos de captación, potabilización o distribución, con el objetivo de comparar la cantidad de agua perdida versus el agua aprovechada (agua no contabilizada); generalmente se instalan en tuberías con diámetros nominales mayores a los 50 mm (Areiza & Caraballo, 2019).

Micromedidor o hidrómetro.

Es un dispositivo que permite medir el volumen consumido por los usuarios en un tiempo determinado; en Costa Rica generalmente se toman lecturas cada mes de manera mecánica o automática para posteriormente el ente que administra el servicio lo asocie a la facturación, este dispositivo debe ser instalado fuera de la propiedad y en una caja de protección (AyA, 2021).

Hidrantes.

De acuerdo con el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica (2020), los hidrantes son elementos que están conectados a una red de abastecimiento (acueducto) y son parte fundamental en el funcionamiento íntegro del sistema; están destinados a suministrar agua de la red para la atención de incendios.

Existen dos tipos de hidrantes: el univalvular y el multivalvular, se diferencian principalmente por la cantidad de válvulas que poseen y la base de alimentación del primero es de 100 mm mientras que para el segundo es de 150 mm.

Según AyA (2017), el tipo y ubicación del hidrante deben ser definidos de acuerdo con lo establecido en la Ley N.º 8641 “Declaratoria del servicio de hidrantes como servicio público y reforma de leyes conexas” y la Ley N.º 8228 “Ley del Benemérito Cuerpo de Bomberos”, además de cumplir con los requerimientos técnicos que establece el ente indicado. Los hidrantes deberán conectarse a tuberías de 100 mm ó 150 mm de diámetro y no deben estar separados a una distancia mayor de 180 metros entre sí.

5.4. Análisis de fuentes de agua.

Para conocer el comportamiento de las diferentes fuentes de agua se debe contar con datos de aforos, estos pueden ser analizados mediante métodos estadísticos que permiten estimar la capacidad que poseen estas fuentes de suministrar una cantidad de agua para un período de tiempo determinado, uno de los más aplicados es el siguiente:

5.4.1. Diagrama de Rippl o Curva Masa.

De acuerdo con lo citado en Jara (2018) el Diagrama de Rippl o Curva Masa es un método empleado para estimar el comportamiento de producción de una fuente hídrica y la capacidad de almacenamiento requerida para satisfacer las necesidades de la población; se obtiene una gráfica mediante el cálculo y acumulación de volúmenes históricos versus el período de tiempo que generalmente es en meses o años, en la Figura 3 se muestra un ejemplo de un Diagrama de Rippl.

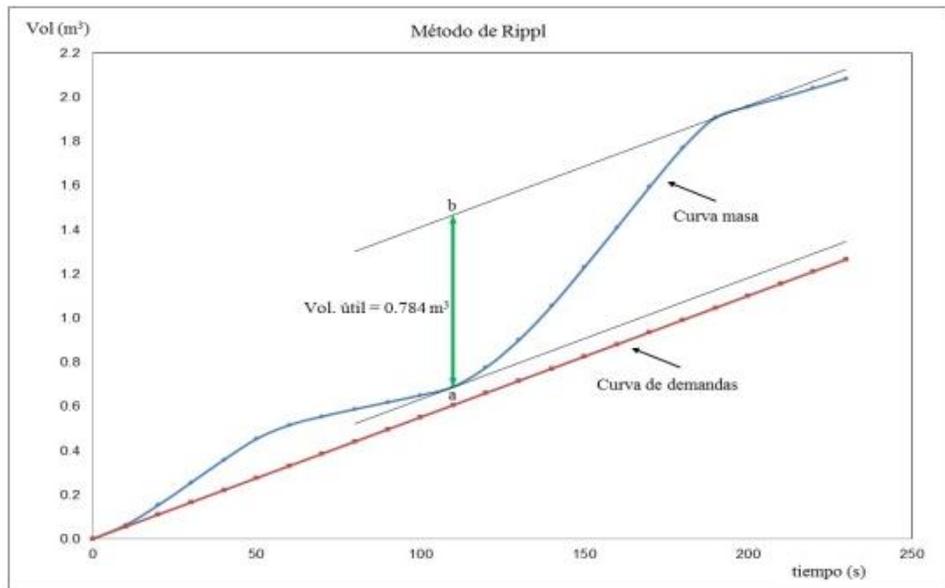


Figura 3. Diagrama de Rippl o Curva Masa.
Fuente: López, 2016

5.4.2. Caudal medio o seguro.

Corresponde al caudal medio obtenido de una reserva de agua subterránea o sistema de agua superficial, mediante el análisis de aforos obtenidos en un largo tiempo para evitar generar resultados no esperados (Gerrit, 2002). Este caudal se puede conocer por medio del Diagrama de Rippl ya que corresponde a la pendiente de la recta que une los puntos de la curva generada.

5.4.3. Caudal mínimo remanente.

Según las normas del Departamento de Aguas (ahora Dirección de Agua) adjuntas en SINALEVI (2004); corresponde al caudal no derivable de una fuente con el propósito de garantizar un caudal continuo y permanente aguas debajo de todo aprovechamiento a lo largo del cauce.

A nivel nacional, este caudal es determinado como el 10% del caudal real aforado en épocas críticas (estiaje), lo anterior para las fuentes que presenten limitaciones de caudal o el caudal requerido sea destinado para consumo humano (Monge Mejía, 2021).

5.4.4. Caudal disponible.

Es el caudal resultante de la resta del caudal máximo que da la captación de agua en condiciones viables ambientalmente menos el caudal inscrito u otorgado en una concesión por el departamento o institución encargada. (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2011).

5.4.5. Caudal inscrito.

Corresponde a la sumatoria de los caudales concesionados más el caudal ambiental del sitio de toma en análisis (MINAE, 2021).

5.5. Estimación de la demanda hídrica.

5.5.1. Dotación.

Según la Dirección de Agua (2021), la dotación corresponde a la cantidad de agua asignada a un uso o actividad, generalmente es expresada en L/persona/día (consumo de agua promedio por persona en un día).

AyA (2017) indica que las dotaciones brutas que se deben aplicar en el diseño de redes de abastecimiento son las siguientes:

- Patrones de consumo y demanda real de la zona en estudio aportados por el ente administrador del sistema de abastecimiento.
- Si no se cuenta con los datos anteriores se deben utilizar los siguientes valores mínimos:
 - a. Poblaciones rurales: 200 l/persona/día
 - b. Poblaciones urbanas: 250 l/persona/día
 - c. Poblaciones costeras: 300 l/persona/día (incluye zonas rurales costeras)
 - d. Área metropolitana: 250 l/persona/día

5.5.2. Agua no contabilizada.

El agua no contabilizada (ANC) es la diferencia entre el agua que es producida al inicio del sistema de abastecimiento y el agua que es facturada a los usuarios (Periódico Mensaje,

2020). El ANC puede deberse por fugas en las tuberías, rebalses de tanques, micromedidores en mal estado o por consumidores informales sin medición.

Este parámetro puede ser calculado con los datos de macro y micro medición que manejen los entes administradores del recurso hídrico; no obstante, si no se cuenta con datos de macro medición se debe asumir un porcentaje del 33% del agua captada (AyA, 2017).

5.5.3. Población de diseño.

La población de diseño o población futura de una zona debe ser estimada a partir de la población inicial, censos, estadísticas continuas o estudios demográficos. El crecimiento de la población puede ser afectada por diferentes factores como: oportunidades laborales, factores socioeconómicos y las características de la zona, sin embargo, durante el tiempo de estudio pueden aparecer otros factores no contemplados que pueden causar cambios en el crecimiento poblacional (Pérez, 2013).

AyA (2017) indica que la población de diseño debe ser calculada con base a la cantidad total de unidades habitacionales que posee el proyecto multiplicado por el factor de ocupación o hacinamiento obtenido del último censo poblacional.

5.5.4. Proyección de la población

El cálculo de la proyección poblacional es de suma importancia ya que, si la estimación es muy baja el diseño propuesto pronto caducará o no será el adecuado; por otra parte, si se da una estimación alta, el diseño propuesto será sobredimensionado y costoso que será asumido por una población menor. De acuerdo con Torres (2011), existen diversos métodos de proyección poblacional a continuación se explicarán dos de ellos:

Método aritmético.

Este modelo consiste en que la población aumenta en una misma cantidad cada unidad de tiempo; es decir, la razón de cambio de la población es constante (tasa de crecimiento lineal), este método es recomendado para períodos de tiempo bajos.

Método geométrico.

Se diferencia del método aritmético porque supone un crecimiento poblacional porcentual constante en el tiempo, es decir no mantiene constante la cantidad de población por unidad de tiempo, sino que mantiene constante el porcentaje de crecimiento, este método se recomienda para períodos de tiempo largos.

5.5.5. Caudal de incendio.

Este caudal es definido por el Benemérito Cuerpo de Bomberos de acuerdo con el tipo de ocupación de las edificaciones, estos se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Caudales en hidrantes según ocupación de edificaciones

| Caudal (l/s)) | Tipo de ocupación | |
|---------------|--|---|
| 31,55 | Residencial Horizontal (Urbanización, Condominio Horizontal, Obras de Infraestructura) | |
| 50.,47 | Cuidado de la salud para pacientes ambulatorios | |
| | Negocios | |
| | Educativa | |
| 63,09 | Almacenamiento | Sitio de reunión pública |
| | Cárceles | Residencial horizontal en condición de precario |
| | Cuidado de la salud | Relleno sanitario |
| | Mercantil e Industrial | Aeropuertos |
| | Hoteles | Edificios |

Fuente: (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica , 2020)

5.5.6. Caudal promedio diario.

Lozano (2015) explica que este caudal corresponde al consumo promedio diario de la población proyectada al final del período de diseño.

5.5.7. Caudal máximo diario.

Es el consumo máximo registrado durante 24 horas para un período de tiempo de un año que debe ser multiplicado por un coeficiente de consumo máximo diario. (Rincón & Córdoba, 2017).

5.5.8. Caudal máximo horario.

Es el consumo máximo registrado durante una hora en un período de 365 días sin tener en cuenta el caudal de incendio, debe ser multiplicado por un coeficiente de consumo máximo horario (Corcho, 2005).

5.5.9. Caudal de diseño o coincidente.

Según AyA (2017), es el caudal producto de la suma del caudal máximo diario y el caudal de incendio.

5.6. Capacidad de Almacenamiento.

5.6.1. Volumen de regulación.

Es el volumen que se requiere para compensar las fluctuaciones horarias del consumo; de acuerdo con AyA (2017) puede ser determinado con el uso de curvas de consumo reales pero sino se dispone de dicha información, el volumen de regulación equivaldrá a un porcentaje entre el 15% y 30% del volumen promedio diario siempre que el caudal que entra al tanque sea constante e igual al caudal promedio que requiera la población.

5.6.2. Volumen para incendios.

Es el volumen de agua necesario que se debe tener en reserva para combatir los incendios; el caudal de incendio, volumen de reserva, ubicación y tipo de hidrantes son definidos de acuerdo con los requisitos técnicos establecidos por el Benemérito Cuerpo de Bomberos conforme a las Leyes N°8641 y N°8228 con sus reformas y reglamentos, en el Cuadro 2 se detallan los volúmenes.

Cuadro 2. Capacidad de tanque de reserva de acuerdo con la ocupación

| Volumen mínimo del tanque de reserva (m ³) | Tipo de ocupación para la cual está destinado el tanque de reserva | |
|--|--|---------------------------|
| 57 | Residencial Horizontal (Urbanización, Condominio Horizontal, Obras de Infraestructura) | |
| 91 | Centros educativos con área igual o superior a 2000 m ² | |
| | Centros de salud no hospitalarios | |
| 114 | Hospitales | Almacenamientos |
| | Albergues | Sitios de reunión pública |
| | Edificios altos | Relleno sanitario |
| | Cárceles | Aeropuertos |
| | Hoteles, Industrias | Precarios |

Fuente: (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica , 2020)

5.6.3. Volumen de reserva por interrupciones.

Este corresponde al volumen que se debe cubrir cuando haya interrupciones en el servicio, debe cubrir un período de cuatro horas del caudal promedio diario como mínimo.

5.7. Análisis Hidráulico.

El análisis o modelación hidráulica consiste en un proceso que permite determinar los caudales que circulan por las líneas de tubería; además de las presiones de los nodos que posea el sistema, previamente se debe conocer las características físicas del sistema y las demandas en los nodos (Trapote, 2014). Existen diversos programas computacionales para llevar a cabo una modelación, entre ellos se explica el siguiente:

- EPANET: es un software que simula en período extendido el comportamiento hidráulico y calidad del agua en redes de distribución a presión, es capaz de determinar el caudal que fluye por las conducciones, la presión en los nodos, el nivel de agua en los depósitos o tanques la concentración de químicos; lo anterior para un período determinado de simulación. (Universidad Politécnica de Valencia, 2012).

5.8. Análisis Económico

Un estudio de impacto o viabilidad económica permite conocer la inversión que se necesitará para el desarrollo del proyecto, así como, cómo afectará a los participantes de este, además, permite saber si la inversión va a ser lo suficientemente factible para realizar el gasto que se planea para obtener los resultados necesarios.

El fin de este tipo de estudios es analizar las necesidades de tipo económico y financiero que precisa la puesta en marcha del proyecto, con el propósito de ayudar a valorar si es rentable, o no, emprender el nuevo proyecto (Conexionesan, 2016). Para esto es importante conocer:

- La inversión económica necesaria y cómo se va a financiar.
- Estimar los costos y gastos que va a suponer la puesta en marcha del proyecto
- Valorar los posibles ingresos para realizar un cálculo aproximado de los beneficios que puede dar el proyecto.

Dos parámetros muy usados a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno)

- a) Valor Actual Neto (VAN): El valor actual neto de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos y los egresos periódicos.
- b) Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR): Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0 (Cohen & Franco, 2006).

5.9. Análisis Ambiental.

Un estudio de impacto ambiental consta de las siguientes partes:

- **Caracterización del proyecto:** se formulan las etapas y fases que posee el proyecto para su desarrollo y operación con esto se conoce ampliamente las características generales y particulares del funcionamiento de este.
- **Caracterización del ambiente:** se explica en detalle las características y condiciones ambientales en las que se desarrollará el proyecto.
- **Evaluación de impactos ambientales:** es donde se reconocen los principales impactos ambientales que puede generar el proyecto sobre el ambiente donde se insertará.
- **Formulación del plan de manejo:** corresponde al conjunto de obras o actividades que se formulan e implementan para minimizar los impactos negativos hacia el ambiente.

Para el desarrollo de este proyecto, no se efectúa una valoración ambiental con todas sus características pertinentes, ya que los alcances del proyecto no permiten incorporar un equipo interdisciplinario para realizar una valoración integral, en su lugar se aplicarán matrices de evaluación de riesgos.

6. METODOLOGÍA

6.1. Equipos y Softwares manejados.

- Estación total GeoMax Zipp 10R Pro.
- GPSMAP Garmin 62sc.
- Software informático para modelaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías presurizadas: EPANET 2,2.
- Software en Sistema de Información Geográfica: Quantum GIS (QGIS) 2,18,18 Las Palmas.
- Software de diseño asistido por computadora para análisis de obras civiles: AutoCAD 2020.
- Software de exploración geomática: Google Earth.

6.2. Reconocimiento zona de estudio.

El día 11 de mayo del 2021 se llevó a cabo la primera reunión en conjunto con el presidente y fontanero de la ASADA de El Yas donde se hizo un recorrido general del acueducto para identificar el estado de los elementos principales de la red de abastecimiento con el propósito de desarrollar el anteproyecto respectivo y a la vez coordinar una segunda visita para la medición de estructuras y levantamiento topográfico de la zona.

6.3. Toma de medidas y levantamiento topográfico.

La segunda reunión se desarrolló el día 16 de agosto del 2021 en conjunto con el fontanero de la ASADA de El Yas para iniciar la toma de datos y el levantamiento de información topográfica del lugar; la ubicación geográfica de cada una de las nacientes fue tomada mediante el GPS Garmin modelo 62sc, además se midieron cada una de las dimensiones de los tanques con cinta métrica para posteriormente conocer su potencial de almacenamiento (volumen).

El levantamiento topográfico de la tubería de conducción y distribución del acueducto se realizó con la estación total GeoMax Zipp 10R Pro; inicialmente la estación se colocó específicamente en el punto de salida de las tuberías, para su posterior calibración, una vez

finalizada se procedió a levantar coordenadas y alturas con el prisma siguiendo el recorrido de la tubería, cada vez que la estación total se trasladaba de posición se instalaba en un punto estratégico que permitiera tomar la mayor cantidad de puntos posibles y moverla lo mínimo posible, se incrustó una estaca de madera en el suelo sobre el nuevo punto para tener referencia ya sea para lograr un “amarre” con la estación anterior o conectar nuevamente al punto para corregir coordenadas erróneas si se requiriera.

Los puntos topográficos de la tubería de distribución fueron tomados en el centro de la calle, la distancia de toma de estos dependió de la pendiente existente y de los cambios de dirección, es decir en condiciones más planas la distancia fue mayor mientras que en condiciones quebradas la distancia fue menor ya que se debía tomar los cambios de elevación más pronunciados para fines hidráulicos. También fue tomada la posición de las válvulas del sistema, cambios de diámetro y tanques de almacenamiento.

El procesamiento de los datos obtenidos del levantamiento topográfico se realizó mediante la herramienta de diseño AutoCAD; se realizaron los planos de los sistemas del acueducto donde se detalló la caracterización de la red de tuberías.

6.4. Recolección de información base.

Con el software Google Earth y con el aporte del fontanero de la ASADA de El Yas se identificó cada acometida o prevista del acueducto en la imagen satelital con el fin de obtener las coordenadas de cada una de ellas y posteriormente ser exportadas a AutoCAD para unificarlas con la red trazada. Además, se obtuvo la información referente a material, SDR y diámetros nominales de la tubería existente; dichos datos fueron etiquetados en los planos para una mejor lectura y comprensión de la red.

Se solicitó a la secretaría de la ASADA información referente al consumo mensual por abonado e históricos de aforos para cada naciente, de la cual se obtuvo registros de consumo a partir de enero del año 2020 y hasta julio del 2021; con el análisis de los datos descritos se determinó la cantidad reciente de abonados activos y la dotación para la evaluación hídrica del acueducto.

La ASADA no cuenta con históricos de aforos de años anteriores debido a que no realizaba el registro de estos, sin embargo, los datos proporcionados se registraron a partir de febrero 2021; cabe indicar que para el análisis hidrométrico de las nacientes se utilizó los aforos realizados hasta julio del año 2021.

6.5. Estudio hidrométrico de las fuentes de agua.

Los caudales proporcionados por la ASADA para cada una de las nacientes fueron analizados mediante una curva de volúmenes acumulados (curva masa) que fue obtenida de la siguiente manera:

Se obtuvo el caudal promedio para cada mes aforado, posteriormente cada caudal fue transformado a volumen expresado en millones de metros cúbicos mediante la siguiente fórmula:

$$V = 0,0864 \times Q \times T \dots\dots\dots (Ecuación 1)$$

Donde:

V = volumen (Mm³).

T = número de días del mes.

Q = caudal promedio mensual (m³/s).

Se acumularon los volúmenes obtenidos, luego se graficó los meses versus los volúmenes acumulados en el programa de Excel.

Obtenida la curva de volúmenes acumulados, se determinó el caudal base o seguro para el mes más crítico según los históricos de aforos dados como se muestra a continuación:

$$Q_s = \frac{\text{volumen acumulado}}{\text{período de tiempo}} = \frac{V_2 - V_1}{T} \times \frac{10^9}{86400} \dots\dots\dots (Ecuación 2)$$

Donde:

Qs = caudal base o seguro (l/s).

V₁ = volumen acumulado al inicio del mes crítico (Mm³), obtenido de la curva.

V₂ = volumen acumulado al final del mes crítico (Mm³), obtenido de la curva.

T = días del mes crítico.

Seguido del cálculo anterior, se obtuvo el caudal mínimo aprovechable para cada naciente que corresponde al caudal base o seguro menos el caudal remanente; este último es el 10% del caudal seguro calculado, en la Ecuación 3 se detalla lo indicado.

$$Q_d = Q_s \times (1 - 0,1) \dots\dots\dots (Ecuación 3)$$

Donde:

Q_d = caudal disponible o aprovechable (l/s).

Q_s = caudal base o seguro (l/s).

6.6. Determinación de la demanda hídrica.

6.6.1. Dotación neta.

El cálculo de la dotación fue determinado mediante el registro de consumo mensual por abonado proporcionado por la ASADA a partir de enero 2020 hasta julio 2021, se realizó un análisis de los datos en donde se descartaron los consumos fuera del rango 15 – 40 m³ y los consumos empresariales (tarifa EMPREGO), ya que el consumo normal de una casa de habitación se encuentra dentro del rango indicado y la dotación corresponde a la cantidad de agua necesaria para satisfacer los requerimientos básicos de un habitante es decir, corresponde a un consumo domiciliar.

Se promedió el consumo de cada mes de los años en análisis, posteriormente la dotación neta fue calculada con base al mayor consumo mensual obtenido y el factor de hacinamiento para el distrito de Santiago dado por el INEC como se muestra en la siguiente ecuación:

$$D_n = \frac{C_m \times 1000}{F_h \times T} \dots\dots\dots (Ecuación 4)$$

Donde:

D_n = dotación neta (l/p/d).

C_m = consumo mensual (m³/s).

F_h = factor de hacinamiento (persona/vivienda).

T = días del mes de mayor consumo.

6.6.2. Dotación Bruta.

Obtenido el valor de la dotación neta se determinó la dotación bruta que contempla el agua no contabilizada como se muestra en la Ecuación 5.

$$D_b = D_n \times (1 + \%ANC) \dots\dots\dots (Ecuación 5)$$

Donde:

D_b = dotación bruta (l/p/d).

D_n = dotación neta (l/p/d).

%ANC = agua no contabilizada (decimal).

La ASADA de El Yas no posee datos de macro medición a pesar de que cuenta con macromedidores en el sistema, por ende, para el cálculo de la dotación bruta se consideró un porcentaje del 33% de agua no contabilizada.

6.6.3. Estimación de la población de diseño.

La población de diseño se proyectó para un período de 20 años para cada sistema a partir del factor de hacinamiento correspondiente al Censo 2011 elaborado por el INEC y la cantidad de abonados existentes al año 2021 obtenidos de los registros de consumo proporcionados por la ASADA. El cálculo de la población se realizó con intervalos cada 5 años, utilizando la tasa de crecimiento anual obtenida con base a la cantidad de personas para el distrito de Santiago de los dos últimos censos; 4960 personas para el censo 2002 y 5534 para el censo 2011.

Se utilizaron dos métodos de proyección poblacional, en la Ecuación 6 representa el método geométrico y la Ecuación 7 el método aritmético, donde la tasa de crecimiento es constante.

$$P = P_0 \times (1 + r)^n ; r = \left(\frac{P^{t+n}}{P^t} \right)^{\frac{1}{a}} - 1 \dots\dots\dots (Ecuación 6)$$

$$P = P_0 \times (1 + r \times n) ; r = \left(\frac{P^{t+n} - P^t}{a \times P^t} \right) \dots\dots\dots (Ecuación 7)$$

Donde:

P = población futura. P^{t+n} = población último censo.
 P₀ = población inicial. P^t = población censo inicial.
 r = tasa de crecimiento anual. a = tiempo entre los dos censos.
 n = número de años.

Una vez obtenidas las estimaciones poblacionales para cada método, se eligió los resultados más críticos para el posterior cálculo de la demanda y balance hídrico del acueducto.

6.6.4. Demanda (Caudales de diseño).

Caudal promedio diario.

Conocida la dotación bruta y la población de diseño, se determinó el consumo de los abonados en un día promedio para un año de registro para cada sistema de la siguiente forma:

$$Q_{PD} = \frac{D_b \times P}{86400} \dots\dots\dots (Ecuación 8)$$

Donde:

Q_{PD} = caudal promedio diario (l/s).
 D_b = dotación bruta (l/p/d).
 P = población de diseño (hab).

Caudal máximo diario.

Para el cálculo de este caudal se aplicó la Ecuación 9, donde el factor o coeficiente de consumo máximo diario es de 1,2 según lo establecido en la norma técnica del AyA (2017).

$$Q_{MD} = Q_{PD} \times F_{MD} \dots\dots\dots (Ecuación 9)$$

Donde:

Q_{MD} = caudal máximo diario (l/s).
 Q_{PD} = caudal promedio diario (l/s).
 F_{MD} = factor máximo diario.

Caudal máximo horario.

De igual manera este caudal fue obtenido mediante el uso de un factor máximo horario de 1,8 de acuerdo con lo estipulado por el AyA (2017) en su norma técnica como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{MH} = Q_{MD} \times F_{MH} \dots\dots\dots (Ecuación 10)$$

Donde:

Q_{MH} = caudal máximo horario (l/s).

Q_{MD} = caudal máximo diario (l/s).

F_{MH} = factor máximo horario.

Caudal de incendio.

Este caudal corresponde al definido por el Benemérito Cuerpo de Bomberos, según el tipo de ocupación, estos se indican en el Cuadro 1 en la sección 5.5.5.

Caudal de diseño o coincidente.

El caudal de diseño para la evaluación hídrica del acueducto corresponde al caudal máximo diario calculado debido a las razones previamente indicadas. Este caudal se obtuvo mediante la aplicación de la Ecuación 11.

$$Q_{DISEÑO} = Q_{MD} + Q_i \dots\dots\dots (Ecuación 11)$$

Donde:

$Q_{DISEÑO}$ = caudal de diseño (l/s).

Q_{MD} = caudal máximo diario (l/s).

Q_i = caudal de incendio (l/s).

6.7. Capacidad de almacenamiento.

6.7.1. Volumen de regulación del consumo.

Este volumen se obtuvo mediante la Ecuación 12, donde se utilizó el máximo coeficiente de regulación.

$$V_{reg} = 86,4 \times k \times Q_{PD} \dots\dots\dots (Ecuación 12)$$

Donde:

V_{reg} = volumen de regulación del consumo (m^3).

k = coeficiente de regulación (0,15 a 0,30).

Q_{PD} = caudal promedio diario (l/s).

6.7.2. Volumen de reserva por interrupciones.

Se calculó para un período de 4 horas del caudal promedio diario como se indica en la Ecuación 13.

$$V_{rsv} = 3,6 \times Q_{PD} \times t \dots\dots\dots (Ecuación 13)$$

Donde:

V_{rsv} = volumen de reserva por interrupciones (m^3).

Q_{PD} = caudal promedio diario (l/s).

t = tiempo (horas).

6.7.3. Volumen de reserva para incendios.

El volumen contra incendios se calculó para suministrar el caudal de incendio para una ocupación de tipo residencial horizontal (ver Cuadro 1) para un período de 4 horas, este volumen se determinó con la siguiente ecuación.

$$V_i = 3,6 \times Q_i \times t \dots\dots\dots (Ecuación 14)$$

Donde:

V_i = volumen de reserva para incendios (m^3).

Q_i = caudal para incendios (l/s).

t = tiempo (horas).

6.8. Análisis hidráulico de la red de abastecimiento.

6.8.1. Modelación Hidráulica.

La modelación hidráulica de las condiciones actuales de la red de abastecimiento del acueducto de El Yas se realizó con el software EPANET 2,2. Primeramente se trazó la red de tuberías de los sistemas en Auto CAD basado en las coordenadas y alturas obtenidas en el levantamiento topográfico, luego se definieron los nodos con base en los cambios de diámetro, cambios de elevación, cambios del material de la tubería, cambios de dirección o inicios de ramales.

Una vez definidos los nodos, se exportó el trazo de la red de tuberías al software EPANET donde se añadió la información referente a diámetros internos, elevaciones, demandas, dimensiones de los tanques de almacenamiento, tipo de válvulas con su respectiva consigna y demás especificaciones que el software solicita para modelar.

La modelación hidráulica se ejecutó en período estático y tomó en cuenta todos los elementos presentes dentro de la red, la demanda fue asignada de acuerdo con la cantidad de abonados existentes de nodo a nodo, según la información indicada por el fontanero. El valor asignado correspondió a la demanda máxima horaria obtenida de la dotación previamente calculada según lo indica la norma técnica del AyA (2017).

Ejecutada la modelación, se obtuvo resultados de velocidades y presiones que fueron comparadas con los parámetros definidos por el AyA, para posteriormente proponer los ajustes necesarios al sistema.

6.9. Análisis de soluciones.

Se realizaron tres propuestas de mejora; la primera consistió en la instalación de dispositivos de regulación sin alterar o realizar cambios en las dimensiones de las tuberías existentes, la segunda propuesta abarcó el cambio de los diámetros de la distribución principal para cumplir con los diámetros mínimos para la instalación de hidrantes y, la tercera propuesta

incluyó la implementación del diámetro adecuado u óptimo para la conexión de hidrantes en la distribución principal, como también, algunas modificaciones de tuberías en ciertos ramales.

Las mejoras mencionadas se enfocaron para el sistema principal del acueducto, la mejora que comparten las tres propuestas es la instalación de los dispositivos de regulación en el sistema secundario y la ampliación de la capacidad de almacenamiento del acueducto pensando en la cobertura hídrica a futuro para la atención de incendios. Cabe resaltar que cada propuesta se modeló hidráulicamente en el software ya mencionado.

6.10. Análisis Económico.

Para este análisis se tomó en cuenta las mejoras planteadas para los sistemas del acueducto en donde se cotizó cada uno de los materiales necesarios para la implementación de dichas propuestas, además para conocer el impacto económico del proyecto se determinó el VAN y el TIR (parámetros de viabilidad) tomando como ingreso el cobro mensual por el servicio y como egresos los salarios mínimos de los funcionarios de la ASADA.

6.11. Análisis Ambiental.

Los posibles impactos ambientales que puede generar el desarrollo de las propuestas realizadas se evaluaron mediante la aplicación de una matriz de riesgos ambientales, utilizando el método de Arboleda. Los parámetros de evaluación utilizados fueron: Clase (C), Presencia (P), Duración (D), Evolución (E), y Magnitud (M), también se analizaron los impactos generados en los factores físicos, bióticos y sociales.

Mediante la Ecuación 15 que representa la calificación ambiental del impacto y la información mostrada en el Cuadro 3, se calificó cada impacto ambiental de acuerdo con el grado de importancia o afectación de este.

$$C_a = C \times (P \times [7,0 \times E \times M + 3,0 \times D]) \dots\dots\dots (Ecuación 15)$$

Cuadro 3. Rangos de calificación que indican la importancia del impacto generado.

| Calificación Ambiental (puntos) | Importancia del impacto ambiental |
|--|--|
| $\leq 2,5$ | Poco significativo o irrelevante |
| $> 2,5$ y $\leq 5,0$ | Moderadamente significativo o moderado |
| $> 5,0$ y $\leq 7,5$ | Significativo o relevante |
| $> 7,5$ | Muy significativo o grave |

Fuente: Arboleda (2008).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Descripción general de la zona de estudio.

El estudio se desarrolló en el acueducto perteneciente a la Asociación Administradora de la comunidad de El Yas, ubicada en la provincia de Cartago, específicamente en el distrito segundo Santiago, del cantón de Paraíso que limita con los cantones Alvarado, Oreamuno, Jiménez, Turrialba y el cantón central de Cartago; la localidad presenta altitudes máximas de hasta 1422 m.s.n.m. y mínimas de 1022 m.s.n.m. aproximadamente. En la Figura 4 se detalla la ubicación geográfica de la zona de estudio.

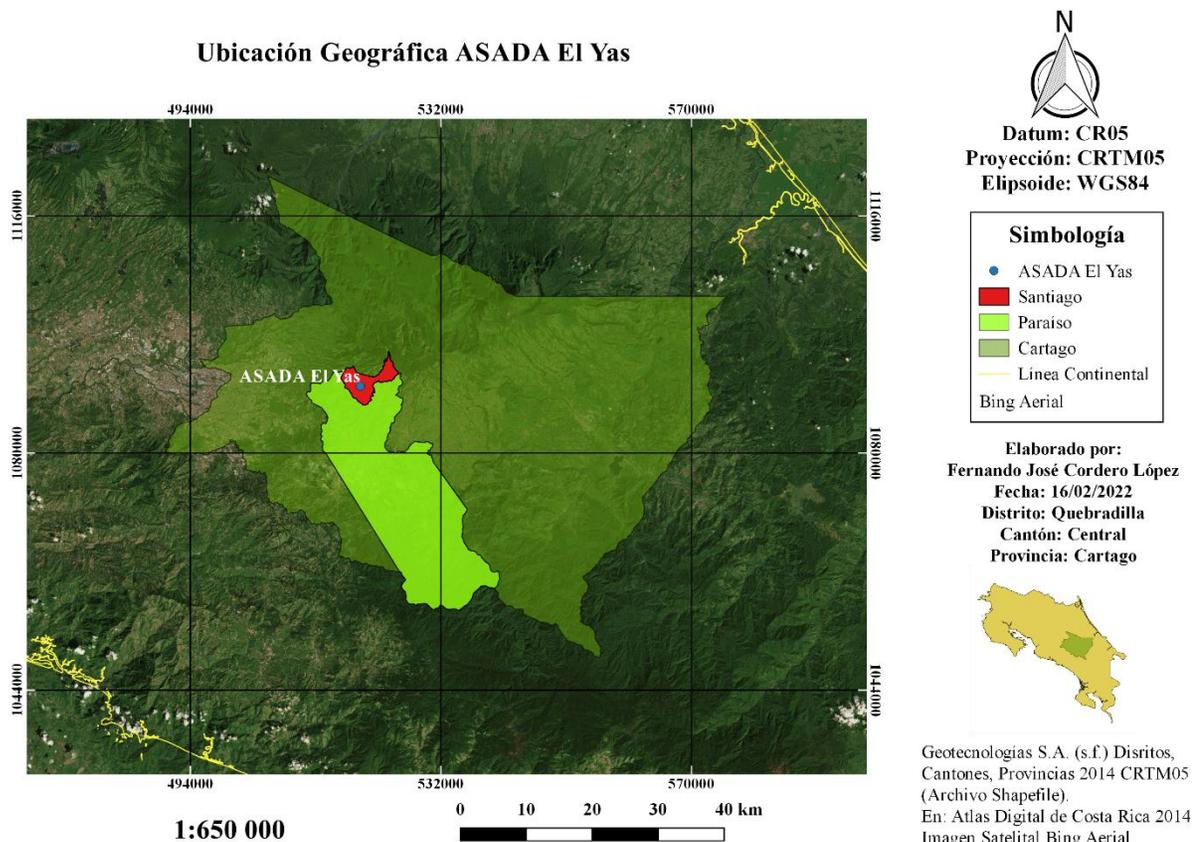


Figura 4. Ubicación geográfica zona de estudio.

7.2. Nivel socioeconómico de la población abastecida.

La población del distrito de Santiago en su mayoría se dedica a la actividad agrícola de productos tradicionales y no tradicionales principalmente el chayote, y en menor proporción a las actividades pecuarias y turísticas; en los últimos años se ha dado cambios en los procesos de

industria de las actividades mencionadas. Sin embargo, el distrito de Santiago es uno de los territorios que posee un alto rezago en cuanto a la satisfacción de necesidades básicas de los hogares (INDER, 2016).

En temas de escolaridad y desempleo, el mayor porcentaje de la población del cantón de Paraíso posee un nivel educativo básico (primaria completa) y en menor porcentaje un nivel educativo superior; el desempleo afecta al 3,68% de la población del cantón considerando una tasa de ocupación de 49,6% según el Censo Nacional realizado por INEC (2011).

