



Universidad Latina de Costa Rica
Facultad de Ingeniería y Tic's
Escuela de Ingeniería Civil

**Propuesta de trabajo final de graduación para optar por el grado
académico de Licenciado en Ingeniería Civil**

**Propuesta para el mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la
ASADA de Labrador**

Elaborada por
Andrés Chacón Ramírez
20180111249

Tutor
Allan Umaña

San Pedro, Montes de Oca
03/01/2023



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Propuesta para el mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la ASADA de Labrador, por el (la) estudiante: Andrés Chacón Ramírez, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

**ALLAN
ALFONSO
UMAÑA ORTIZ
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por
ALLAN ALFONSO UMAÑA
ORTIZ (FIRMA)
Ubicación: San José, Costa
Rica
Fecha: 2023.01.06 13:58:49
-06'00'

Allan Alfonso Umaña Ortiz
Tutor

**ERICK GUSTAVO
CRUZ PADILLA
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por ERICK GUSTAVO
CRUZ PADILLA (FIRMA)
Fecha: 2023.01.03
18:50:53 -06'00'

Erick Gustavo Cruz Padilla
Lector

**JOSE JOAQUIN
RODRIGUEZ
RODRIGUEZ
(FIRMA)**

Firmado
digitalmente por
JOSE JOAQUIN
RODRIGUEZ
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2023.01.05
14:53:53 -06'00'

Jose Joaquín Rodríguez
Representante

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

Puntarenas, 30 de diciembre de 2022

Señores

Universidad Latina de Costa Rica

Estimada señores:

Por este medio, yo, Alejandro José Mena Monge, mayor, soltero, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 313, vecino de Buenos Aires de Puntarenas, portador de la cédula de identidad número 1-1540-0005, hago constar:

1. Que he revisado el Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil titulado " **Propuesta para el mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la ASADA de Labrador** "
2. Que el Proyecto de Graduación es sustentado por el estudiante Andrés Chacón Ramírez, cédula 1-1768-0517.
3. Que se le han hecho las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical, coherencia, formato APA y otras del campo filológico.
4. Que se han hecho las observaciones pertinentes y que cualquier cambio posterior a esta revisión queda bajo la responsabilidad del sustentante.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Latina de Costa Rica, se suscribe atentamente,



Alejandro José Mena Monge
Bach. en Filología Española
Céd. 1-1540-0005
Carné No. 313
Filólogo

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Andrés Chacón Ramírez estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

Propuesta para el mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la ASADA de Labrador

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Alajuela, 03/01/2023

Acharon _____

Andrés Chacón Ramírez

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico) Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Andrés Chacón Ramírez
De la Carrera / Programa:	Licenciatura en Ingeniería Civil
Modalidad de TFG:	Proyecto
Titulado:	Propuesta para el mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la ASADA de Labrador

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “AUTOR”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “OBRA”). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “UNIVERSIDAD”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la

UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES** **de** **de** **a las** **REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día**

Firma del estudiante(s):

Adaron

Agradecimiento

Primeramente, le agradezco a Dios, por permitirme llegar hasta aquí y por darme la fuerza y sabiduría necesarias para enfrentar esta etapa tan importante en mi vida.

A mí papá, por ser mi modelo a seguir, por todo el apoyo que me dio estos años y por toda la sabiduría que me ha transmitido a lo largo de esta etapa.

A mi mamá, por el apoyo incondicional que me dio durante estos años y a lo largo de mi vida; le agradezco montones por siempre estar pendiente de mí.

Al ingeniero Allan Umaña Ortiz, por su dedicación y disposición, lo cual fue de muchísima ayuda para así terminar con éxito este proyecto.

A la Junta Administradora de la ASADA de Labrador y a todos sus funcionarios, por brindarme su apoyo.

Resumen

El presente proyecto de graduación se centró en plantear una optimización del sistema de agua potable de la ASADA de Labrador. Dicha Asada está localizada en la provincia de Alajuela, cantón de San Mateo, distrito de Labrador. La comunidad se encuentra -aproximadamente- a 72 km de la capital del país. Además, la ASADA cuenta con 800 usuarios, los cuales -en promedio- tienen 4 hijos, es decir que los hogares son de 6 personas o más, sumando una población aproximada de 3.200 personas, a las cuales la ASADA les brinda el servicio de agua potable.

Cabe destacar que la ASADA de Labrador comenzó a dar sus servicios en el año 2003, en conjunto con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). De esta manera, en Costa Rica, las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAS), mediante convenios con Acueductos y Alcantarillados (AyA), proporcionan servicios de agua potable a un aproximado del 28,7% de la población del país, por lo que cumplen gran importancia en el desarrollo del país.

Por lo anterior, se propone la modelación del sistema de abastecimiento de agua potable a partir del *software* EPANET, para poder brindar un mejoramiento al sistema actual de la ASADA y así garantizar el agua potable para los futuros años, ante el crecimiento actual de la zona.

Tabla de contenido

.....	4
Agradecimiento	7
Resumen	8
Tabla de contenido.....	9
Índice de tablas	14
Índice de figuras	15
Capítulo I.....	17
1.1. Antecedentes.....	18
1.1.1. Antecedentes nacionales.....	18
1.1.2. Antecedentes internacionales	18
1.2. Planteamiento del problema	19
1.2.1. Problema.....	19
1.3 Objetivos del proyecto.....	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4 Justificación.....	20
1.4.1. Delimitación espacial	21
1.4.2 Delimitación temporal	21
1.5 Alcances.....	22
1.6 Limitaciones	22
1.7 Impacto	22
Capítulo II.....	24
2.1 Fundamentación teórica.....	25
2.1.1 Ciclo hidrológico	25
2.1.2 Importancia de la porosidad	29

2.1.3 Escorrentía.....	30
2.1.4 Importancia del agua y su historia.....	31
2.1.5 Tipos de tratamientos para el agua potable	32
2.1.6 Elementos en un acueducto	34
2.1.7 Fuente de captación	34
2.1.8 Captación.....	34
2.1.9 Línea de conducción.....	34
2.1.10 Planta de potabilización.....	35
2.1.11 Almacenamiento del agua	35
2.1.12 Red de distribución.....	35
2.1.13 Periodos de diseño utilizados en Costa Rica	36
2.1.14 Dotaciones	37
2.1.15 Factores de demanda máxima.....	37
2.1.16 Diseño de redes.....	38
2.1.17 Condición para caudal máximo horario.....	38
2.1.18 Condiciones para un tanque de almacenamiento:.....	38
2.1.19 Velocidad del agua en los acueductos	39
2.1.20 Presiones dentro del acueducto.....	39
2.1.21 Dimensionamiento de tuberías agua potable	39
2.1.22 Presión en las tuberías	40
2.1.23 Diámetro mínimo.....	41
2.1.24 Ubicación de las tuberías.....	41
2.1.25 Pruebas de presión.....	42
2.1.26 Color de las tuberías	42
2.1.27 Medidores de caudal.....	42
2.1.28 Hidrómetros	43
2.1.29 Cálculo del caudal promedio diario.....	43

2.1.30 Cálculo del caudal máximo diario	43
2.1.31 Cálculo del caudal máximo horario	43
2.1.32 Cálculo del caudal mínimo horario	44
2.1.33 Método aritmético de crecimiento	44
2.1.34 Método de crecimiento geométrico	45
2.1.35 Método de crecimiento exponencial	45
2.1.36 ASADAS	46
2.1.37 Cálculo de pérdidas de presión	46
2.1.38 Ecuación de Hazen-Williams	47
2.1.39 Ecuación de conservación de energía	48
2.1.40 Flujo de presión	48
2.1.41 EPANET 2.2	48
Capítulo III	50
3.1. Marco metodológico	51
3.1.1 Paradigma	51
3.1.2 Procedimiento a utilizar	51
3.1.3 Procedimiento metodológico	52
3.1.4 Población y muestra	52
3.1.5 Cronograma	52
CAPÍTULO IV	55
4.1 Situación actual de la ASADA	56
4.2 Visitas de campo	56
4.3 Fuentes de abastecimiento	57
4.3.1 Pozo Las Tres Nazarenas	57
4.3.2 Pozo Enrique Alfaro	58
4.3.3 Pozo Camilo #1	58
4.3.4 Pozo Camilo #2	59

4.3.5 Pozo Olga	60
4.3.6 Pozo Praderas del Pacífico	61
4.4 Tanques de almacenamientos	62
4.4.1 Tanque Las Tres Nazarenas.....	62
4.4.2 Tanque principal	63
4.4.3 Tanque elevado de metal	64
4.4.4 Tanque Praderas del Pacífico	65
4.5 Casetas de cloración	66
Capítulo V.....	68
5.1 Balance hídrico	69
5.2 Análisis de población.....	69
5.3 Dotación de agua en el sistema.....	69
5.4 Población del acueducto	70
5.4.1 Cálculo del crecimiento poblacional	72
5.5 Aforos de la producción de agua	73
5.5.1 Caudales.....	74
5.6 Proyecciones	74
5.7 Modelación	76
5.7.1 Construcción de la infraestructura del modelo	77
5.7.2 Asignación de las elevaciones	85
5.7.3 Asignación de la demanda	86
5.7.4 Calibración del modelo.....	87
5.7.5 Resultados del modelo y características de las tuberías	89
5.7.6 Características de los nodos.....	90
5.7.7 Presiones.....	91
5.7.8 Demandas	93
Capítulo VI.....	95

6.1 Conclusiones.....	96
6.2 Recomendaciones	97
Referencias bibliográficas	98
Anexos.....	100
Glosario	101

Índice de tablas

Tabla 1 Coeficientes máximos.....	40
Tabla 2 Dotación.....	69
Tabla 3 Dotación según medición	70
Tabla 4 Cálculo de servicios equivalentes, según tipo de actividad a desarrollar	71
Tabla 5 Servicios equivalentes	72
Tabla 6 Población de diseño	72
Tabla 7 Crecimiento de la población	73
Tabla 8 Fuentes de abastecimiento	74
Tabla 9 Caudales en los próximos años.....	74
Tabla 10 Proyecciones.....	75
Tabla 11 Resumen de tuberías.....	89
Tabla 12 Características de los nodos.....	90