En relación con el nivel social; de acuerdo con lo citado en INDER (2016), el distrito de Santiago posee el menor Índice de Desarrollo Social (55,2) y es catalogado uno de los más pobres con respecto a los demás distritos del cantón de Paraíso, lo que evidencia la vulnerabilidad de su población a un acceso limitado a los servicios básicos para su calidad de vida debido a la falta de inversión social.

7.3. Caracterización del acueducto.

El acueducto está integrado por las comunidades de El Yas y Río Regado, cuenta con un total de 465 conexiones que son abastecidas mediante dos sistemas independientes con una cobertura total de micro medición. El sistema principal se alimenta hídricamente de dos nacientes: La Virgen y Fernández que abastecen 433 conexiones de las cuales 361 corresponden a servicios domiciliarios y 72 a servicios no domiciliarios. El sistema secundario se abastece de la naciente Capira que da cobertura a 32 conexiones, que en su totalidad corresponden a servicios domiciliarios.

Ambos sistemas cuentan con tuberías de conducción, tuberías de distribución y tanques de almacenamiento donde se lleva a cabo el proceso de cloración del agua; mediante electrólisis en el sistema principal y pastillas en el sistema secundario.

7.3.1. Estudio hidrométrico de las fuentes de agua.

En la Figura 5 se detalla la ubicación de las tres nacientes que abastecen los dos sistemas que integran el acueducto de El Yas.

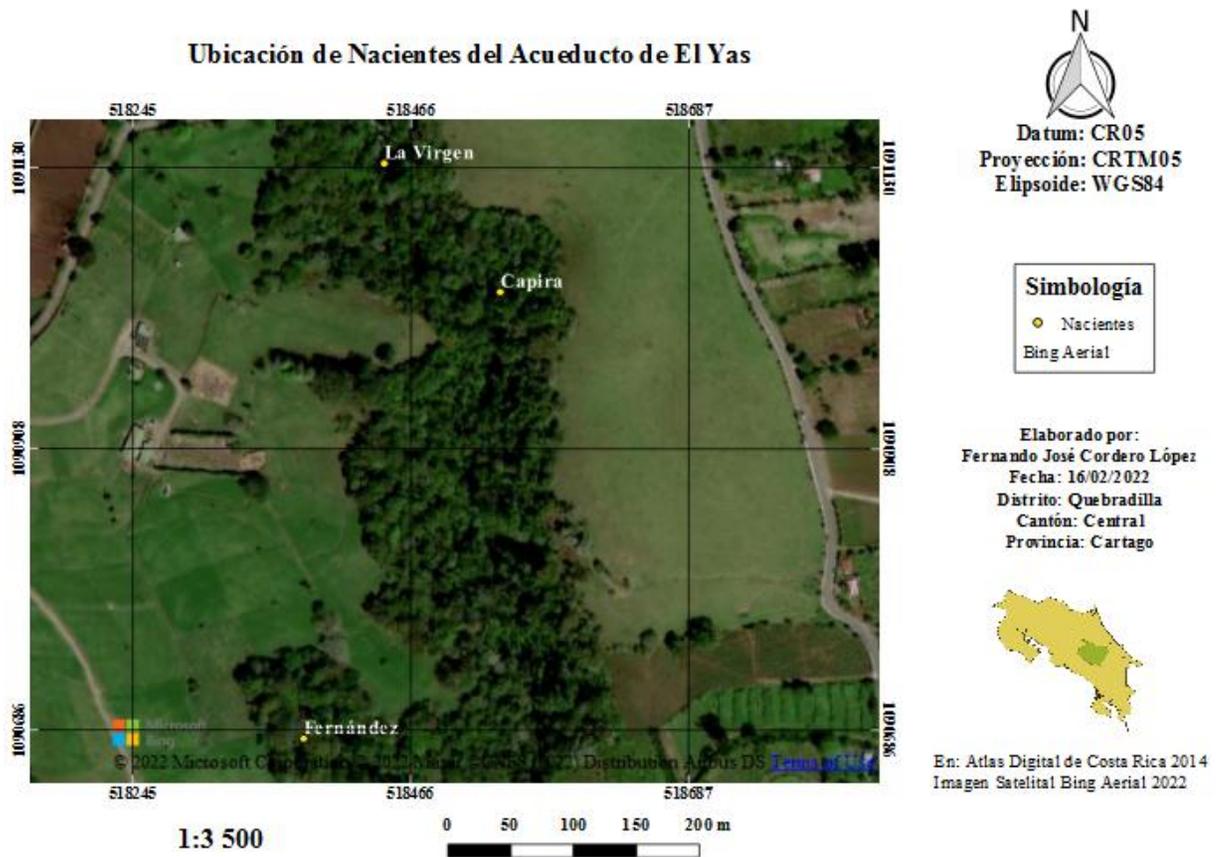


Figura 5. Ubicación geográfica de las nacientes.

Naciente La Virgen.

Corresponde a la naciente principal del acueducto, se encuentra ubicada a una altura de 1421,6 m.s.n.m., además de El Yas, también abastece las comunidades de La Flor y Piedra Azul mediante sistemas independientes, la naciente está enterrada y protegida por una losa de concreto, como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Naciente La Virgen.

De acuerdo con los aforos suministrados por la ASADA (ver Anexo 1), el sistema es abastecido con un caudal mínimo de 6,71 l/s; sin embargo, ante la Dirección de Agua el caudal inscrito es de 4,90 l/s; cabe resaltar que las lecturas de caudal fueron tomadas en el macromedidor que se encuentra instalado después de la naciente, ya que corresponde al caudal derivado para la ASADA de El Yas.

Analizando los registros históricos de aforos, se obtuvo la curva masa para la naciente La Virgen, la cual se muestra en la siguiente figura:

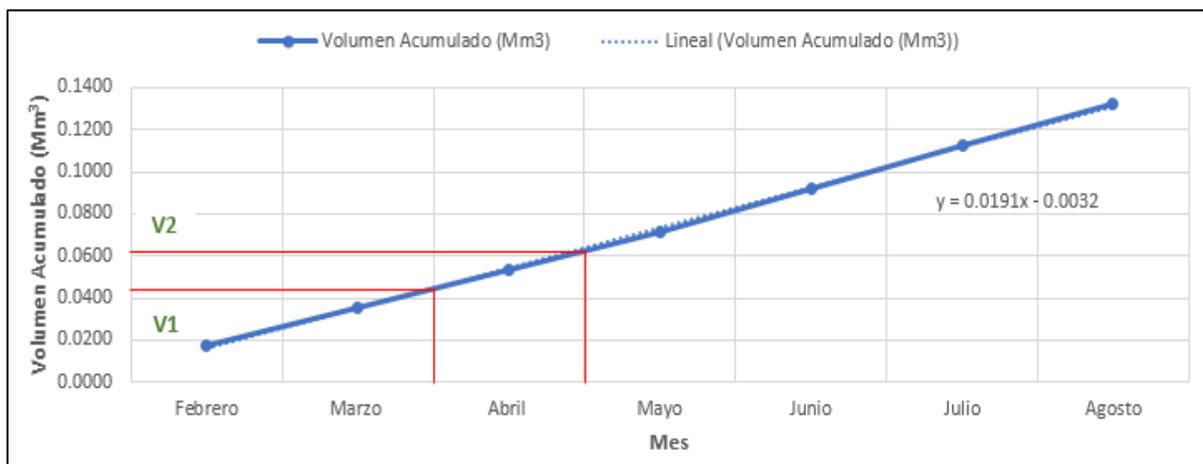


Figura 7. Curva masa naciente La Virgen.

Se determinó que el caudal seguro que puede suministrar la fuente a lo largo del período en análisis es de 7,17 l/s; no obstante, para evaluar el sistema posteriormente en el balance hídrico, se utilizará los datos más críticos, los cuales se presentaron durante el mes de abril de 2021 según los históricos de aforos (ver Anexo 1); por ende, el caudal medio o seguro (crítico) de la naciente es de 6,4996 l/s que fue obtenido de la curva masa mostrada en la Figura 7 de la siguiente manera:

$$Q_s = \frac{V_2 - V_1}{\#días\ del\ mes} = \frac{0,06211 - 0,045263}{30} = 0,0005616 \frac{Mm^3}{día} = 6,4996 \frac{l}{s}$$

Además, por norma general, se debe dejar un caudal remanente que corresponde al 10% del caudal base o seguro obtenido para el mes de abril; debido al análisis anterior el caudal mínimo de producción aprovechable que se podría presentar es:

$$Q_d = 6,4996 \times (1 - 0,1) = 5,850 \frac{l}{s}$$

Naciente Fernández.

Es la naciente secundaria que abastece el sistema principal, se encuentra a una altura aproximada de 1399,38 m.s.n.m., es subterránea y está protegida por una obra de captación en concreto; en la Figura 8 se detalla la naciente mencionada.



Figura 8. Naciente Fernández.

Con base en los datos de aforos proporcionados por la ASADA (ver Anexo 1), la naciente tiene una capacidad de producción crítica de 3,5 l/s; pero debido a las dimensiones de la tubería de conducción actual que se detallará más adelante, el acueducto solo aprovecha 1,75 l/s que es conducido hacia los tanques de almacenamiento. El caudal inscrito ante la Dirección de Agua es de 1,84 l/s.

De igual manera, que la naciente anterior, se analizaron los históricos de aforos y por consecuente se obtuvo la curva masa que se muestra en la Figura 9.

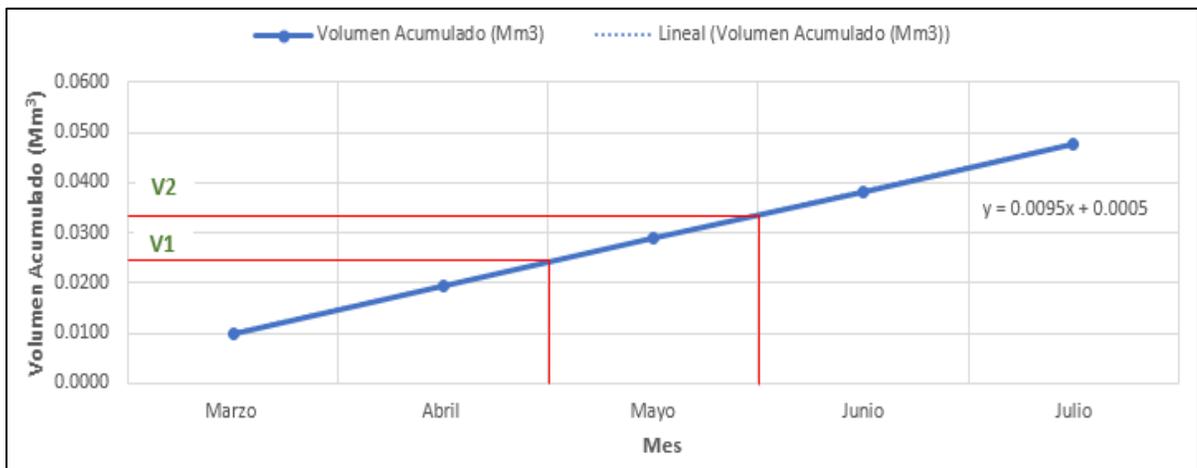


Figura 9. Curva masa naciente Fernández.

El caudal medio o seguro obtenido para el período en análisis de la naciente Fernández fue de 3,62 l/s; como se indicó anteriormente, para fines de evaluación hídrica se usarán los datos más críticos, en este caso ocurrieron en el mes de mayo de 2021 por lo anterior el caudal seguro para el mes mencionado es de 3,20 l/s obtenido de la curva mostrada en la Figura 9 como se indica a continuación:

$$Q_s = \frac{V_2 - V_1}{\#días\ del\ mes} = \frac{0,03333 - 0,02476}{31} = 0,0002765 \frac{Mm^3}{día} = 3,20 \frac{l}{s}$$

El caudal mínimo producible por la naciente Fernández que se podría aprovechar es de 2,88 l/s, dejando un caudal remanente de 0,32 l/s que corresponde al 10% del caudal seguro obtenido para el mes de mayo, se obtuvo de la siguiente manera:

$$Qd = 3,20 \times (1 - 0,1) = 2,88 \frac{l}{s}$$

Naciente Capira.

Como se mencionó anteriormente, esta naciente abastece el sistema secundario, la misma se ubica a una altitud de 1415,75 m.s.n.m.; al igual que las otras nacientes es subterránea y se encuentra protegida por una capa de concreto en sus alrededores, en la Figura 10 se muestra la naciente mencionada.



Figura 10. Naciente Capira.

El sistema secundario es abastecido por la naciente con un caudal crítico de 1,11 l/s según los aforos realizados por los fontaneros de la ASADA (ver Anexo 1); no obstante, ante la Dirección de Agua poseen 1,98 l/s como caudal inscrito. Analizando los aforos proporcionados se obtuvo la curva masa para la naciente Capira, la misma se observa en la Figura 11.

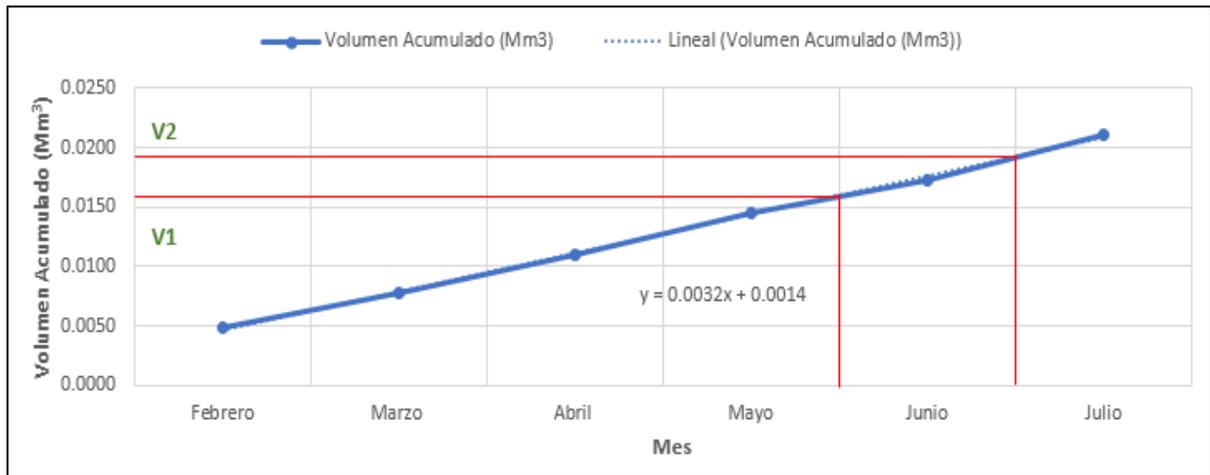


Figura 11. Curva masa naciente Fernández.

Según la curva masa mostrada en la figura anterior, para el período comprendido de febrero a julio del 2021; el caudal seguro que puede producir la naciente Capira es de 1,33 l/s. Sin embargo, la producción crítica ocurrió en el mes de junio 2021, por ende, el caudal seguro para este mes fue obtenido de la Figura 11 de la siguiente manera:

$$Q_s = \frac{V_2 - V_1}{\#días\ del\ mes} = \frac{0,019231 - 0,016154}{30} = 0,0001026 \frac{Mm^3}{día} = 1,187 \frac{l}{s}$$

Como se indicó con anterioridad al caudal seguro del mes crítico se le debe restar el caudal remanente que corresponde al 10 % del caudal seguro calculado como se muestra a continuación:

$$Q_d = 1,187 \times (1 - 0,1) = 1,068 \frac{l}{s}$$

Por lo anterior, el caudal mínimo producible por la naciente Capira que se podría aprovechar es de 1,068 l/s.

En el Cuadro 4 se muestra un resumen de los caudales obtenidos anteriormente para las nacientes previamente mencionadas.

Cuadro 4. Caudales obtenidos para cada nacimiento en estudio.

| Naciente | Caudal seguro (l/s) | Caudal remanente (l/s) | Caudal aprovechable (l/s) | Caudal inscrito (l/s) |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| La Virgen | 6,50 | 0,65 | 5,85 | 4,90 |
| Fernández | 3,20 | 0,32 | 2,88 | 1,84 |
| Capira | 1,19 | 0,12 | 1,07 | 1,98 |

7.3.2. Tuberías de conducción.

Sistema principal.

Anteriormente, se explicó que este sistema es abastecido por dos nacientes: La Virgen y Fernández; por ende, consta de dos tuberías principales de conducción que parten desde las captaciones mencionadas hasta los tanques principales de almacenamiento. Con el levantamiento topográfico realizado y los datos proporcionados por el fontanero se obtuvo la información referente a ambas tuberías, la cual se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Longitud de tubería de conducción del sistema principal.

| Tubería Conducción | Longitud (m) | Longitud Total (m) |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| Desde La Virgen | 1363,99 | 2278,18 |
| Desde Fernández | 914,190 | |

Se identificó que del total de tubería de conducción proveniente desde la naciente La Virgen; 546,358 m es de PEAD (Polietileno de Alta Densidad) DR 13,6 con diámetro nominal de 110 mm mientras que 817,632 m es de PVC (Policloruro de Vinilo) SDR 26 con diámetro nominal de 100 mm.

Para la tubería de conducción proveniente desde la naciente Fernández; 456,620 m de tubería es de material PEAD DR 13,6 y 457, 570 m es de PVC SDR 26; ambas con diámetro nominal de 50 mm. En la Figura 12 se observa las tuberías de conducción mencionadas.

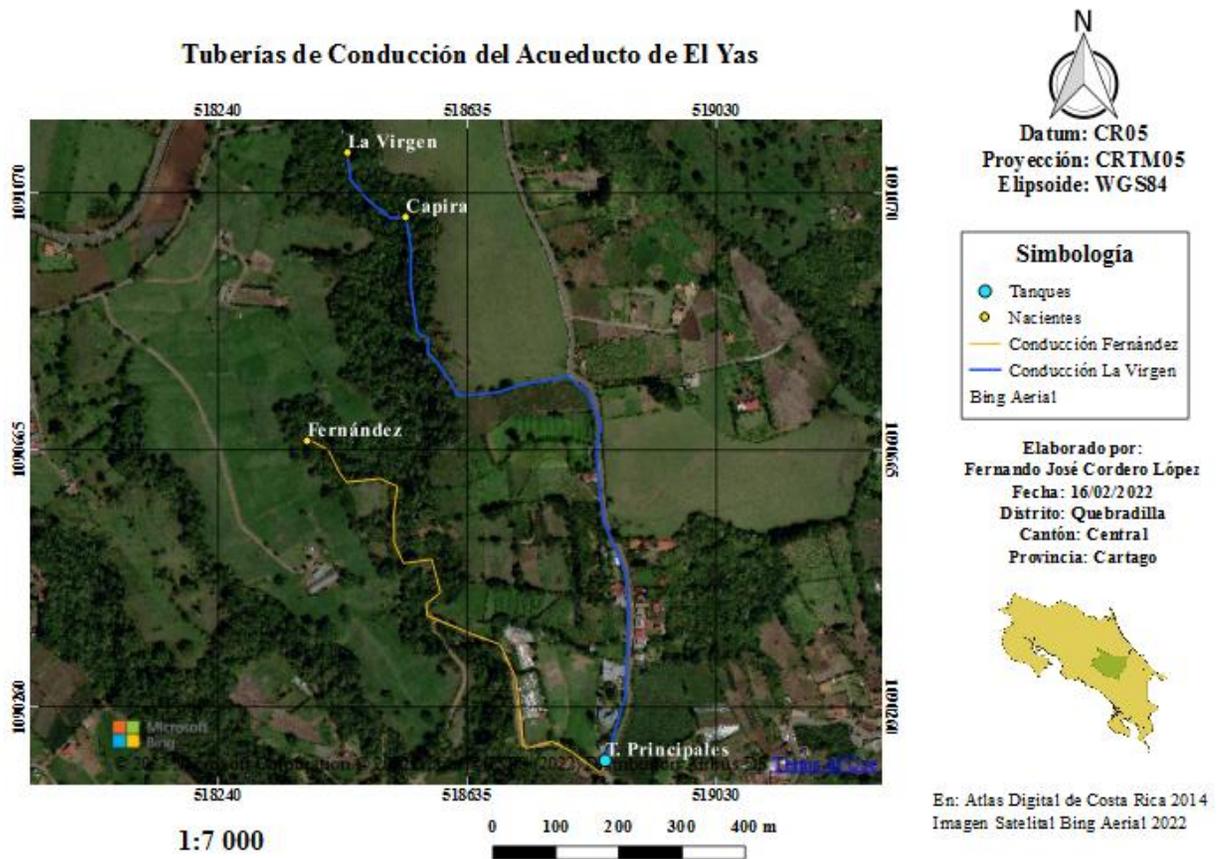


Figura 12. Ubicación tuberías de conducción del sistema principal.

Sistema secundario.

La tubería de conducción de este sistema posee una longitud de 18,136 m y es de material PVC SDR 26 de 50 mm de diámetro nominal; su longitud es menor con respecto a las del sistema principal, debido a que el tanque de almacenamiento se encuentra próximo a la captación (en el mismo sitio), esta tubería está enterrada y protegida con concreto como se detalla en la Figura 13.



Figura 13. Tubería de conducción protegida (sistema secundario).

7.3.3. Tanques de almacenamiento.

Sistema principal.

Las líneas de conducción pertenecientes a este sistema alimentan los tanques principales (ver Anexo 2) que se encuentran a una altitud de 1335,75 m.s.n.m. y poseen una capacidad total de almacenamiento de 254, 79 m³, distribuidos como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Características de tanques principales del sistema principal.

| Tanque | Material | Dimensiones (m) | | | Volumen (m ³) |
|------------|-------------|-----------------|-------|--------|---------------------------|
| | | Largo | Ancho | Altura | |
| Principal | Concreto | 8,65 | 7,6 | 2,3 | 151,20 |
| Cloración | | 6,07 | 3,44 | 1,8 | 37,59 |
| Tanqueta 1 | Poliétileno | - | - | - | 22 |
| Tanqueta 2 | | - | - | - | 22 |
| Tanqueta 3 | | - | - | - | 22 |

La cloración se lleva a cabo mediante electrólisis con hipoclorito de sodio, la tubería de distribución sale a partir del tanque de cloración que recibe las aguas almacenadas en el tanque principal y las tanquetas de polietileno. También este sistema cuenta con el tanque Naranja (ver

Anexo 3) que está a una elevación de 1129,80 m.s.n.m. y cumple la función tanto de almacenaje como de quiebra gradiente, dicho tanque se encuentra conectado a la red de distribución del sistema. Además, cuenta con una tanqueta de polietileno (ver Anexo 4) en el sector de Río Regado con una elevación de 1091, 63 m.s.n.m. que almacena agua para abastecer un hidrante ubicado en la zona mencionada. En el Cuadro 7 se muestra el volumen de los dos tanques.

Cuadro 7. Características de tanques secundarios del sistema principal.

| Tanque | Material | Dimensiones (m) | | | Volumen (m ³) |
|------------|-------------|-----------------|-------|--------|---------------------------|
| | | Largo | Ancho | Altura | |
| Naranja | Concreto | 5,93 | 3,9 | 2,1 | 48,57 |
| Tanqueta 4 | Polietileno | - | - | - | 22 |

En síntesis, el sistema principal cuenta con una capacidad total de almacenamiento de 325,35 m³, la ubicación de los tanques de este sistema se detalla en la Figura 14.

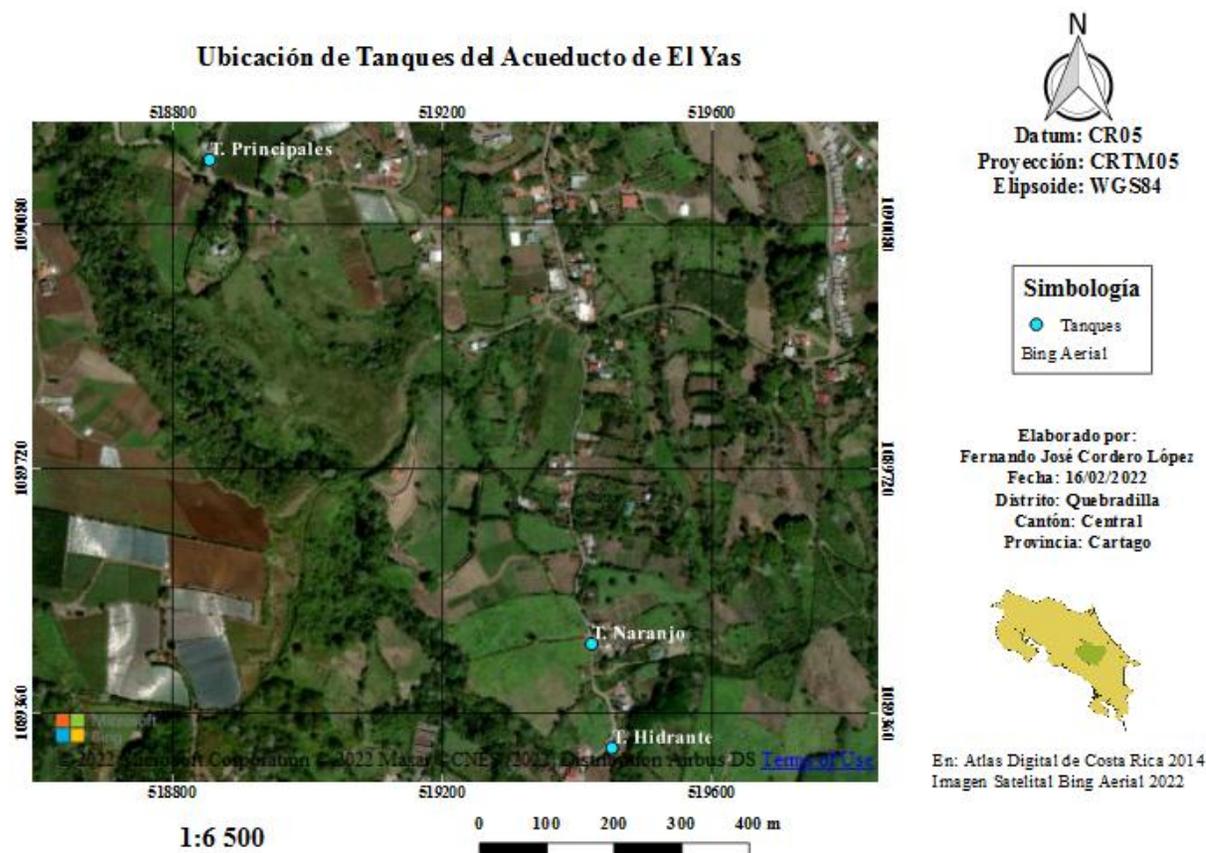


Figura 14. Ubicación geográfica tanques de almacenamiento sistema principal.

Sistema secundario.

Como se indicó anteriormente, el tanque de almacenamiento para este sistema se encuentra muy cercano a la naciente Capira, es decir se encuentra en la misma ubicación solo que con una altura de 1413,71 m.s.n.m. (2 m de diferencia con respecto a la naciente), en el Cuadro 8 se adjuntan las características del tanque mencionado.

Cuadro 8. Características del tanque de almacenaje sistema secundario.

| Tanque | Material | Dimensiones (m) | | | Volumen (m ³) |
|--------|----------|-----------------|-------|--------|---------------------------|
| | | Largo | Ancho | Altura | |
| Capira | Concreto | 2,77 | 2,77 | 1,25 | 9,59 |

De acuerdo con el cuadro anterior, este tanque es relativamente pequeño comparado con los del sistema principal, ya que posee una capacidad de almacenamiento de 9,59 m³; dentro del mismo se lleva a cabo el proceso de cloración mediante la dilución de pastillas; en el Anexo 5 se muestra el tanque Capira.

7.3.4. Tubería de distribución.

Sistema principal.

De acuerdo con el levantamiento topográfico realizado y la información recopilada, este sistema cuenta con un total de 10,6358 Km de tubería de distribución en material PVC (sin incluir acometidas), en cuanto a las dimensiones; las líneas principales poseen diámetros de 25 mm, 50 mm, 63 mm y 100 mm. Los ramales o líneas secundarias van desde los 13 mm hasta los 63 mm de diámetro nominal, las acometidas domiciliarias de 13 mm; todas las tuberías poseen un SDR 26 a excepción de las tuberías de 13mm y 18 mm que poseen un SDR de 13,5 y 17 respectivamente.

La red de distribución de este sistema se divide en dos líneas principales; la primera línea distribuye hacia el sector de El Yas y la segunda hacia el sector de Río Regado (ver Figura 15), ambas con sus respectivos ramales. En la sección de Anexos se muestra con mayor detalle la red de distribución de este sistema.

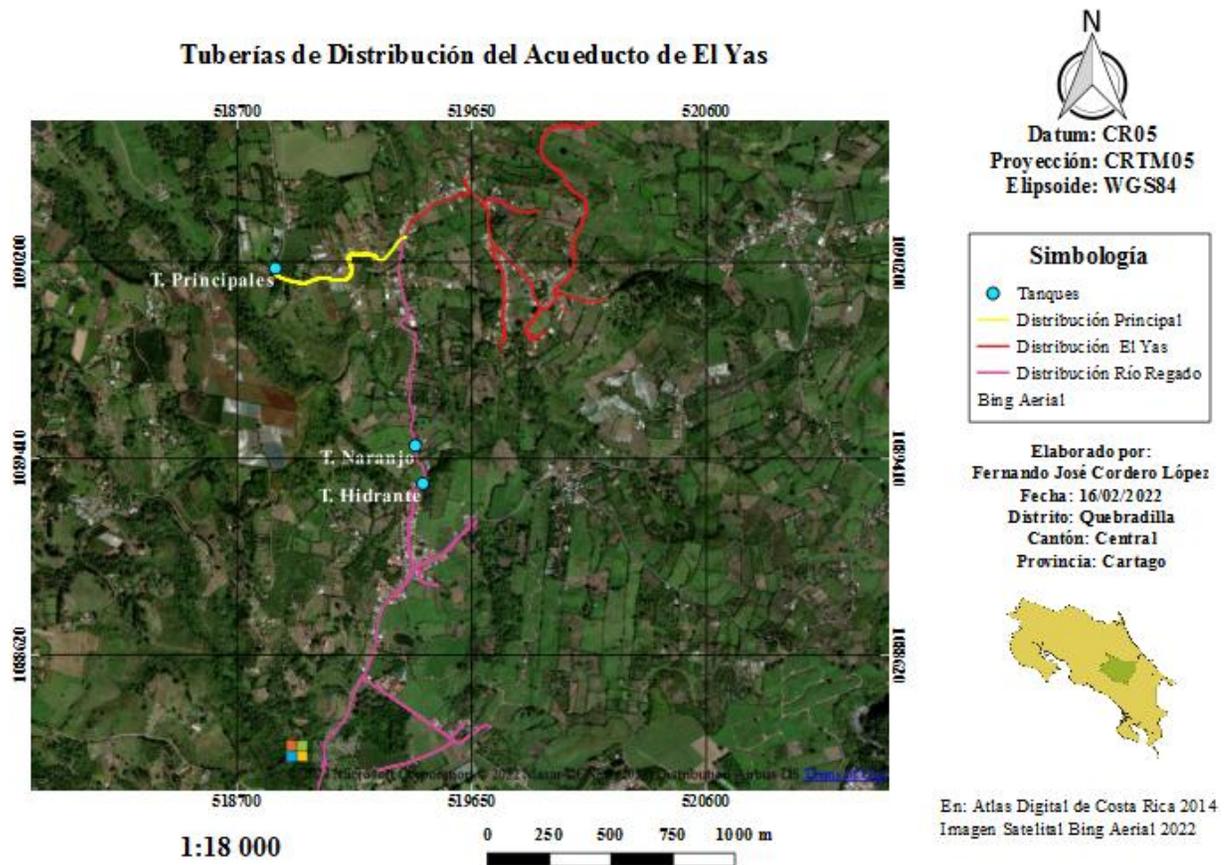


Figura 15. Ubicación de tuberías de distribución del sistema principal.

Sistema secundario.

La red de distribución de este sistema abarca 1525,870 m de tubería en material PVC (sin incluir acometidas), la línea principal actual tiene diámetros nominales de 25 mm, 38 mm, 50 mm y 63 mm con un SDR 26; además, posee un ramal de diámetro nominal de 13 mm con un SDR 13,5. En la Figura 16 se muestra de manera general la tubería de distribución del sistema secundario mientras que en la sección de Anexos se muestra una mejor visualización en plano.

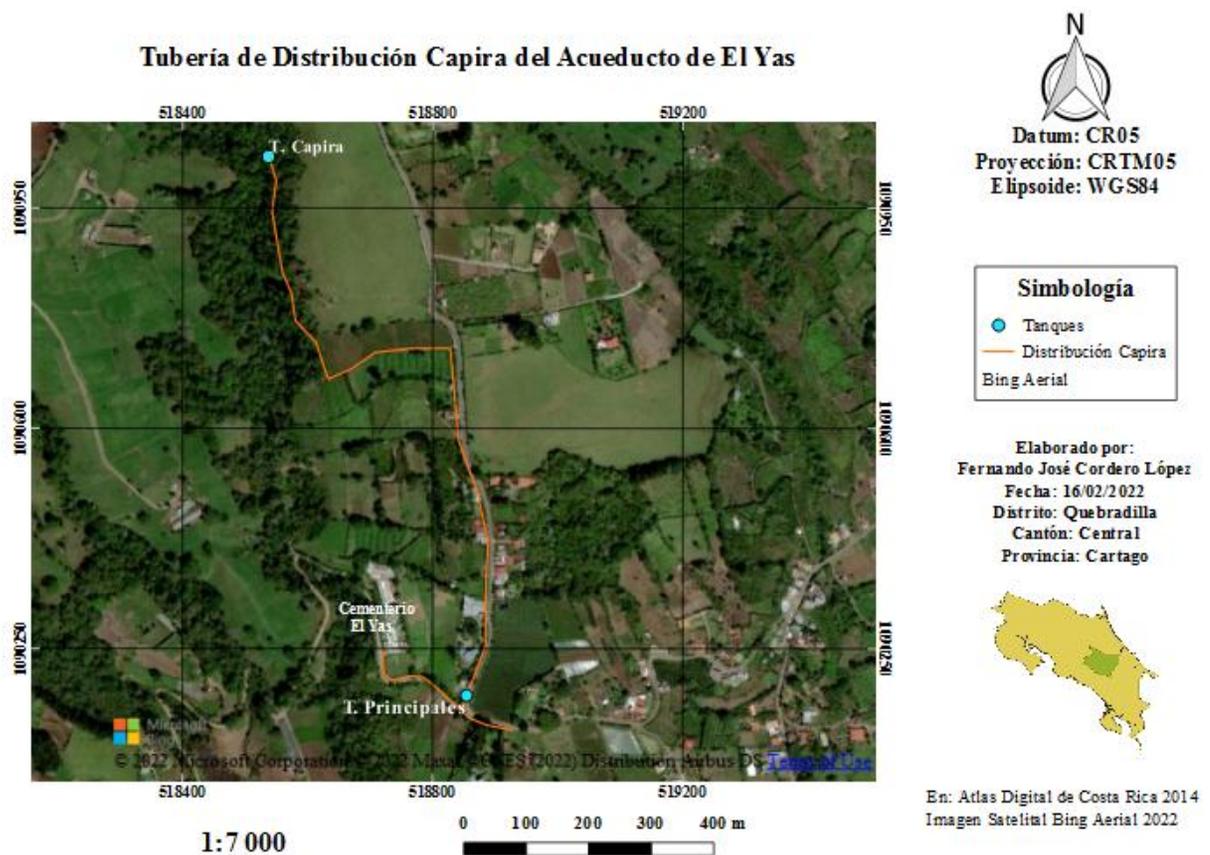


Figura 16. Ubicación de tuberías de distribución del sistema secundario.