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación Labrador.....	21
Figura 2 Ciclo hidrológico.....	25
Figura 3 Porosidad en diferentes materiales.....	29
Figura 4 Escorrentía superficial.....	31
Figura 5 Distribución ASADA Labrador	56
Figura 6 Pozo Las Tres Nazarenas	57
Figura 7 Pozo Enrique Alfaro.....	58
Figura 8 Pozo Camilo #1	59
Figura 9 Pozo Camilo #2.....	60
Figura 10 Pozo Olga.....	61
Figura 11 Pozo Praderas del Pacífico	62
Figura 12 Tanque de almacenamiento de Las Tres Nazarenas	63
Figura 13 Tanque de almacenamiento principal	64
Figura 14 Tanque de almacenamiento Enrique Alfaro.....	65
Figura 15 Tanque de almacenamiento Praderas del Pacífico	66
Figura 16 Casetas de cloración tanque Enrique Alfaro y tanque principal	67
Figura 17 Interpretación del balance hídrico.....	75
Figura 18 Gráfico de proyecciones.....	76
Figura 19 Red del Sector #1	78
Figura 20 Red del Sector #1	79
Figura 21 Red del Sector #2	80
Figura 22 Red del Sector #2	81
Figura 23 Red del Sector #3	82
Figura 24 Red del Sector 3	83
Figura 25 Red del Sector #4	84
Figura 26 Red del Sector #4	85
Figura 27 Asignación de elevación Sector #1	86
Figura 28 Asignación de elevación Sector #1	87
Figura 29 Sector #1	88

Figura 30 Sector #1 tubería	90
Figura 31 Sector #1 demanda nodos	91
Figura 32 Sector #1 presión nodos	92
Figura 33 Sector #1 demanda línea de conducción	93
Figura 34 Sector #1 demanda línea de distribución	94

Capítulo I

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes nacionales

En Costa Rica, las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAS), mediante convenios con Acueductos y Alcantarillados (AyA), proporcionan servicios de agua potable a un aproximado del 28,7% de la población del país; esto se llega a dar -principalmente- en zonas fuera de la GAM, es decir, en regiones rurales del país. Cabe mencionar que el AyA elaboró un documento de autoevaluación, para que las ASADAS lo apliquen y obtengan calificaciones en diferentes áreas, con el fin de encontrar opciones de mejora (AyA, 2017).

Por otro lado, sobresale una investigación realizada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), donde se ofrece un panorama de cómo manejan y administran los recursos las 21 ASADAS en la provincia de Cartago. En este estudio, se determinó que las ASADAS más pequeñas -en la mayoría de los casos- son las que más deficiencias presentan, tanto en la parte administrativa, como en la administración de los recursos y el saneamiento del mismo, lo cual es preocupante, partiendo de que son las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico potable para muchas comunidades de la zona (Gaviria-Montoya et al., 2016).

1.1.2. Antecedentes internacionales

En una investigación realizada en Medellín, Colombia, se elaboró una propuesta de mejoramiento en los acueductos. En dicho trabajo, se evidenció la diferencia que hay en el acceso a los acueductos entre la población de zonas urbanas y rurales. También, se diseñó un manual para el correcto uso de plantas de potabilización del acueducto de San Isidro, ubicado en una localidad rural, así como en los tanques de almacenamiento, y se determinó las fechas en las que el agua llega más sedimentada (Urrea, 2020).

Por su parte, Camacho y Bello (2016) llevaron a cabo una investigación en Bogotá, Colombia, para valorar las condiciones de operación y mantenimiento del acueducto veredal Servimazata, donde se determinó que uno de los mayores problemas es que tienen faltantes de agua en ciertas épocas, por lo que se propuso utilizar el agua de otros ríos para lograr mejorar el caudal de agua que puede proveer el acueducto. También, se destacó la necesidad de un plan que permita preservar mejor el agua en la región.

1.2. Planteamiento del problema

El desarrollo del proyecto a realizar corresponde a la optimización del sistema de agua potable de la ASADA de Labrador. Dicha Asada está localizada en la provincia de Alajuela, cantón de San Mateo, distrito de Labrador; la comunidad se encuentra -aproximadamente- a 72 km de la capital del país.

Por su parte, la ASADA cuenta con 1200 usuarios, los cuales -en promedio- tienen 4 hijos; es decir, los hogares son de 6 personas o más, por lo tanto, la ASADA tiene una población aproximada de 7.200 personas a las que les brindan el servicio de agua potable. Cabe mencionar que la zona se encuentra en constante crecimiento, con múltiples construcciones y desarrollos, y la ASADA solo utiliza agua subterránea, extraída mediante pozos (6 en total).

Cabe mencionar que una ASADA (Asociación Administradora del Acueducto Comunal) está conformada por el acuerdo entre varios vecinos, los cuales se encargan de la construcción, administración, operación y mantenimiento de los sistemas de acueductos, así como de la conservación y aprovechamiento racional de las aguas necesarias para poder suministrar una fuente de agua potable a las poblaciones; por esta razón, las ASADAS aportan a las comunidades mejor calidad de vida, mayor índice de salud y desarrollo socioeconómico.

En cuanto a la historia de la ASADA de Labrador, esta comenzó a dar sus servicios en el año 2003, en conjunto con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Para finales del año 2021, la ASADA ya contaba con 18 años de funcionamiento en la zona y la alta demanda del servicio brindado, al igual que la solicitud de nuevos servicios, puede provocar un posible desabastecimiento a corto plazo, sumándole a esto las sequías en los últimos años, las cuales provocan una disminución en el caudal de las fuentes de abastecimiento. En el caso del agua subterránea, las sequías generan que las fuentes no puedan ser recargadas, así que el agua que sea explotada no será remplazada, generando la pérdida de caudal de los pozos.

1.2.1. Problema

¿Es posible mejorar la infraestructura del sistema actual de agua potable de la ASADA de Labrador?

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

Realizar un diagnóstico hidráulico del sistema actual de la ASADA, para la implementación de mejoras en un corto plazo o en 5 años.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la infraestructura actual de la ASADA de Labrador.
- Identificar los mayores problemas de la ASADA en un futuro cercano, ante las condiciones climáticas actuales.
- Analizar la capacidad hídrica de la ASADA en la actualidad.
- Elaborar una propuesta para la optimización los recursos actuales.
- Diseñar un modelo hidráulico óptimo para la ASADA de Labrador proyectado a los próximos 10 años.

1.4 Justificación

En Costa Rica, las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAS), mediante convenios con Acueductos y Alcantarillados (AyA), proporcionan servicios de agua potable a un aproximado del 28,7% de la población del país; por ende, la realización del trabajo puede llegar a ser de suma importancia para la zona por el impacto que tendría para ese número representativo de personas. La ASADA cuenta con 800 usuarios, los cuales -en promedio- tienen 4 hijos, es decir, los hogares son de 6 personas o más, así que la ASADA brinda el servicio de agua potable a una población aproximada de 3200 personas.

Durante los últimos años, se ha visto que el cambio climático ha impactado en la disminución de los caudales en los pozos que la ASADA utiliza para abastecer de agua potable a la población, provocando una inestabilidad y escasez del recurso hídrico. Como consecuencia de esto, la ASADA se ha visto obligada a la construcción de nuevos pozos, para poder abastecer a la población de la zona, y es que la Labrador de San Mateo se encuentra en una zona seca del país.

En la actualidad, el lugar se encuentra en un crecimiento demográfico considerable, en comparación con años anteriores, por lo que cada año se agregan

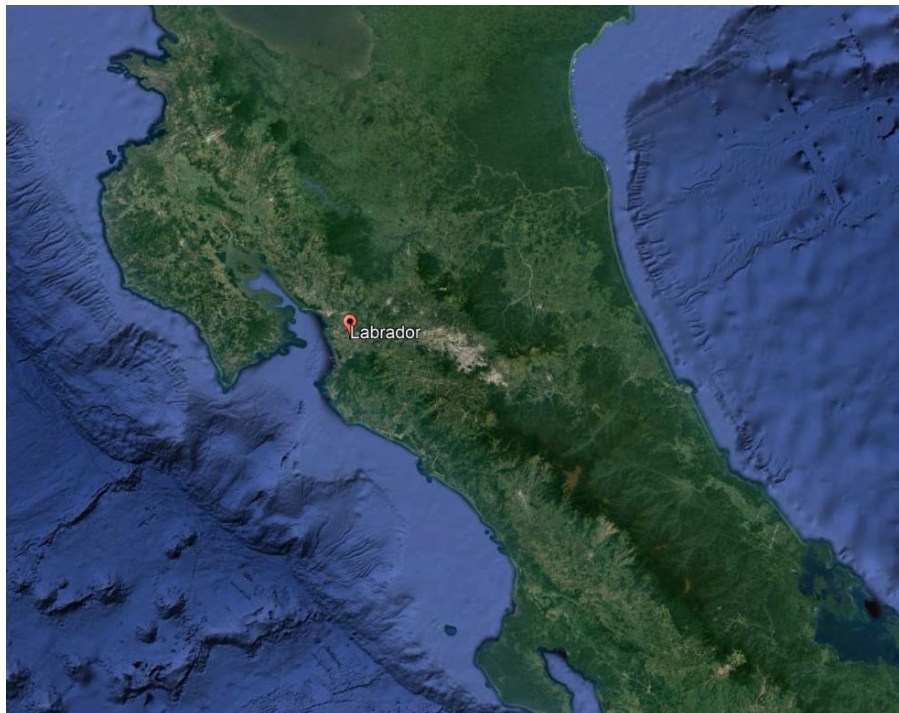
viviendas al sistema de la ASADA, generando que mayor cantidad de personas dependan de ella, de ahí la intención de esta investigación de crear una propuesta que permita un adecuado funcionamiento de la ASADA de Labrador, no solo para el presente, si no pensando en el futuro, ya que el aumento de la población y de las sequías se consolidan más, y como la ASADA utiliza agua subterránea, es preocupante, ya que estos acuíferos no se están recargando y son recursos finitos, por eso la necesidad de optimizar el uso de los recursos actuales.

1.4.1. Delimitación espacial

Esta propuesta abarca el distrito cuatro del cantón de San Mateo, donde se ubica la ASADA de Labrador, cuyas coordenadas geográficas son dadas por 9°56'21.3" latitud norte, 84°37'06.4" latitud oeste.

Figura 1

Ubicación Labrador



Nota: Tomado de *Google Maps*, 2022.

1.4.2 Delimitación temporal

La capacidad de suministro de agua potable se analizará durante un período de diseño de 10 años. La información registrada de los servicios, consumo y producción

estudiados es del año 2022. Según el Censo Nacional de 2011, la tasa de crecimiento de la población de la región de Labrador de San Mateo fue del 1,7 %.

1.5 Alcances

- Determinar la cantidad de personas que dependen de la asada de la zona y cómo se puede optimizar los recursos existentes.
- Mejorar el sistema de monitoreo de llenado del tanque principal de la ASADA.
- Determinar el crecimiento actual de la zona, para calcular la cantidad de agua requerida para los próximos 10 años.

1.6 Limitaciones

- No se propondrá el diseño de un tanque de almacenamiento.
- No se propondrá la construcción de otro pozo por limitantes económicas de la zona.
- No se cuenta con curvas de nivel y estudios topográficas.
- La ASADA no cuenta con un registro completo de los diámetros de las tuberías.

1.7 Impacto

El impacto que podría tener este proyecto de investigación sobre la comunidad de Labrador es la elaboración de un plan para el correcto uso del agua potable, así como mejorar y optimizar los recursos con los que la ASADA cuenta en estos momentos. Esto ayudaría al desarrollo de la comunidad en la parte social (al tener agua potable todos los habitantes) y económica (desde el desarrollo de la agricultura, ganadería y en la venta de propiedades en la zona).

Cabe mencionar que el agua es el recurso más importante en la vida del ser humano, tanto para las condiciones de vida como para el desarrollo de una región. Como se mencionó anteriormente, el proyecto consistió en determinar cómo optimizar los recursos actuales de la ASADA y en calcular la cantidad de población actual que depende del agua potable de la ASADA de Labrador, para llegar a determinar a cuánta población extra podrá suministrarle agua la ASADA, esto con base en el crecimiento actual de la zona.

Finalmente, el proyecto puede llegar a ser favorable para la región, al conseguir un plan de mejoramiento del sistema actual, sin involucrar grandes gastos asociados.

Capítulo II

2.1 Fundamentación teórica

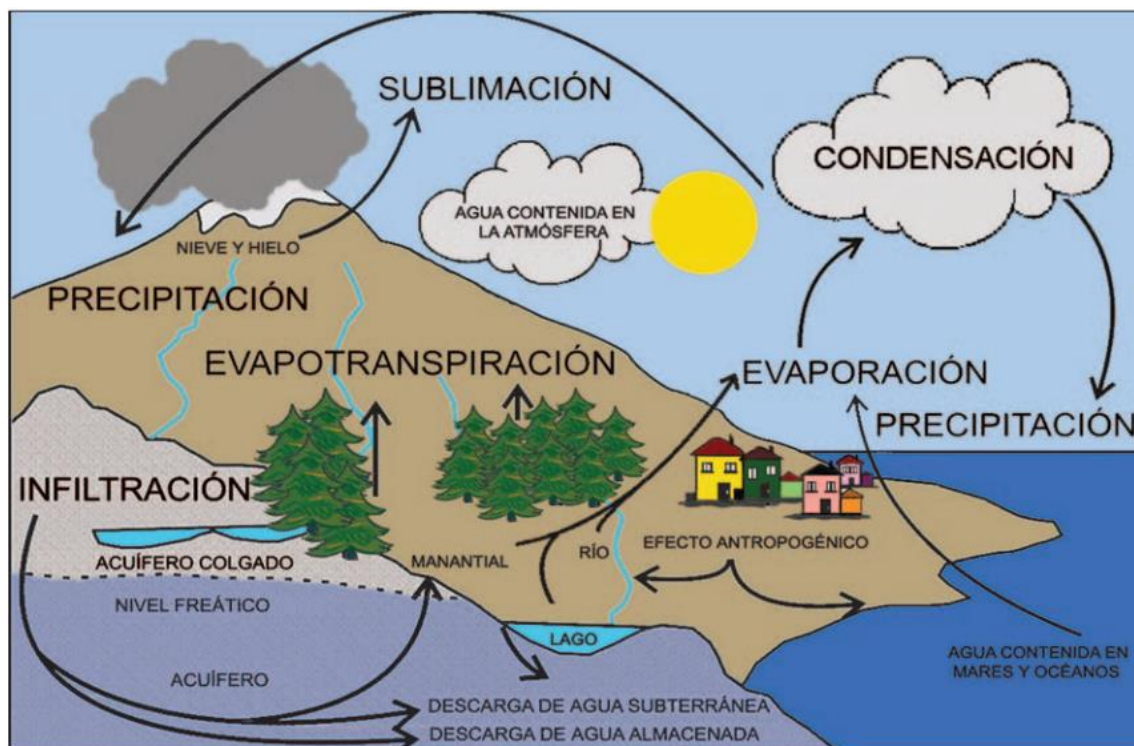
El presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo, el cual pretende diseñar un modelo hidráulico para el óptimo abastecimiento de agua potable de la ASADA Labrador de San Mateo.

2.1.1 Ciclo hidrológico

De acuerdo con De Miguel (2009) el ciclo hidrológico “supone un movimiento o transferencia de masas de agua de forma continua como consecuencia de un flujo energético” p.78-85, tal y como se observa en la Figura 1.

Figura 2

Ciclo hidrológico



Nota: Recuperada de De Miguel et al. (2009), en “El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión”, pp. 78-85.

Por su parte, De Miguel et al. (2009) afirma que

El ciclo hidrológico se trata de un conjunto de movimientos simultáneos interrelacionados. El proceso suele pasar de la siguiente manera el calor generado

por el sol aporta la energía suficiente para separar los enlaces químicos que mantienen unidas a las moléculas de agua o H₂O. (p.78)

El proceso descrito anteriormente, donde el agua pasa de estado líquido a gaseoso (vapor de agua), se conoce como evaporación. De Miguel et al. (2009) agregan que, cuando se lleva un 100 % de humedad relativa en el ambiente, comienza el proceso en el cual el vapor de agua se llega a convertir en nubes, lo cual provoca las precipitaciones en forma de agua. A su vez, las nubes deben de contar con determinadas condiciones, entre ellas: la presión y la temperatura. Cabe mencionar que la precipitación también puede ocurrir a partir de la nieve y esto puede llegar a formarse y acumularse en glaciares.

Ahora bien, el primer proceso del ciclo hidrológico es la evaporación del agua, un proceso físico en el cual el agua pasa de estado líquido a gaseoso. Dicho proceso debe de ocurrir sobre la superficie del agua y a una temperatura necesaria para lograr su evaporación, hasta que el espacio llega a saturarse de gas o vapor de agua. Valdivielso (2017) afirma que

El proceso de evaporación del agua va a depender de varios factores, entre ellos que la superficie del agua este expuesta y que el porcentaje de vapor de agua que se encuentre entre los alrededores. Al producirse la evaporación del agua los enlaces químicos que mantienen a las moléculas de agua o H₂O unidas, se rompen y estas moléculas generan energía y provocan que el agua debajo se enfríe. (p.1)

Por su parte, la condensación del agua es el segundo proceso del ciclo hidrológico, y corresponde a un proceso en donde el agua pasa de un estado gaseoso a líquido (como se observa en un vaso con agua fría que genera agua alrededor), esto sucede cuando la presión del vapor de agua llega a superar la presión que es ejercida por el vapor de la saturación del ambiente. Existen dos tipos de condensación:

- Las nubes: Se producen en condiciones inestables. Las nubes son la principal forma de condensación que produce la precipitación en el ciclo hidrológico. La lluvia o la nieve es la forma principal en que el agua regresa a la superficie de la Tierra. Las partículas de agua se combinan con diminutas partículas de polvo, sal y humo para formar gotas de nubes, que crecen y forman nubes. Por lo tanto, se menciona que nunca se obtiene H₂O pura. (Valdivielso, 2017)
- La niebla: se generan en zonas estables y donde no encuentra turbulencia. La niebla se puede llegar a formar en tres maneras diferentes:

1. La advección: que sería el enfriamiento de las capas más superficiales del aire de la zona.
2. La radiación: sucede cuando el aire frío tiene contacto con la superficie del planeta.
3. Por motivos industriales: esto sucede cuando el agua o H₂O se combinan con partículas de suciedad o de origen industrial o de fábricas. (Valdivielso, 2017)

Hay que destacar que el vapor de agua en el aire puede condensarse y formar nubes, que es el primer paso en la formación de precipitaciones. Esto se llama precipitación atmosférica (precipitación que cae directamente sobre la superficie de la Tierra). Hay tres tipos de precipitación que se pueden formar: lluvia, nieve y granizo. Cada tipo de precipitación resulta de diferentes niveles de humedad en el ambiente o diferentes cantidades de precipitación atmosférica.

- Primeramente, la precipitación convectiva: se llegan a conformar en condiciones de inestabilidad atmosférica, cuando llega haber aire caliente y el aire húmedo asciende por convección este a llegar a enfriarse, se llegan a formar nubes de tipo vertical o cumulonimbos que pueden llegar a producir precipitaciones tormentosas.
- La precipitación orográfica: se llega a generar una masa de aire húmedo que se desplaza encontrando en su camino un relieve importante, como son las montañas. La masa de aire pasa sobre él, enfriándose a medida que este aumenta la altura, hasta alcanzar su punto de rocío, momento en el que se condensa y producen precipitaciones.
- Las precipitaciones frontales: son comunes en las zonas templadas y se llegan a formar cuando un frente o zona de contacto entre ambas masas de aire con temperaturas y humedades distintas, esto sin que las masas se lleguen a mezclar entre ellas, lo cual provoca que se puedan generar tres tipos de frentes:
 1. Frente frío: es cuando la masa de aire frío se moviliza y encuentra durante su camino una masa de aire caliente esta se coloca por debajo y obliga a la masa de aire caliente a ascender. La masa de aire se condensa llegando a formar nubes de tipo cumulonimbos y precipitaciones tormentosas.
 2. Frente cálido: sucede cuando una masa de aire frío es obligado a ascender por la masa de aire caliente este tipo de frente cálido llega a producir nubes

de desarrollo horizontal, ocasionando lluvias persistentes o constantes en la región afectada.

3. Frente ocluido: este se llega a formar cuando hay frente cálido móvil más lento y este es seguido por un frente frío con desplazamiento rápido. Debido a las irregularidades en la superficie de la zona afectada y al constante rozamiento entre las masas estas tienden a curvarse y pueden formar ondulaciones donde el aire frío se mueve hacia al sur mientras que el aire caliente se mueve en dirección norte. (Zarza, 2018, p.1)

La sublimación, por su parte, es un proceso que ocurre cuando una sustancia o material se encuentra en estado sólido y pasa al estado gaseoso, sin necesidad de pasar por la fase líquida, lo cual sucede -normalmente- en las partes altas de las montañas. No es un proceso común en el ciclo del agua.

En el caso de la evapotranspiración, a esta, se le conoce por sus siglas “ET”, y responde a la combinación de dos factores:

- a) La evaporación sucede desde una superficie terrestre que está cubierta con vegetación.
- b) La transpiración sucede desde las hojas de las plantas.