7.3.5. Accesorios Hidráulicos.

Sistema Principal

Este sistema tiene instalados 3 macromedidores (ver Anexo 6), uno de ellos se encuentra al inicio de la tubería de conducción proveniente de La Virgen y los restantes en la red de distribución. Cuenta con 6 válvulas reguladoras de presión (ver Anexo 7); 5 instaladas en la tubería que distribuye hacia Río Regado y la otra en la tubería hacia El Yas, cada una con su propia consigna que posteriormente será especificada.

Además, posee instaladas 26 válvulas de aire (19 en las tuberías de conducción y 7 en la distribución), 9 válvulas tipo compuerta de cobre (3 en la conducción y 6 en la distribución) y 51 válvulas tipo bola de PVC en la tubería de distribución.

Sistema Secundario.

El sistema secundario no cuenta con macromedidores instalados, tiene instalada solamente 1 válvula reguladora de presión, 2 válvulas de aire y 5 válvulas tipo bola de PVC, todas en la tubería de distribución.

7.4. Determinación de la demanda hídrica.

7.4.1. Dotación.

Con base al recorte de los registros de consumo mensual aportados por la ASADA realizado según el rango ya mencionado en la metodología; se calculó el consumo mensual por abonado para cada mes en análisis, los datos se detallan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Consumo por abonado según rango y mes de análisis.

| Año 2020 | | Año 2021 | |
|-----------|---|-----------|---|
| Mes | Consumo por abonado (m ³ /mes) | Mes | Consumo por abonado (m ³ /mes) |
| Enero | 24,39 | Enero | 23,96 |
| Febrero | 24,10 | Febrero | 23,79 |
| Marzo | 24,46 | Marzo | 23,62 |
| Abril | 24,77 | Abril | 23,68 |
| Mayo | 25,13 | Mayo | 24,14 |
| Junio | 24,96 | Junio | 25,27 |
| Julio | 24,28 | Julio | 23,74 |
| Agosto | 24,62 | Agosto | - |
| Setiembre | 24,24 | Setiembre | - |
| Octubre | 24,20 | Octubre | - |
| Noviembre | 23,94 | Noviembre | - |
| Diciembre | 24,25 | Diciembre | - |

La dotación se calculó con base al mayor consumo mensual por abonado, según los datos mostrados en el cuadro anterior se dio en el mes de junio 2021 para un consumo por abonado de 25,27 m³/mes; por ende, la dotación obtenida sin contemplar el agua no contabilizada es de 210,57 l/p/d para un factor de hacinamiento de 4 personas por vivienda. No obstante, a pesar de

que se cuenta con macromedidores instalados no se cuenta con registros o históricos que permitan el cálculo preciso del volumen producido para estimar dicho porcentaje; por lo anterior contemplando un porcentaje del 33% de agua no contabilizada según AyA (2017), la dotación es de 280,06 l/p/d.

7.4.2. Población de diseño.

Como se indicó anteriormente y según los datos proporcionados por la ASADA, el acueducto abastece mediante dos sistemas a una totalidad de 465 conexiones, de las cuales el 84,52% corresponden a servicios domiciliarios; la proyección futura de población para el acueducto se realizó con base a estos servicios, ya que los métodos utilizados son solamente para crecimiento poblacional y no para crecimiento comercial o industrial.

De acuerdo con los datos del último censo elaborado por INEC (2011), la tasa de hacinamiento para el distrito de Santiago es de 3,92, es decir, 4 personas por vivienda; por ende, la población equivalente abastecida por el sistema principal al año 2021 es de 1444 personas para 361 servicios domiciliarios, mientras que para el sistema secundario es de 128 personas para 32 servicios equivalentes.

El análisis de proyección de población se realizó para un período de 20 años, según la información analizada de los dos últimos censos realizados por INEC, se obtuvo una tasa de crecimiento poblacional anual de 1,29 para el método aritmético y de 1,22 para el método geométrico; desarrollando las fórmulas para cada método se obtuvo la estimación de población mostrada en el Cuadro 10 para ambos sistemas.

Cuadro 10. Proyección de población a 20 años para cada sistema.

| Sistema | Años de proyección | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|------------|--------------------|-----------|------|------|------|------|------|
| | Año | | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
| | Método | | | | | | |
| Principal | Geométrico | Población | 1444 | 1535 | 1631 | 1733 | 1842 |
| | | Servicios | 361 | 384 | 408 | 433 | 460 |
| | Aritmético | Población | 1444 | 1537 | 1630 | 1723 | 1815 |
| | | Servicios | 361 | 384 | 407 | 431 | 454 |
| Secundario | Geométrico | Población | 128 | 136 | 145 | 154 | 163 |

| | | | | | | | |
|--|------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Servicios | 32 | 34 | 36 | 39 | 41 |
| | Aritmético | Población | 128 | 136 | 144 | 153 | 161 |
| | | Servicios | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 |

Al analizar las proyecciones del cuadro anterior; se evidencia que los datos más críticos se dan para el método geométrico; por lo tanto, serán considerados para la estimación del balance hídrico que se presentará más adelante; cabe indicar que el sistema crítico del acueducto corresponde al principal, debido a la cantidad de población proyectada, ya que deberá abastecer 99 servicios (396 personas) más con respecto a los actuales, mientras que el sistema secundario solamente deberá abastecer 9 servicios más (36 personas).

7.4.3. Demanda.

Luego de conocer la proyección de población para el método geométrico y la estimación de la dotación, se calcularon los caudales de diseño para el acueducto para las condiciones actuales y las proyectadas a 20 años, con intervalos de 5 años para lograr una mejor evaluación. En el Cuadro 11 se adjuntan los caudales obtenidos para el sistema principal.

Cuadro 11. Caudales calculados para el sistema principal del acueducto de El Yas.

| Año | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Caudal Promedio Diario QPD (l/s) | 4,68 | 4,97 | 5,29 | 5,62 | 5,97 |
| Caudal Máximo Diario QMD (l/s) | 5,62 | 5,97 | 6,34 | 6,74 | 7,16 |
| Caudal Máximo Horario QMH (l/s) | 10,11 | 10,74 | 11,42 | 12,13 | 12,90 |

Se determina un caudal máximo diario de 5,62 l/s y un caudal máximo horario de 10,11 l/s para las condiciones actuales, por otro lado, para la proyección a 20 años se tiene un incremento de los caudales en 1,54 l/s y 2,79 l/s respectivamente, es importante indicar que estos aumentos se derivan de la tasa de crecimiento basada en los datos del INEC.

En el Cuadro 12 se presentan los caudales obtenidos para el sistema secundario.

Cuadro 12. Caudales calculados para el sistema secundario del acueducto de El Yas.

| Año | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Caudal Promedio Diario QPD (l/s) | 0,41 | 0,44 | 0,47 | 0,50 | 0,53 |
| Caudal Máximo Diario QMD (l/s) | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,60 | 0,64 |
| Caudal Máximo Horario QMH (l/s) | 0,90 | 0,95 | 1,01 | 1,08 | 1,14 |

Para las condiciones actuales en este sistema, se obtuvo un caudal máximo diario de 0,50 l/s y un caudal máximo horario de 0,90 l/s, mientras que el incremento para la proyección es menor con respecto al sistema principal, ya que fue de 0,14 l/s y 0,24 l/s respectivamente, lo anterior debido a que la población para el sistema secundario es menor.

7.5. Capacidad de almacenamiento.

A partir de los caudales de diseño calculados para ambos sistemas, se determinaron los requerimientos de almacenamiento necesarios para las condiciones actuales y proyectadas del acueducto basados en el crecimiento poblacional cada 5 años, primeramente, se analizó el almacenamiento requerido para cada sistema sin tomar en consideración el volumen de reserva para incendios; en el Cuadro 13 se muestra los volúmenes para ambos sistemas.

Cuadro 13. Volumen de regulación del consumo y reserva por interrupciones para cada sistema.

| Sistema | Volumen (m³) | Año | | | | |
|----------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
| Principal | Regulación del consumo | 121,32 | 128,93 | 137,02 | 145,61 | 154,75 |
| | Reserva por interrupciones | 67,40 | 71,63 | 76,12 | 80,90 | 85,97 |
| Secundario | Regulación del consumo | 10,75 | 11,43 | 12,15 | 12,91 | 13,72 |
| | Reserva por interrupciones | 5,97 | 6,35 | 6,75 | 7,17 | 7,62 |

El volumen de regulación del consumo se calculó como el equivalente al 30% (C=0,3 para sistemas por gravedad) del volumen promedio diario y el volumen de reserva para interrupciones para un tiempo de 4 horas del caudal promedio diario.

Con respecto al volumen de reserva para incendios, se determinó con el fin de suministrar un caudal de 31,55 l/s (residencial horizontal) establecido por el Benemérito Cuerpo de Bomberos para un período de 4 horas para todo el acueducto; como se indicó anteriormente el sistema principal cuenta con un volumen de almacenamiento de 325,35 m³ y el sistema secundario de 9,59 m³. En el Cuadro 14 se detalla la capacidad de almacenamiento necesaria para el acueducto hasta el año 2041.

Cuadro 14. Volumen total requerido para el acueducto de El Yas.

| Volumen (m ³) | Año | | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
| Total sistema principal | 188,72 | 200,56 | 213,14 | 226,51 | 240,72 |
| Total sistema secundario | 16,73 | 17,78 | 18,89 | 20,08 | 21,34 |
| Reserva para incendios | 454,32 | 454,32 | 454,32 | 454,32 | 454,32 |
| Total requerido | 659,77 | 672,66 | 686,35 | 700,91 | 716,37 |

El volumen requerido para las condiciones actuales de la red de abastecimiento es de 659,77 m³ y para la proyección a 20 años se requerirá de 716,37 m³, sin embargo, como se indicó anteriormente el acueducto de El Yas cuenta actualmente con una capacidad total de almacenamiento de 334,95 m³; por ende, presenta un déficit de almacenamiento de 324,83 m³ para las condiciones actuales y para el año 2041 presentará un déficit de 381,43 m³.

7.6. Balance Hídrico.

Los balances hídricos para ambos sistemas se determinaron con base al estudio hidrométrico realizado de los históricos de aforos proporcionados por la ASADA, utilizando los caudales seguros calculados para cada naciente menos el caudal remanente que se debe reducir; en el Cuadro 15 se detalla el balance hídrico para el sistema principal.

Cuadro 15. Balance hídrico para el sistema principal.

| Parámetro | Año | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
| Servicios (conexiones) | 361 | 384 | 408 | 433 | 460 |
| Demanda Máxima Diaria (l/s) | 5,62 | 5,97 | 6,34 | 6,74 | 7,16 |
| Producción La Virgen (l/s) | 5,85 | 5,85 | 5,85 | 5,85 | 5,85 |
| Producción Fernández (l/s) | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,75 |
| Producción Total (l/s) | 7,60 | 7,60 | 7,60 | 7,60 | 7,60 |
| Superávit o Déficit (l/s) | 1,98 | 1,63 | 1,26 | 0,86 | 0,44 |
| Equivalencia en servicios | 127 | 105 | 81 | 55 | 28 |

La producción de 1,75 l/s indicada para la naciente Fernández corresponde al caudal crítico que actualmente aprovecha el acueducto conforme a los aforos, de acuerdo con el balance hídrico mostrado en el Cuadro 14; actualmente el sistema principal posee la capacidad de abastecer 127 nuevas conexiones, ya que presenta un superávit en la producción de 1,98 l/s, extendiendo su capacidad de abastecimiento. Para la proyección a 20 años, se tendrá un superávit de 0,44 l/s en la producción, lo que indica que para el año 2041 solo una cantidad de 28 nuevas conexiones podrán ser abastecidas por el sistema. En la Figura 17 se muestra de manera gráfica lo mencionado.

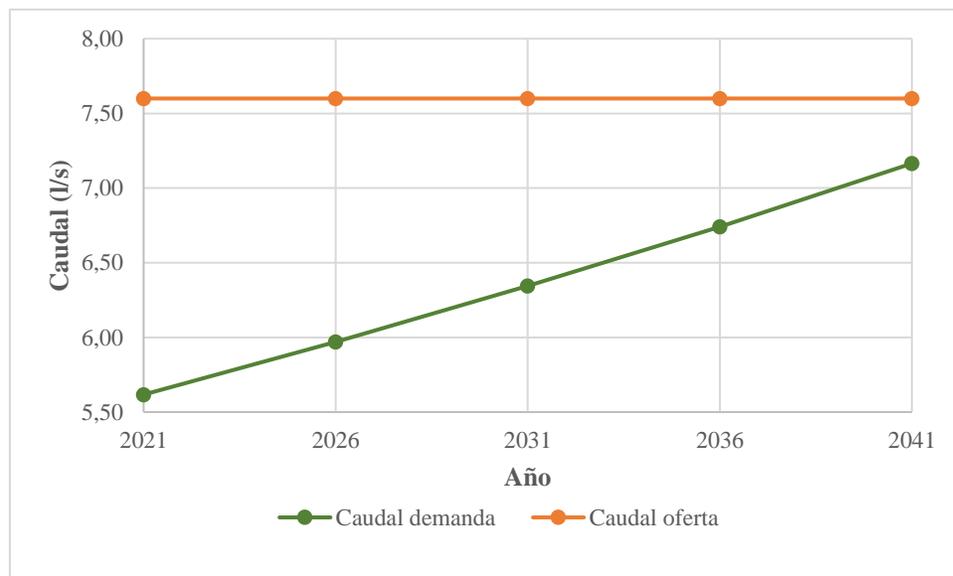


Figura 17. Balance hídrico para el sistema principal.

La situación hídrica para el sistema secundario es diferente respecto al sistema principal ya que la población proyectada es menor, en el Cuadro 16 se muestra el balance hídrico para el sistema secundario.

Cuadro 16. Balance hídrico para el sistema secundario.

| Parámetro | Año | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2021 | 2026 | 2031 | 2036 | 2041 |
| Servicios (conexiones) | 32 | 34 | 36 | 38 | 41 |
| Demanda Máxima Diaria (l/s) | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,60 | 0,64 |
| Producción Total (l/s) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| Superávit o Déficit (l/s) | 0,57 | 0,54 | 0,51 | 0,47 | 0,43 |
| Equivalencia en servicios | 37 | 35 | 33 | 30 | 28 |

Según el balance hídrico mostrado, para las condiciones actuales y las proyectadas a 20 años el sistema tiene superávit en la producción de 0,57 l/s y 0,43 l/s respectivamente, tiene capacidad de abastecimiento para 37 nuevas conexiones en la actualidad y 28 nuevas conexiones para el año 2041, en la Figura 18 se detalla la situación hídrica indicada de forma gráfica.

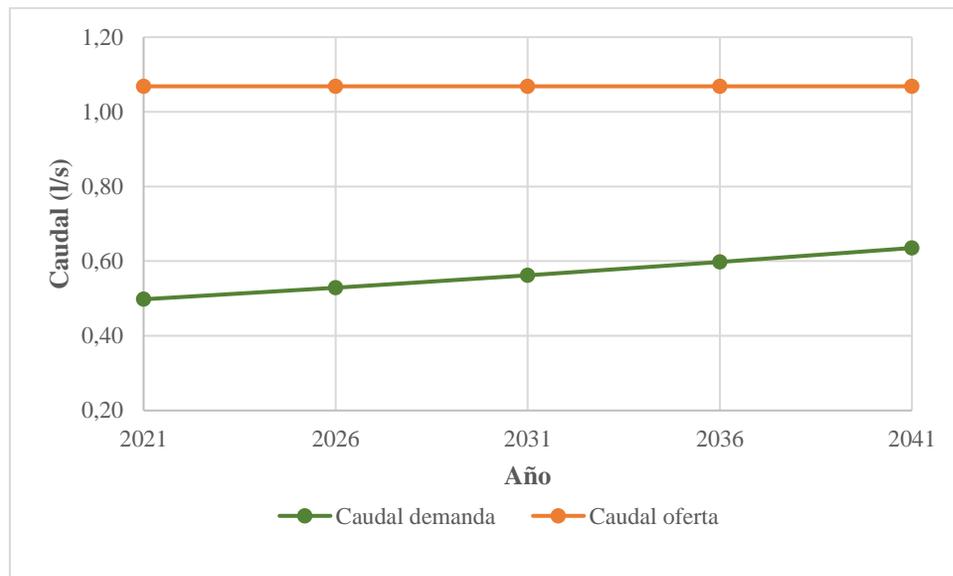


Figura 18. Balance hídrico para el sistema secundario.

7.7. Análisis hidráulico de la red de abastecimiento.

El análisis de la red de tuberías de los dos sistemas que integran el acueducto se realizó mediante una modelación hidráulica en período estático para la situación más crítica; es decir, las demandas de consumo que se encuentran en la red son constantes (invariables en el tiempo) asumiendo que las conexiones consumen en el mismo instante. Cabe indicar que primeramente se simuló la condición actual para cada sistema con lo cual se propuso las mejoras respectivas que posteriormente fueron modeladas para conocer su comportamiento dentro del sistema.

Cada modelación se ejecutó de acuerdo con la demanda al año 2021 y la cantidad de conexiones activas para julio del mismo año; para el sistema principal 433 conexiones y el sistema secundario 32 conexiones, a cada conexión se le asignó una consigna de 0,0280 l/s que corresponde a la demanda máxima horaria obtenida de la dotación calculada, el factor máximo horario y el factor de hacinamiento para el distrito de Santiago dado por el INEC.

7.7.1. Modelación hidráulica para condición actual.

Sistema principal.

De acuerdo con el levantamiento topográfico y la toma de datos, este sistema se encuentra en una zona topográfica quebrada y al abastecer el 93,12% de los usuarios del acueducto; posee una extensa red de tubería por ende las diferencias de elevación de los nodos establecidos serán en mayor magnitud, en la Figura 19 se observa las diferencias de elevación de los nodos del sistema principal.

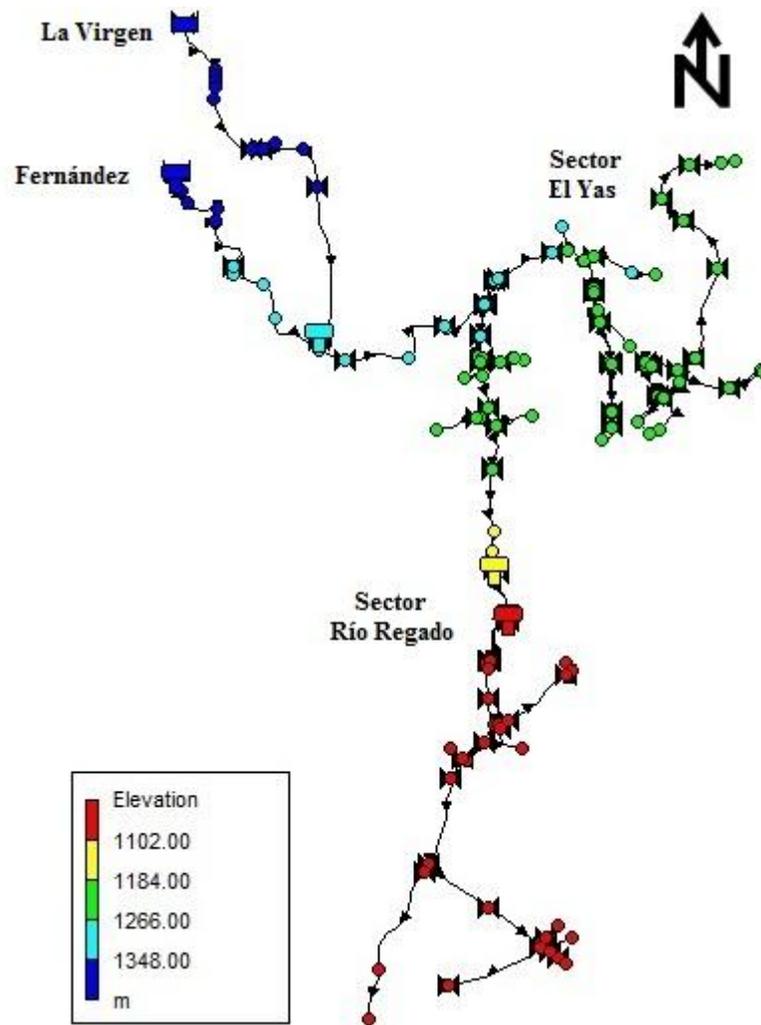


Figura 19. Intervalos de elevación de los nodos del sistema principal.

Como se indicó en la caracterización de las tuberías, tanto en la conducción como en la distribución actual, hay cambios de diámetros que inciden directamente en la simulación hidráulica, por lo que es de suma importancia identificarlos a lo largo del sistema; en la Figura 20 se detalla los cambios de diámetros existentes en el sistema principal.

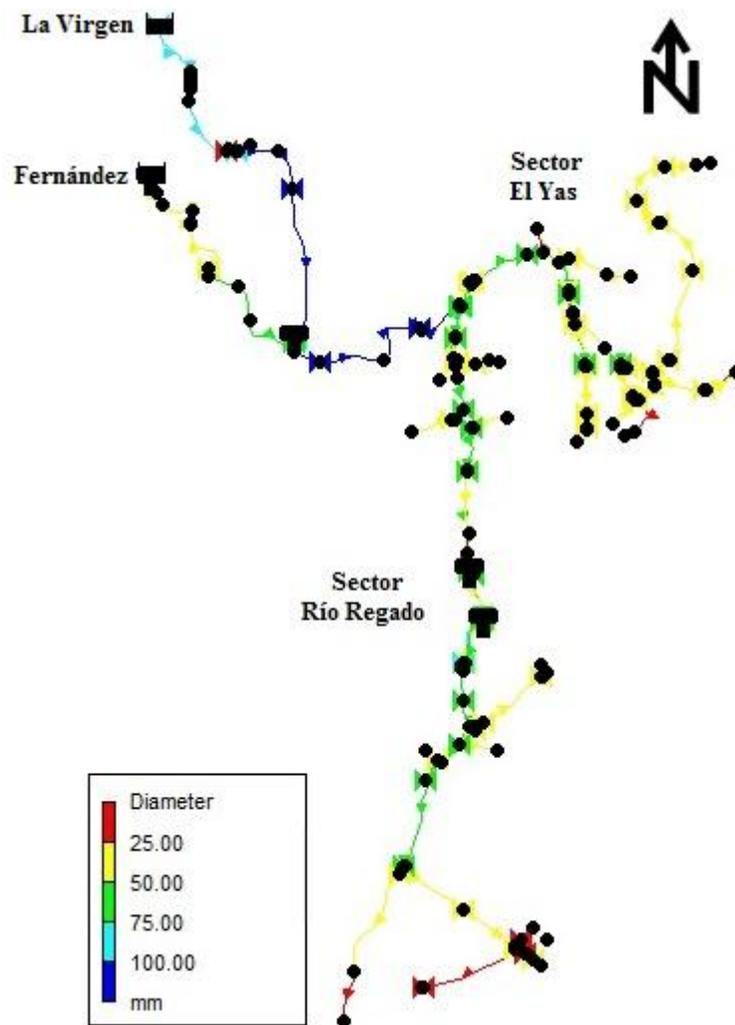


Figura 20. Variación de diámetros en el sistema principal.

La diferencia de elevación más marcada en el sistema es de 399,35 metros entre el punto más alto y el más bajo, por lo que en ciertos puntos se generan presiones por encima de los rangos óptimos principalmente en el sector de El Yas, a pesar de que el sistema cuenta con válvulas reguladoras; las consignas con las que trabajan estas válvulas fueron tomadas en cuenta para la simulación hidráulica.

Para interpretar de una mejor manera las condiciones actuales de este sistema se analizará primero la conducción y posteriormente la distribución; en la Figura 21 se muestra la modelación estática para las condiciones actuales del sistema en donde se detalla las presiones de los nodos de la red en general.

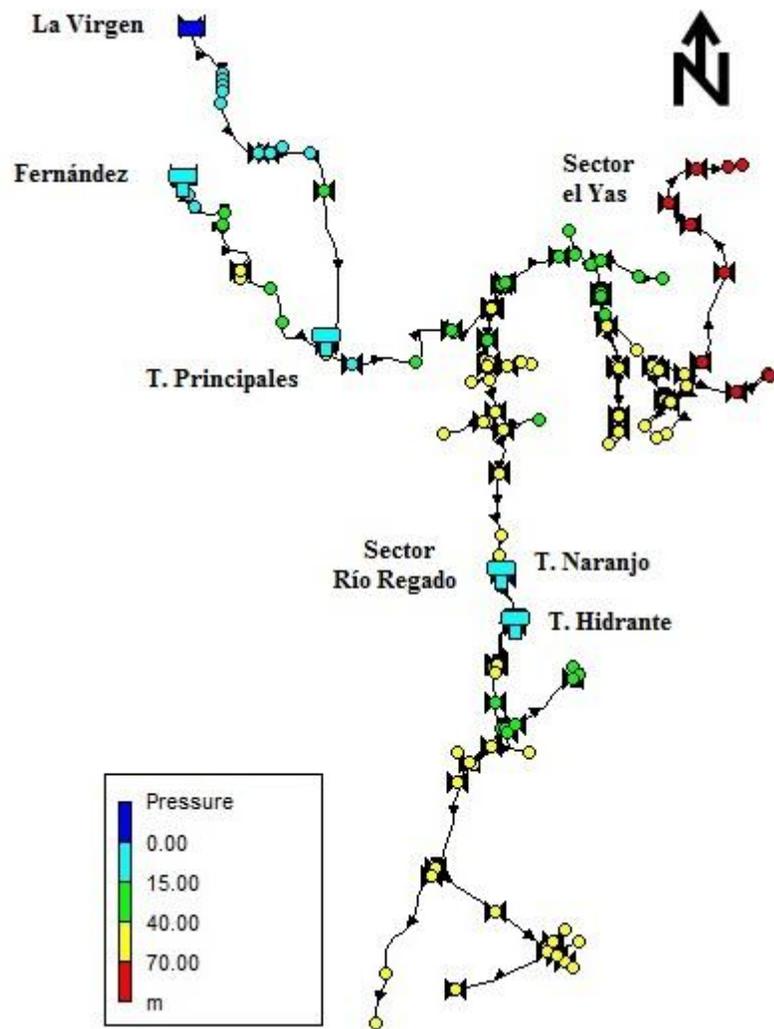


Figura 21. Presiones actuales del sistema principal del acueducto de El Yas.

En la conducción proveniente de la naciente La Virgen (ver Anexo 8), la mayoría de las presiones son óptimas para un caudal de 5,85 l/s, sin embargo, del nodo 1 al nodo14 las presiones son muy bajas debido al bajo aporte de carga estática y las pérdidas por fricción generadas, la situación más ajustada se presenta justamente en la entrada a los tanques principales ya que se da una presión de 76,61 m.c.a. lo cual está por encima de los 70 m.c.a. permitidos por la norma del AyA (2017) pero no genera problema alguno al sistema porque la presión máxima de trabajo de la tubería de dicho punto es de 112,6 m.c.a. y también corresponde a la entrada al tanque.

Por otro lado, en la conducción proveniente de la naciente Fernández (ver Anexo 9), las presiones de los nodos se mantienen dentro del rango establecido para un caudal de 1,75 l/s. En cuanto a las velocidades, en ambas conducciones son las adecuadas manteniéndose en el rango 0,6 – 5 m/s según lo estipula AyA para líneas de conducción y aducción; en el Anexo 16 se muestran los parámetros obtenidos en la modelación hidráulica y en la Figura 22 el rango de velocidades de las conducciones en análisis.

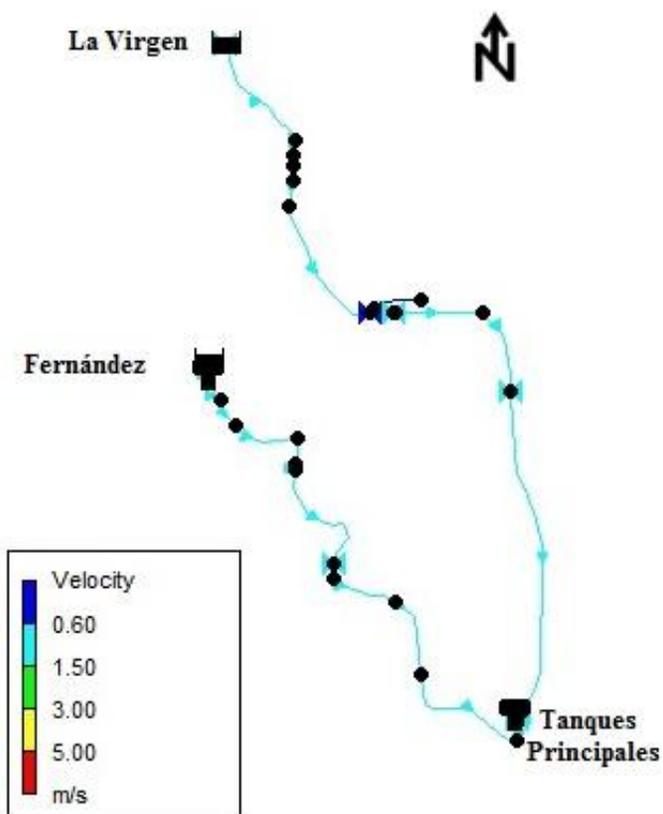


Figura 22. Velocidades actuales en conducciones del sistema principal.

Anteriormente, se indicó que la red de distribución cuenta con válvulas reguladoras de presión, en el Cuadro 17 se muestra las consignas con las que operan actualmente según información proporcionada por el fontanero de la ASADA.

Cuadro 17. Presión de operación de válvulas reguladoras del sistema principal.

| Sector | N° Válvula | Nodo | Consigna (m.c.a.) |
|------------|------------|------|-------------------|
| El Yas | 1 | 53 | 28,16 |
| Río Regado | 2 | 85 | 28,16 |
| | 3 | 92 | 14,08 |
| | 4 | 96 | 10,56 |
| | 5 | 100 | 10,56 |
| | 6 | 105 | 14,08 |

Como se observa en la Figura 21, la mayor parte de la red de distribución opera con presiones dentro del rango permitido a causa del funcionamiento de dichas válvulas; sin embargo, en los tramos de tubería más bajos específicamente en el sector de El Yas se generan sobrepresiones por encima de lo establecido por la norma del AyA llegando alcanzar una presión máxima de 89,58 m.c.a. debido a las condiciones quebradas de la topografía de la zona, en el Anexo 17 se muestran los parámetros obtenidos en la modelación para este sector.

Con respecto a las velocidades en este sector, la mayor parte son inferiores al rango recomendado, debido a que el caudal conducido es bajo, en relación con el diámetro de la tubería existente. En la Figura 23 se observa las velocidades presentes en el sector.

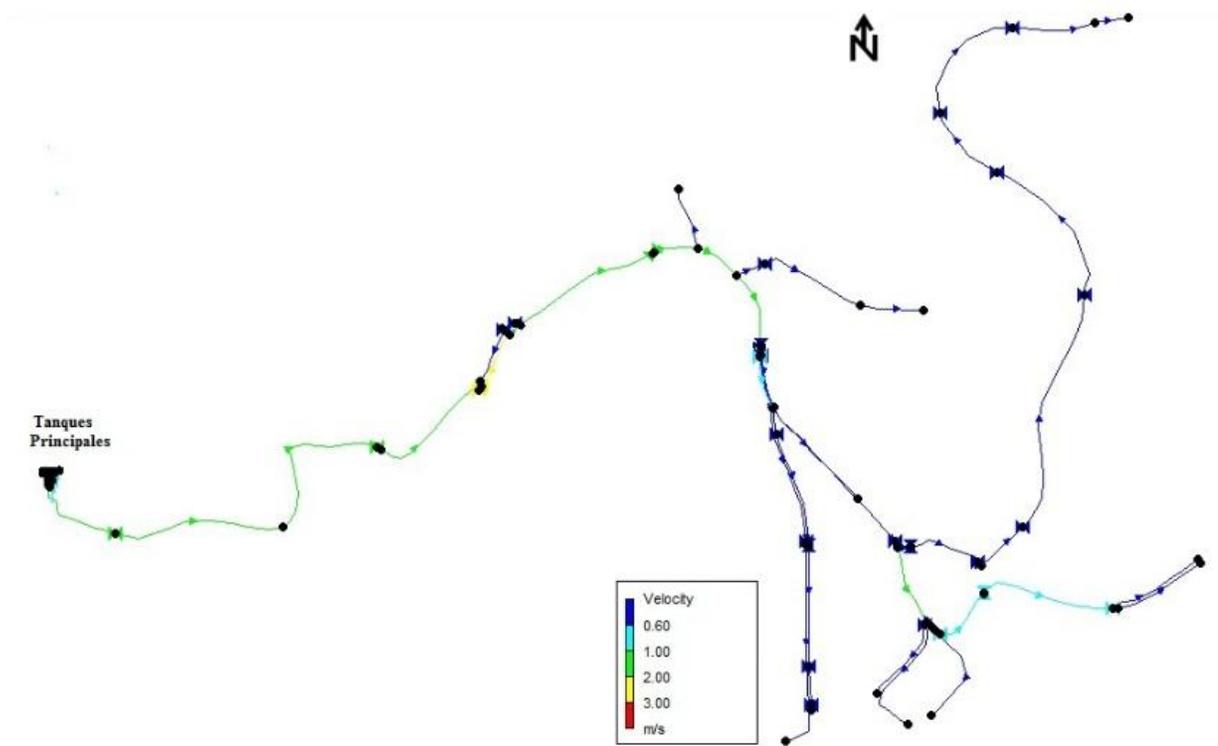


Figura 23. Velocidades actuales en la tubería de distribución del sector El Yas.

Referente a las pérdidas de carga en el sector de El Yas (ver Anexo 17), en la distribución principal es donde se presentan las mayores pérdidas comparadas con las presentadas en los ramales; lo anterior debido a que la tubería de distribución principal tiene mayor dimensión y la pérdida de carga por cada kilómetro de tubería es de mayor magnitud, en la Figura 24 se detalla las pérdidas de carga unitaria para el sector mencionado.