De esta manera, calcular la evapotranspiración sirve para conocer la cantidad de agua necesaria para que las plantas se desarrollen correctamente y es utilizada principalmente por los agricultores, ya sea en jardines o principalmente en campos. Mediante el estudio de la evapotranspiración, se puede diseñar todo lo relacionado con el riego, los horarios de riego, la cantidad de agua a aportar a un determinado cultivo, el diseño y selección del mejor sistema de riego, y el cálculo de las tuberías de agua requeridas con la mayor precisión como sea posible.

Una gran parte de las precipitaciones fluye mediante los ríos hasta llegar a los océanos; otra parte se infiltra en el terreno y el resto se evapora en zonas urbanizadas, donde el agua es canalizada por medio de alcantarillas y llevada hasta el río más cercano, evitando que se dé la infiltración (De Miguel et al., 2009).

Cabe mencionar que el agua superficial -en muchas ocasiones- es de suma importancia para el caudal de los ríos, de los cuales dependen las civilizaciones para la explotación de agua potable, así como para la construcción de represas para la generación de electricidad, como ocurre en Costa Rica, donde la mayor cantidad de electricidad es producida de esta forma.

2.1.2 Importancia de la porosidad

De acuerdo con De Miguel (2009) “La porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total” (p.81). Además, solo una pequeña fracción de la porosidad total del suelo permite la circulación del agua. A esa parte de la porosidad total que tiene un suelo, roca o sedimento, se le llama porosidad efectiva, la cual está relacionada con el volumen de agua que se puede extraer del suelo, también llamada agua de gravedad, y analiza el volumen total del suelo.

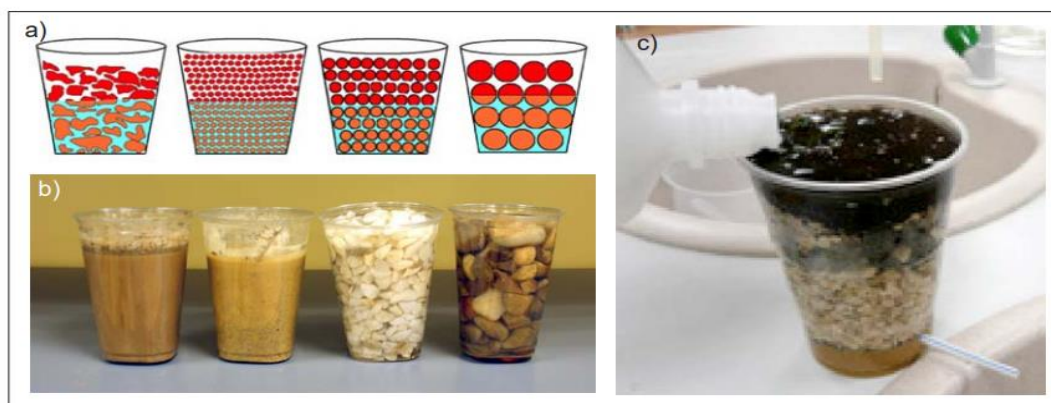
Aunado a lo anterior, De Miguel et al. (2009) afirman lo siguiente:

Vale la pena mencionar que la forma, el tamaño y el tipo de partículas pueden afectar en gran medida la porosidad y, por lo tanto, la porosidad efectiva del acuífero. En sedimentos homogéneos, tiene menos partículas pequeñas y más partículas grandes. Cuanto más homogéneo es el material, mayor es la porosidad total y efectiva. Si el material tiene piezas más pequeñas, algunos de los poros estarían ocupados por esas piezas. (p. 81)

Al hablar de la mecánica de suelos, es necesario saber cuáles son aquellos con mayor porosidad y cuáles no, esto porque, en el ámbito de la ingeniería civil, toma gran importancia en el diseño de drenajes y construcciones en áreas verdes, así como el correcto manejo de las aguas. Un ejemplo de la porosidad en diferentes materiales se puede observar en la Figura 3.

Figura 3

Porosidad en diferentes materiales



Nota: Recuperada de De Miguel et al. (2009), en “El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión”, pp. 78-85.

2.1.3 Escorrentía

La escorrentía es considerada como uno de los procesos comunes del ciclo hidrológico. Hace referencia al movimiento del agua que proviene del deshielo, como de la lluvia, que circula por la superficie, una vez el suelo se satura. La escorrentía tiene diferentes tipos: la superficial, hipodérmica y subterránea. Cabe mencionar que la escorrentía es de los procesos básicos que se incluyen en el proceso hidrológico y muchas veces no es mencionado o se le da menos importancia que a la evotranspiración, precipitación, infiltración y percolación.

Cuando la lluvia cae sobre una superficie más rápido de lo que el suelo puede absorber el agua, el agua adicional se infiltra en el suelo. Este proceso se conoce como flujo superficial y ocurre a menudo en áreas áridas, donde la precipitación es mayor. (Fundación Aquae, 2022).

Por otro lado, la escorrentía puede tener un efecto dramático en la capacidad del suelo para ser cultivado. No solo puede reducir la fertilidad del suelo, sino que también puede disminuir el rendimiento de los cultivos en las áreas afectadas por la lluvia o el agua de riego. Cuando la escorrentía del agua impacta en la tierra, el suelo puede romperse en pedazos más pequeños y ser arrastrado nuevamente por la escorrentía, terminando en áreas con poca pendiente o cerca de ríos y arroyos (Fundación Aquae, 2022).

2.1.3.1 Escorrentía superficial

De acuerdo con De Miguel et al. (2009):

La escorrentía superficial se puede definir como el agua que circula por la superficie del suelo. Proviene de la lluvia, del deshielo de nieve y glaciares. Es agua que corre por los ríos y arroyos. Este tipo de escorrentía es la más fácil de ver, pero sólo supone el 0,0001% del total del agua del planeta. (p.)

De esta manera, se puede decir que la escorrentía superficial es agua que recorre una superficie saturada o sin vegetación, cada vez más común debido a la excesiva construcción y por la constante deforestación. Un suelo deforestado sufre este problema, ya que el terreno se compacta y no permite que el agua ingrese. En la Figura 3, se puede observar la escorrentía superficial en un suelo saturado.

Figura 4

Escorrentía superficial



Nota: Recuperada de kARHU (2006), en <https://bit.ly/3jH8vT0>

2.1.3.2 Escorrentía hipodérmica

Este tipo de escorrentía ocurre cuando una parte de la precipitación se infiltra por el suelo, llegando el agua a circular por el subsuelo, lo cual tiende a suceder a poca profundidad del suelo y solo por una pequeña distancia; posteriormente, el agua sale y pasa a ser una escorrentía superficial. Cabe mencionar que este tipo de escorrentía nunca llega a ser escorrentía subterránea.

2.1.3.3 Escorrentía Subterránea

En este tipo de escorrentía, el agua llega a infiltrarse por el suelo hasta alcanzar el nivel freático. Hay varios factores que pueden influir en este tipo de escorrentía, como lo son la humedad del suelo y la intensidad de la precipitación. Este tipo de escorrentía es de suma importancia, ya que alimenta -en parte- a los acuíferos subterráneos que son parte primordial de los sistemas de agua potable del mundo.

2.1.4 Importancia del agua y su historia

De acuerdo con Rodríguez (2007):

El agua en estado líquido no es común en universo. Los elementos químicos que generan el agua son el hidrogeno y oxígeno, hay gran abundancia en el universo y las diferentes fases del agua también son comunes entre ellas, el hielo, vapor de

agua y el agua líquida, pero para que el agua este presente se debe de contar con las condiciones correctas de temperatura y presión. (Rodríguez, 2007)

El H₂O está compuesto por un enlace de hidrógeno, que lleva dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. Estos elementos tienden a atraerse enlazando el extremo positivo de una molécula con el negativo de la otra. Las moléculas de agua forman "enlaces-hidrógeno" entre sí y lo hacen con otras moléculas polares, como ácidos, sales, azúcares, proteínas y el ADN. (Rodríguez, 2007).

No está de más decir que el ser humano depende del agua para vivir, ya que la composición de su cuerpo es de aproximadamente 65 % a un 70 % y se requiere mantener este nivel para el correcto funcionamiento de las actividades metabólicas, la circulación de oxígeno y hasta la evacuación de residuos.

2.1.5 Tipos de tratamientos para el agua potable

El primer tipo de tratamiento para el agua potable es la cloración tipo *Breakpoint*, la cual corresponde a la adición de cloro en el punto inicial, con varias funciones, como la desinfección y la oxidación. Con las propiedades mencionadas, se procede a la eliminación de varios elementos, como el hierro, manganeso, sulfuros, amoníaco, entre otros. También, se llegan a reducir los sabores que trae el agua antes de pasar por el proceso de cloración.

Por su parte, una de las funciones más importantes es la reducción del crecimiento de algas y otros microorganismos presentes en el agua, lo cual es de suma importancia en la parte del almacenamiento, de manera que “Para conseguir esto se debe de añadir cloro hasta llegar a conseguir el cloro residual libre en el agua que es el Breakpoint, normalmente se busca 0.5 ppm de cloro libre” (Romero, 2008, p. 6), tomando en cuenta que el cloro se puede adicionar líquido, como solución de hipoclorito de sodio o mediante tabletas de hipoclorito de calcio.

Otro tipo de tratamiento es la coagulación-floculación, el cual remueve las impurezas que se encuentran en el agua superficial, que son materia que se encuentra en suspensión y en estado coloidal. Entre las especies coloidales, se incluyen la arcilla, sílice, hierro, otros metales y sólidos orgánicos. Gran parte de la eliminación de estos materiales se realiza mediante la sedimentación, utilizando un concepto fácil que es la gravedad, pero algunas de estas impurezas son muy pequeñas para obtener un proceso de

eliminación eficiente, de ahí que se recurra a la clarificación, para reducir la concentración de los materiales suspendidos en el agua (Romero, 2008). Este tipo de tratamiento es comúnmente utilizado en las piscinas, para facilitar la extracción del material.

A su vez, Romero (2008) se refiere a otro proceso: la decantación, y afirma que “en este proceso, puede verse como la separación de líquidos de sólidos o líquidos de mayor densidad mediante la transferencia de la capa superior después de que se haya sedimentado el material más pesado” (p. 7).

Por otro lado, sobresale el tratamiento de filtración, que consiste en que una vez decantada el agua para completar el proceso de clarificación, pasa por una etapa de filtración que implica hacer pasar el agua, aún con materia en suspensión, por un medio filtrante que deja pasar líquidos, pero no sólidos, sino partículas sólidas que quedan retenidas en el medio filtrante; de esta forma, las partículas que no se sedimenten en el decantador y permanecerán en el filtro. El medio filtrante más utilizado es la arena, apoyada sobre un lecho de grava (Romero, 2008).