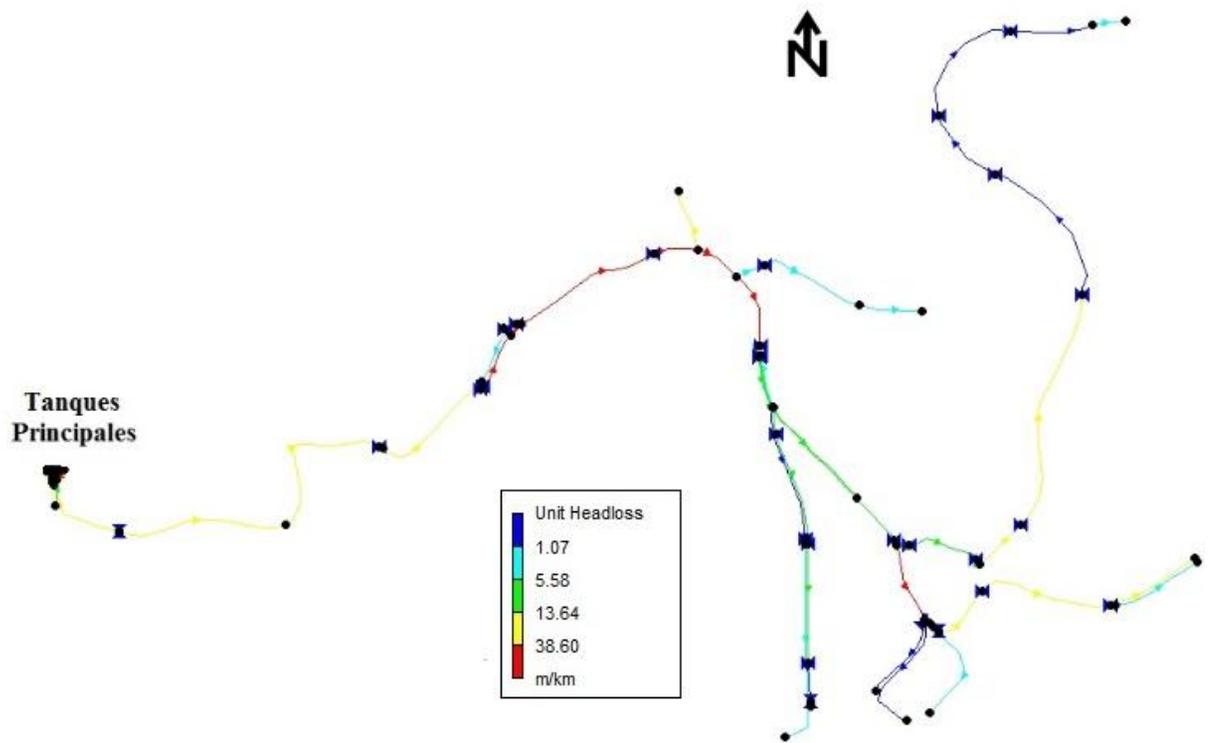


Figura 24. Pérdidas de carga unitaria actuales en la tubería de distribución del sector El Yas.

En la Figura 25 se muestra los caudales obtenidos para el sector de El Yas; estos evidencian que la modelación hidráulica es consistente con el consumo actual de la población en el sector mencionado.

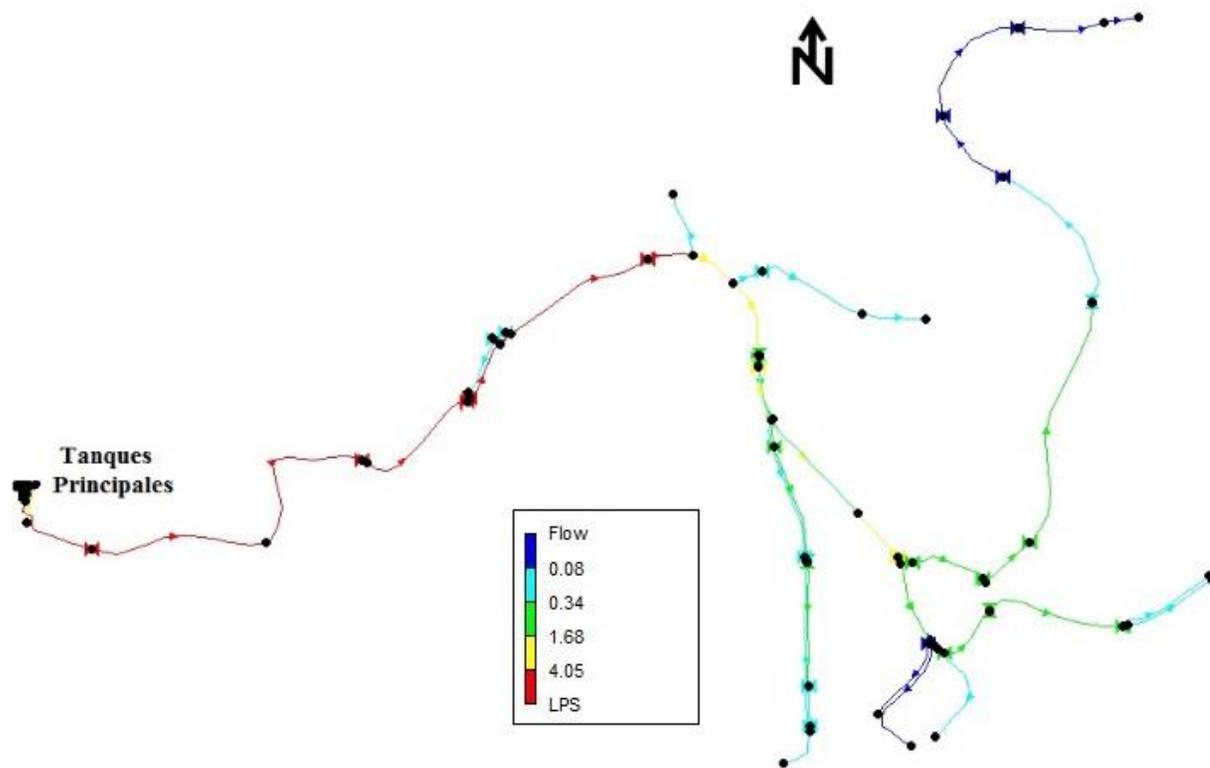


Figura 25. Caudales actuales en la tubería de distribución del sector El Yas.

En el sector de Río Regado el cual posee las condiciones más quebradas, las presiones en la tubería de distribución se encuentran dentro del rango 15 – 70 m.c.a.; cabe indicar que a pesar de que cuenta con cinco válvulas reguladoras y el tanque Naranja que ejerce función de quiebra gradiente, en las partes más bajas las presiones están cercanas al valor máximo permitido alcanzando una presión máxima de 67,09 m.c.a. por ende el sistema opera al límite; en el Anexo 18 se detalla los parámetros hidráulicos para el sector de Río Regado.

De igual manera para este sector, las velocidades en los ramales están por debajo de los 0,6 m/s debido a lo anteriormente mencionado, en la Figura 26 se muestra las velocidades para este sector.

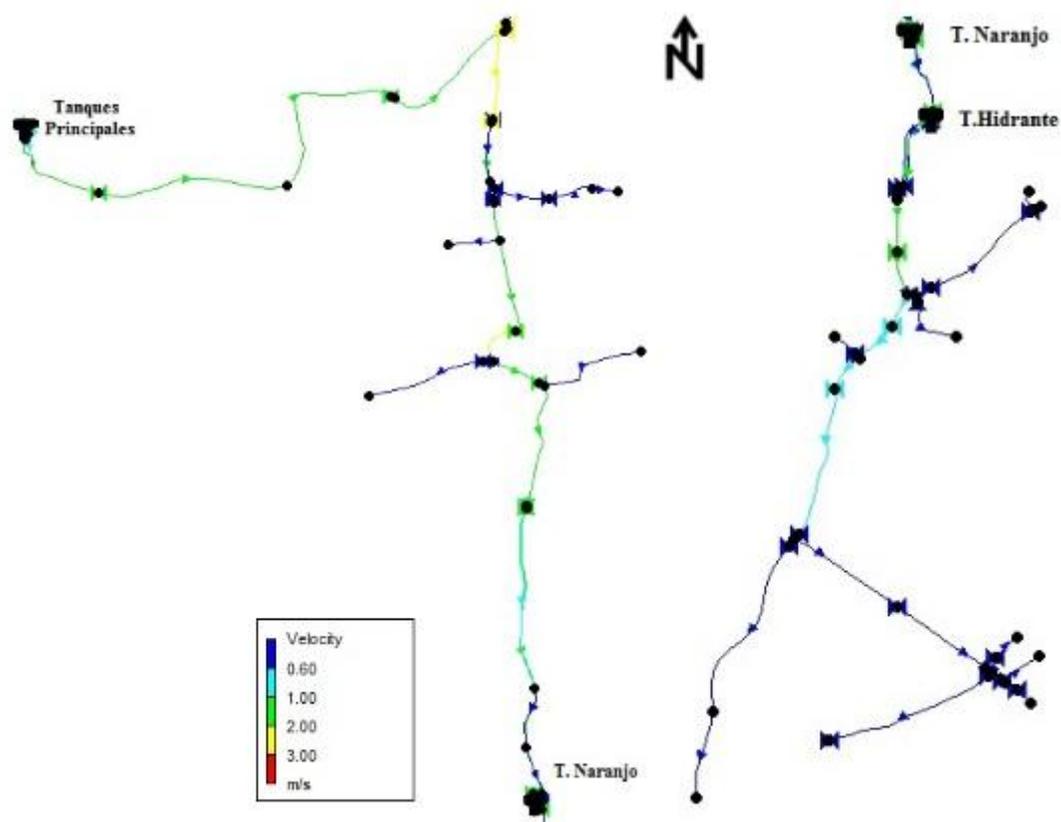


Figura 26. Velocidades actuales en la tubería de distribución del sector Río Regado.

Las mayores pérdidas de carga en el sector de Río Regado se presentan de igual forma en la tubería de distribución principal mientras que en los ramales se dan en menor magnitud debido a las características de la tubería actual. En el Anexo 18 se adjunta en detalle las pérdidas de carga para cada tramo de tubería y en la Figura 27 las pérdidas de carga unitaria obtenidas en la modelación hidráulica.

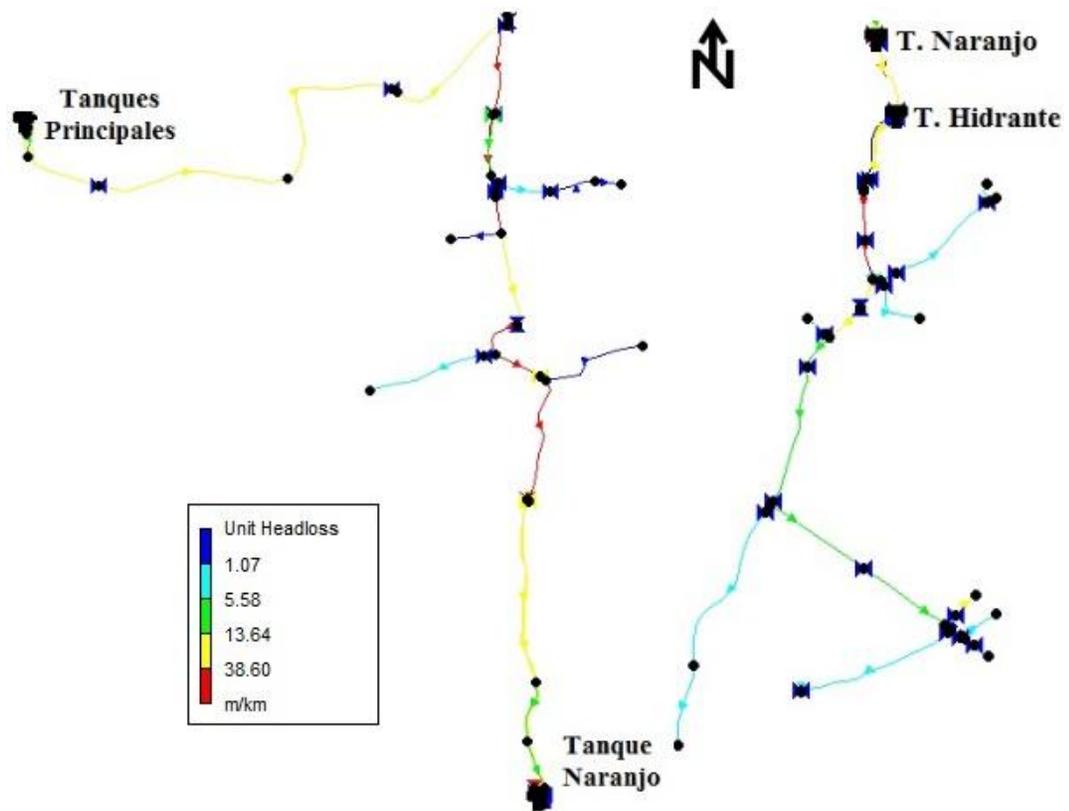


Figura 27. Pérdidas de carga unitaria actuales en la tubería de distribución del sector Río Regado.

Los caudales obtenidos en la modelación hidráulica para este sector también son consistentes con el consumo de la población, en la Figura 28 se muestra lo indicado.

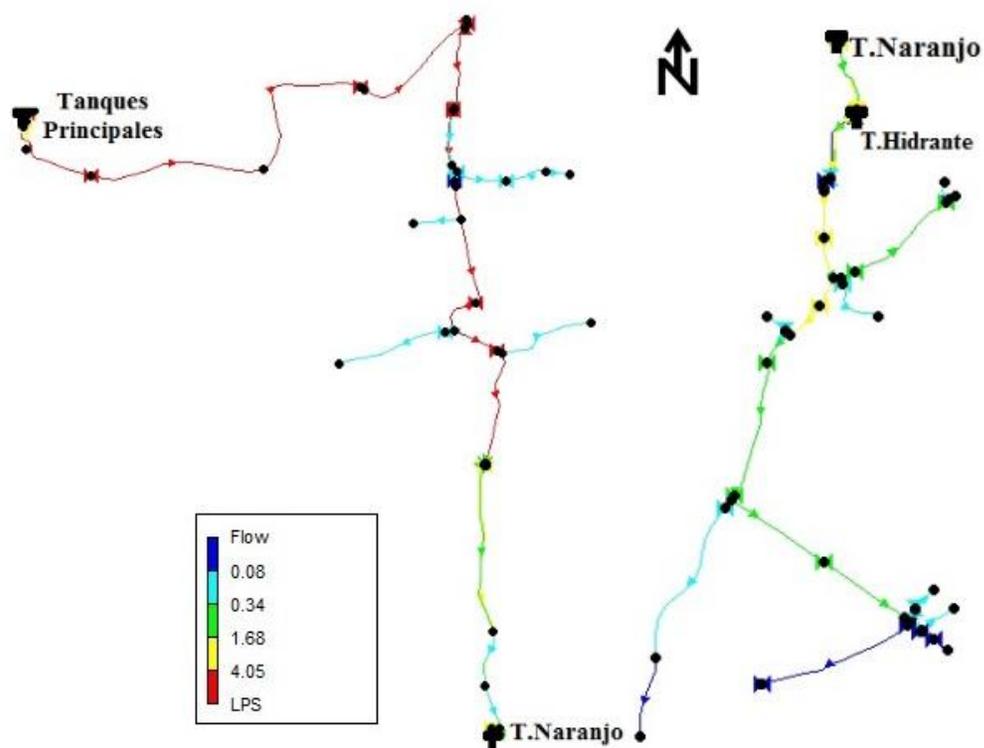


Figura 28. Caudales actuales en la tubería de distribución del sector Río Regado.

Sistema secundario.

El análisis hidráulico para este sistema se enfoca mayormente en la tubería de distribución, ya que como se indicó solo cuenta con 18,136 metros de línea de conducción debido a la cercanía del tanque a la naciente Capira. Este sistema abastece el 6,88 % de los usuarios del acueducto, lo que significa que es de menor extensión con respecto al principal, la diferencia de altura entre el punto más alto (naciente) y el punto más bajo es de 88,25 metros; es importante indicar, que este sistema es totalmente independiente, es decir, las aguas provenientes de la naciente Capira no ingresan a los tanques principales del acueducto. En la Figura 29 se observa las elevaciones de los nodos del sistema secundario.

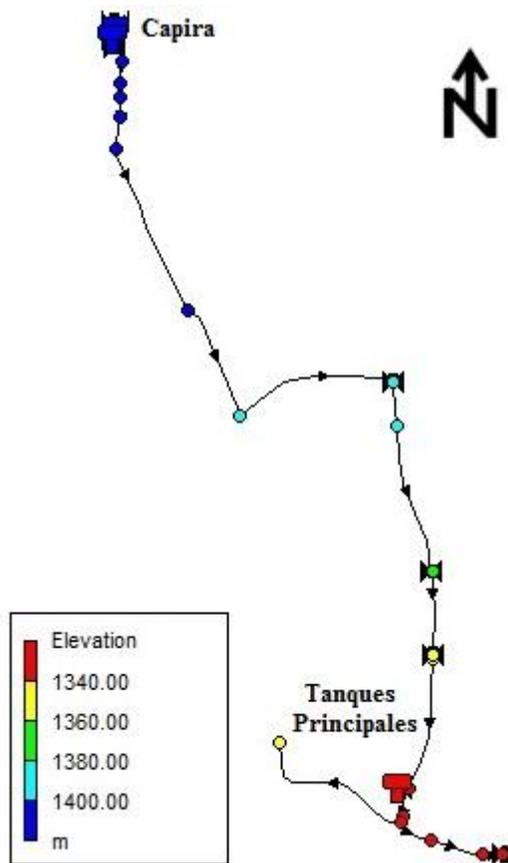


Figura 29. Intervalos de elevación de los nodos del sistema secundario.

También existe variación en los diámetros de las líneas de distribución, en la Figura 30 se describe estos cambios que influyen directamente en el comportamiento hidráulico del sistema en la modelación realizada.

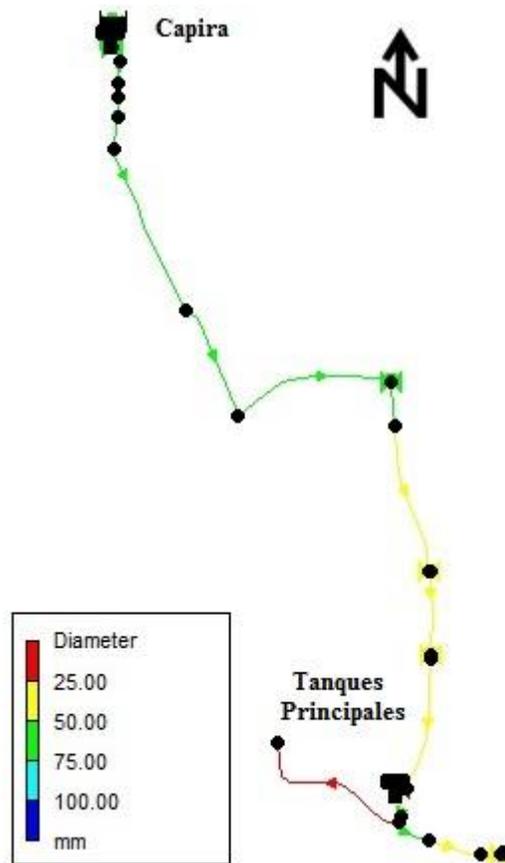


Figura 30. Variación de diámetros en el sistema secundario.

Este sistema cuenta solamente con una válvula reguladora de presión ubicada en la parte central del sistema (nodo 17), opera con una consigna de 17,6 m.c.a. influyendo en las presiones aguas abajo de la misma; en la Figura 31 se muestra las presiones obtenidas para el sistema secundario en la modelación hidráulica.

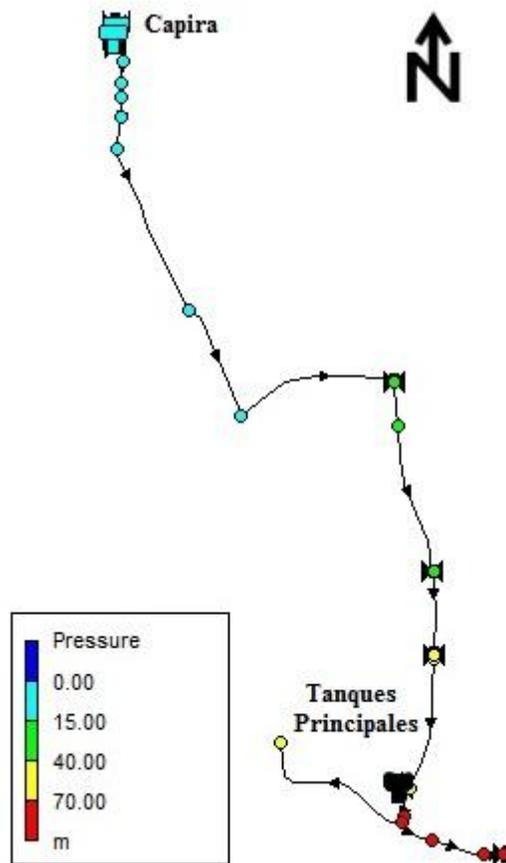


Figura 31. Presiones actuales del sistema secundario del acueducto de El Yas.

Tal como se observa en la figura anterior, las presiones actuales de los nodos ubicados en la parte central del sistema se encuentran dentro del rango de 15 – 70 m.c.a. establecido por el AyA; sin embargo, al inicio de la tubería de distribución las presiones son inferiores al valor mínimo, pero no representa problema ya que en ese sector no hay aporte de conexiones al sistema. Caso contrario se presenta en el sector más bajo; a pesar de que se cuenta con la válvula reguladora se dan sobrepresiones a partir del nodo 22 alcanzando una presión crítica de 76,77 m.c.a. en el nodo final, debido a la alta carga estática aportada por la topografía quebrada de la zona.

La Figura 32 muestra que las velocidades en este sistema son inferiores a los 0,6 m/s, pero es importante indicar que se debe al bajo caudal demandado y los diámetros de la tubería existente; esto puede generar acumulación de sedimentos en la tubería. En el Anexo 19 se

muestra en mayor detalle las presiones y velocidades obtenidas en la modelación para cada nodo del sistema.

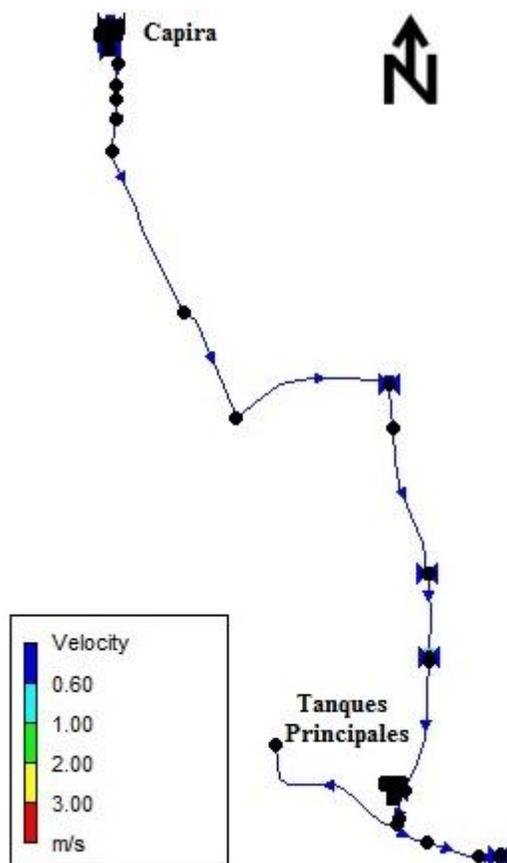


Figura 32. Velocidades actuales en el sistema secundario del acueducto de El Yas.

Las pérdidas de carga en este sistema son bajas con respecto al sistema principal debido a que el caudal conducido y la longitud de las tuberías son menores; en el Anexo 19 se detalla las pérdidas de carga para cada tramo del sistema y en la Figura 33 las pérdidas de carga unitaria obtenidas en la modelación hidráulica.

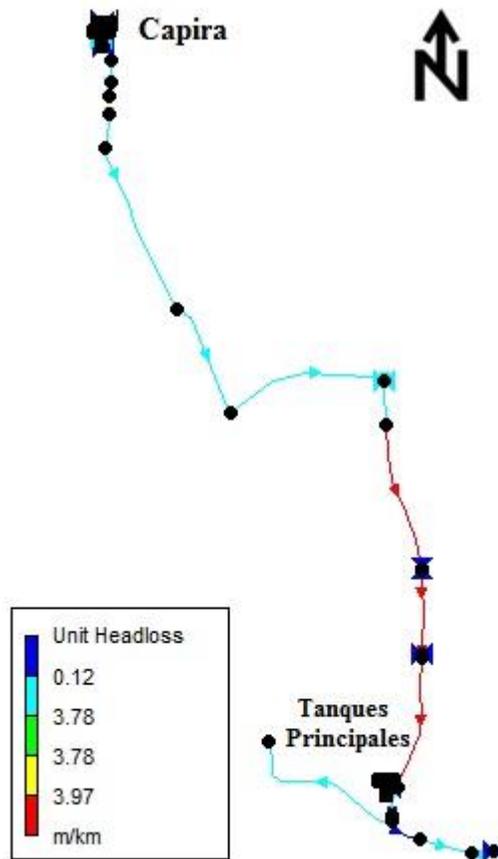


Figura 33. Pérdidas de carga unitaria actuales en el sistema secundario del acueducto de El Yas.

Los caudales obtenidos en la modelación hidráulica se muestran en la Figura 34; estos caudales corresponden a los demandados por las 32 conexiones del sistema, por ende, se demuestra que la modelación es consistente con el consumo.

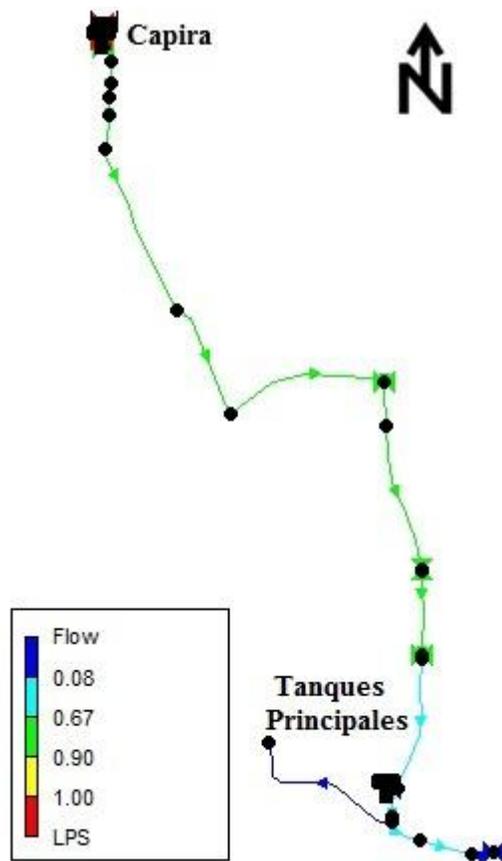


Figura 34. Caudales actuales en el sistema secundario del acueducto de El Yas.

7.8. Análisis de soluciones.

Tomando en consideración los resultados obtenidos en las modelaciones hidráulicas y la proyección de almacenamiento requerido para cada sistema, se establecieron tres propuestas de mejora en la infraestructura hidráulica y mejoras en la capacidad de almacenaje que se detallan a continuación:

7.8.1. Propuesta de mejoramiento 1.

Esta consiste en la instalación de válvulas reguladoras de presión en los sectores que presentan presiones por encima del rango establecido por el AyA, sin realizar reemplazos o cambios en la tubería existente.

Para el sistema principal es necesario instalar una válvula reguladora de presión de 75 mm de diámetro nominal en el nodo N57 (Sector El Yas) con una consigna de 17 m.c.a., con la implementación de este dispositivo, la presión máxima que se genera en dicho sector es de 56,68 m.c.a. la cual es óptima, de acuerdo con las características del acueducto; en la Figura 35 se muestra las presiones generadas aguas abajo de la válvula propuesta.

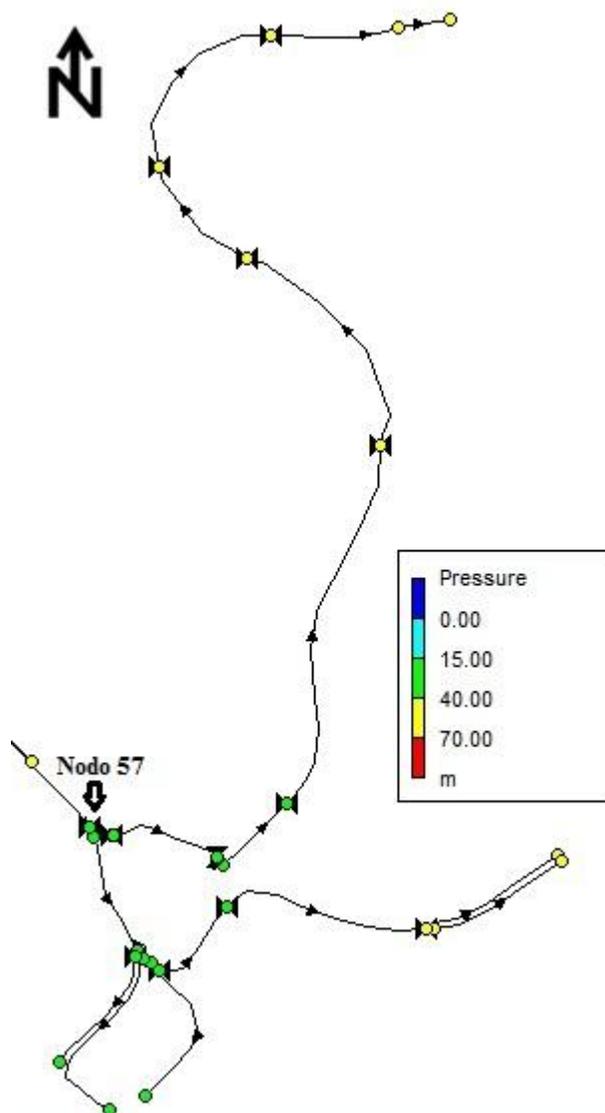


Figura 35. Presiones obtenidas en el sector El Yas (Propuesta 1).

En el sector de Río Regado también es necesario instalar una válvula reguladora de presión de 50 mm de diámetro nominal en el nodo N123 con una consigna de 25 m.c.a. ya que

actualmente, el sistema opera con presiones cercanas al límite máximo permitido; en la Figura 36 se observa que, con la mejora planteada, la operación de los tramos posteriores a la válvula se estabilizará, presentándose una presión máxima de 41,64 m.c.a.

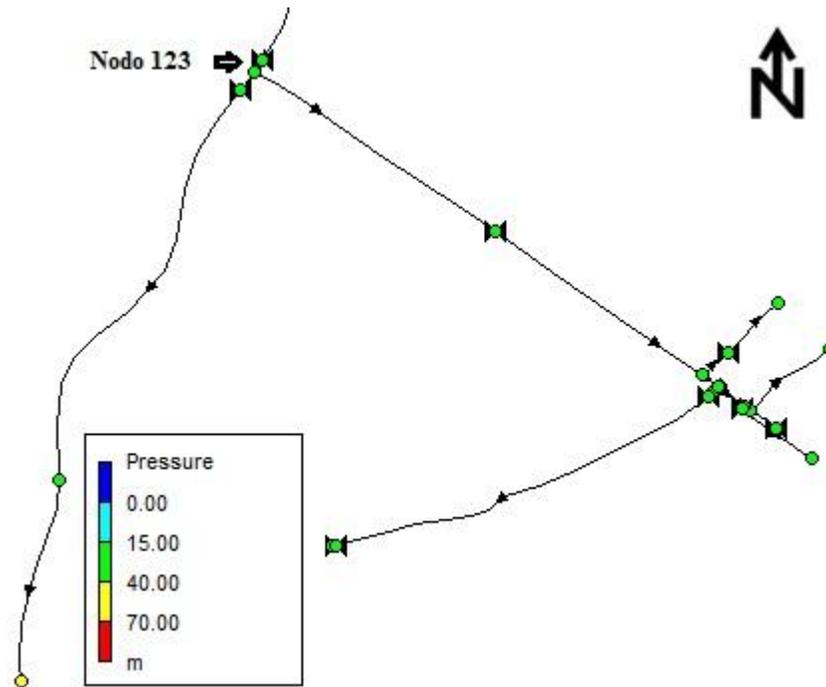


Figura 36. Presiones obtenidas en el sector Río Regado (Propuesta 1).

Las velocidades, pérdidas de carga y caudales obtenidos con las mejoras mencionadas no presentan variación con respecto a las condiciones actuales, ya que no se realizaron cambios de diámetros en la tubería existente y en la demanda por conexión. En el Anexo 20 se detalla los parámetros hidráulicos para cada nodo y tramo respectivamente para las mejoras planteadas.

En el sistema secundario, en la parte más baja se generan sobrepresiones que pueden ser controladas con la instalación de una válvula reguladora de presión de 38 mm de diámetro nominal en el nodo N20 con una consigna de 20 m.c.a., en la Figura 37 se muestra las presiones generadas con la implementación del dispositivo de regulación sugerido.

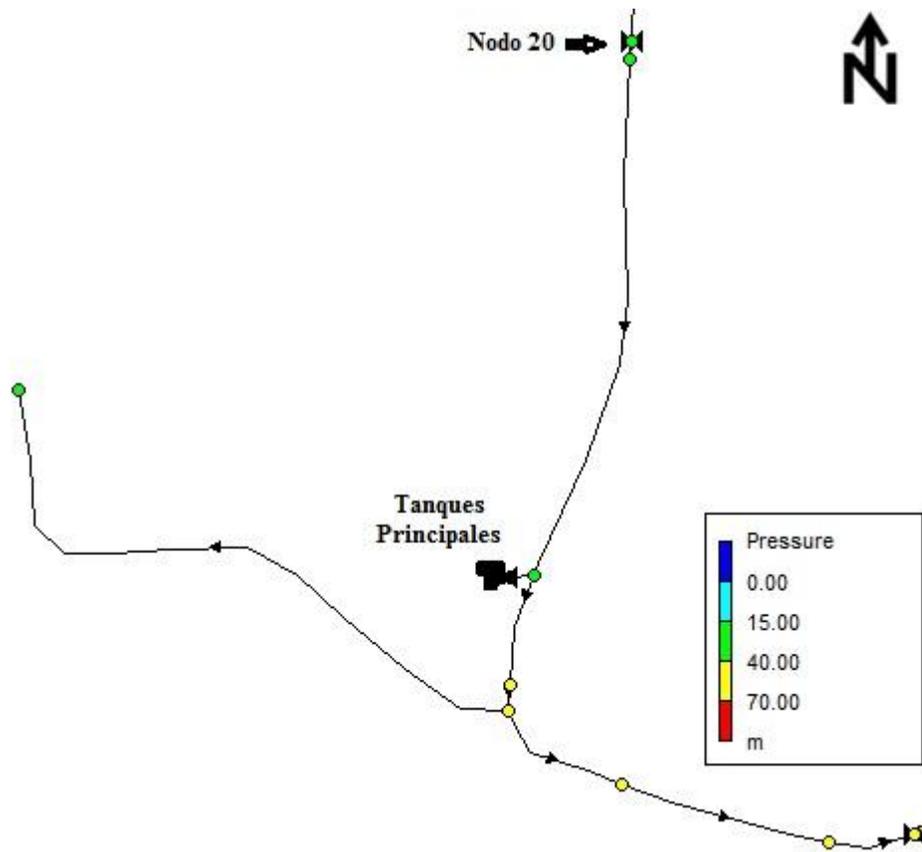


Figura 37. Presiones obtenidas en el sistema secundario (Propuesta 1).

Según la modelación hidráulica mostrada en la figura anterior, la presión máxima que se genera en el sistema es de 46,47 m.c.a. Las velocidades, las pérdidas de carga y los caudales al igual que en el sistema principal no cambian debido a las condiciones previamente indicadas; en el Anexo 21 se detallan los parámetros mencionados para cada nodo y tramo aguas abajo de la válvula propuesta.

7.8.2. Propuesta de mejoramiento 2.

Esta propuesta consiste en la implementación de tubería de polietileno de alta densidad en la distribución primaria del sistema principal con el objetivo de cumplir con los requerimientos mínimos establecidos por el AyA para la instalación de hidrantes en la zona.

Cabe indicar que actualmente cuentan con un hidrante en el sector de El Yas, pero es alimentado por una tubería destinada para riego agrícola y no por el acueducto, en el sector de

Río Regado cuentan con un hidrante que sí forma parte del sistema, sin embargo, la cobertura de estos hidrantes es limitada para las características de la red de abastecimiento.