Sumado a lo anterior, destaca el tratamiento con carbón activado, el cual, una vez clarificada el agua, se adsorbe con carbón activado, lo que reducirá la materia orgánica, el color, el olor y el sabor a través de la separación, ya que quedan en la superficie del adsorbente. El adsorbente utilizado es carbón activado en forma granular, que se coloca en una columna de tratamiento para formar un lecho fijo por donde pasa el agua. La razón de utilizar carbón activado mayormente es porque permite eliminar el cloro libre del agua, pero también funciona para manejar el sabor, el olor, el crecimiento biológico, etc. (Romero, 2008).

En adición, cabe referirse a la desinfección, que es la etapa final del proceso de tratamiento del agua potable. En algunos casos, en fábricas muy sencillas, esta es la única etapa del proceso y puede llevarse a cabo como tratamiento físico, tratamiento químico y radiación (Romero, 2008). En el caso del tratamiento físico, es el menos utilizado; el calor se puede incluir en este tipo de tratamiento, pero, además de ser costoso, puede dejar un sabor desagradable en la boca, porque elimina el oxígeno disuelto y las sales del agua. Otro proceso utilizado es permitir que la concentración de bacterias fecales disminuya a medida que el agua se deja en un ambiente hostil, y, en el caso de la radiación, se suele utilizar UV, los rayos X y los rayos gamma, siendo la primera la más utilizada, debido a su costo, pero no es tan eficaz.

2.1.6 Elementos en un acueducto

Los elementos del acueducto incluyen el proceso de gestión del agua. Estos serán mencionados y explicados más adelante. Cada una de estas etapas o elementos del acueducto son muy importantes porque el esfuerzo conjunto de todos asegura la calidad del agua, apta para el consumo humano. En el caso de Costa Rica, Acueductos y Alcantarillados (AyA) cuenta con un manual sobre cómo construir acueductos que cumplan con los parámetros necesarios para llevar y distribuir agua potable a la población del país.

2.1.7 Fuente de captación

Es la fuente de donde se recolecta el agua para su tratamiento y purificación, para su distribución. Las fuentes de recolección de agua pueden provenir de ríos, manantiales, pozos/fuentes subterráneas o incluso del océano, mediante plantas de desalinización.

2.1.8 Captación

La cuenca de captación es la parte inicial de cada acueducto y consiste en una estructura diseñada para recolectar o recibir agua de la cuenca de captación y distribuirla a una planta potabilizadora para su correcto tratamiento. También, hay una entrada de agua en esta área, lo que permite que este líquido se absorba sin los residuos más grandes, como los materiales orgánicos. Cabe mencionar que el agua en este momento no es potable ni para uso humano y debe pasar por otros trámites dentro del acueducto para beberla (AyA, 2017).

2.1.9 Línea de conducción

Las líneas conductoras son básicamente tuberías, ductos o canales encargados de mover el agua en todos los puntos del acueducto, ya sea por presión o por gravedad, desde su entrada, que es su inicio, hasta su área de distribución final. En esta parte, las cámaras de falla de presión generalmente se instalan en sitios con fuertes pendientes, para evitar daños en estructuras y tuberías. Esto es muy importante para evitar daños al acueducto y desperdicio de agua. A menudo, se pueden ver que, en zonas montañosas, estas estructuras suelen ser cuadrados de concreto completamente cerrados. (AyA, 2017).

2.1.10 Planta de potabilización

Es un proceso donde el agua entra a las plantas de potabilización, donde se encuentran un conjunto de estructuras, diseñadas para someter el agua a distintos tratamientos, con la finalidad de poder limpiarla; liberándola de impurezas, bacterias, turbidez, olor, entre otras características que no la hacen apta para el consumo. La planta de tratamiento o zona de tratamiento cuenta en si con varias partes, cada una de ellas cumpliendo una función importante, las cuales son presedimentador, sedimentador y filtración. Otro proceso utilizado son las plantas desalinizadoras que absorben agua del océano y le quitan la sal para que luego pueden pasar a una planta potabilizadora (AyA, 2017, p. 14).

2.1.11 Almacenamiento del agua

El almacenamiento de agua también es conocido como reservorio y consiste en una estructura de concreto o tanques de acero o plástico por su construcción más rápida, que funcionan como depósito que permite almacenar el agua tratada o ser tratada en el tanque, la cual -posteriormente- será distribuida a la población o sitios destinados. Según AyA (2017), “Estos depósitos cuentan con un diseño adecuado, que asegura la calidad del agua con el paso del tiempo; cuenta con varias partes como tapa sanitaria, tubería de ventilación, tubo de rebose, canastilla, tubería de salida y cámara de válvulas” (p. 18).

Además, los tanques de almacenamiento tienen diferentes tamaños, dependiendo de la población del lugar, y se utilizan -también- como reserva de agua en las épocas secas. Lamentablemente, la construcción de estos tanques es bastante costosa, por lo que las ASADAS pequeñas no tienen la disponibilidad económica para poder financiar su construcción (AyA, 2017).

2.1.12 Red de distribución

Como su nombre lo indica, la red de distribución consiste en una red o conjunto de tuberías, estructuras y accesorios que se instalan con el propósito de llevar el agua potable desde los tanques de almacenamiento o desde las plantas de tratamiento hasta las conexiones domiciliarias, hoteleras e industriales, tanto sea en ciudades, pueblos o caseríos. Según AyA (2017):

En esta parte del acueducto se encuentran varios componentes importantes que juegan un papel importante; la válvula de control, válvula de paso y válvula de purga, permiten controlar la entrada de agua a los domicilios, así como también la presión de esta. (pp. 17-18)

Cabe mencionar que en esta parte del acueducto es donde mayor cantidad de fugas se encuentran, por lo que se debe llevar un excelente control de mantenimientos (AyA, 2017). En la instalación de las redes de distribución, se debe de seguir un control exacto que Acueductos y Alcantarillados (AyA) provee, esto en función de un correcto posicionamiento de las tuberías, facilidad de acceso en caso de fugas y facilidad en la determinación de las fugas. El AyA provee esta información para que las ASADAS cumplan con todas las normas y requerimientos, para una correcta distribución del agua potable a los habitantes de la región.

2.1.13 Periodos de diseño utilizados en Costa Rica

En obras de captación y de toma de agua, se debe calcular a una vida útil de la tubería de 25 a 50 años. Además, se debe calcular el caudal que pasará por la tubería, tanto en épocas secas como en épocas lluviosas, así como la sedimentación que el agua lleve y varios factores más. En la tubería de aducción o captación, se debe calcular con una vida útil de entre 25 a 50 años, una vida útil similar a la estructura de captación, esto debido a que ambas estructuras deben de trabajar en conjunto y el daño de una afecta a la otra estructura. Estos diseños deben de estar muy bien realizados porque la planta de tratamiento depende de estas tuberías.

De acuerdo con AyA (2017):

La vida útil de una planta potabilizadora depende de 2 factores, el primero un factor de crecimiento bajo que corresponde a menos de un 3% anual, por lo que tendría una vida útil de entre 20 a 25 años sin ninguna mejora, estas plantas suelen tener capacidad para una ampliación a futuro dependiendo del crecimiento de la población. Pasamos al factor de crecimiento alto sería igual o mayor a un 3% anual, en este caso la planta potabilizadora tendría una vida útil de entre 15 a 20 años, de igual manera estas plantas pueden ser ampliadas para extender su vida útil y su caudal de procesamiento.

El nivel de crecimiento se debe obtener del promedio de los últimos dos censos poblaciones y el ajuste correspondiente a la última proyección según datos

del INEC sobre crecimiento de población. Se debe tomar en cuenta, la zonificación y proyecciones de crecimiento establecidas en el Plan Regulador de cada cantón. (pp. 18-19)

El tanque de almacenamiento tiene una vida útil de 25 años (al igual que las tuberías de conducción de agua tratada) y, cuando el proyecto no es una urbanización, se debe dejar espacio en el terreno, para construir otro tanque de tamaño similar, para satisfacer las necesidades del importante aumento de población en la zona. Los tanques con un volumen superior a 2000m³ se pueden diseñar en etapas. En el caso de las tuberías de distribución de agua potable, su vida útil es de aproximadamente 20 años.

2.1.14 Dotaciones

Para el diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable, se debe utilizar la siguiente distribución total:

- Datos sobre patrones de consumo y demanda en el área de estudio, basados en datos reales (si están disponibles para el diseñador).
- Cuando no se disponga de datos reales sobre patrones de consumo y demanda en el sitio de estudio, se deberán utilizar los siguientes valores mínimos:
 - ✓ Poblaciones rurales: 200 l/p/d; en caso de zonas rurales costeras se aplicará la dotación establecida para “Población costera”
 - ✓ Poblaciones urbanas: 300 l/p/d
 - ✓ Poblaciones costeras: 375 l/p/d
 - ✓ Área Metropolitana: 375 l/p/d (AyA, 2017, p. 18)

2.1.15 Factores de demanda máxima

De acuerdo con AyA (2017, pp. 15-16), para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable se deben de aplicar los siguientes factores:

- El caudal máximo diario será igual a 1,2 veces el caudal promedio diario, es decir el factor máximo diario (FMD) es 1,2.
- El caudal máximo horario será igual a 1,80 veces el caudal máximo diario, es decir el factor máximo horario (FMH) es 1,80.

En dónde: $QMD = QPD \times FMD$

QMD: caudal máximo diario.

QPD: caudal promedio diario.

FMD: factor máximo diario.

2.1.16 Diseño de redes

Para desarrollos urbanos que incluyan tanques propios de almacenamiento y acondicionamiento, la altura analítica (msnm) se definirá para el nivel medio (msnm) del agua en el tanque. Para desarrollos urbanos que no cuenten con tanques de almacenamiento conectados al sistema de distribución existente, la altura analítica (msnm) estará representada por la altura del terreno (msnm) y rango de presión (máxima y mínima) para las entidades operativas asociadas a los puntos de conexión a la red existente. Se aplicará un análisis de carga hidráulica para desarrollar el punto de interconexión con el sistema de distribución existente (AYA, 2017).

2.1.17 Condición para caudal máximo horario

El caudal horario máximo se distribuirá entre todos los nodos de demanda de la red a analizar. “Para este caso, la red debe diseñarse de manera que la presión de servicio (presión de nudo) en cada punto o nudo de la red sea mayor o igual a 15 mca (1,5 Kg/cm²)” (AyA, 2017, p. 15).

2.1.18 Condiciones para un tanque de almacenamiento:

De acuerdo con AyA (2017):

Los tanques deben tener al menos la capacidad requerida para a) compensar las fluctuaciones horarias de la demanda, b) extinguir incendios en el momento de las consideraciones de diseño propuestas y c) estar preparados para la interrupción. Se explicará cada tipo. (p. 19)

- Volumen de Consumo: Es la cantidad necesaria para compensar las fluctuaciones horarias del consumo. La curva de consumo real debe utilizarse para determinar para cada situación específica, si la información anterior no está disponible, y el flujo del tanque de suministro es constante e igual al flujo promedio requerido en el área de suministro del tanque, el

volumen es equivalente a 14 % del volumen promedio diario de transacciones.

- Volumen de reserva para incendios: Según la norma AyA, este volumen corresponde a la cantidad de agua necesaria para alimentar el chorro de fuego.
- Volumen de reserva por interrupciones: Es el importe de la reserva por interrupciones en la prestación del servicio y debe ser como mínimo un importe correspondiente a cuatro horas de tráfico medio diario.
- Volumen total de almacenamiento: Este volumen es el resultado de la suma de los volúmenes anteriores. (p. 18)

Por lo anterior, las ASADAS no pueden construir estos tanques de almacenamiento, son tanques de gran tamaño y el costo de construirlos es bastante alto para las comunidades pequeñas donde se encuentran las ASADAS.

2.1.19 Velocidad del agua en los acueductos

De acuerdo con AyA (2017):

La velocidad máxima de la red de distribución es de 3,0 m/s. La velocidad máxima de las líneas de tracción y retracción es de 5,0 m/s y la mínima de 0,60 m/s. En caso de que el valor de velocidad obtenido sea inferior al valor mínimo establecido, prevalecerá el estándar del diámetro mínimo de la tubería. (p. 19)

2.1.20 Presiones dentro del acueducto

De acuerdo con AyA (2017):

La presión estática máxima en el punto más bajo de la red es de 50 metros de columna de agua (mca). Se permitirán presiones de hasta 70 mca en el punto de aislamiento cuando la zona de servicio sea muy accidentada. Está interconectado con la red de distribución, en el punto crítico de la red, y la presión dinámica de servicio no es inferior a 15 mca. (p. 19)

2.1.21 Dimensionamiento de tuberías agua potable

De acuerdo con AyA (2017), se parte de la fórmula de Hazen y Williams, así como de otras fórmulas, para definir los tamaños de la tubería, siempre y cuando se aporte la

documentación técnica necesaria y se reciba el aval del AyA. Según sea el tipo de material, se calcula el valor del coeficiente máximo, como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1

Coefficientes máximos

Material	Valor máximo de C (Adimensional)
Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	130
Cloruro de Polivinilo (PVC)	130
Concreto	120 - 140
Hierro galvanizado	120
Hierro dúctil	120
Hierro fundido ^a	130
Hierro fundido (10 años de edad)	107 - 113
Hierro fundido (20 años de edad)	89 - 100
Hierro fundido (30 años de edad)	75 - 90
Hierro fundido (40 años de edad)	64 - 83
Acero	130
Acero ^a	140 - 150
Acero rolado	110
Cobre	130 - 140

Nota: Por AyA, 2017.

2.1.22 Presión en las tuberías

Según lo explica AyA (2017):

Las tuberías deben ser capaces de soportar la presión estática interna más la sobrepresión causada por el golpe de ariete, pero en ningún caso la capacidad indicada será inferior a 100 mca (presión nominal de trabajo), con las siguientes excepciones:

1. En la tubería de plomo, donde el cálculo hidráulico lo permita, la tubería debe ser capaz de resistir la presión estática interna, más la sobrepresión provocada por el golpe de ariete, pero, en cualquier caso, la resistencia de la tubería no debe ser inferior a 80 mca.

2. En la red de conducción de agua rural, la tubería debe ser capaz de resistir la presión estática interna, más la sobrepresión provocada por golpe de ariete, si el cálculo hidráulico lo permite, pero en todo caso, la resistencia de la tubería no debe ser inferior a 80 mca. (p. 21)

Las tuberías también deben ser capaces de resistir las cargas externas del material de relleno de la zanja y las cargas en movimiento, los efectos en las tuberías montadas en el suelo, la corrosión debido a la química del agua y del suelo, la presión negativa, la expansión y predecibles en función de las condiciones de construcción y servicio, cualquier otro factor que influyan en eso (AyA, 2017, p. 21).

2.1.23 Diámetro mínimo

De acuerdo con AyA (2017):

Cuando la red de nueva construcción vaya a conectar tuberías de diámetro nominal igual o inferior a 100 mm, el diámetro nominal mínimo de las tuberías de conexión de hidrantes deberá ser de 100 mm. Las conexiones de hidrantes deberán ser de 150 mm cuando la nueva red del proyecto conecte tuberías con un diámetro nominal igual o superior a 150 mm. Un diámetro de 75 mm es aceptable en sitios de desarrollo limitado, como rotondas y cabezas de martillo, solo si la sección no está equipada con hidrantes. En las líneas de conducción y adición, el diámetro mínimo de la tubería se determinará por cálculos hidráulicos. En base al diámetro nominal seleccionado, el diámetro interior de la tubería corresponderá al diámetro interior indicado en la norma de fabricación de la tubería. (p. 21)

2.1.24 Ubicación de las tuberías

Al respecto, AyA (2017) afirma lo siguiente:

Las tuberías que componen la red de distribución deben estar ubicadas en los lados norte y oeste de la calle principal y la calle, respectivamente, a 1,50 m de las cuerdas de las tuberías, y por lo menos a 0,80 m de la parte superior de las tuberías en la calle. con un índice de profundidad de 0,80 m. (p. 21)

Cuando se requiera instalar tuberías en rutas nacionales o interestatales, la profundidad mínima deberá ser de 1,00 metros sobre la parte superior de las tuberías desde el nivel de la calle, en las esquinas; todas las tuberías se conectarán entre sí a través de intersecciones y en todas las direcciones. Además, las tuberías deben estar conectadas

entre sí para formar un bucle. La distancia entre la red de distribución de agua potable y la interfaz domiciliaria de la red terciaria de alcantarillado debe ser de al menos 1,50 m en planta baja (AyA, 2017).

2.1.25 Pruebas de presión

De acuerdo con AyA (2017):

La tubería debe someterse a una prueba de presión hidrostática antes de su instalación, esta prueba equivale a 1,5 veces la presión nominal de trabajo del tramo de tubería ensayado, y en ningún caso debe ser inferior a 10 kg/cm², la presión de prueba debe mantenerse por no menos de una hora. Aquí Durante este período, el manómetro y la parte con un máximo de 500 metros no tendrán un cambio descendente. (p. 24)

2.1.26 Color de las tuberías

Las tuberías circulares utilizadas en los sistemas de suministro de agua potable deben ser ecológicas. Para tuberías de un material diferente al policloruro de vinilo (PVC), se deben fabricar en color verde, “pero es aceptable que se fabriquen con cuatro franjas verdes longitudinales, que no sean de menos de 5 cm de ancho y no se encuentre separadas 90° entre sí” (p.25).

Cada tubería debe cumplir con los requisitos de identificación especificados en la correspondiente norma técnica de fabricación (norma técnica de producto), y su texto debe ser completamente visible, claro e indeleble, para asegurar la correcta identificación de la tubería durante y después de la instalación, de esta manera, "Si la norma técnica aplicable al tubo seleccionado incluye algún requisito o referencia al color del tubo, no se aplicará el requisito de dicha norma, prevaleciendo únicamente el color especificado en este apartado” (AyA, 2017, p. 25).

2.1.27 Medidores de caudal

Al respecto, AyA (2017) afirma lo siguiente:

Todos los sistemas de abastecimiento de agua potable deberán contar con instrumentación de acuerdo a los requerimientos técnicos del sistema, estos deberán estar ubicados a la entrada y salida de los centros de producción y al inicio de los centros de consumo, según el área de abastecimiento. (p. 25)

Estos medidores deben ser de excelente calidad, para llevar un control preciso del agua y así determinar fugas en las tuberías del acueducto o medidores defectuosos en las zonas de distribución.

2.1.28 Hidrómetros

Según AyA (2017):

Cada conexión debe estar equipada con el medidor apropiado. El hidrómetro y la caja seleccionados deberán ajustarse a la norma AR-HSA2008 “Hidrómetro de Servicio de Acueducto” publicada en la versión vigente de ARESEP. El hidrómetro se puede colocar vertical u horizontalmente, en ambos casos en una caja protectora, construido con restricciones de propiedad y accesible a las vías públicas. (p. 26)

2.1.29 Cálculo del caudal promedio diario

El vertido medio diario es la cantidad total de agua que llega a un punto dividida por el número de días en los que se realizan las mediciones de vertido. Para agua y aguas residuales, el flujo total a través de un punto en un período dividido por el número de días que cubre el período. También, se puede definir como la relación entre el caudal de un día completo de 0 a 24 horas, 1 día completo y su correspondiente duración. El requerimiento diario promedio se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$QPD = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Dotación}}{86400} \left[\frac{l}{s} \right]$$

2.1.30 Cálculo del caudal máximo diario

El caudal máximo diario es el consumo máximo esperado de la población en un día y se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$QMD = 1,2 \times QPD \left[\frac{l}{s} \right]$$

2.1.31 Cálculo del caudal máximo horario

El caudal horario máximo se distribuirá entre todos los nodos de demanda de la red a analizar. Para este caso, la red debe diseñarse de manera que, en cada punto o nudo

de la red, la presión de servicio (presión de nudo) sea mayor o igual a 15, que es el caudal requerido en un momento dado del día y se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{MAX} = 1,8 \times QMD \left[\frac{l}{s} \right]$$

2.1.32 Cálculo del caudal mínimo horario

El caudal mínimo por hora es la cantidad mínima de agua necesaria en una hora del día y se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{MIN} = 1,2 \times QMD \left[\frac{l}{s} \right]$$