El diámetro nominal mínimo por considerar es de 110 mm (4 pulgadas) con DR 13,6 para ambos sectores, el tramo de tubería de distribución propuesto para el sector de El Yas se muestra en las Figuras 38 de color rojo.

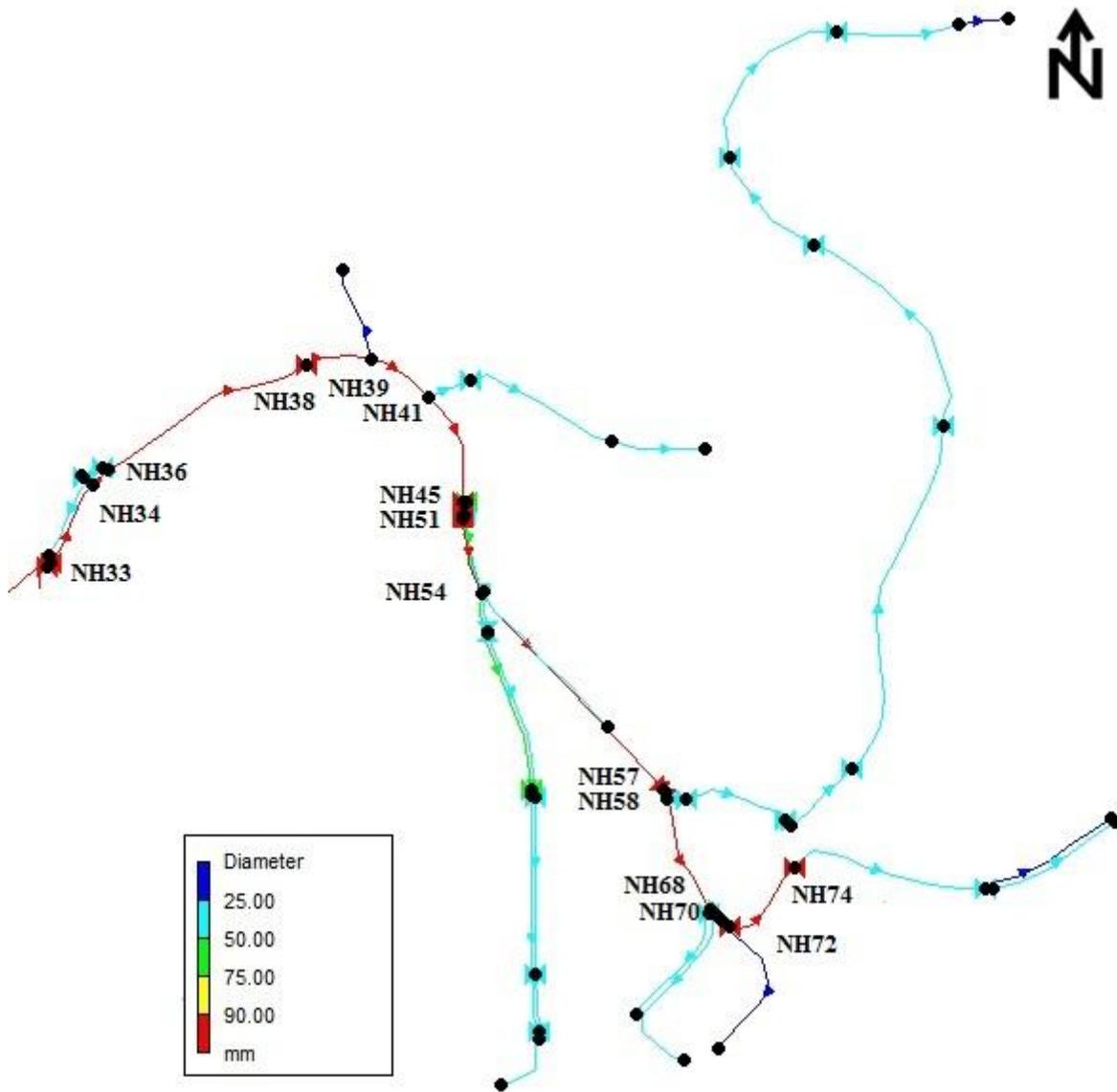


Figura 38. Diámetros de la tubería de distribución del sector El Yas (Propuesta 2).

Cuadro 18. Presión de operación de válvulas reguladoras para la propuesta 2.

| Sector | N° Válvula | Diámetro (mm) | Nodo | Consigna (m.c.a.) |
|------------|------------|---------------|------|-------------------|
| El Yas | 1 | 100 | 38 | 25 |
| | 2 | 100 | 45 | 20 |
| | 3 | 100 | 57 | 15 |
| Río Regado | 4 | 100 | 78 | 20 |
| | 5 | 100 | 92 | 20 |
| | 6 | 100 | 100 | 15 |
| | 7 | 100 | 106 | 15 |
| | 8 | 100 | 122 | 20 |

Al realizar la modelación hidráulica con los diámetros y dispositivos reguladores indicados, las presiones del sistema cumplen con los rangos permitidos obteniendo una presión máxima de 60,65 m.c.a. en el sector de El Yas y 67,75 m.c.a. en Río Regado; sin embargo, en el nodo N101 la presión es de 77,90 m.c.a. pero no representa problema para el sistema ya que corresponde a la entrada del tanque Naranjo y la presión máxima de trabajo de la tubería propuesta es de 127,42 m.c.a. por ende no habrá riesgo de rupturas. En la Figura 40 se muestra las presiones del sistema para la segunda propuesta.

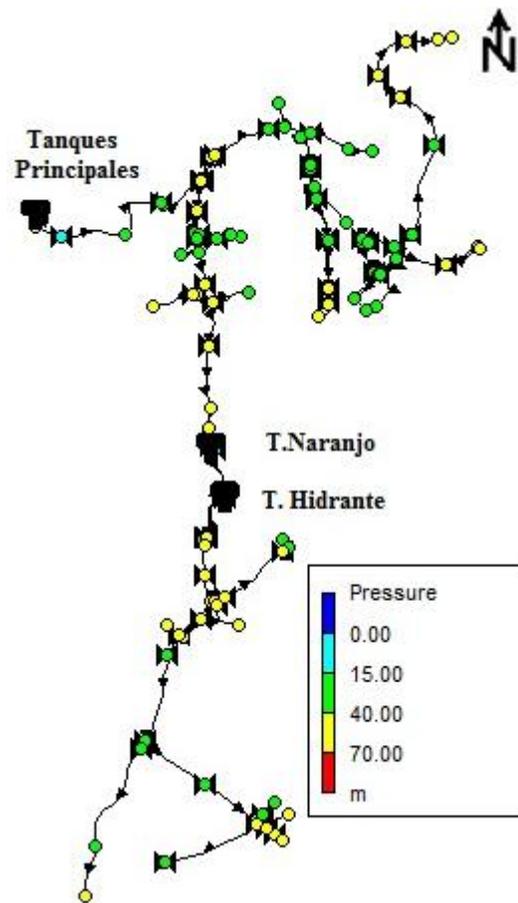


Figura 40. Rango de presiones en el sistema principal (Propuesta 2).

Las pérdidas de carga serán inferiores en comparación con las presentadas en las condiciones actuales del sistema debido al aumento del diámetro, que causa que la pérdida de carga por longitud de tubería sea menor. En la Figura 41 se muestra lo mencionado anteriormente en ambos sectores del sistema principal.

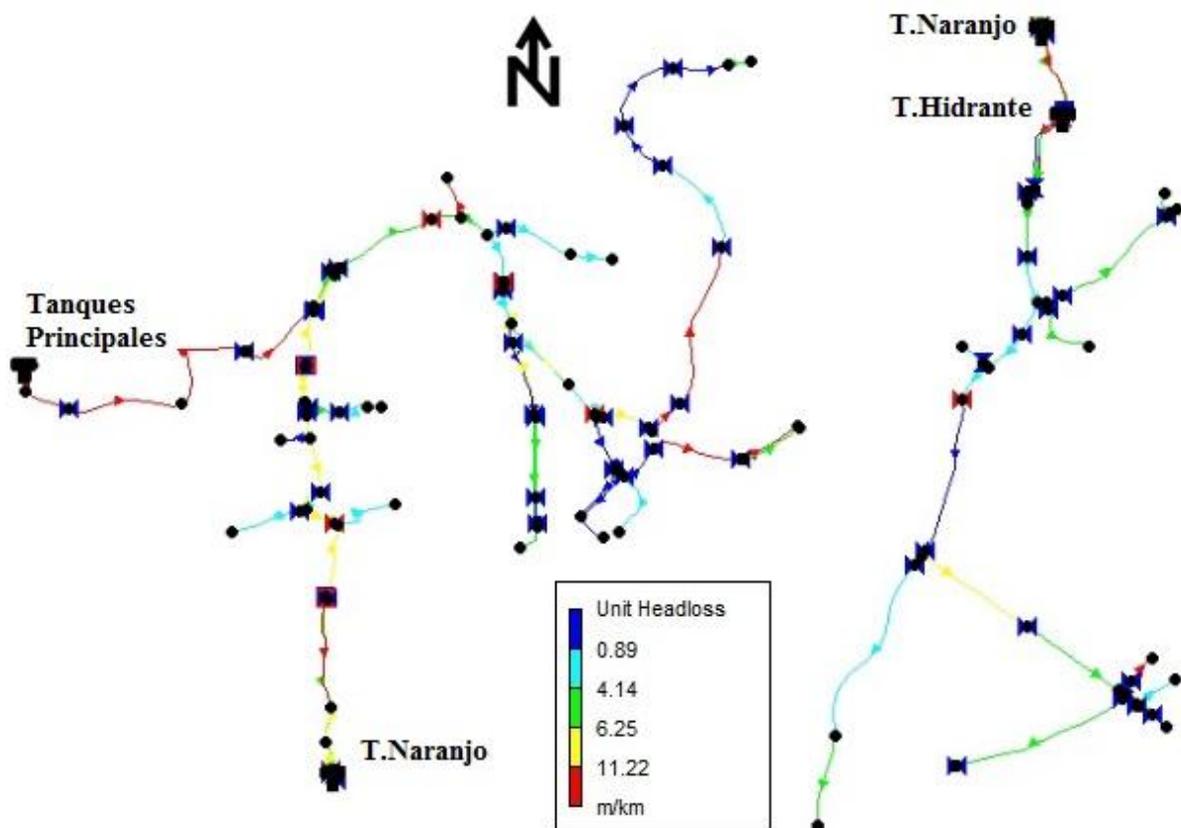


Figura 41. Pérdidas de carga unitaria en el sistema principal (Propuesta 2).

Las velocidades obtenidas están por debajo del mínimo permitido por la norma del AyA, pero se debe a la baja demanda que presenta el acueducto por lo que es difícil elevarlas, los caudales obtenidos corresponden a los demandados actualmente; en los Anexo 22 y 23 se detallan las velocidades, presiones y pérdidas de carga para los sectores previamente mencionados.

Para el sistema secundario se debe colocar la válvula reguladora de presión como se indicó en la propuesta 1.

7.8.3. Propuesta de mejoramiento 3.

La tercera propuesta de mejora incluye el uso de tubería PEAD DR 13,6 con diámetro nominal de 160 mm (6 pulgadas) en la distribución primaria partiendo de los tanques principales

y 110 mm (4 pulgadas) en algunos ramales del sistema principal, con el fin de ampliar la capacidad de distribución para futuras conexiones e instalación de hidrantes.

En la Figura 42 se muestra la distribución de diámetros propuestos para el sector de El Yas en color rojo, donde el ramal comprendido del nodo 58 al nodo 66 es de 110 mm mientras que el resto de distribución primaria es de 160 mm.

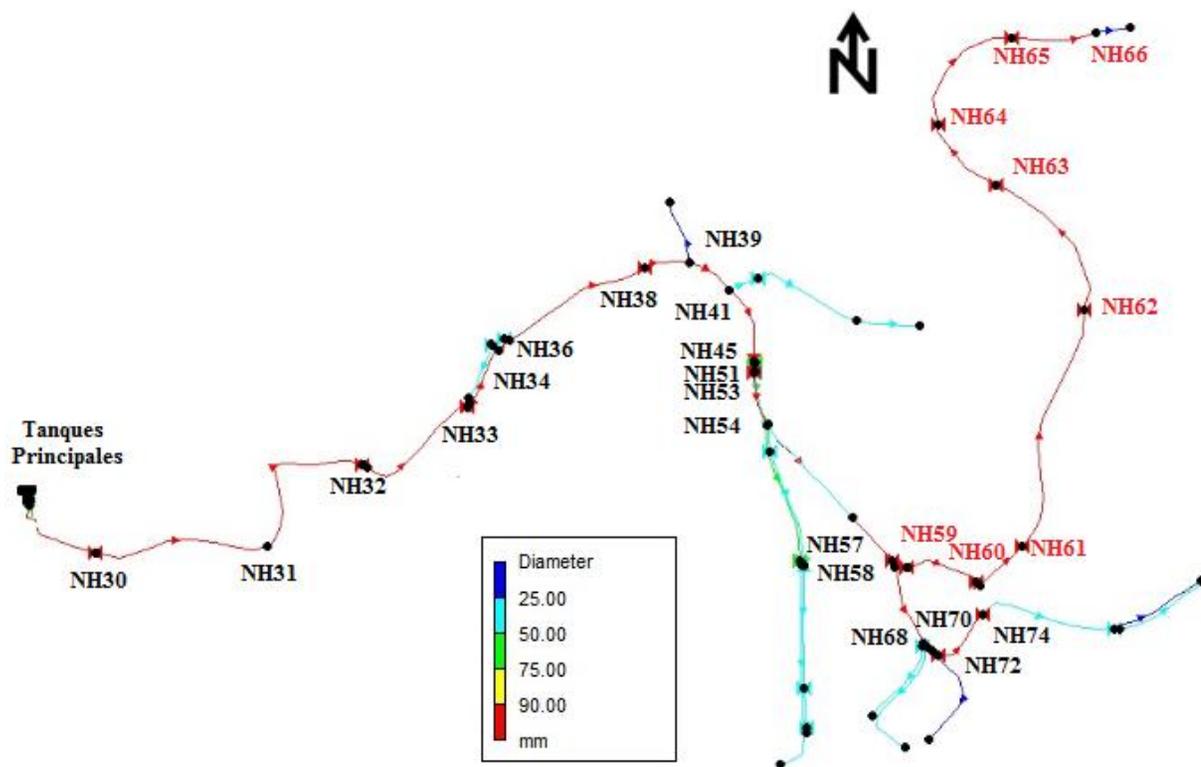


Figura 42. Diámetros de la tubería de distribución del sector El Yas (Propuesta 3).

Para el sector de Río Regado el diámetro de los ramales comprendidos del nodo 112 al 118 y del nodo 124 al 136 es de 110 mm y el resto de distribución primaria en 160 mm; en la Figura 43 se detalla los diámetros propuestos mencionados.

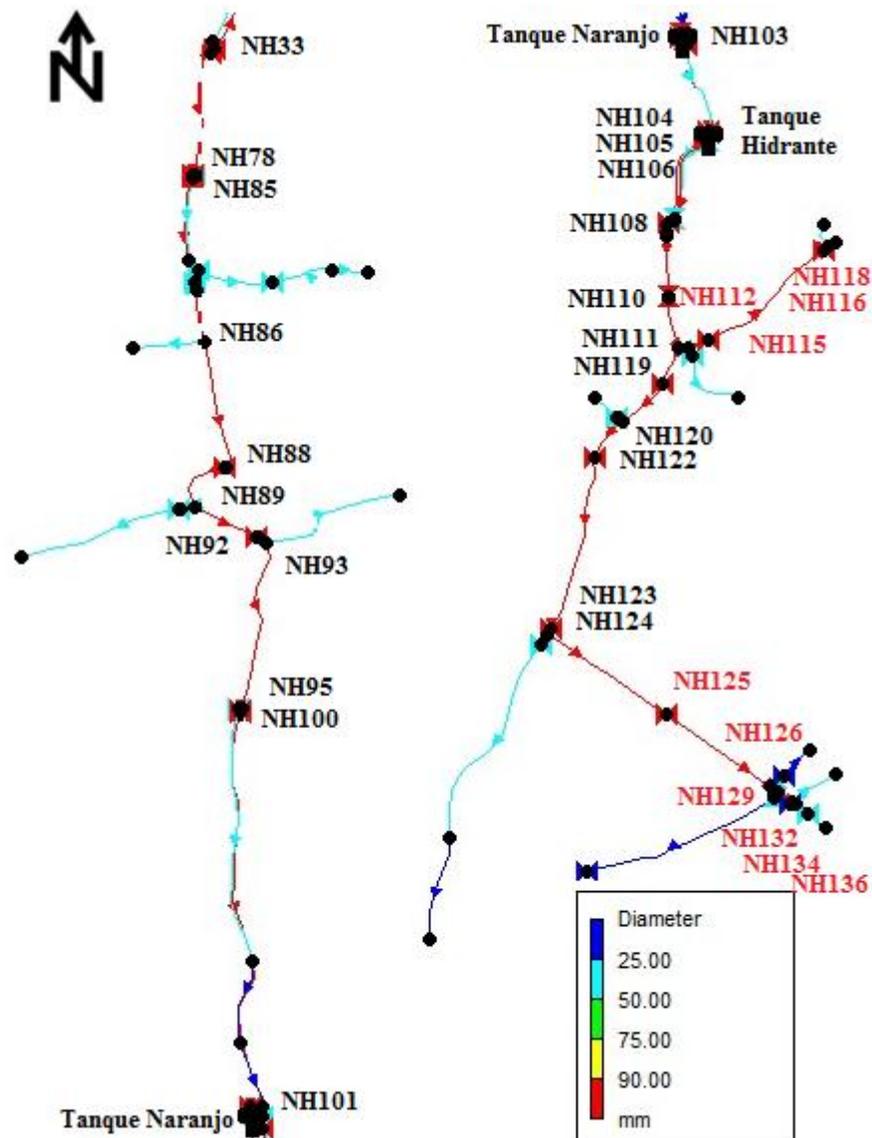


Figura 43. Diámetros de la tubería de distribución Río Regado (Propuesta 3).

Las presiones en el sistema se elevan, por lo que se debe utilizar válvulas reguladoras de presión de 160 mm (6 pulgadas); la ubicación y la consigna de estos dispositivos son iguales a los indicadas en el Cuadro 18 de la segunda propuesta.

Al analizar hidráulicamente el comportamiento de la red con los diámetros y dispositivos indicados, las presiones están dentro del rango establecido presentándose una presión máxima

en el sector de El Yas de 60,99 m.c.a. y en el sector de Río Regado de 67,75 m.c.a.; en la Figura 44 se observa el rango de presiones de la red para la tercera propuesta.

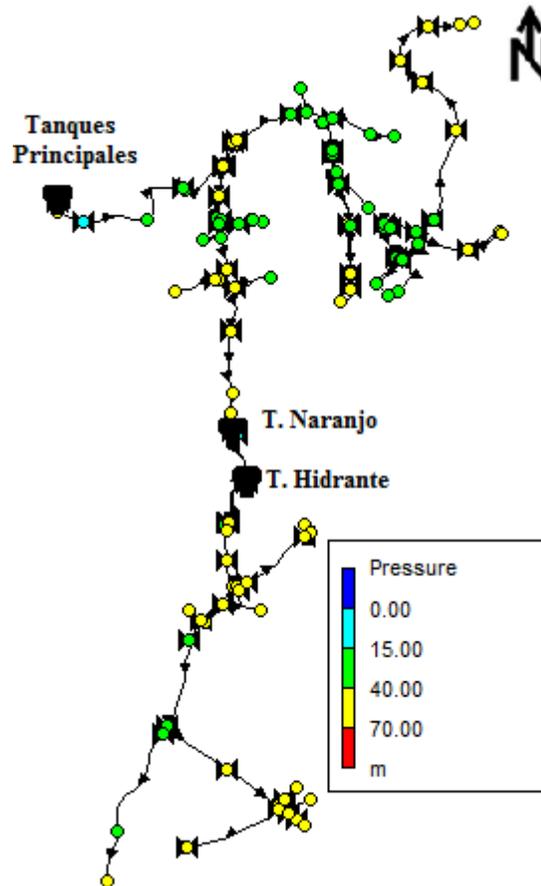


Figura 44. Rango de presiones en el sistema principal (Propuesta 3).

Las pérdidas de carga para esta propuesta son inferiores con respecto a las pérdidas de carga de las condiciones actuales y de la segunda propuesta, debido a la superioridad del diámetro en la tubería; sin embargo, las pérdidas serán mayores en los tramos de distribución mientras que en los ramales son casi despreciables, en la Figura 45 se detalla las pérdidas de carga que se podrían presentar si se ejecuta la propuesta.

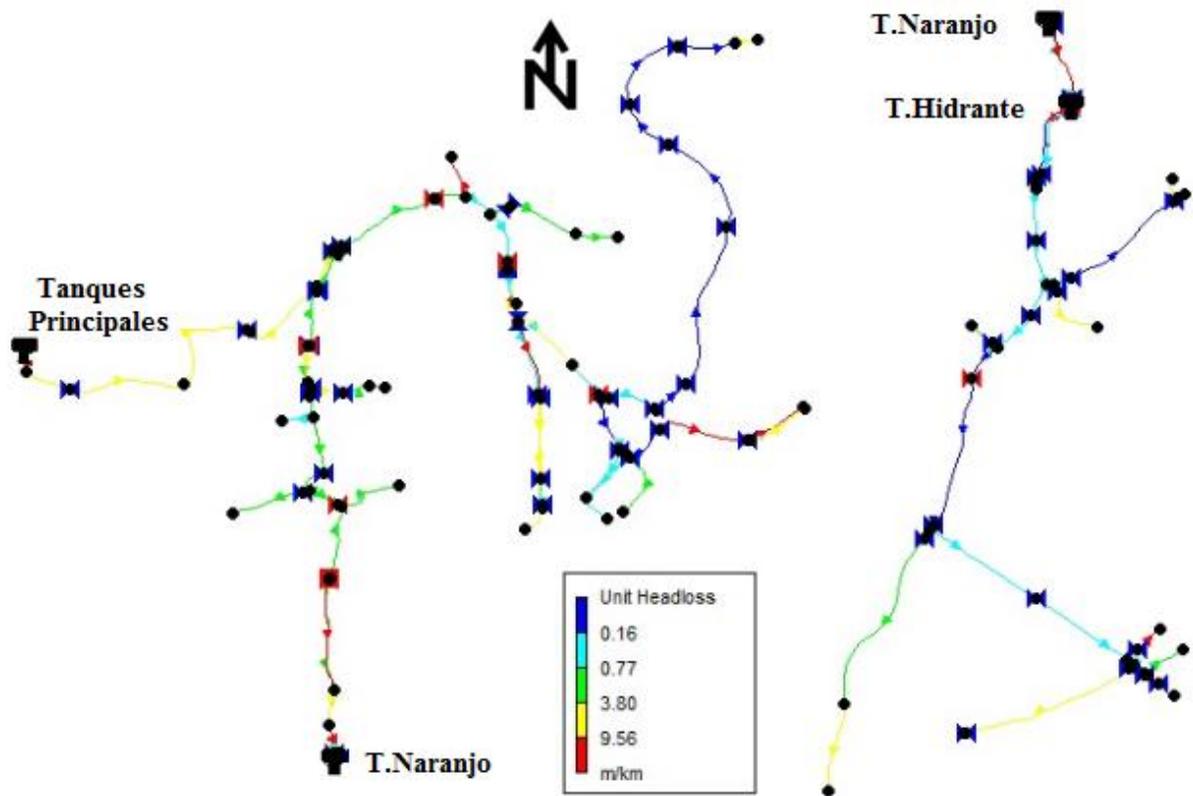


Figura 45. Pérdidas de carga unitaria en el sistema principal (Propuesta 3).

En los Anexos 24 y 25 se muestran con mayor detalle las pérdidas de carga, las presiones y velocidades obtenidas para el sector de El Yas y Río Regado respectivamente, éstas últimas son inferiores a los 0,6 m/s, pero como se indicó anteriormente se debe a la baja demanda, ya que esto está relacionado a la falta de consumo. Los caudales obtenidos corresponden a los demandados actualmente por las 433 conexiones pertenecientes al sistema.

De igual forma para el sistema secundario se debe instalar la válvula reguladora de presión con la ubicación y consigna indicada en la primera propuesta.

7.8.4. Mejoras en la capacidad de almacenamiento.

De acuerdo con la proyección de almacenamiento calculada en las secciones anteriores, el acueducto tiene un faltante de 381,43 m³ en la capacidad de almacenaje, tomando de referencia el volumen requerido para el año 2041 que es de 716,37 m³ para los dos sistemas en conjunto.

Para cumplir con las normas establecidas por los entes ya mencionados y garantizar un adecuado servicio, en el sistema principal es necesario construir un tanque con capacidad de 400 m³ que debe estar conectado a los tanques principales actuales para completar el volumen de reserva requerido para cubrir un incendio de 4 horas ya que se tendrá un sobrante de 84,64 m³ en dichos tanques para el año 2041. En el Anexo 26 se adjunta el desglose de materiales necesarios para la construcción de dicho tanque.

En el sistema secundario se deben instalar tres tanques de polietileno de alta densidad de 22 m³ que se deben conectar con el tanque actual de 9,59 m³, para poder cubrir como mínimo un incendio de 30 minutos y satisfacer un volumen de 21,34 m³ correspondiente a la demanda hídrica para un período de 20 años a partir del año 2021.

7.9. Análisis Económico.

En los Anexos 27, 28 y 29, se detalla la cotización de los elementos necesarios para la implementación de cada propuesta, cabe resaltar que entre ellas comparten la incorporación de válvulas reguladoras de presión, tres tanques de polietileno de alta densidad en el sistema secundario y la construcción de un tanque de almacenamiento. En el Cuadro 19 se resume el costo económico de las propuestas.

Cuadro 19. Costo total de las propuestas de mejora.

| Detalle | Propuesta 1 | Propuesta 2 | Propuesta 3 |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Tuberías y accesorios | ₪975.850,00 | ₪36.638.938,00 | ₪96.974.585,01 |
| Tanques PEAD 22 m ³ | ₪8.186.850,00 | ₪8.186.850,00 | ₪8.186.850,00 |
| Tanque concreto (400 m ³) | ₪28.867.976,67 | ₪28.867.976,67 | ₪28.867.976,67 |
| Costo total | ₪38.030.676,67 | ₪73.693.764,67 | ₪134.029.411,67 |

Comparando el costo económico de las propuestas, estas difieren en gran proporción debido a la cantidad de tubos que se deben implementar; es importante indicar que los precios están sujetos a una variabilidad en el mercado.

En el Cuadro 20 se presenta una estimación aproximada de los egresos mensuales que posee la ASADA donde los salarios de los funcionarios corresponden a los mínimos según el M.T.S.S. (2022).

Cuadro 20. Egresos mensuales aproximados de la ASADA de EL Yas.

| Descripción | Detalle | Total (mensual) |
|----------------------|---------------|----------------------|
| Salarios | Secretaria | ¢384.651,40 |
| | 2 fontaneros | ¢582.675,36 |
| Internet y telefonía | - | ¢68.900,00 |
| Electricidad | - | ¢30.000,00 |
| Combustible | 60 litros/mes | ¢58.000,00 |
| Cloración | - | ¢35.000,00 |
| Seguro | - | ¢357.900,00 |
| Total Egresos | | ¢1.517.126,76 |

Los ingresos percibidos por la ASADA de El Yas fueron calculados con base al consumo promedio por abonado previamente calculado, la cantidad de conexiones y la tarifa de cobro establecida por la ARESEP para ASADAS en general; estos ingresos se detallan el Cuadro 21.

Cuadro 21. Ingresos mensuales estimados de la ASADA de El Yas

| Detalle | Valor |
|--|----------------------|
| Consumo promedio (m ³ /mes) | 25,27 |
| Cantidad de abonados | 465 |
| Tarifa mensual (¢) | 12525,93 |
| Total ingresos | ¢5.824.557,45 |

Al obtener el valor de los parámetros de viabilidad económica a una tasa de descuento anual del 15%, se determinó que las tres propuestas son rentables económicamente ya que el valor actual neto es mayor a cero, es decir, las ganancias superan la inversión inicial y la tasa de descuento. Sin embargo, como se observa en el Cuadro 22, estas difieren en el tiempo de recuperación, para la propuesta 1 y 2 se tendrá una recuperación al segundo y cuarto año de la inversión respectivamente; mientras que para la propuesta 3 será hasta el séptimo año.

Cuadro 22. Análisis económico para las propuestas de mejoras.

| Parámetro | Propuesta 1 | Propuesta 2 | Propuesta 3 |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| Inversión inicial | ¢38.030.677 | ¢73.693.765 | ¢134.029.412 |
| Flujo de caja | ¢17.229.723 | ¢17.229.723 | ¢17.229.723 |
| VAN | ¢23.258.492 | ¢59.201.310 | ¢50.237.450 |
| TIR | 50% | 35% | 20% |
| Año recuperación | 2 | 4 | 7 |

7.10. Análisis Ambiental.

En el Anexo 30 se muestra la caracterización del proyecto que se realizó antes de la aplicación de la matriz de evaluación; el análisis se enfocó para tres etapas: Planeación, Construcción y Operación, para cada una de ellas se definieron las acciones susceptibles a producir impactos, de acuerdo con la fase de cada etapa mencionada, además, en el anexo indicado se detalla la descripción del impacto a generar.

Definidos los impactos, se aplicó la matriz de evaluación por el método de arboleda (ver Anexo 31), la construcción o desarrollo del proyecto es la etapa que mayor impacto ambiental genera, predominando los aspectos negativos, pero estos de manera moderada; sin embargo, se destaca que los impactos positivos son significativos ya que al realizarse alguna de las propuestas planteadas incrementaría el desarrollo social de la zona debido a la generación de empleo.

Con base a la calificación general obtenida (ver Anexo 31); el impacto ambiental que genera el proyecto en su totalidad es positivo, de importancia moderada, debido a que el impacto neto del proyecto es de 3,8, es decir, el desarrollo de cualquier propuesta de mejora no genera impacto de consideración. En el Cuadro 23 se detalla el recuento de los impactos para cada factor ambiental.

Cuadro 23. Resumen de impactos estimados con el desarrollo de las propuestas planteadas.

| Factor | Tipo de impacto | | | | | | | |
|----------------|-----------------|---|----------|---|---------------|---|-------------------|---|
| | Irrelevante | | Moderado | | Significativo | | Muy Significativo | |
| | + | - | + | - | + | - | + | - |
| Físico | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Biótico | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Socioeconómico | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Con base al estudio hidrométrico y el análisis de demanda hídrica actual, se determinó que el caudal de producción (oferta) para el sistema principal del acueducto es de 7,60 l/s sumando el aporte de las nacientes La Virgen y Fernández mientras que el caudal para abastecer la población al año 2041 será de 7,16 l/s por ende el balance hídrico es positivo ya que se tiene un superávit de 0,44 l/s para ese año que equivaldrá a 28 nuevas conexiones. De igual forma, para el sistema secundario se tiene un superávit de 0,43 l/s debido a que la caudal demandado a 20 años será de 0,64 l/s y el producido por la naciente Capira es de 1,07 l/s.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento del acueducto, sumando ambos sistemas se tendrá un déficit de 334,95 m³ para las condiciones actuales y 381,43 m³ para el 2041, lo anterior debido a que actualmente el acueducto no posee tanques de almacenamiento para reserva de agua para incendios y el sistema secundario no cuenta con un tanque adecuado para almacenar el volumen requerido para regular el consumo y abastecer en caso de interrupciones.

Al modelar hidráulicamente el comportamiento de la red de abastecimiento para las condiciones actuales, se identifica que en los sectores más bajos de ambos sistemas existen sobrepresiones por encima de los 70 m.c.a., a pesar de que cuentan con válvulas reguladoras de presión en funcionamiento, cabe indicar que la topografía de la zona es sumamente quebrada; la mayoría de las velocidades presentadas en las tuberías de distribución principal de ambos sistemas están dentro del rango establecido en la norma, mientras que las presentadas en la mayor parte de los ramales están por debajo de los 0,6 m/s debido a la poca demanda en dichos sectores.

La primera propuesta que incluye la incorporación de válvulas reguladoras de presión y la implementación de los tanques de almacenamiento tiene un costo aproximado de ¢ 38.030.676,67 para un tiempo de recuperación de 2 años. La segunda que considera la implementación de los diámetros mínimos para la instalación de hidrantes, válvulas reguladoras y construcción de los tanques ronda los ¢ 73.693.764,67 para un período de recuperación de 4 años y la tercera propuesta que abarca la instalación de válvulas reguladoras, la modificación de

diámetros de la tubería de distribución principal y ramales e implementación de tanques tiene un costo de ₡ 134.029.411,67 para un tiempo de recuperación de 7 años.

Las tres propuestas de mejoramiento de la red de abastecimiento planteadas son viables hídricamente, porque se logra resolver los problemas actuales de sobrepresión y cobertura en caso de emergencias; y económicamente porque se logra recuperar la inversión inicial teniendo como parámetro los ingresos el cobro mensual por el pago del servicio. Estas difieren en el costo económico y el tiempo de recuperación, pero garantizan un correcto servicio y optimización del recurso hídrico. Con relación al impacto ambiental que puede generar la implementación de algunas de las tres propuestas, este será de magnitud moderada y de aspecto positivo. En el ámbito social promovería el desarrollo económico de la zona con la generación trabajo al asegurar un adecuado servicio.