2.1.33 Método aritmético de crecimiento

Es el método de análisis más simple de todos; supone que la población tiene un comportamiento lineal, la razón de cambio se supone constante, es decir, se incrementa en la misma cantidad cada unidad de tiempo considerada. Se recomienda utilizarse para periodos cortos (Gina Valverde, 2022). Las ecuaciones utilizadas en el método de crecimiento aritmético son las siguientes:

$$r = \frac{p^{t+n} - p^t}{a (p^t)}$$

$$r = \frac{1}{a} \left(\frac{p^{t+n} - p^t}{p^t} \right)$$

$$r = \left(\frac{p^{t+n} - p^t}{a} \right) \div p^t$$

En donde:

r : tasa de crecimiento anual aritmético

p^{t+n} : población al momento actual

p^t : población al momento inicial o población base

a : amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia

2.1.34 Método de crecimiento geométrico

El método de crecimiento geométrico, también conocido como interés compuesto, supone un aumento porcentual constante a lo largo del tiempo y, a diferencia de los métodos anteriores, el crecimiento geométrico mantiene un aumento porcentual constante por unidad de tiempo, no una cantidad por unidad de tiempo. Se puede usar por más tiempo. La fórmula utilizada en el método de crecimiento geométrico es la siguiente:

$$r = \left(\frac{P^{t+n}}{P^t} \right)^{1/a} - 1$$

$$r = \sqrt[a]{\left(\frac{P^{t+n}}{P^t} \right)} - 1$$

En donde:

r : tasa de crecimiento anual geométrico

P^{t+n} : población al momento actual

P^t : población al momento inicial o población base

a : amplitud o distancia en el tiempo entre las dos poblaciones de referencia

2.1.35 Método de crecimiento exponencial

Este enfoque asume que el crecimiento de la población ocurre continuamente, no por unidad de tiempo. Hay varias fórmulas para el método de crecimiento exponencial:

$$r = \frac{\ln P^{t+n} - \ln P^t}{a}$$

$$r = \frac{\ln(P^{t+n} \div P^t)}{a}$$

$$r = \frac{1}{a} \ln(P^{t+n} \div P^t)$$

En donde:

r : tasa de crecimiento anual exponencial

P^{t+n} : población al momento actual

P^t : población al momento inicial o población base

a : amplitud o distancia en el tiempo entre las dos poblaciones de referencia

\ln : logaritmo natural

2.1.36 ASADAS

La Asociación Costarricense de Gestión de Acueductos y Alcantarillados Públicos, también conocida como ASADAS, está integrada por más de 2.000 organismos públicos que funcionan como organizaciones sin fines de lucro bajo el marco legal de la Ley de Asociaciones. Para que una asociación pueda ejercer legalmente sus actividades, debe estar inscrita en el Registro de Asociaciones que para tal efecto lleva el Ministerio del Interior, el cual forma parte del Registro Nacional. La personalidad jurídica de la asociación y sus representantes se obtiene a través de su registro. Esta es la ley bajo la cual funciona y se formaliza ASADAS.

En Costa Rica, la Asociación de Administradores de Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAS), a través de un convenio con Acueductos y Alcantarillados (AyA), brinda servicio de agua potable a aproximadamente el 28.7 % de la población del país, por lo que se vuelve de suma importancia trabajar por la región.

Durante los últimos años, se ha visto que el cambio climático ha impactado en la disminución de los caudales en los pozos y fuentes de suministros que las ASADAS utilizan para abastecer a la población de agua potable a la población. El cambio climático ha provocado una inestabilidad y escasez del recurso hídrico (especialmente en los cantones más secos del país); como consecuencia, las ASADAS se han visto obligadas a la construcción de nuevos pozos y búsqueda de nuevas fuentes de suministro para poder abastecer a la población de las zonas donde ellas laboran.

2.1.37 Cálculo de pérdidas de presión

Para el cálculo de pérdida de presión en una tubería de agua potable, se realiza utilizando la siguiente fórmula (también se pueden utilizar calculadoras en línea):

$$\Delta p = \frac{\mu * l * p * SG}{2d}$$

En donde:

d: Diámetro Interno Tubería (m)

l: Longitud de la Tubería (m)

v: Velocidad del Agua (m/s)

Δp : Caída de Presión (Pa)

μ : Coeficiente de Fricción

SG: Gravedad específica del agua

p: Densidad del agua (1000kg/m³)

2.1.38 Ecuación de Hazen-Williams

La ecuación de Hazen Williams se utiliza principalmente para la determinación de la velocidad del agua en tuberías llenas (circulares) que trabajan a presión.

$$V = 0.8494 * C * \left(\frac{Di}{4}\right)^{0.63} * S^{0.54}$$

En donde:

Rh = Radio hidráulico = Área de flujo / Perímetro húmedo = Di / 4

V = Velocidad media del agua en el tubo en [m/s]

Q = Caudal o flujo volumétrico en [m³/s]

C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo

Di = Diámetro interior en [m]

S = [[Pendiente - Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto] [m/m]

2.1.39 Ecuación de conservación de energía

La ecuación de Bernoulli explica la ley de conservación de la energía entregada al flujo de fluidos en las tuberías: si no hay fricción, las partículas se mueven a lo largo de la tubería sin perder energía, moviéndose indefinidamente.

$$P_1 + \frac{1}{2}pv_1^2 + pgh_1 = P_2 + \frac{1}{2}pv_2^2 + pgh_2$$

En donde:

P_1 = Energía de presión

$\frac{1}{2}pv_1^2$ = Energía cinética unidad de volumen

pgh_1 = Energía potencial unidad de volumen

2.1.40 Flujo de presión

El movimiento del fluido se realiza a través de tuberías cerradas y la presión que se ejerce sobre las tuberías no es la presión atmosférica. La principal fuerza involucrada es la presión.

2.1.41 EPANET 2.2

Los modelos matemáticos que utiliza el programa son la ecuación de conservación de energía, conservación de momento, Darcy. Los modelos de cálculo o métodos numéricos utilizados por el programa son Runge Kutta, Newton Raphson, entre otros. La versión utilizada del programa es la 2.2.

2.1.41.1 Características de EPANET 2.2.

Para la realización del modelo de calidad del agua, es necesario disponer de un modelo hidráulico preciso y completo. Según EPANET (2022), EPANET es un motor de análisis hidráulico actual que incluye las siguientes características:

- No existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar
- Incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
- Modela bombas funcionando tanto a velocidad de giro constante y bombas con velocidades de giro variables.

- Calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones.
- Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.
- Permite el almacenamiento de agua en tanques que presenten cualquier geometría.
- Considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modulación.
- Puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complicado sistema de regulación temporal. (p. 3)

Capítulo III

3.1. Marco metodológico

3.1.1 Paradigma

Este proyecto de graduación es de tipo aplicado, debido a que resuelve un determinado problema utilizando metodologías de investigación para mejorar el sistema de agua potable de la ASADA de Labrador de San Mateo, con el objetivo de crear un guía o propuesta que ayude a mejorar el rendimiento de los recursos existentes en la ASADA de Labrador de San Mateo.

Además, este trabajo tiene una dimensión de tipo transversal, ya que se desarrolla en un periodo de tiempo predispuesto, analizando los datos dados por la ASADA, donde se muestra el rendimiento de esta en años anteriores. A su vez, se recurre a un marco de tipo micro, enfocándose en la ASADA de Labrador, sin embargo, el tema trabajado puede llegar a ser utilizado en otras zonas del país como referencia y orientación.

Por su parte, la investigación es descriptiva y explicativa, ya que se recolectan datos para la caracterización de la zona en estudio y así determinar cómo poder mejorar el sistema de agua potable en la zona con los recursos existentes o mejoras mínimas, debido a limitaciones económicas de la zona.

3.1.2 Procedimiento a utilizar

A partir del estudio realizado y los datos recolectados, el proyecto de graduación se realizó de la siguiente manera:

- Levantamiento de las curvas de nivel, siempre y cuando la ASADA o la Municipalidad cuente con dicha información.
- Reconocer los siguientes elementos en el acueducto: tramos de tuberías, hidrantes, bombas, válvulas de control, entre otros.

La modelación del sistema de abastecimiento de agua potable se realizó con el *software* EPANET, el cual es una herramienta que facilita el diseño, planificación y operación de sistemas de distribución de agua. Se desarrolló de la siguiente manera:

- a) Ubicación de tuberías en AutoCAD, si se cuenta con los datos.
- b) Asignación de curvas de nivel y elevación.
- c) Determinación y asignación de demanda de agua potable.
- d) Recolección de mediciones de caudal y datos de presión que cuenta la ASADA.

CAPÍTULO IV

4.1 Situación actual de la ASADA

Para realizar un análisis de la situación actual de las ASADA de Labrador de San Mateo, primeramente, fue necesario hacer un reconocimiento general de todo el sistema que la compone, como identificar componentes como captaciones, plantas potabilizadoras, almacenamiento, distribución y población abastecida.

La ASADA se compone de 4 secciones grandes; cada una tiene como mínimo un pozo y todas poseen su tanque de almacenamiento. Además, cuenta con 6 pozos y con 4 tanques de almacenamiento principales y 1 secundario (normalmente se encuentra vacío).

Por su parte, todos los sectores de la ASADA se encuentran intercomunicados entre ellos, esto para unirlos en caso de una emergencia en algún sector o una sobredemanda. Los sectores de la ASADA se dividen de la siguiente manera (ver Figura 5).

Figura 5

Distribución ASADA Labrador



Nota: Elaboración propia (2022).

4.2 Visitas de campo

Se realizaron múltiples visitas a todo lo que conforma el sistema de red de distribución de abastecimiento de agua potable de ASADA San Gabriel de Aserrí, con el objetivo de conocer el estado actual de la estructura. Las fechas de estas visitas fueron las siguientes:

- Primera visita miércoles 21 de setiembre de 2022.
- Segunda visita martes 15 de noviembre de 2022.
- Tercera visita lunes 21 de noviembre de 2022.