8.2. Recomendaciones

- a. Se recomienda realizar lecturas de macro medición periódicamente con el objetivo de comparar con la micro medición y poder determinar el agua no contabilizada.
- b. Al implementar las válvulas reguladoras de presión propuestas, se recomienda asignar las consignas o presiones indicadas en la sección de resultados.
- c. Se recomienda realizar lavados al sistema de tuberías constantemente para evitar la acumulación de sedimentos debido a las bajas velocidades obtenidas en la modelación de las propuestas.
- d. Las mejoras en la capacidad de almacenamiento del sistema secundario se orientaron para cubrir como mínimo un incendio de 30 minutos debido al tamaño del sistema, pero si se desea brindar una cobertura mayor; se recomienda ampliar dicho almacenamiento.
- e. Se recomienda solicitar ante la Dirección de Agua una ampliación de caudales en las nacientes para satisfacer las necesidades de población y brindar mayor cobertura hídrica.
- f. Los cálculos propuestos no incluyen el incremento en demanda por usos distintos al crecimiento vegetativo, ya que no se puede proyectar crecimiento industrial, comercial, variaciones en la economía local y regional.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Morales , F. (2015). *Abastecimiento de agua para comunidades rurales* (Primera ed.). Ecuador : UTMACH. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUIRRE%202015.%20Abastecimiento%20de%20agua%20para%20comunidades%20rurales.pdf
- Angulo Zamora , F. (2015). *Informe Final Gestión del recurso hídrico y saneamiento en Costa Rica* . San José, Costa Rica : Programa Estado de la Nación (PEN). Obtenido de <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/396>
- Área Metropolitana Valle de Aburrá. (2011). *Lineamientos para exploración y perforación, realización de pruebas de bombeo y mantenimiento y limpieza de captaciones de aguas subterráneas*. Medellín: Universidad de Antioquia. Obtenido de metropol.gov.co/ambiental/recurso-hidrico/Publicaciones/lineamientos-aguas-subterranea.pdf
- Areiza, J., & Caraballo, J. (2019). *Análisis de las pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento público, identificando sectores y causas influyentes en los altos índices de agua no contabilizada (IANC) en el municipio de Turbo Antioquia*. Tesis de Especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia , Antioquia. Obtenido de repository.unad.edu.co
- AyA. (2016). *Política Nacional para el Subsector de Agua Potable de Costa Rica 2017- 2030*. (C. Interinstitucional, Ed.) Obtenido de www.aya.go.cr:https://www.aya.go.cr/transparenciainst/acceso_informacion/marconormativo/pol%C3%ADtica%20nacional%20de%20agua%20potable.pdf
- AyA. (21 de Junio de 2017). *Norma técnica para "Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial"*. Obtenido de PGR SINALEVI: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=84828

- AyA. (Julio de 2021). *Guía rápida de instalación de micromedidores*. Obtenido de Proyecto de fortalecimiento de las capacidades de Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) para enfrentar riesgos del cambio climático en comunidades con estrés hídrico en el norte de Costa Rica : pnud-conocimiento.cr/wp-content/uploads/2021/07/Guia-rapida-de-instalacion-de-medidores-FINAL.pdf
- Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica . (2020). *Manual de diseño de hidrantes y tanques de reserva*. Unidad de Ingeniería . Obtenido de bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2020/11/Manual-de-Diseño-de-Hidrantes-y-Tanques-de-Reserva-V2020-.pdf
- Cohen, E., & Franco, R. (2006). *Evaluación de proyectos sociales*. México: Siglo XXI Editores S.A.
- CONAGUA. (4 de Abril de 2017). *¿Qué es una planta potabilizadora?* Obtenido de Portal Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/que-es-una-planta-potabilizadora?idiom=es>
- Conexionesan. (2016). *El estudio de la viabilidad de lo proyectos*. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/09/el-estudio-de-la-viabilidad-de-los-proyectos/>
- Corcho, F. (2005). *Acueductos: teoría y diseño*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Cuadrado Quesada, G. (1 de noviembre de 2021). Las ASADAS: Un análisis jurídico-práctico de su naturaleza y sus responsabilidades. *Revista IUS Doctrina*, XIV, 1-29.
- Dirección de Agua. (21 de Setiembre de 2021). *Manual Técnico de Dotaciones de Agua*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Energía: da.go.cr
- Escobar García, A. M. (2009). *Criterios modernos de localización de válvulas en redes de distribución de agua potable*. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Bogotá. Obtenido de repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/23961/u346151.pdf?sequence=1

- Escobar Navas, R. O., & Rivera González, D. A. (2015). *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el cantón San José Primero del municipio de San Martín utilizando el programa EPANET 2.0 vE*. Trabajo de graduación, Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, El Salvador . Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9229/1/Dise%C3%B1o%20del%20sistema%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable%20para%20el%20cant%C3%B3n%20San%20Jos%C3%A9%20Primero%20del%20municipio%20de%20San%20Mart%C3%ADn%20utilizando%20el%20programa%20EPANET%202.0%20vE>
- Fernández, L., & Zamudio , E. (1 de Setiembre de 2016). Implementación y Manejo de las válvulas reductoras de presión con control dinámico, en redes de distribución. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .
- García, J. A. (Junio de 2011). *Sistema de captaciones de agua en manantiales y pequeñas quebradas para la Región Andina*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cipaf_ipafnoa_manual__de_agua.pdf
- Gerrit, W. (2002). *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y aplicaciones*. Madrid, España: Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España.
- González García , J. M. (2018). *Diseño del sistema de agua potable de las comunidades de Nuevas Flores, Dos de Mayo, San Ignacio y San Andrés, distrito de San Pablo, provincia de Bella Vista, región San Martín*. Tesis Ingenieril, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura , Tarapoto, Perú.
- Hernández, A. (15 de Marzo de 2019). *Tipos de tubería en sistemas de agua potable* . Obtenido de Hidrogeotecnia Ltda.: hidrogeotecnia.com/informacion/tipos-de-tuberia-en-sistemas-de-agua-potable/
- INDER. (Noviembre de 2016). *Plan de Desarrollo Rural Territorial Territorio Paraíso-Alvarado 2016-2021*. Consejo Territorial de Desarrollo Rural Paraíso-Alvarado. Obtenido de <https://www.inder.go.cr/istaru/PDRT-Paraiso-Alvarado.pdf>

- INEC. (2011). *www.inec.cr*. Obtenido de Indicadores económicos según cantón y distrito Censo 2011: <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>
- Jara, H. (2018). *Informe: Diagrama de Masas o Curvas de Rippl*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Lima.
- Lozano, W. (2015). *Potabilización del Agua Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- MINAE. (15 de Diciembre de 2021). *Reglamento para la selección de la metodología para el cálculo del caudal ambiental y evaluación del impacto hídrico acumulado*. Obtenido de PGR SINALEVI: pgrweb.go.cr
- MINSA. (12 de Enero de 2015). *Reglamento para la calidad del Agua Potable*. Obtenido de PGR SINALEVI: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80047
- Molia, R. (2018). Módulo: Abastecimiento y Saneamiento Urbanos. *Tubería en las Redes de Distribución*. España: EOI. Obtenido de <https://www.eoi.es>
- Monge Mejía, J. (2021). *Análisis del Método de Porcentaje utilizado por la Dirección de Agua para determinar el caudal ambiental, basados en aforos y caudales otorgados*. Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Agua, San José, Costa Rica. Obtenido de <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2021/02/ANALISIS-METODO-PORCENTAJE-UTILIZADO-POR-LA-DIRECCION-DE-AGUA-PARA-DETERMINAR-CAUDAL-AMBIENTAL.pdf>
- Montero, R., & Moreno, T. (2018). *Propuesta de Plan de Seguridad del Agua (PSA) para el Acueducto Municipal de la Comunidad del Cantón de Jiménez, Cartago, Costa Rica*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales, Heredia. Obtenido de repositorio.una.ac.cr

- Mora Pérez, K. (20 de Marzo de 2020). *El agua de Costa Rica aún tiene muchos retos, y oportunidades, por cumplir* . Obtenido de Hoy en el TEC: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2020/03/20/agua-costa-rica-aun-tiene-muchos-retos-oportunidades-cumplir>
- Mora, D., & Portuguez, C. (2020). *Agua para uso y consumo humano y saneamiento en Costa Rica al 2019: Brechas y desafíos al 2023*. Informe cobertura de agua potable , Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados , Laboratorio Nacional de Aguas , San José, Costa Rica. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20cobertura%20agua%20potable%20y%20saneamiento%202020%20-%20Laboratorio%20Nacional%20de%20Aguas.pdf>
- MTSS. (2022). *Lista salarios 2022*. Obtenido de mtss.go.cr: https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documents-Salarios/lista_salarios_2022.pdf
- Pérez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: ECOE Ediciones. Obtenido de books.google.co.cr
- Periódico Mensaje. (18 de Setiembre de 2020). *AyA establece ruta para reducir agua no contabilizada*. *Periódico Mensaje*. Obtenido de periodicomensaje.com/guanacaste/5562-aya-establece-ruta-para-reducir-agua-no-contabilizada
- Quispe Vilca , E. (2019). *Evaluación y mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable del caserío de Asay, distrito Huacrachuco, provincia Marañón, región Huánuco y su incidencia en la condición sanitaria de la población -2019*. Tesis de Investigación , Universidad Católica de los Ángeles Chimbote, Escuela Profesional de Ingeniería Civil , Chimbote, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/15201>
- Rincón, W., & Córdoba, W. (2017). *Determinación de los factores de mayorización para el consumo de agua potable en el minicipio de Sibaté con respecto a los definidos en la*

resolución número 0330 del 8 de junio de 2017. Universidad Católica de Colombia.
Obtenido de repository.ucatolica.edu.co

Sánchez Bejarano, J. (2010). Misión de válvulas y ventosas en las impulsiones de agua. *Tecnología del agua*. Obtenido de emacsa.es/download/idi/Mision_valvulas_ventosas_en_impulsiones_agua.pdf

SINALEVI. (26 de Abril de 2004). *Terminología técnica básica en la gestión del Departamento de Aguas*. Obtenido de Procuraduría General de la República de Costa Rica : pgrweb.go.cr

Torres, A. (2011). Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE digital*, 143-162.

Trapote, A. (2014). *Infraestructura Hidráulico-Sanitarias I. Abastecimiento y distribución de agua*. España: Unversidad de Alicante.

Trapote, A. (2014). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias II. Saneamiento y drenaje urbano* (Segunda ed.). Alicante, España: Universidad de Alicante . Obtenido de <https://books.google.co.cr>

Universidad Politécnica de Valencia. (Octubre de 2012). *EPANET 2.2 Manual de Usuario*. Obtenido de Enviromental Protection Agency : epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf

Valades , L. (2 de Febrero de 2017). *Almacenamiento y regulación de agua en el sistema de distribución* . Obtenido de iagua.es: <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/almacenamiento-y-regulacion-agua-sistema-distribucion>

Vividea Castro , E. (2018). *Propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad indígena de Amubri del Cantón de Talamanca-Costa Rica*. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica , Escuela de Química, Cartago, Costa Rica . Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9691>

10. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de caudales aforados.

| Año | Naciente La Virgen (Macromedidor) | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|----------|-----------|-------------------|-------------------|
| | Mes | Días | Días acum. | Q (l/s) | Q (m³/s) | V(Mm³) | V acumulado (Mm³) |
| 2021 | Febrero | 28 | 28 | 7,2 | 0,0072 | 0,017418 | 0,017418 |
| | Marzo | 31 | 59 | 6,79 | 0,00679 | 0,018186 | 0,035605 |
| | Abril | 30 | 89 | 6,71 | 0,00671 | 0,017392 | 0,052997 |
| | Mayo | 31 | 120 | 6,96 | 0,00696 | 0,018642 | 0,071639 |
| | Junio | 30 | 150 | 7,74 | 0,00774 | 0,020062 | 0,091701 |
| | Julio | 31 | 181 | 7,69 | 0,00769 | 0,020597 | 0,112298 |
| | Agosto | 31 | 212 | 7,35 | 0,00735 | 0,019686 | 0,131984 |
| | Naciente Fernández (Volumétrico) | | | | | | |
| | Mes | Días | Días acum. | Q (l/s) | Q (m³/s) | V(Mm³) | V acumulado (Mm³) |
| | Marzo | 31 | 31 | 3,67 | 0,00367 | 0,0098208 | 0,0098208 |
| | Abril | 30 | 61 | 3,75 | 0,00375 | 0,00972 | 0,0195408 |
| | Mayo | 31 | 92 | 3,50 | 0,00350 | 0,0093744 | 0,0289152 |
| | Junio | 30 | 122 | 3,60 | 0,00360 | 0,0093312 | 0,0382464 |
| | Julio | 31 | 153 | 3,57 | 0,00357 | 0,009553 | 0,0477994 |
| Naciente Capira (Volumétrico) | | | | | | | |
| Mes | Días | Días acum. | Q (l/s) | Q (m³/s) | V(Mm³) | V acumulado (Mm³) | |
| Febrero | 28 | 28 | 2 | 0,00200 | 0,0048384 | 0,0048384 | |
| Marzo | 31 | 59 | 1,11 | 0,00111 | 0,002973 | 0,0078114 | |
| Abril | 30 | 89 | 1,22 | 0,00122 | 0,0031622 | 0,0109737 | |
| Mayo | 31 | 120 | 1,3 | 0,00130 | 0,0034819 | 0,0144556 | |
| Junio | 30 | 150 | 1,11 | 0,00111 | 0,0028771 | 0,0173327 | |
| Julio | 31 | 181 | 1,41 | 0,00141 | 0,0037676 | 0,0211003 | |

Anexo 2. Tanques principales del acueducto de El Yas.



Anexo 3. Tanque almacenamiento Naranja.



Anexo 4. Tanque para hidrante sector Río Regado.



Anexo 5. Tanque Capira (sistema secundario).



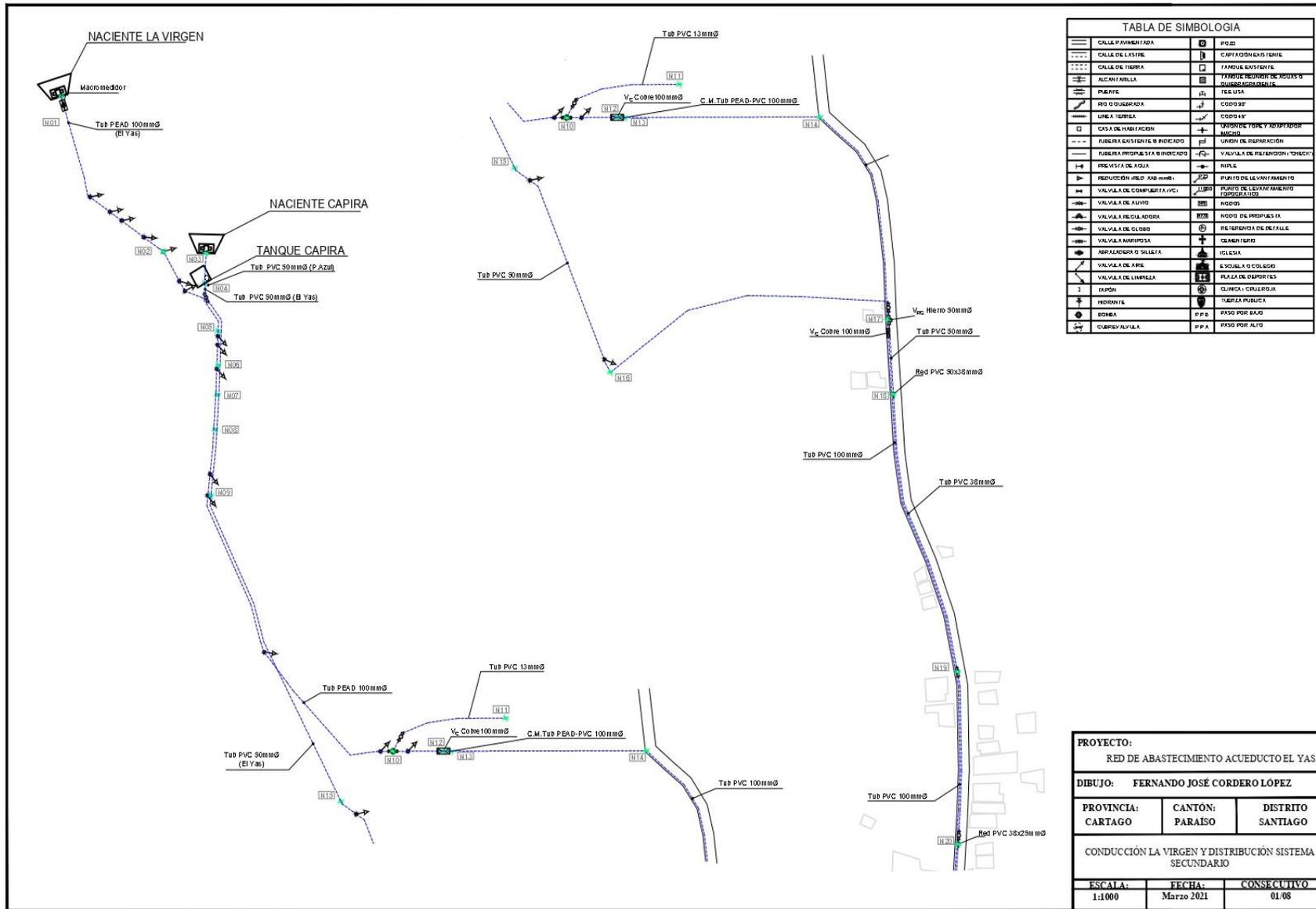
Anexo 6. Macromedidor del acueducto de El Yas.



Anexo 7. Válvula reguladora de presión del acueducto El Yas.



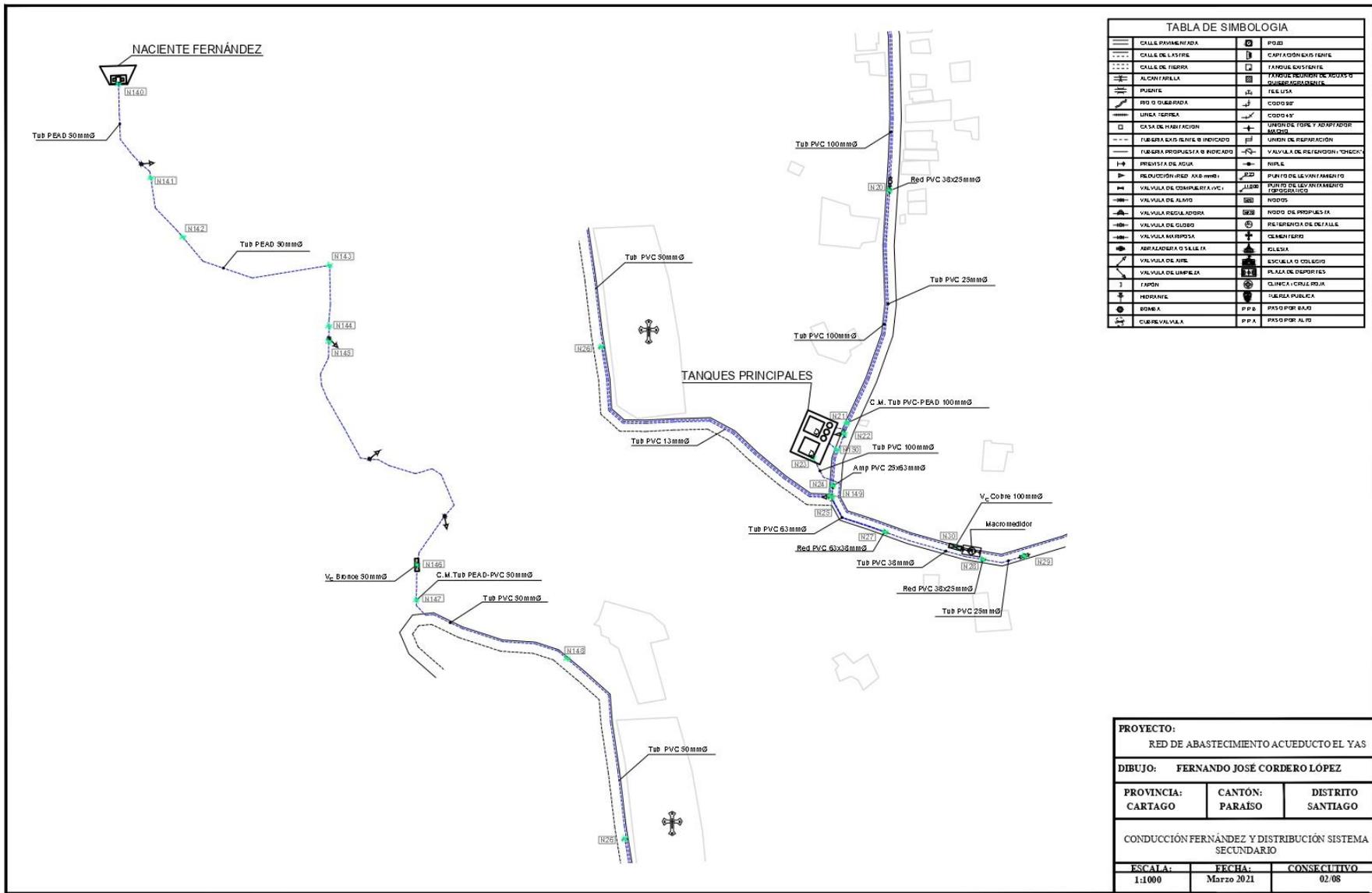
ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



| | | | |
|--|------------------------------|--|--|
| | CALLE PAVIMENTADA | | POZO |
| | CALLE DE LASTRE | | CAPTACION EXISTENTE |
| | CALLE DE TIERRA | | FANAL EXISTENTE |
| | ALCANTARILLA | | PARTE EXISTENTE DE MEDIDOR O SUBMEDIDOR/BOQUILLA |
| | PAVANTE | | LINEA EXISTENTE |
| | RO O CUBIERTA | | CODIGO |
| | LINEA | | CODIGO 45 |
| | CASA DE HABITACION | | UNION DE TAPES Y ADAPTADOR MEDIO |
| | LINEA EXISTENTE O PROYECTADA | | UNION DE REPRESION |
| | LINEA PROYECTADA O INDICADA | | VALVULA DE REPRESION "CHECK" |
| | PREVISIA DE AGUA | | PIPEL |
| | REDUCCION ISO 100 mm | | PUNTO DE LEVANTAMIENTO GEODESICO |
| | VALVULA DE COMPARTI M PVC | | PUNTO DE LEVANTAMIENTO GEODESICO |
| | VALVULA DE ALIJO | | BOQUILLA |
| | VALVULA REGULADORA | | BOQUILLA |
| | VALVULA DE GLOBO | | BOQUILLA |
| | VALVULA MARIPOSA | | BOQUILLA |
| | ABRILADORA O SILLERA | | BOQUILLA |
| | VALVULA DE AIRE | | BOQUILLA |
| | VALVULA DE LIMPIEZA | | BOQUILLA |
| | TAPON | | BOQUILLA |
| | HYDRANTE | | BOQUILLA |
| | BOMBA | | BOQUILLA |
| | CUBREVALVULA | | BOQUILLA |

| | | |
|--|-------------------|--------------------|
| PROYECTO: RED DE ABASTECIMIENTO ACUEDUCTO EL YAS | | |
| DIBUJO: FERNANDO JOSÉ CORDERO LÓPEZ | | |
| PROVINCIA: CARTAGO | CANTON: PARAISO | DISTRITO: SANTIAGO |
| CONDUCCIÓN LA VIRGEN Y DISTRIBUCIÓN SISTEMA SECUNDARIO | | |
| ESCALA: 1:1000 | FECHA: Marzo 2021 | CONSECUTIVO: 01.08 |

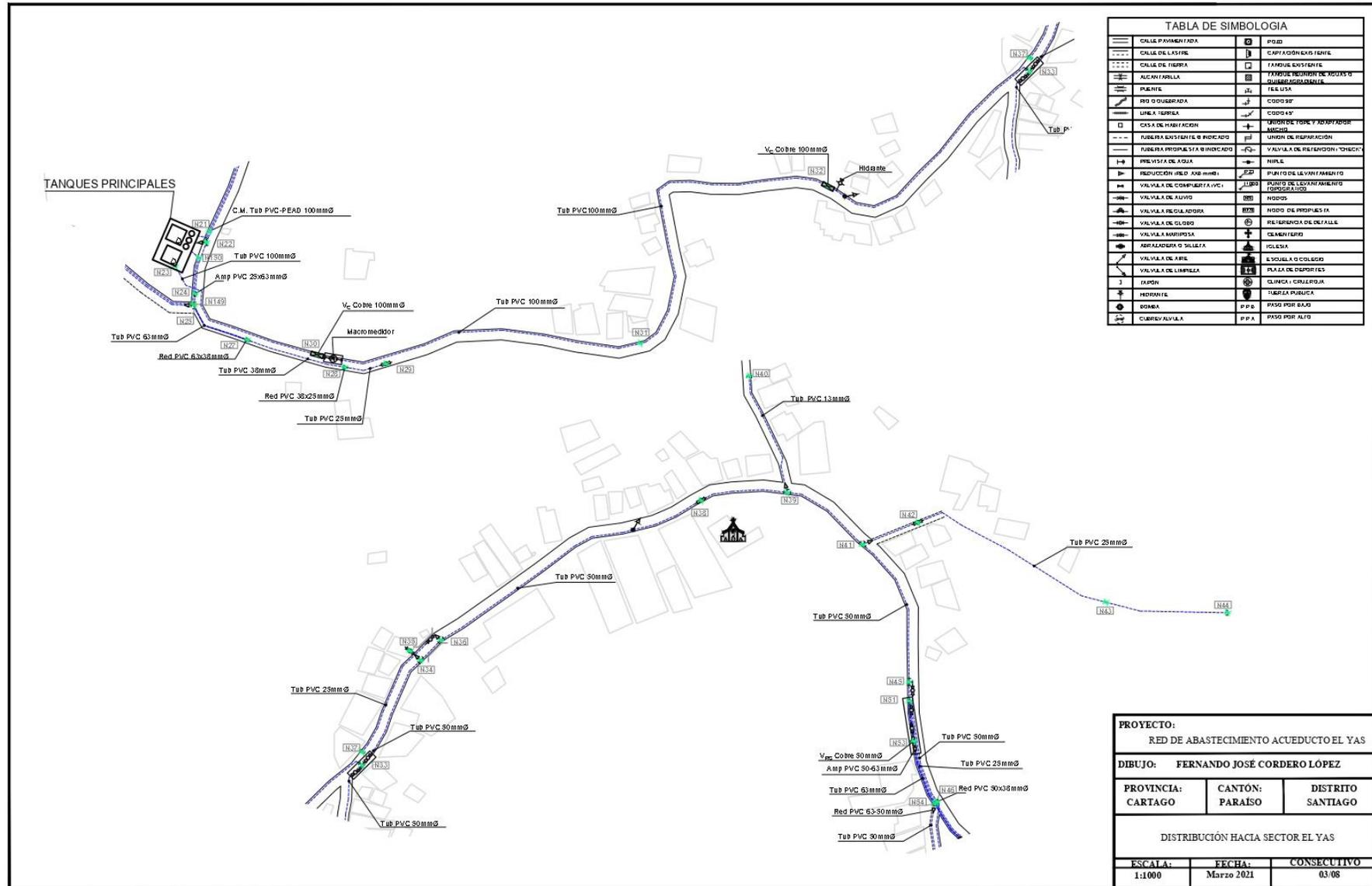
ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



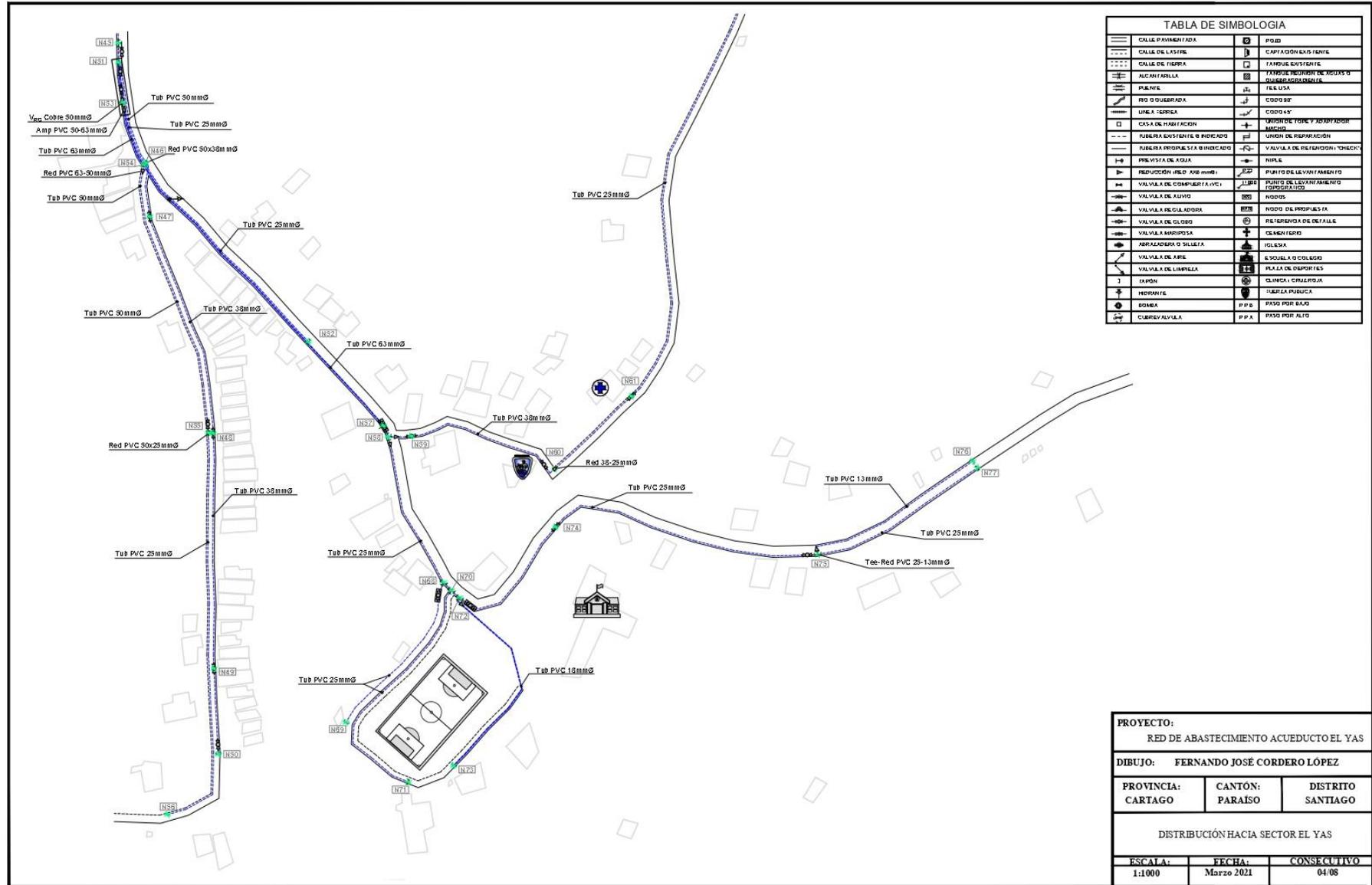
| | | | |
|----------|------------------------------|----------|--|
| [Symbol] | CALLE PROMENADA | [Symbol] | POZO |
| [Symbol] | CALLE DE LESTRE | [Symbol] | CAPTACION EN FENTE |
| [Symbol] | CALLE DE TIERRA | [Symbol] | TANQUE EXISTENTE |
| [Symbol] | ALCANTARILLA | [Symbol] | TANQUE EXISTENTE DE AGUAS O SUBSIDIARIAMENTE |
| [Symbol] | PUNENTE | [Symbol] | TELERA |
| [Symbol] | RIO O QUEBRADA | [Symbol] | CODIGO |
| [Symbol] | LINEA TERRESTRE | [Symbol] | CODIGO |
| [Symbol] | CASA DE HABITACION | [Symbol] | UNION DE TORNILLO Y ADAPTADOR |
| [Symbol] | FUERZA EXISTENTE O INDICADO | [Symbol] | UNION DE RESERVAZION |
| [Symbol] | FUERZA PROPUESTA O INDICADO | [Symbol] | VALVULA DE RESERVAZION "CHECK" |
| [Symbol] | PRENSA DE AGUA | [Symbol] | RIPILO |
| [Symbol] | REDUCCION (RED. 4X3 mmØ) | [Symbol] | PUNTO DE LEVANTAMIENTO |
| [Symbol] | VALVULA DE COMPRESION (V.C.) | [Symbol] | PUNTO DE LEVANTAMIENTO PROSPECCION |
| [Symbol] | VALVULA DE ALMO | [Symbol] | RODOS |
| [Symbol] | VALVULA REGULADORA | [Symbol] | RODOS DE PROSPERIDAD |
| [Symbol] | VALVULA DE GLOBO | [Symbol] | REFERENCIA DE DETALLE |
| [Symbol] | VALVULA MARBOSA | [Symbol] | CEMENTERIO |
| [Symbol] | ARRALADERA O SALLETA | [Symbol] | IGLESIA |
| [Symbol] | VALVULA DE AIRE | [Symbol] | ESCUELA O COLEGIO |
| [Symbol] | VALVULA DE LAMPILLA | [Symbol] | PALA DE DEPORTE |
| [Symbol] | TAPON | [Symbol] | LINEA (CALLE) P.O.A. |
| [Symbol] | MONUMENTO | [Symbol] | FUERZA PUBLICA |
| [Symbol] | BOMBA | [Symbol] | P.F.F. PASO POR BAJO |
| [Symbol] | CURVALVULA | [Symbol] | P.F.A. PASO POR ALTO |

| | | |
|---|----------------|--------------------|
| PROYECTO: | | |
| RED DE ABASTECIMIENTO ACUEDUCTO EL YAS | | |
| DIBUJO: FERNANDO JOSÉ CORDERO LÓPEZ | | |
| PROVINCIA: | CANTÓN: | DISTRITO: |
| CARTAGO | PARAISO | SANTIAGO |
| CONDUCCIÓN FERNÁNDEZ Y DISTRIBUCIÓN SISTEMA SECUNDARIO | | |
| ESCALA: | FECHA: | CONSECUTIVO |
| 1:1000 | Marzo 2021 | 02/08 |

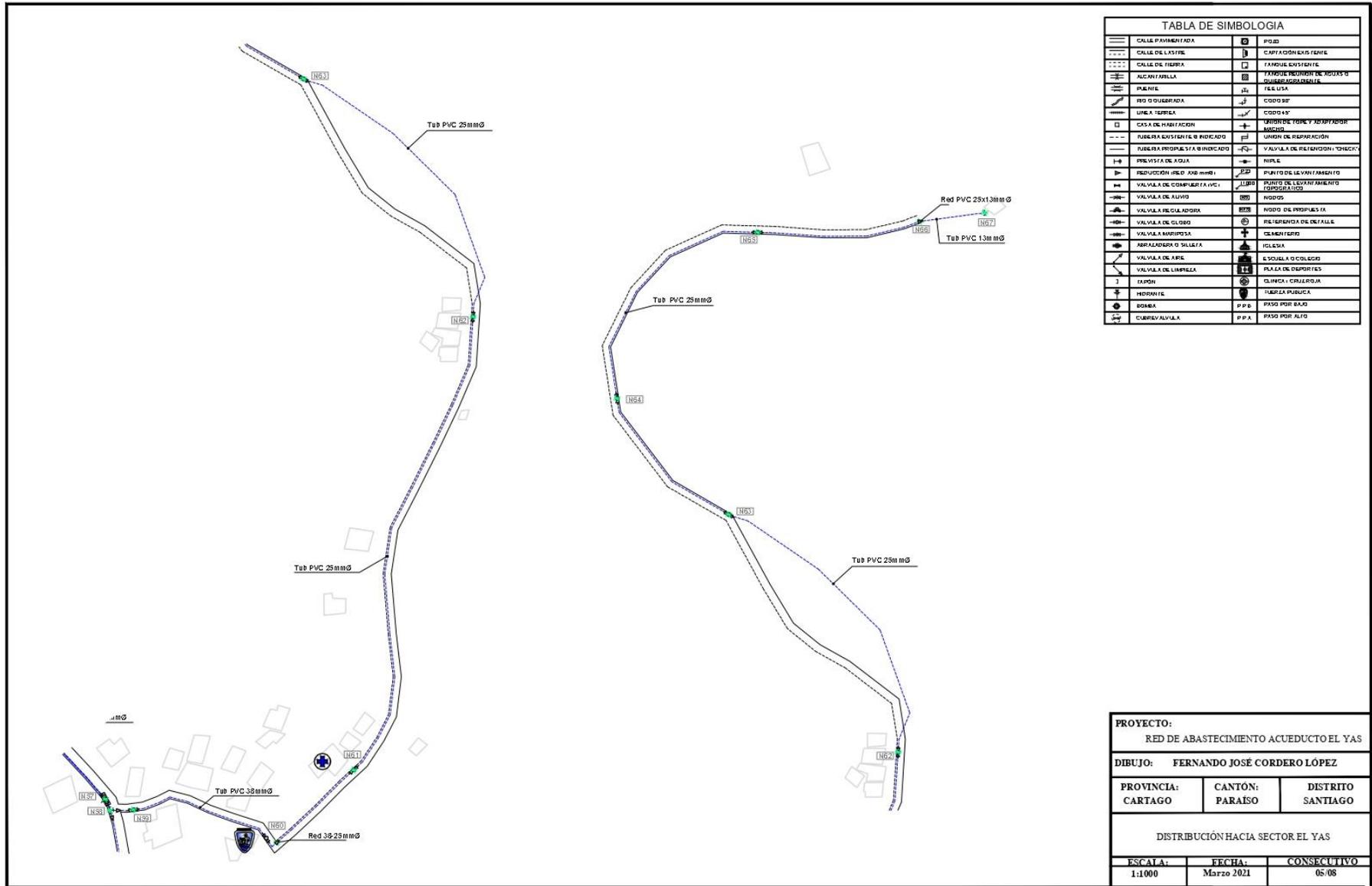
ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



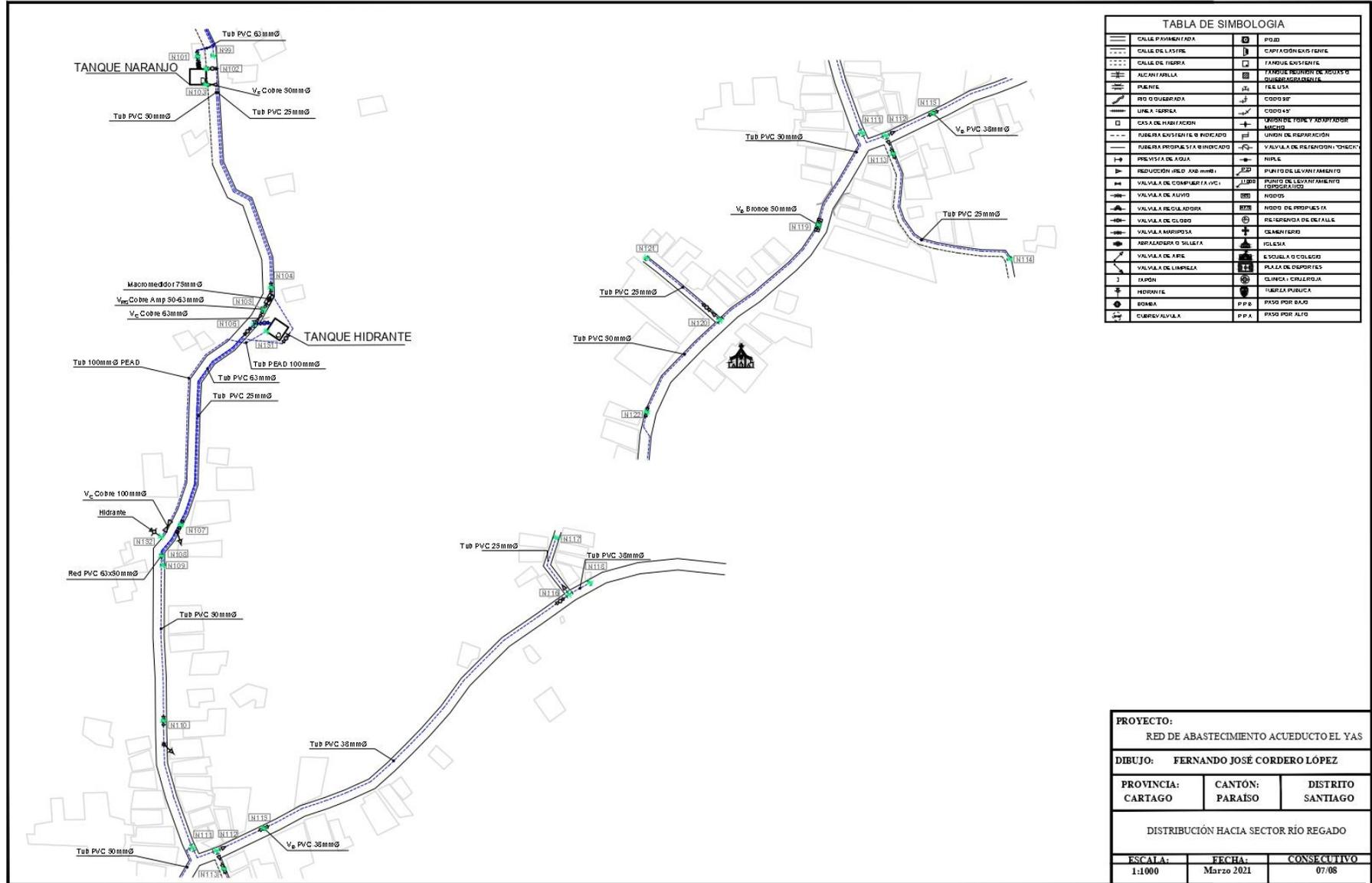
ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



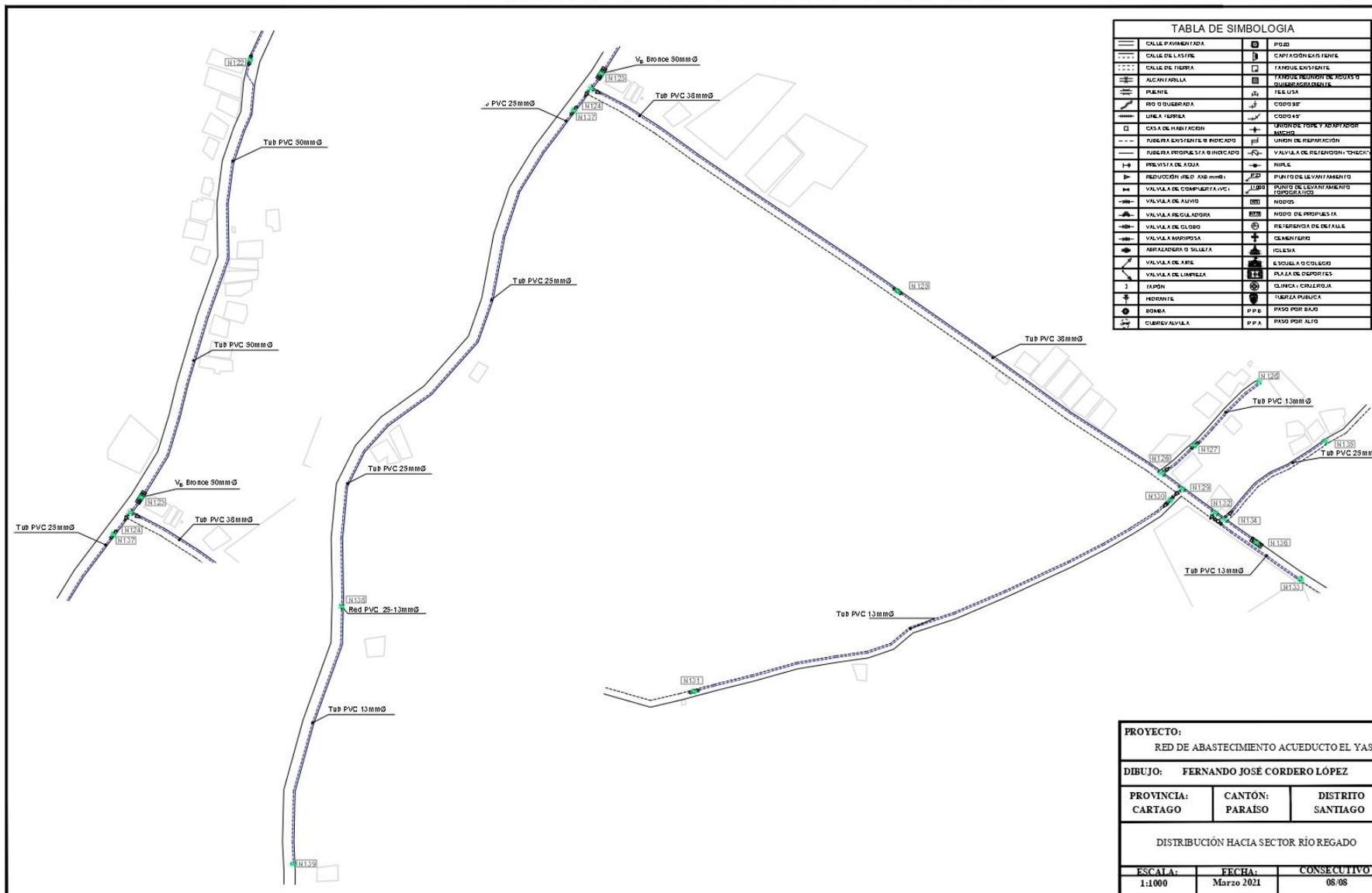
ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



ACUEDUCTO RURAL DE EL YAS



Anexo 16. Parámetros hidráulicos actuales de las conducciones obtenidos en EPANET.

| Conducción | Tramo | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|------------|-------------|-----------------------|----------|-------|------------------|-----------------|---------------------------|
| La Virgen | N1 a N2 | 110 | PEAD | 13,6 | 6,40 | 0,84 | 1,16 |
| | N2 a N5 | 110 | PEAD | 13,6 | 7,82 | 0,84 | 0,61 |
| | N5 a N6 | 110 | PEAD | 13,6 | 8,27 | 0,84 | 0,20 |
| | N6 a N7 | 110 | PEAD | 13,6 | 8,54 | 0,84 | 0,17 |
| | N7 a N8 | 110 | PEAD | 13,6 | 8,13 | 0,84 | 0,20 |
| | N8 a N9 | 110 | PEAD | 13,6 | 8,65 | 0,84 | 0,37 |
| | N9 a N10 | 110 | PEAD | 13,6 | 2,82 | 0,84 | 2,07 |
| | N10 a N12 | 110 | PEAD | 13,6 | 3,51 | 0,84 | 0,31 |
| | N12 a N13 | 110 | PEAD | 13,6 | 3,46 | 0,84 | 0,05 |
| | N13 a N14 | 100 | PVC | 26 | 6,03 | 0,67 | 0,68 |
| | N14 a N17 | 100 | PVC | 26 | 24,17 | 0,67 | 0,71 |
| | N17 a N21 | 100 | PVC | 26 | 72,46 | 0,67 | 2,61 |
| N21 a N23 | 110 | PEAD | 13,6 | 76,61 | 0,84 | 0,10 | |
| Fernández | N140 a N141 | 50 | PEAD | 13,6 | 4,47 | 1,21 | 2,15 |
| | N141 a N142 | 50 | PEAD | 13,6 | 6,49 | 1,21 | 2,03 |
| | N142 a N143 | 50 | PEAD | 13,6 | 25,87 | 1,21 | 4,67 |
| | N143 a N144 | 50 | PEAD | 13,6 | 25,77 | 1,21 | 1,76 |
| | N144 a N145 | 50 | PEAD | 13,6 | 27,58 | 1,21 | 0,44 |
| | N145 a N146 | 50 | PEAD | 13,6 | 45,16 | 1,21 | 9,18 |
| | N146 a N147 | 50 | PEAD | 13,6 | 44,13 | 1,21 | 1,01 |
| | N147 a N148 | 50 | PVC | 26 | 37,26 | 0,72 | 1,37 |
| | N148 a N149 | 50 | PVC | 26 | 41,69 | 0,72 | 4,16 |
| N149 a N23 | 50 | PVC | 26 | 36,41 | 0,72 | 0,44 | |

Anexo 17. Parámetros hidráulicos actuales de la distribución del sector El Yas obtenidas en EPANET.

| Tramo | Cantidad de conexiones | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|-----------|------------------------|-----------------------|----------|-----|------------------|-----------------|---------------------------|
| N23 a N30 | 0 | 100 | PVC | 26 | 2,97 | 1,38 | 2,37 |
| N30 a N31 | 4 | 100 | PVC | 26 | 20,73 | 1,38 | 4,35 |
| N31 a N32 | 16 | 100 | PVC | 26 | 30,1 | 1,37 | 4,27 |
| N32 a N33 | 9 | 100 | PVC | 26 | 40,96 | 1,31 | 3,14 |
| N33 a N34 | 4 | 50 | PVC | 26 | 37,18 | 2,11 | 7,28 |
| N34 a N36 | 4 | 50 | PVC | 26 | 36,6 | 2,03 | 1,58 |
| N36 a N38 | 21 | 50 | PVC | 26 | 27,49 | 1,91 | 14,86 |

| | | | | | | | |
|-----------|----|----|-----|------|-------|------|------|
| N38 a N39 | 5 | 50 | PVC | 26 | 29,25 | 1,67 | 3,38 |
| N39 a N41 | 0 | 50 | PVC | 26 | 27,88 | 1,56 | 3,23 |
| N41 a N45 | 6 | 50 | PVC | 26 | 27,63 | 1,49 | 4,84 |
| N45 a N51 | 0 | 50 | PVC | 26 | 28,31 | 1,06 | 0,32 |
| N51 a N53 | 0 | 50 | PVC | 26 | 28,28 | 0,95 | 0,03 |
| N53 a N54 | 2 | 63 | PVC | 26 | 38,51 | 0,65 | 0,56 |
| N54 a N57 | 9 | 63 | PVC | 26 | 49,89 | 0,54 | 1,36 |
| N57 a N58 | 0 | 63 | PVC | 26 | 51,11 | 0,47 | 0,04 |
| N58 a N68 | 7 | 25 | PVC | 26 | 56,17 | 1,35 | 8,44 |
| N68 a N70 | 0 | 25 | PVC | 26 | 56,32 | 1,01 | 0,34 |
| N70 a N72 | 0 | 25 | PVC | 26 | 56,03 | 0,93 | 0,29 |
| N72 a N74 | 2 | 25 | PVC | 26 | 56,64 | 0,81 | 2,89 |
| N74 a N75 | 8 | 25 | PVC | 26 | 83,6 | 0,73 | 4,78 |
| N75 a N77 | 7 | 25 | PVC | 26 | 79,75 | 0,27 | 0,50 |
| | | | | | | | |
| N34 a N35 | 3 | 25 | PVC | 26 | 37,17 | 0,12 | 0,01 |
| | | | | | | | |
| N36 a N37 | 7 | 25 | PVC | 26 | 31,7 | 0,27 | 0,40 |
| | | | | | | | |
| N39 a N40 | 4 | 13 | PVC | 13,5 | 19,79 | 0,43 | 1,45 |
| | | | | | | | |
| N41 a N42 | 0 | 25 | PVC | 26 | 26,76 | 0,23 | 0,12 |
| N42 a N43 | 0 | 25 | PVC | 26 | 17,32 | 0,23 | 0,43 |
| N43 a N44 | 6 | 25 | PVC | 26 | 33,07 | 0,23 | 0,25 |
| | | | | | | | |
| N45 a N46 | 0 | 50 | PVC | 26 | 38,46 | 0,37 | 0,30 |
| N46 a N47 | 0 | 38 | PVC | 26 | 39,08 | 0,57 | 0,38 |
| N47 a N48 | 10 | 38 | PVC | 26 | 45,49 | 0,57 | 1,59 |
| N48 a N49 | 16 | 38 | PVC | 26 | 49,67 | 0,40 | 0,82 |
| N49 a N50 | 6 | 38 | PVC | 26 | 57,65 | 0,11 | 0,03 |
| | | | | | | | |
| N51 a N52 | 9 | 25 | PVC | 26 | 45,71 | 0,35 | 1,51 |
| | | | | | | | |
| N54 a N55 | 4 | 50 | PVC | 26 | 46,62 | 0,14 | 0,11 |
| N55 a N56 | 8 | 25 | PVC | 26 | 59,19 | 0,31 | 1,43 |
| | | | | | | | |
| N58 a N59 | 0 | 38 | PVC | 26 | 52 | 0,45 | 0,10 |
| N59 a N60 | 11 | 38 | PVC | 26 | 69,36 | 0,45 | 0,69 |
| N60 a N61 | 1 | 25 | PVC | 26 | 70,25 | 0,54 | 1,10 |
| N61 a N62 | 10 | 25 | PVC | 26 | 74,13 | 0,50 | 4,13 |

| | | | | | | | |
|-----------|---|----|-----|------|-------|------|------|
| N62 a N63 | 1 | 25 | PVC | 26 | 84,95 | 0,12 | 0,18 |
| N63 a N64 | 0 | 25 | PVC | 26 | 77,9 | 0,08 | 0,04 |
| N64 a N65 | 0 | 25 | PVC | 26 | 84,83 | 0,08 | 0,07 |
| N65 a N66 | 0 | 25 | PVC | 26 | 88,79 | 0,08 | 0,04 |
| N66 a N67 | 2 | 13 | PVC | 13,5 | 89,58 | 0,22 | 0,21 |
| | | | | | | | |
| N68 a N69 | 2 | 25 | PVC | 26 | 55,12 | 0,08 | 0,05 |
| | | | | | | | |
| N70 a N71 | 2 | 25 | PVC | 26 | 62,75 | 0,08 | 0,07 |
| | | | | | | | |
| N72 a N73 | 3 | 18 | PVC | 17 | 62,10 | 0,19 | 0,43 |
| | | | | | | | |
| N75 a N76 | 4 | 13 | PVC | 13,5 | 78,06 | 0,43 | 2,19 |

Anexo 18. Parámetros hidráulicos actuales de la distribución del sector Río Regado obtenidas en EPANET.

| Tramo | Cantidad de conexiones | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|-------------|------------------------|-----------------------|----------|-----|------------------|-----------------|---------------------------|
| N33 a N78 | 11 | 50 | PVC | 26 | 39,51 | 2,50 | 13,34 |
| N78 a N85 | 0 | 50 | PVC | 26 | 39,25 | 2,26 | 0,26 |
| N85 a N86 | 4 | 63 | PVC | 26 | 40,91 | 1,54 | 5,61 |
| N86 a N88 | 8 | 63 | PVC | 26 | 42,82 | 1,45 | 4,09 |
| N88 a N89 | 1 | 50 | PVC | 26 | 47,74 | 2,04 | 4,65 |
| N89 a N92 | 0 | 50 | PVC | 26 | 42,01 | 1,98 | 4,68 |
| N92 a N93 | 0 | 50 | PVC | 26 | 14,03 | 1,98 | 0,67 |
| N93 a N95 | 5 | 50 | PVC | 26 | 42,59 | 1,95 | 11,31 |
| N95 a N100 | 0 | 50 | PVC | 26 | 42,44 | 1,66 | 0,15 |
| N100 a N101 | 0 | 63 | PVC | 26 | 67,04 | 1,13 | 8,02 |
| | | | | | | | |
| N78 a N79 | 1 | 25 | PVC | 26 | 48,29 | 0,39 | 0,58 |
| N79 a N80 | 0 | 25 | PVC | 26 | 49,23 | 0,31 | 0,06 |
| N80 a N81 | 5 | 25 | PVC | 26 | 42,9 | 0,31 | 0,33 |
| N81 a N82 | 0 | 25 | PVC | 26 | 44,85 | 0,12 | 0,05 |
| N82 a N83 | 3 | 25 | PVC | 26 | 47,83 | 0,12 | 0,03 |
| | | | | | | | |
| N79 a N84 | 1 | 25 | PVC | 26 | 51,79 | 0,04 | 0,00 |
| | | | | | | | |
| N86 a N87 | 7 | 38 | PVC | 26 | 40,87 | 0,13 | 0,04 |

| | | | | | | | |
|-------------|----|----|-----|------|-------|------|------|
| | | | | | | | |
| N89 a N90 | 0 | 25 | PVC | 26 | 46,72 | 0,15 | 0,02 |
| N90 a N91 | 4 | 25 | PVC | 26 | 46,52 | 0,15 | 0,20 |
| | | | | | | | |
| N93 a N94 | 3 | 25 | PVC | 26 | 17,93 | 0,12 | 0,11 |
| | | | | | | | |
| N95 a N96 | 0 | 25 | PVC | 26 | 42,51 | 0,77 | 0,07 |
| N96 a N97 | 15 | 25 | PVC | 26 | 50,65 | 0,77 | 6,18 |
| N97 a N98 | 2 | 18 | PVC | 17 | 57,91 | 0,32 | 0,54 |
| N98 a N99 | 3 | 13 | PVC | 13,5 | 67,75 | 0,32 | 0,59 |
| | | | | | | | |
| N101 a N103 | 0 | 50 | PVC | 26 | 0,12 | 1,53 | 0,20 |
| N103 a N104 | 0 | 50 | PVC | 26 | 24,86 | 1,53 | 7,82 |
| N104 a N105 | 0 | 50 | PVC | 26 | 24,84 | 1,53 | 0,02 |
| N105 a N106 | 0 | 63 | PVC | 26 | 18,14 | 1,04 | 0,31 |
| N106 a N151 | 0 | 63 | PVC | 26 | 19,14 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | |
| N106 a N108 | 0 | 63 | PVC | 26 | 36,84 | 1,04 | 3,42 |
| N108 a N110 | 5 | 50 | PVC | 26 | 38,42 | 1,53 | 5,42 |
| N110 a N111 | 15 | 50 | PVC | 26 | 38,88 | 1,47 | 4,04 |
| N111 a N119 | 9 | 50 | PVC | 26 | 39,71 | 0,93 | 1,42 |
| N119 a N120 | 8 | 50 | PVC | 26 | 43,36 | 0,83 | 1,46 |
| N120 a N122 | 3 | 50 | PVC | 26 | 43,13 | 0,68 | 0,87 |
| N122 a N123 | 19 | 50 | PVC | 26 | 50,45 | 0,64 | 3,02 |
| N123 a N124 | 0 | 50 | PVC | 26 | 50,39 | 0,43 | 0,06 |
| N124 a N125 | 9 | 38 | PVC | 26 | 58,25 | 0,57 | 2,55 |
| N125 a N126 | 7 | 38 | PVC | 26 | 61,55 | 0,41 | 1,20 |
| N126 a N129 | 0 | 38 | PVC | 26 | 61,53 | 0,16 | 0,02 |
| N129 a N132 | 0 | 38 | PVC | 26 | 62,27 | 0,13 | 0,02 |
| N132 a N134 | 0 | 38 | PVC | 26 | 62,26 | 0,09 | 0,00 |
| N134 a N136 | 0 | 38 | PVC | 26 | 62,26 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | |
| N111 a N112 | 0 | 50 | PVC | 26 | 38,81 | 0,37 | 0,07 |
| N112 a N115 | 4 | 38 | PVC | 26 | 38,08 | 0,45 | 0,23 |
| N115 a N116 | 12 | 38 | PVC | 26 | 31,83 | 0,38 | 1,25 |
| N116 a N118 | 1 | 38 | PVC | 26 | 31,06 | 0,02 | 0,00 |
| | | | | | | | |
| N112 a N113 | 0 | 25 | PVC | 26 | 39,32 | 0,27 | 0,05 |
| N113 a N114 | 7 | 25 | PVC | 26 | 42,8 | 0,27 | 0,51 |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-------------|----|-----|------|------|-------|------|------|
| N116 a N117 | 8 | 25 | PVC | 26 | 30,6 | 0,31 | 0,23 |
| | | | | | | | |
| N120 a N121 | 5 | 25 | PVC | 26 | 41,22 | 0,19 | 0,14 |
| | | | | | | | |
| N124 a N137 | 0 | 25 | PVC | 26 | 50,35 | 0,19 | 0,04 |
| N137 a N138 | 3 | 25 | PVC | 26 | 59,53 | 0,19 | 0,83 |
| N138 a N139 | 2 | 13 | PVC | 13,5 | 67,09 | 0,22 | 0,85 |
| | | | | | | | |
| N126 a N127 | 2 | 13 | PVC | 13,5 | 59,13 | 0,75 | 1,42 |
| N127 a N128 | 5 | 13 | PVC | 13,5 | 57,55 | 0,54 | 1,58 |
| | | | | | | | |
| N129 a N130 | 0 | 25 | PVC | 26 | 61,53 | 0,08 | 0,00 |
| N130 a N131 | 2 | 13 | PVC | 13,5 | 57,87 | 0,22 | 1,67 |
| | | | | | | | |
| N132 a N133 | 2 | 13 | PVC | 13,5 | 62,9 | 0,22 | 0,36 |
| | | | | | | | |
| N134 a N135 | 5 | 25 | PVC | 26 | 61,08 | 0,19 | 0,19 |
| | | | | | | | |
| N101 a N102 | 0 | 25 | PVC | 26 | 0,1 | 0,50 | 0,05 |
| N102 a N107 | 10 | 25 | PVC | 26 | 53,02 | 0,50 | 6,65 |
| N107 a N109 | 3 | 25 | PVC | 26 | 55,49 | 0,12 | 0,03 |
| | | | | | | | |
| N151 a N152 | 1 | 110 | PEAD | 13,6 | 19,23 | 0,00 | 0,00 |

Anexo 19. Parámetros hidráulicos actuales del sistema secundario obtenidos en EPANET.

| Tipo tubería | Tramo | Cantidad de conexiones | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|--------------|-----------|------------------------|-----------------------|----------|-----|------------------|-----------------|---------------------------|
| Conducción | N3 a N4 | 0 | 50 | PVC | 26 | 1,94 | 0,44 | 0,10 |
| Distribución | N4 a N5 | 0 | 50 | PVC | 26 | 1,69 | 0,37 | 0,12 |
| | N5 a N6 | 0 | 50 | PVC | 26 | 2,26 | 0,37 | 0,08 |
| | N6 a N7 | 0 | 50 | PVC | 26 | 2,63 | 0,37 | 0,07 |
| | N7 a N8 | 0 | 50 | PVC | 26 | 2,34 | 0,37 | 0,08 |
| | N8 a N9 | 0 | 50 | PVC | 26 | 3,08 | 0,37 | 0,14 |
| | N9 a N15 | 0 | 50 | PVC | 26 | 3,57 | 0,37 | 0,79 |
| | N15 a N16 | 0 | 50 | PVC | 26 | 13,89 | 0,37 | 0,53 |

| | | | | | | | | |
|--|-----------|----|----|-----|------|-------|------|------|
| | N16 a N17 | 0 | 50 | PVC | 26 | 20,36 | 0,37 | 0,74 |
| | N17 a N18 | 4 | 50 | PVC | 26 | 22,79 | 0,37 | 0,20 |
| | N18 a N19 | 4 | 38 | PVC | 26 | 39,39 | 0,50 | 1,53 |
| | N19 a N20 | 13 | 38 | PVC | 26 | 50,08 | 0,43 | 0,65 |
| | N20 a N22 | 7 | 25 | PVC | 26 | 64,87 | 0,43 | 1,57 |
| | N22 a N24 | 0 | 25 | PVC | 26 | 70,51 | 0,15 | 0,05 |
| | N24 a N25 | 0 | 63 | PVC | 26 | 71,71 | 0,03 | 0,00 |
| | N25 a N27 | 0 | 63 | PVC | 26 | 73,98 | 0,02 | 0,00 |
| | N27 a N28 | 2 | 38 | PVC | 26 | 74,49 | 0,05 | 0,01 |
| | N28 a N29 | 1 | 25 | PVC | 26 | 76,77 | 0,04 | 0,00 |
| | | | | | | | | |
| | N25 a N26 | 1 | 13 | PVC | 13,5 | 57,95 | 0,11 | 0,28 |

Anexo 20. Parámetros hidráulicos obtenidos para la propuesta 1 del sistema principal.

| Sector El Yas | | | | Sector Río Regado | | | |
|---------------|------------------|-----------------|---------------------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------------------|
| Tramo | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) | Tramo | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
| N57 a N58 | 18,21 | 0,47 | 0,04 | N123 a N124 | 24,94 | 0,43 | 0,06 |
| N58 a N68 | 23,27 | 1,35 | 8,44 | N124 a N125 | 32,8 | 0,57 | 2,55 |
| N68 a N70 | 23,43 | 1,01 | 0,35 | N125 a N126 | 36,10 | 0,41 | 1,20 |
| N70 a N72 | 23,13 | 0,93 | 0,29 | N126 a N129 | 36,08 | 0,16 | 0,02 |
| N72 a N74 | 23,75 | 0,81 | 2,89 | N129 a N132 | 36,82 | 0,13 | 0,02 |
| N74 a N75 | 50,71 | 0,73 | 4,78 | N132 a N134 | 36,81 | 0,09 | 0,00 |
| N75 a N77 | 46,86 | 0,27 | 0,50 | N134 a N136 | 36,81 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | | |
| N58 a N59 | 19,11 | 0,45 | 0,10 | N124 a N137 | 24,90 | 0,19 | 0,04 |
| N59 a N60 | 36,47 | 0,45 | 0,69 | N137 a N138 | 34,08 | 0,19 | 0,83 |
| N60 a N61 | 37,36 | 0,54 | 1,10 | N138 a N139 | 41,64 | 0,22 | 0,85 |
| N61 a N62 | 41,23 | 0,50 | 4,13 | | | | |
| N62 a N63 | 52,05 | 0,12 | 0,18 | N126 a N127 | 33,68 | 0,75 | 1,42 |
| N63 a N64 | 45,00 | 0,08 | 0,04 | N127 a N128 | 32,10 | 0,54 | 1,58 |
| N64 a N65 | 51,94 | 0,08 | 0,07 | | | | |
| N65 a N66 | 55,89 | 0,08 | 0,04 | N129 a N130 | 36,08 | 0,08 | 0,00 |
| N66 a N67 | 56,68 | 0,22 | 0,21 | N130 a N131 | 32,42 | 0,22 | 1,67 |
| | | | | | | | |
| N68 a N69 | 22,23 | 0,08 | 0,05 | N132 a N133 | 37,45 | 0,22 | 0,36 |
| | | | | | | | |
| N70 a N71 | 29,86 | 0,08 | 0,07 | N134 a N135 | 35,63 | 0,19 | 0,19 |

| | | | | | | | |
|-----------|-------|------|------|---|---|---|---|
| | | | | - | - | - | - |
| N72 a N73 | 29,20 | 0,19 | 0,43 | - | - | - | - |
| | | | | - | - | - | - |
| N75 a N76 | 45,16 | 0,43 | 2,19 | - | - | - | - |

Anexo 21. Parámetros hidráulicos obtenidos para la propuesta 1 del sistema secundario.

| Tramo | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|-----------|------------------|-----------------|---------------------------|
| N20 a N22 | 34,56 | 0,43 | 1,57 |
| N22 a N24 | 40,21 | 0,15 | 0,05 |
| N24 a N25 | 41,41 | 0,03 | 0,00 |
| N25 a N27 | 43,68 | 0,02 | 0,00 |
| N27 a N28 | 44,19 | 0,05 | 0,01 |
| N28 a N29 | 46,47 | 0,04 | 0,00 |
| | | | |
| N25 a N26 | 27,65 | 0,11 | 0,28 |

Anexo 22. Parámetros hidráulicos obtenidos para el sector El Yas (Propuesta 2).

| Tramo | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------------------|
| N23 a N30 | 100 | PVC | 26 | 2,97 | 1,38 | 2,38 |
| N30 a N31 | 100 | PVC | 26 | 20,72 | 1,38 | 4,36 |
| N31 a N32 | 100 | PVC | 26 | 30,09 | 1,37 | 4,27 |
| N32 a N33 | 100 | PVC | 26 | 40,95 | 1,32 | 3,15 |
| N33 a N34 | 110 | PEAD | 13,6 | 43,88 | 0,74 | 0,57 |
| N34 a N36 | 110 | PEAD | 13,6 | 44,75 | 0,71 | 0,12 |
| N36 a N38 | 110 | PEAD | 13,6 | 49,34 | 0,67 | 1,17 |
| N38 a N39 | 110 | PEAD | 13,6 | 29,87 | 0,59 | 0,27 |
| N39 a N41 | 110 | PEAD | 13,6 | 31,48 | 0,55 | 0,25 |
| N41 a N45 | 110 | PEAD | 13,6 | 35,69 | 0,53 | 0,38 |
| N45 a N51 | 110 | PEAD | 13,6 | 20,98 | 0,37 | 0,02 |
| N51 a N53 | 110 | PEAD | 13,6 | 20,97 | 0,34 | 0,00 |
| N53 a N54 | 110 | PEAD | 13,6 | 31,77 | 0,34 | 0,11 |
| N54 a N57 | 110 | PEAD | 13,6 | 44,25 | 0,28 | 0,27 |
| N57 a N58 | 110 | PEAD | 13,6 | 16,24 | 0,24 | 0,01 |
| N58 a N68 | 110 | PEAD | 13,6 | 29,71 | 0,14 | 0,03 |

| | | | | | | |
|------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| N68 a N70 | 110 | PEAD | 13,6 | 30,21 | 0,10 | 0,00 |
| N70 a N72 | 110 | PEAD | 13,6 | 30,21 | 0,10 | 0,00 |
| N72 a N74 | 110 | PEAD | 13,6 | 33,69 | 0,08 | 0,01 |
| N74 a N75 | 25 | PVC | 26 | 60,65 | 0,73 | 4,78 |
| N75 a N77 | 25 | PVC | 26 | 56,8 | 0,27 | 0,50 |
| | | | | | | |
| N34 a N35 | 25 | PVC | 26 | 43,87 | 0,12 | 0,01 |
| | | | | | | |
| N36 a N37 | 25 | PVC | 26 | 39,85 | 0,27 | 0,40 |
| | | | | | | |
| N39 a N40 | 13 | PVC | 13,5 | 20,42 | 0,43 | 1,45 |
| | | | | | | |
| N41 a N42 | 25 | PVC | 26 | 30,36 | 0,23 | 0,12 |
| N42 a N43 | 25 | PVC | 26 | 20,93 | 0,23 | 0,43 |
| N43 a N44 | 25 | PVC | 26 | 36,68 | 0,23 | 0,25 |
| | | | | | | |
| N45 a N46 | 50 | PVC | 26 | 30,83 | 0,37 | 0,30 |
| N46 a N47 | 38 | PVC | 26 | 31,45 | 0,57 | 0,38 |
| N47 a N48 | 38 | PVC | 26 | 37,86 | 0,57 | 1,59 |
| N48 a N49 | 38 | PVC | 26 | 42,04 | 0,40 | 0,82 |
| N49 a N50 | 38 | PVC | 26 | 50,02 | 0,11 | 0,03 |
| | | | | | | |
| N51 a N52 | 25 | PVC | 26 | 38,38 | 0,35 | 1,51 |
| | | | | | | |
| N54 a N55 | 50 | PVC | 26 | 39,88 | 0,14 | 0,11 |
| N55 a N56 | 25 | PVC | 26 | 52,6 | 0,31 | 1,43 |
| | | | | | | |
| N58 a N59 | 38 | PVC | 26 | 17,14 | 0,45 | 0,10 |
| N59 a N60 | 38 | PVC | 26 | 34,5 | 0,45 | 0,69 |
| N60 a N61 | 25 | PVC | 26 | 35,39 | 0,54 | 1,10 |
| N61 a N62 | 25 | PVC | 26 | 39,26 | 0,50 | 4,13 |
| N62 a N63 | 25 | PVC | 26 | 50,08 | 0,12 | 0,18 |
| N63 a N64 | 25 | PVC | 26 | 43,04 | 0,08 | 0,04 |
| N64 a N65 | 25 | PVC | 26 | 49,97 | 0,08 | 0,07 |
| N65 a N66 | 25 | PVC | 26 | 53,92 | 0,08 | 0,04 |
| N66 a N67 | 13 | PVC | 13,5 | 54,71 | 0,22 | 0,21 |
| | | | | | | |
| N68 a N69 | 25 | PVC | 26 | 28,66 | 0,08 | 0,05 |
| | | | | | | |
| N70 a N71 | 25 | PVC | 26 | 36,64 | 0,08 | 0,07 |

| | | | | | | |
|-----------|----|-----|------|-------|------|------|
| N72 a N73 | 18 | PVC | 17 | 36,27 | 0,19 | 0,43 |
| N75 a N76 | 13 | PVC | 13,5 | 55,11 | 0,43 | 2,19 |

Anexo 23. Parámetros hidráulicos obtenidos para el sector Río Regado (Propuesta 2).

| Tramo | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|-------------|-----------------------|----------|------|------------------|-----------------|---------------------------|
| N33 a N78 | 110 | PEAD | 13,6 | 51,79 | 0,88 | 1,05 |
| N78 a N85 | 110 | PEAD | 13,6 | 19,98 | 0,80 | 0,02 |
| N85 a N86 | 110 | PEAD | 13,6 | 37,22 | 0,80 | 1,12 |
| N86 a N88 | 110 | PEAD | 13,6 | 42,40 | 0,75 | 0,82 |
| N88 a N89 | 110 | PEAD | 13,6 | 51,61 | 0,72 | 0,37 |
| N89 a N92 | 110 | PEAD | 13,6 | 50,19 | 0,70 | 0,37 |
| N92 a N93 | 110 | PEAD | 13,6 | 20,57 | 0,70 | 0,05 |
| N93 a N95 | 110 | PEAD | 13,6 | 59,54 | 0,69 | 0,89 |
| N95 a N100 | 110 | PEAD | 13,6 | 59,53 | 0,59 | 0,01 |
| N100 a N101 | 110 | PEAD | 13,6 | 77,90 | 0,58 | 1,60 |
| N78 a N79 | 25 | PVC | 26 | 28,78 | 0,39 | 0,58 |
| N79 a N80 | 25 | PVC | 26 | 29,72 | 0,31 | 0,06 |
| N80 a N81 | 25 | PVC | 26 | 23,39 | 0,31 | 0,33 |
| N81 a N82 | 25 | PVC | 26 | 25,35 | 0,12 | 0,05 |
| N82 a N83 | 25 | PVC | 26 | 28,32 | 0,12 | 0,03 |
| N79 a N84 | 25 | PVC | 26 | 32,28 | 0,04 | 0,00 |
| N86 a N87 | 38 | PVC | 26 | 37,18 | 0,13 | 0,04 |
| N89 a N90 | 25 | PVC | 26 | 50,59 | 0,15 | 0,02 |
| N90 a N91 | 25 | PVC | 26 | 50,39 | 0,15 | 0,20 |
| N93 a N94 | 25 | PVC | 26 | 24,46 | 0,12 | 0,11 |
| N95 a N96 | 25 | PVC | 26 | 59,47 | 0,77 | 0,07 |
| N96 a N97 | 25 | PVC | 26 | 50,65 | 0,77 | 6,18 |
| N97 a N98 | 18 | PVC | 17 | 57,91 | 0,32 | 0,54 |
| N98 a N99 | 13 | PVC | 13,5 | 67,75 | 0,32 | 0,59 |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| N101 a N103 | 110 | PEAD | 13,6 | 0,1 | 0,54 | 0,02 |
| N103 a N104 | 110 | PEAD | 13,6 | 32,27 | 0,54 | 0,61 |
| N104 a N105 | 110 | PEAD | 13,6 | 32,27 | 0,54 | 0,00 |
| N105 a N106 | 110 | PEAD | 13,6 | 36,58 | 0,54 | 0,06 |
| N106 a N151 | 110 | PEAD | 13,6 | 37,58 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | |
| N106 a N108 | 110 | PEAD | 13,6 | 36,45 | 0,54 | 0,68 |
| N108 a N110 | 110 | PEAD | 13,6 | 43,02 | 0,54 | 0,42 |
| N110 a N111 | 110 | PEAD | 13,6 | 47,21 | 0,52 | 0,32 |
| N111 a N119 | 110 | PEAD | 13,6 | 49,35 | 0,33 | 0,11 |
| N119 a N120 | 110 | PEAD | 13,6 | 54,34 | 0,29 | 0,11 |
| N120 a N122 | 110 | PEAD | 13,6 | 54,91 | 0,24 | 0,07 |
| N122 a N123 | 110 | PEAD | 13,6 | 30,1 | 0,23 | 0,24 |
| N123 a N124 | 110 | PEAD | 13,6 | 30,1 | 0,15 | 0,00 |
| N124 a N125 | 38 | PVC | 26 | 37,96 | 0,57 | 2,55 |
| N125 a N126 | 38 | PVC | 26 | 41,26 | 0,41 | 1,20 |
| N126 a N129 | 38 | PVC | 26 | 41,24 | 0,16 | 0,02 |
| N129 a N132 | 38 | PVC | 26 | 41,97 | 0,13 | 0,02 |
| N132 a N134 | 38 | PVC | 26 | 41,97 | 0,09 | 0,00 |
| N134 a N136 | 38 | PVC | 26 | 41,97 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | |
| N111 a N112 | 50 | PVC | 26 | 47,13 | 0,37 | 0,07 |
| N112 a N115 | 38 | PVC | 26 | 46,4 | 0,45 | 0,23 |
| N115 a N116 | 38 | PVC | 26 | 40,15 | 0,38 | 1,25 |
| N116 a N118 | 38 | PVC | 26 | 39,38 | 0,02 | 0,00 |
| | | | | | | |
| N112 a N113 | 25 | PVC | 26 | 47,64 | 0,27 | 0,05 |
| N113 a N114 | 25 | PVC | 26 | 51,13 | 0,27 | 0,51 |
| | | | | | | |
| N116 a N117 | 25 | PVC | 26 | 38,92 | 0,31 | 0,23 |
| | | | | | | |
| N120 a N121 | 25 | PVC | 26 | 52,2 | 0,19 | 0,14 |
| | | | | | | |
| N124 a N137 | 25 | PVC | 26 | 30,06 | 0,19 | 0,04 |
| N137 a N138 | 25 | PVC | 26 | 39,23 | 0,19 | 0,83 |
| N138 a N139 | 13 | PVC | 13,5 | 46,8 | 0,22 | 0,85 |
| | | | | | | |
| N126 a N127 | 13 | PVC | 13,5 | 38,84 | 0,75 | 1,42 |
| N127 a N128 | 13 | PVC | 13,5 | 37,26 | 0,54 | 1,58 |

| | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|-------|------|------|
| N129 a N130 | 25 | PVC | 26 | 41,23 | 0,08 | 0,00 |
| N130 a N131 | 13 | PVC | 13,5 | 37,58 | 0,22 | 1,67 |
| | | | | | | |
| N132 a N133 | 13 | PVC | 13,5 | 42,61 | 0,22 | 0,36 |
| | | | | | | |
| N134 a N135 | 25 | PVC | 26 | 40,78 | 0,19 | 0,19 |
| | | | | | | |
| N101 a N102 | 25 | PVC | 26 | 0,1 | 0,50 | 0,05 |
| N102 a N107 | 25 | PVC | 26 | 53,02 | 0,50 | 4,38 |
| N107 a N109 | 25 | PVC | 26 | 55,49 | 0,12 | 0,03 |
| | | | | | | |
| N151 a N152 | 110 | PEAD | 13,6 | 19,23 | 0,00 | 0,00 |

Anexo 24. Parámetros hidráulicos obtenidos para el sector de El Yas (Propuesta 3).

| Tramo | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|------------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|
| N23 a N30 | 160 | PEAD | 13,6 | 4,67 | 0,82 | 0,67 |
| N30 a N31 | 160 | PEAD | 13,6 | 25,55 | 0,82 | 1,24 |
| N31 a N32 | 160 | PEAD | 13,6 | 37,98 | 0,82 | 1,21 |
| N32 a N33 | 160 | PEAD | 13,6 | 51,09 | 0,79 | 0,89 |
| N33 a N34 | 160 | PEAD | 13,6 | 54,50 | 0,35 | 0,09 |
| N34 a N36 | 160 | PEAD | 13,6 | 55,48 | 0,34 | 0,02 |
| N36 a N38 | 160 | PEAD | 13,6 | 61,04 | 0,32 | 0,19 |
| N38 a N39 | 160 | PEAD | 13,6 | 30,10 | 0,28 | 0,04 |
| N39 a N41 | 160 | PEAD | 13,6 | 31,92 | 0,26 | 0,04 |
| N41 a N45 | 160 | PEAD | 13,6 | 36,45 | 0,25 | 0,06 |
| N45 a N51 | 160 | PEAD | 13,6 | 21,00 | 0,18 | 0,004 |
| N51 a N53 | 160 | PEAD | 13,6 | 21,00 | 0,16 | 0,0004 |
| N53 a N54 | 160 | PEAD | 13,6 | 31,89 | 0,16 | 0,02 |
| N54 a N57 | 160 | PEAD | 13,6 | 44,59 | 0,13 | 0,04 |
| N57 a N58 | 160 | PEAD | 13,6 | 16,25 | 0,11 | 0,001 |
| N58 a N68 | 160 | PEAD | 13,6 | 29,74 | 0,07 | 0,01 |
| N68 a N70 | 160 | PEAD | 13,6 | 30,24 | 0,05 | 0,0003 |
| N70 a N72 | 160 | PEAD | 13,6 | 30,24 | 0,05 | 0,0001 |
| N72 a N74 | 160 | PEAD | 13,6 | 33,74 | 0,04 | 0,002 |
| N74 a N75 | 25 | PVC | 26 | 60,70 | 0,73 | 4,78 |
| N75 a N77 | 25 | PVC | 26 | 56,85 | 0,27 | 0,50 |

| | | | | | | |
|------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
| N34 a N35 | 25 | PVC | 26 | 54,48 | 0,12 | 0,01 |
| N36 a N37 | 25 | PVC | 26 | 50,57 | 0,27 | 0,40 |
| N39 a N40 | 13 | PVC | 13,5 | 20,64 | 0,43 | 1,45 |
| N41 a N42 | 25 | PVC | 26 | 30,8 | 0,23 | 0,12 |
| N42 a N43 | 25 | PVC | 26 | 21,36 | 0,23 | 0,43 |
| N43 a N44 | 25 | PVC | 26 | 37,11 | 0,23 | 0,25 |
| N45 a N46 | 50 | PVC | 26 | 30,83 | 0,37 | 0,30 |
| N46 a N47 | 38 | PVC | 26 | 31,45 | 0,57 | 0,38 |
| N47 a N48 | 38 | PVC | 26 | 37,86 | 0,57 | 1,59 |
| N48 a N49 | 38 | PVC | 26 | 42,04 | 0,40 | 0,82 |
| N49 a N50 | 38 | PVC | 26 | 50,02 | 0,11 | 0,03 |
| N51 a N52 | 25 | PVC | 26 | 38,4 | 0,35 | 1,51 |
| N54 a N55 | 50 | PVC | 26 | 40 | 0,14 | 0,11 |
| N55 a N56 | 25 | PVC | 26 | 52,57 | 0,31 | 1,43 |
| N58 a N59 | 110 | PEAD | 13,6 | 17,25 | 0,10 | 0,003 |
| N59 a N60 | 110 | PEAD | 13,6 | 35,23 | 0,10 | 0,02 |
| N60 a N61 | 110 | PEAD | 13,6 | 37,22 | 0,06 | 0,004 |
| N61 a N62 | 110 | PEAD | 13,6 | 45,21 | 0,05 | 0,02 |
| N62 a N63 | 110 | PEAD | 13,6 | 56,21 | 0,01 | 0,001 |
| N63 a N64 | 110 | PEAD | 13,6 | 49,21 | 0,01 | 0,0002 |
| N64 a N65 | 110 | PEAD | 13,6 | 56,21 | 0,01 | 0,0003 |
| N65 a N66 | 110 | PEAD | 13,6 | 60,21 | 0,01 | 0,0002 |
| N66 a N67 | 13 | PVC | 13,5 | 60,99 | 0,22 | 0,21 |
| N68 a N69 | 25 | PVC | 26 | 28,7 | 0,08 | 0,05 |
| N70 a N71 | 25 | PVC | 26 | 36,67 | 0,08 | 0,07 |
| N72 a N73 | 18 | PVC | 17 | 36,31 | 0,19 | 0,43 |
| N75 a N76 | 13 | PVC | 13,5 | 55,16 | 0,43 | 2,19 |

Anexo 25. Parámetros hidráulicos obtenidos para el sector Río Regado (Propuesta 3).

| Tramo | Diámetro Nominal (mm) | Material | SDR | Presión (m.c.a.) | Velocidad (m/s) | Pérdida de carga (m.c.a.) |
|--------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------------------|
| N33 a N78 | 160 | PEAD | 13,6 | 62,81 | 0,42 | 0,17 |
| N78 a N85 | 160 | PEAD | 13,6 | 20,00 | 0,38 | 0,003 |
| N85 a N86 | 160 | PEAD | 13,6 | 38,18 | 0,38 | 0,18 |
| N86 a N88 | 160 | PEAD | 13,6 | 44,04 | 0,36 | 0,13 |
| N88 a N89 | 160 | PEAD | 13,6 | 53,55 | 0,34 | 0,06 |
| N89 a N92 | 160 | PEAD | 13,6 | 52,44 | 0,33 | 0,06 |
| N92 a N93 | 160 | PEAD | 13,6 | 20,61 | 0,33 | 0,01 |
| N93 a N95 | 160 | PEAD | 13,6 | 60,33 | 0,33 | 0,14 |
| N95 a N100 | 160 | PEAD | 13,6 | 60,33 | 0,28 | 0,002 |
| N100 a N101 | 160 | PEAD | 13,6 | 79,24 | 0,28 | 0,25 |
| | | | | | | |
| N78 a N79 | 25 | PVC | 26 | 28,78 | 0,39 | 0,58 |
| N79 a N80 | 25 | PVC | 26 | 29,72 | 0,31 | 0,06 |
| N80 a N81 | 25 | PVC | 26 | 23,39 | 0,31 | 0,33 |
| N81 a N82 | 25 | PVC | 26 | 25,35 | 0,12 | 0,05 |
| N82 a N83 | 25 | PVC | 26 | 28,32 | 0,12 | 0,03 |
| | | | | | | |
| N79 a N84 | 25 | PVC | 26 | 32,28 | 0,04 | 0,003 |
| | | | | | | |
| N86 a N87 | 38 | PVC | 26 | 38,14 | 0,13 | 0,04 |
| | | | | | | |
| N89 a N90 | 25 | PVC | 26 | 52,54 | 0,15 | 0,02 |
| N90 a N91 | 25 | PVC | 26 | 52,33 | 0,15 | 0,20 |
| | | | | | | |
| N93 a N94 | 25 | PVC | 26 | 24,5 | 0,12 | 0,11 |
| | | | | | | |
| N95 a N96 | 25 | PVC | 26 | 60,25 | 0,77 | 0,07 |
| N96 a N97 | 25 | PVC | 26 | 50,65 | 0,77 | 6,18 |
| N97 a N98 | 18 | PVC | 17 | 57,91 | 0,32 | 0,54 |
| N98 a N99 | 13 | PVC | 13,5 | 67,75 | 0,32 | 0,59 |
| | | | | | | |
| N101 a N103 | 160 | PEAD | 13,6 | 0,1 | 0,25 | 0,003 |
| N103 a N104 | 160 | PEAD | 13,6 | 32,8 | 0,25 | 0,10 |
| N104 a N105 | 160 | PEAD | 13,6 | 32,8 | 0,25 | 0,0002 |
| N105 a N106 | 160 | PEAD | 13,6 | 37,16 | 0,25 | 0,01 |
| N106 a N151 | 160 | PEAD | 13,6 | 38,16 | 0,00 | 0,00 |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
| | | | | | | |
| N106 a N108 | 160 | PEAD | 13,6 | 37,02 | 0,25 | 0,11 |
| N108 a N110 | 160 | PEAD | 13,6 | 43,95 | 0,25 | 0,07 |
| N110 a N111 | 160 | PEAD | 13,6 | 48,4 | 0,24 | 0,05 |
| N111 a N119 | 160 | PEAD | 13,6 | 50,63 | 0,15 | 0,02 |
| N119 a N120 | 160 | PEAD | 13,6 | 55,73 | 0,14 | 0,02 |
| N120 a N122 | 160 | PEAD | 13,6 | 56,36 | 0,11 | 0,01 |
| N122 a N123 | 160 | PEAD | 13,6 | 30,3 | 0,11 | 0,04 |
| N123 a N124 | 160 | PEAD | 13,6 | 30,3 | 0,07 | 0,00 |
| N124 a N125 | 110 | PEAD | 13,6 | 40,64 | 0,13 | 0,07 |
| N125 a N126 | 110 | PEAD | 13,6 | 45,1 | 0,09 | 0,03 |
| N126 a N129 | 110 | PEAD | 13,6 | 45,11 | 0,04 | 0,0005 |
| N129 a N132 | 110 | PEAD | 13,6 | 45,86 | 0,03 | 0,001 |
| N132 a N134 | 110 | PEAD | 13,6 | 45,86 | 0,02 | 0,0001 |
| N134 a N136 | 110 | PEAD | 13,6 | 45,86 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | |
| N111 a N112 | 110 | PEAD | 13,6 | 48,4 | 0,13 | 0,01 |
| N112 a N115 | 110 | PEAD | 13,6 | 47,89 | 0,10 | 0,01 |
| N115 a N116 | 110 | PEAD | 13,6 | 42,86 | 0,08 | 0,03 |
| N116 a N118 | 110 | PEAD | 13,6 | 42,09 | 0,00 | 0,00 |
| | | | | | | |
| N112 a N113 | 25 | PVC | 26 | 48,9 | 0,27 | 0,05 |
| N113 a N114 | 25 | PVC | 26 | 52,39 | 0,27 | 0,51 |
| | | | | | | |
| N116 a N117 | 25 | PVC | 26 | 41,63 | 0,31 | 0,23 |
| | | | | | | |
| N120 a N121 | 25 | PVC | 26 | 53,59 | 0,19 | 0,14 |
| | | | | | | |
| N124 a N137 | 25 | PVC | 26 | 30,26 | 0,19 | 0,04 |
| N137 a N138 | 25 | PVC | 26 | 39,44 | 0,19 | 0,83 |
| N138 a N139 | 13 | PVC | 13,5 | 47 | 0,22 | 0,85 |
| | | | | | | |
| N126 a N127 | 13 | PVC | 13,5 | 42,69 | 0,75 | 1,42 |
| N127 a N128 | 13 | PVC | 13,5 | 41,12 | 0,54 | 1,58 |
| | | | | | | |
| N129 a N130 | 25 | PVC | 26 | 45,11 | 0,08 | 0,004 |
| N130 a N131 | 13 | PVC | 13,5 | 41,45 | 0,22 | 1,67 |
| | | | | | | |
| N132 a N133 | 13 | PVC | 13,5 | 46,5 | 0,22 | 0,36 |
| | | | | | | |

| | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|-------|------|------|
| N134 a N135 | 25 | PVC | 26 | 44,67 | 0,19 | 0,19 |
| | | | | | | |
| N101 a N102 | 25 | PVC | 26 | 0,1 | 0,50 | 0,05 |
| N102 a N107 | 25 | PVC | 26 | 53,02 | 0,50 | 4,38 |
| N107 a N109 | 25 | PVC | 26 | 55,49 | 0,12 | 0,03 |
| | | | | | | |
| N151 a N152 | 110 | PEAD | 13,6 | 19,23 | 0,00 | 0,00 |

Anexo 26. Desglose y costo de materiales para la implementación del tanque de 400 m³.

| Descripción | Detalle | Cantidad | Costo unitario | Total |
|---------------------------|--|----------|----------------|----------------|
| Losa Fundación | Concreto Premezclado (m ³) | 26,22 | ₡ 95.735,00 | ₡ 2.510.530,71 |
| | Varilla #4 | 518 | ₡ 5.705,00 | ₡ 2.955.190,00 |
| | Varilla #6 | 51 | ₡ 9.500,00 | ₡ 484.500,00 |
| | Formaleta 1x12x4 varas | 14 | ₡ 6.200,00 | ₡ 86.800,00 |
| | | | | |
| Trabes | Concreto Premezclado (m ³) | 4,72 | ₡ 95.735,00 | ₡ 452.267,46 |
| | Varilla #3 | 8 | ₡ 3.200,00 | ₡ 25.600,00 |
| | Varilla #4 | 59 | ₡ 5.705,00 | ₡ 336.595,00 |
| | Formaleta 1x6x4varas | 23 | ₡ 2.600,00 | ₡ 59.800,00 |
| | Formaleta 1x12x4 varas | 23 | ₡ 6.200,00 | ₡ 142.600,00 |
| | | | | |
| Columnas | Cemento (sacos) | 35 | ₡ 6.950,00 | ₡ 243.250,00 |
| | Arena (m ³) | 3,08 | ₡ 16.950,00 | ₡ 52.262,50 |
| | Piedra (m ³) | 1,05 | ₡ 19.000,00 | ₡ 19.918,33 |
| | Varilla #3 | 107 | ₡ 3.200,00 | ₡ 342.400,00 |
| | Varilla #4 | 116 | ₡ 5.705,00 | ₡ 661.780,00 |
| | Varilla #6 | 15 | ₡ 9.500,00 | ₡ 142.500,00 |
| | Formaleta 1x6x4varas | 16 | ₡ 2.600,00 | ₡ 41.600,00 |
| | Formaleta 1x12x4 varas | 16 | ₡ 6.200,00 | ₡ 99.200,00 |
| | | | | |
| Vigas | Concreto premezclado (m ³) | 4,72 | ₡ 95.735,00 | ₡ 452.267,46 |
| | Varilla #3 | 62 | ₡ 3.200,00 | ₡ 198.400,00 |
| | Varilla #4 | 42 | ₡ 5.705,00 | ₡ 239.610,00 |
| | | | | |
| Losa Superior | Concreto (m ³) | 15,73 | ₡ 95.735,00 | ₡ 1.506.318,42 |
| | Varilla #3 | 86 | ₡ 3.200,00 | ₡ 275.200,00 |
| | Formaleta 1x12x4 varas | 70 | ₡ 6.200,00 | ₡ 434.000,00 |
| | | | | |

| | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|------|--------------|-----------------------|
| Paredes | Bloques 20x20x40 | 1394 | ₡ 790,00 | ₡ 1.101.260,00 |
| | Cemento (sacos) | 44 | ₡ 6.950,00 | ₡ 305.800,00 |
| | Arena (m ³) | 6,17 | ₡ 16.950,00 | ₡ 104.525,00 |
| | Piedra (m ³) | 7,40 | ₡ 19.000,00 | ₡ 140.600,00 |
| | Mortero (sacos) | 14 | ₡ 6.500,00 | ₡ 91.000,00 |
| | Varilla #2 | 36 | ₡ 1.305,00 | ₡ 46.980,00 |
| | Varilla #3 | 55 | ₡ 3.200,00 | ₡ 176.000,00 |
| | Varilla #4 | 306 | ₡ 5.705,00 | ₡ 1.745.730,00 |
| Accesorios | Válvula de Compuerta 100 mm | 2 | ₡ 143.660,00 | ₡ 287.320,00 |
| | Válvulas de Flotador 100 mm | 2 | ₡ 223.725,00 | ₡ 447.450,00 |
| | Cajas de Protección Concreto | 2 | ₡ 20.215,00 | ₡ 40.430,00 |
| | Tapas de Acero Inoxidable | 4 | ₡ 86.670,00 | ₡ 346.680,00 |
| | Candados | 6 | ₡ 8.950,00 | ₡ 53.700,00 |
| | Pintura (gal) | 4 | ₡ 23.700,00 | ₡ 94.800,00 |
| | Diluyente (gal) | 1 | ₡ 8.995,00 | ₡ 8.995,00 |
| | Tubería entrada PVC 100mm | 0,5 | ₡ 47.100,00 | ₡ 23.550,00 |
| | Tubería salida PVC 100mm | 0,5 | ₡ 47.100,00 | ₡ 23.550,00 |
| | Tubería Rebalse PVC 100mm | 0,5 | ₡ 47.100,00 | ₡ 23.550,00 |
| | Tubería de lavado PVC 100mm | 0,5 | ₡ 47.100,00 | ₡ 23.550,00 |
| Escalera Interna | Varilla #5 | 5 | ₡ 8.705,00 | ₡ 43.525,00 |
| | Cemento (sacos) | 1 | ₡ 6.950,00 | ₡ 6.950,00 |
| | Arena (m ³) | 0,62 | ₡ 16.950,00 | ₡ 10.452,50 |
| Escalera Externa | Tubos HG 38 mm X1,8mm | 4 | ₡ 14.920,00 | ₡ 59.680,00 |
| | Placa 6,4mm Anclaje 50mmx50mm | 10 | ₡ 6.730,00 | ₡ 67.300,00 |
| | Soldadura E6013 3/32" (kg) | 12 | ₡ 2.450,00 | ₡ 29.400,00 |
| Varios | Herramientas Generales | 1 | ₡ 230.000,00 | ₡ 230.000,00 |
| | Alambre Negro #16 (kg) | 31 | ₡ 1.400,00 | ₡ 43.400,00 |
| | Clavos de 2 ½ " (kg) | 37 | ₡ 2.000,00 | ₡ 74.000,00 |
| | Regla 1x3 4varas | 62 | ₡ 1.950,00 | ₡ 120.900,00 |
| | Desmoldante (gal) | 19 | ₡ 4.750,00 | ₡ 90.250,00 |
| Total Materiales | | - | - | ₡17.623.917,38 |
| Transporte | | 5% | - | ₡ 1.057.435,04 |
| Mano Obra | | 50% | - | ₡ 8.811.958,69 |
| Imprevistos | | 5% | - | ₡ 1.374.665,56 |
| Costo Total | | | | ₡28.867.976,67 |

Anexo 27. Lista de materiales para implementar la propuesta 1.

| Descripción | Cantidad | Costo Unitario | Costo total |
|---|----------|----------------|-----------------------|
| Válvula reguladora de presión 38 mm (1 1/2") | 1 | €196.900,00 | €196.900,00 |
| Válvula reguladora de presión 50 mm (2") | 1 | €260.320,00 | €260.320,00 |
| Válvula reguladora de presión 75 mm (3") | 1 | €307.670,00 | €307.670,00 |
| Válvula compuerta hierro 50 mm (2") | 2 | €33.650,00 | €67.300,00 |
| Válvula compuerta hierro 100 mm (4") | 1 | €143.660,00 | €143.660,00 |
| Tanque de almacenamiento concreto (400 m ³) | 1 | €28.867.976,67 | €28.867.976,67 |
| Tanque de almacenamiento PEAD (22 m ³) | 3 | €2.728.950,00 | €8.186.850,00 |
| Costo total de propuesta | | | €38.030.676,67 |

Anexo 28. Lista de materiales para implementar la propuesta 2.

| Descripción | Cantidad | Costo Unitario | Costo total |
|--|----------|----------------|----------------|
| Tubería PEAD 110 mm (4") SDR 13,6 | 248 | €125.296,00 | €31.073.408,00 |
| Válvula reguladora de presión 38 mm (1 1/2") | 1 | €196.900,00 | €196.900,00 |
| Válvula reguladora de presión 100 mm (4") | 8 | €433.810,00 | €3.470.480,00 |
| Válvula bola PVC 100 mm (4") | 11 | €21.315,00 | €234.465,00 |
| Válvula compuerta hierro 50 mm (2") | 3 | €33.650,00 | €100.950,00 |
| Válvula compuerta hierro 100 mm (4") | 8 | €143.660,00 | €1.149.280,00 |
| Válvula Aire 100 mm (4") | 4 | €12.900,00 | €51.600,00 |
| Tee reducida 100 x 13 mm (4"x 1/2") | 1 | €18.920,00 | €18.920,00 |
| Tee reducida 100 x 18 mm (4"x 3/4") | 1 | €18.920,00 | €18.920,00 |
| Tee reducida 100 x 25 mm (4"x 1") | 11 | €18.920,00 | €208.120,00 |

| | | | |
|---|---|----------------|-----------------------|
| Tee reducida 100 x 50 mm (4"x 2") | 5 | €18.920,00 | €94.600,00 |
| Tee 100 mm (4") | 1 | €12.100,00 | €12.100,00 |
| Reducción 100 x 50 mm (4"x 2") | 1 | €6.510,00 | €6.510,00 |
| Reducción 50 x 25 mm (4"x 2") | 1 | €895,00 | €895,00 |
| Reducción 50 x 38 mm (2"x 1 1/2") | 2 | €895,00 | €1.790,00 |
| Tanque de almacenamiento concreto (400 m ³) | 1 | €28.867.976,67 | €28.867.976,67 |
| Tanque de almacenamiento PEAD (22 m ³) | 3 | €2.728.950,00 | €8.186.850,00 |
| Costo total de propuesta | | | €73.693.764,67 |

Anexo 29. Lista de materiales para implementar la propuesta 3.

| Descripción | Cantidad | Costo Unitario | Costo total |
|--|----------|----------------|----------------|
| Tubería PEAD 110 mm (4") SDR 13,6 | 155 | €125.296,00 | €19.420.880,00 |
| Tubería PEAD 160 mm (6") SDR 13,6 | 306 | €216.447,00 | €66.232.782,00 |
| Válvula reguladora de presión 38 mm (1 1/2") | 1 | €196.900,00 | €196.900,00 |
| Válvula reguladora de presión 150 mm (6") | 8 | €834.860,00 | €6.678.880,00 |
| Válvula bola PVC 100 mm (4") | 11 | €21.315,00 | €234.465,00 |
| Válvula bola PVC 160 mm (4") | 11 | €40.160,00 | €441.760,00 |
| Válvula compuerta hierro 50 mm (2") | 3 | €33.650,00 | €100.950,00 |
| Válvula compuerta hierro 100 mm (4") | 2 | €143.660,00 | €287.320,00 |
| Válvula compuerta hierro 150 mm (6") | 9 | €168.240,00 | €1.514.160,00 |
| Válvula Aire 100 mm (4") | 6 | €12.900,00 | €77.400,00 |
| Tee reducida 100 x 13 mm (4"x 1/2") | 2 | €18.920,00 | €37.840,00 |
| Tee reducida 100 x 25 mm (4"x 1") | 4 | €18.920,00 | €75.680,00 |
| Silleta PVC 150 x 13 mm (6"x 1/2") | 1 | €30.750,00 | €30.750,00 |

| | | | |
|--|----|----------------|------------------------|
| Silleta PVC 150 x 18 mm (6"x 3/4") | 1 | €38,01 | €38,01 |
| Tee reducida 150 x 50 mm (6"x 2") | 15 | €88.100,00 | €1.321.500,00 |
| Tee reducida 150 x 100 mm (6"x 4") | 2 | €88.100,00 | €176.200,00 |
| Tee 150 mm (6") | 1 | €74.970,00 | €74.970,00 |
| Reducción 50 x 25 mm (4"x 2") | 13 | €895,00 | €11.635,00 |
| Reducción 50 x 38 mm (2"x 1 1/2") | 1 | €895,00 | €895,00 |
| Reducción 100 x 50 mm (4"x 2") | 1 | €6.510,00 | €6.510,00 |
| Reducción 150 x 100 mm (6"x 4") | 2 | €22.260,00 | €44.520,00 |
| Tapón PVC 100mm (4") | 2 | €4.275,00 | €8.550,00 |
| Tanque de almacenamiento concreto (400 m ³) | 1 | €28.867.976,67 | €28.867.976,67 |
| Tanque de almacenamiento PEAD (22 m ³) | 3 | €2.728.950,00 | €8.186.850,00 |
| Costo total de propuesta | | | €134.029.411,67 |

Anexo 30. Caracterización del proyecto para matriz de evaluación de riesgos.

| Etapa | Fase | Acción susceptible a producir impacto (ASPI) | Aspectos Ambientales | Descripción del impacto |
|--------------|---------------------------------------|---|--|---|
| Planeación | Evaluación y planteamiento de mejoras | Contratación de servicios profesionales | Ocupación | Incrementa la generación de empleo en la zona |
| | | Diseño de propuestas y cálculos materiales | Consumo de materiales | Aumenta la generación de desechos y residuos al ambiente. |
| Construcción | Reemplazo e instalación de tuberías | Elaboración de zanjas | Ruido de maquinaria | Produce contaminación sónica y polvo en los alrededores de la zona. |
| | | Transporte de desechos | Consumo de combustible | Incrementa los gases contaminantes en la atmosfera |
| | | Contratación de mano de obra | Ocupación | Incrementa la generación de empleo en la zona |
| | Construcción de tanque almacenamiento | Compactación | Alteración de la estructura del suelo | Altera las propiedades físicas del suelo. |
| | | Transporte de materiales | Emisión de gases | Incrementa los gases contaminantes en la atmosfera |
| | | Obras grises | Alteración de la estructura del suelo | Altera las propiedades físicas del suelo. |
| | | Contratación de mano de obra | Ocupación | Incrementa la generación de empleo en la zona |
| Operación | Desinfección | Exceso o falta de concentración en la cloración | Peligro de intoxicación | Contaminación del agua por la falta o aumento de cloro |
| | Mantenimiento general | Lavado de tanques y tuberías | Consumo de agua | Mejor calidad del recurso hídrico |
| | | Uso de vehículos para el transporte de herramientas | Aumento flujo vehicular y consumo de combustible | Incrementa los gases contaminantes en la atmosfera y ruido. |
| | | Reemplazo de tuberías | Residuos no aprovechables | Incrementa los gases de efecto invernadero en la atmósfera |

Anexo 31. Matriz de evaluación ambiental (método Arboleda).

| Etapa | Fase | Aspectos Ambientales | Factor ambiental (Físico, Biótico, Socioeconómico) | C | P | D | E | M | Ca | Calificación de impacto ambiental | | Impacto ambiental |
|-----------------------|---------------------------------------|--|--|----|-----|-----|-----|-----|-------|-----------------------------------|--------|-------------------|
| | | | | | | | | | | + | - | |
| Planeación | Evaluación y planteamiento de mejoras | Ocupación | Socioeconómico | 1 | 1 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | 4,22 | 4,22 | 0 | Moderado |
| | | Consumo de materiales | Físico | -1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | -0,29 | 0 | -0,29 | Irrelevante |
| Construcción | Reemplazo e instalación de tuberías | Ruido de maquinaria | Físico | -1 | 0,7 | 0,3 | 1 | 0,7 | -4,06 | 0 | -4,06 | Moderado |
| | | Consumo de combustible | Físico | -1 | 1 | 0,3 | 0,1 | 0,5 | -1,25 | 0 | -1,25 | Irrelevante |
| | | Ocupación | Socioeconómico | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 0,7 | 6,4 | 6,4 | 0 | Significativo |
| | Construcción de tanque almacenamiento | Alteración de la estructura del suelo | Físico | -1 | 0,6 | 1 | 0,5 | 0,4 | -2,64 | 0 | -2,64 | Moderado |
| | | Emisión de gases | Físico | -1 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | -0,65 | 0 | -0,65 | Irrelevante |
| | | Alteración de la estructura del suelo | Físico | -1 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,4 | -3,96 | 0 | -3,96 | Moderado |
| | | Ocupación | Socioeconómico | 1 | 1 | 0,1 | 1 | 0,7 | 5,2 | 5,2 | 0 | Significativo |
| Operación | Desinfección | Peligro de intoxicación | Biótico | -1 | 0,3 | 0,1 | 1 | 1 | -2,19 | 0 | -2,19 | Irrelevante |
| | Mantenimiento general | Consumo de agua | Biótico | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 | 0 | Muy significativo |
| | | Aumento flujo vehicular y consumo de combustible | Físico | -1 | 1 | 1 | 0,4 | 0,4 | -4,12 | 0 | -4,12 | Moderado |
| | | Residuos no aprovechables | Físico | -1 | 0,8 | 1 | 0,4 | 0,2 | -2,84 | 0 | -2,85 | Moderado |
| TOTAL ABSOLUTO | | | | | | | | | | 25,8 | -22,00 | |
| IMPACTO NETO | | | | | | | | | | 3,812 | | |