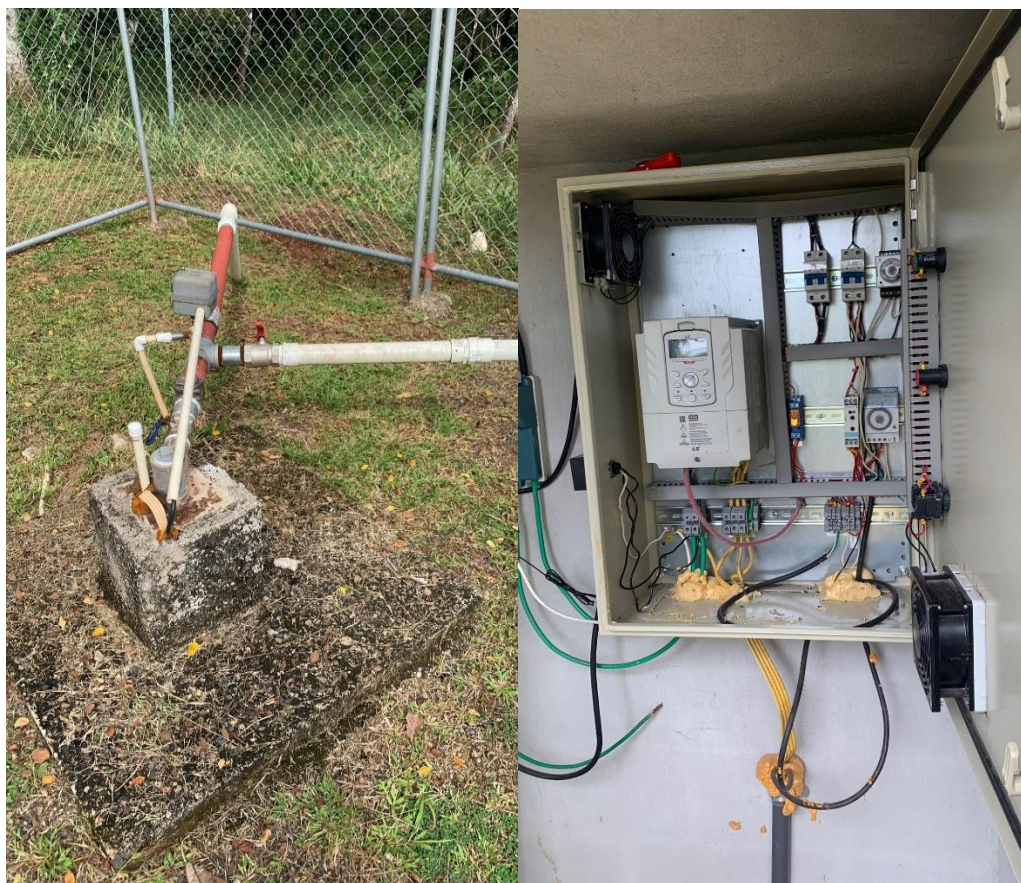
4.3 Fuentes de abastecimiento

4.3.1 Pozo Las Tres Nazarenas

Corresponde a una cuenca de aguas subterráneas y se ubica en las coordenadas geográficas 9°56'47.2" latitud norte, 84°36'19.2" longitud oeste y 180 metros sobre el nivel del mar. Consiste en un pozo de 85 metros de profundidad, con una bomba sumergible de 7.5 HP y con un caudal de 7.5 litros por segundo. Esta debe de ser transportada mediante una tubería de 2 pulgadas de PVC por -aproximadamente- 6 km hasta su tanque de almacenamiento, donde es tratada y clorada para su distribución. Este pozo se encuentra en la sección #1 de la ASADA.

Figura 6

Pozo Las Tres Nazarenas



Nota: Elaboración propia (2022).

4.3.2 Pozo Enrique Alfaro

Corresponde a una cuenca de aguas subterráneas y se ubica en las coordenadas geográficas 9.931202 latitud, -84.637893 longitud y 163 metros sobre el nivel del mar. Consiste en un pozo de 100 metros de profundidad, con una bomba sumergible de 7.5 HP y con un caudal de 5 litros por segundo. Esta debe de ser transportada mediante una tubería de 2 pulgadas de PVC hasta su tanque de almacenamiento, que se encuentra a 5 metros, en el tanque, y es tratada y clorada para su distribución. Este pozo se encuentra localizado en la sección #3 de la ASADA (ver Figura 7).

Figura 7

Pozo Enrique Alfaro



Nota: Elaboración propia (2022).

4.3.3 Pozo Camilo #1

Corresponde a una cuenca de aguas subterráneas y se ubica en las coordenadas geográficas 9.945176 latitud, -84.619005 longitud y 182 metros sobre el nivel del mar. Consiste en un pozo de 72 metros de profundidad, con una bomba sumergible de 3 HP y con un caudal de 2 litros por segundo. Esta debe de ser transportada mediante una tubería de 2 pulgadas de PVC hasta su tanque de almacenamiento, que se encuentra a 3.5 km;

cabe mencionar que el pozo Camilo #1 y el pozo Camilo #2 comparten tubería hasta el tanque principal de la ASADA, donde es tratada y clorada para su distribución. Este pozo se encuentra localizado en el sector #2 de la ASADA.

Figura 8

Pozo Camilo #1



Nota: Elaboración propia (2022).

4.3.4 Pozo Camilo #2

Corresponde a una cuenca de aguas subterráneas y se ubica en las coordenadas geográficas 9.945176 latitud, -84.619005 longitud y 182 metros sobre el nivel del mar. Consiste en un pozo de 72 metros de profundidad, con una bomba sumergible de 3 HP y con un caudal de 2 litros por segundo. Esta debe de ser transportada mediante una tubería de 2 pulgadas de PVC hasta su tanque de almacenamiento, que se encuentra a 3.5 km; cabe mencionar que el pozo Camilo #1 y el pozo Camilo #2 comparten tubería hasta el tanque principal de la ASADA, donde es tratada y clorada para su distribución. Este pozo se encuentra el sector #2 de la ASDA.

Figura 9*Pozo Camilo #2*

Nota: Elaboración propia (2022).

4.3.5 Pozo Olga

Corresponde a una cuenca de aguas subterráneas y se ubica en las coordenadas geográficas 9.944292 latitud, -84.617957 longitud y 181 metros sobre el nivel del mar. Consiste en un pozo de 110 metros de profundidad, con una bomba sumergible de 10 HP y con un caudal de 8.3 litros por segundo. Esta debe de ser transportada mediante una tubería de 2 pulgadas de PVC hasta su tanque de almacenamiento, que se encuentra a 3.5 kilómetros, donde es tratada y clorada para su distribución. Este pozo se encuentra el sector #2 de la ASADA.

Figura 10*Pozo Olga*

Nota: Elaboración propia (2022).

4.3.6 Pozo Praderas del Pacífico

Corresponde a una cuenca de aguas subterráneas, y se ubica en las coordenadas geográficas 9.919944 latitud, -84.656680 longitud y 107 metros sobre el nivel del mar. Consiste en un pozo de 100 metros de profundidad, con una bomba sumergible de 5 HP y con un caudal de 2 litros por segundo. Esta debe de ser transportada mediante una tubería de 2 pulgadas de PVC hasta su tanque de almacenamiento, que se encuentra a 1.5 km, donde es tratada y clorada para su distribución.

Figura 11*Pozo Praderas del Pacífico*

Nota: Elaboración propia (2022).

4.4 Tanques de almacenamientos

La ASADA cuenta con cinco tanques de almacenamiento. Tres de ellos se encuentran separados para ser utilizados solo para su respectivo sector.

4.4.1 Tanque Las Tres Nazarenas

A este tanque llegan las aguas provenientes del pozo Las Tres Nazarenas y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: 9.941502 Latitud y -84.595978 Longitud, a una altura de 204 metros sobre el nivel del mar; es un tanque metálico y sus dimensiones se definen con una altura de 10 m y un diámetro de 5 m, con una capacidad de 70 000 galones, siendo uno de los tanques gemelos con los que cuenta

la ASADA. Es un tanque elevado, con una altura de 6 m y se encuentra en el sector #1 de la ASADA.

Figura 12

Tanque de almacenamiento de Las Tres Nazarenas



Nota: Elaboración propia (2022).

4.4.2 Tanque principal

A este tanque llegan las aguas provenientes de los pozos Camilo #1, Camilo #2 y Olga. Este tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: 9.953894 Latitud y -84.604452 Longitud, a una altura de 210 metros sobre el nivel del mar; es un tanque de concreto y sus dimensiones se definen con una altura de 2.60 m, un largo de 8.80 m y un ancho de 8.80 m, con una capacidad de 222 m³. Este es el tanque principal de la ASADA, el más antiguo y fue construido por el AyA antes de que el acueducto fuera entregado a la ASADA. Se encuentra en el sector #2 de la ASADA.

Figura 13

Tanque de almacenamiento principal



Nota: Elaboración propia (2022).

4.4.3 Tanque elevado de metal

A este tanque llegan las aguas provenientes del pozo Enrique Alfaro. Este tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: 9.930940 Latitud y -84.637967 Longitud, a una altura de 163 metros sobre el nivel del mar y es un tanque metálico y sus dimensiones se definen con una altura de 10m y un diámetro de 5 m, con una capacidad de 12 000 galones. Este tanque fue relocalizado a inicios de año, anteriormente estaba en el pozo Olga. Es elevado, con una altura de 6 m y se ubica en el sector #3 de la ASADA.

Figura 14*Tanque de almacenamiento Enrique Alfaro*

Nota: Elaboración propia (2022).

4.4.4 Tanque Praderas del Pacífico

A este tanque llegan las aguas provenientes del pozo Praderas del Pacífico. Se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas: 9.920595 Latitud y -84.652517 Longitud, a una altura 110 de m sobre el nivel del mar, es un tanque metálico y sus dimensiones se definen con una altura de 10 m y un diámetro de 5 m, con una capacidad de 70 000 galones. Es uno de los tanques gemelos con los que cuenta la ASADA; es elevado, con una altura de 6 m, es el último tanque de almacenamiento de la ASADA y se encuentra en el sector #4.

Figura 15

Tanque de almacenamiento Pradera del Pacífico



Nota: Elaboración propia (2022).

4.5 Casetas de cloración

El proceso de desinfección se realiza con hipoclorito de calcio; en el caso de ASADA, esta parte se realiza en cada tanque de almacenamiento. En 400 litros de agua, se disuelven 5 galones a una concentración del 12 %. Al medir el cloro residual, su porcentaje de concentración debe estar entre 0,2 y 0,6 (ni más ni menos).

Figura 16

Casetas de cloración tanque Enrique Alfaro y tanque principal



Nota: Elaboración propia (2022).

Capítulo V

5.1 Balance hídrico

Para efectos del balance hídrico de las proyecciones de 10 años de demanda de caudal, se asumirán los valores de hacinamiento del censo INEC 2011.

5.2 Análisis de población

El distrito de Labrador se califica como una población rural. Según datos de factor de hacinamiento de INEC, el promedio de habitantes por casa es de 3.36 y el porcentaje de crecimiento poblacional es de un 1.7 %.

5.3 Dotación de agua en el sistema

Se consideró una dotación de 153 l/p/d, según la cantidad de servicios por mes, un factor máximo diario de 1.2 y un factor máximo horario de 1.8.

La ASADA cuenta con macromedición; por lo tanto, el agua no contabilizada que se refiere a las pérdidas que se dan en un sistema entre el volumen de agua producido y el volumen utilizado por la población son contados en el agua gastada al final del mes y la ASADA puede saber la cantidad de agua perdida en fugas, rebalses en los tanques de almacenamiento, conexiones ilícitas y errores de mediciones.

Tabla 2

Dotación

Dotación	
Dotación (litros por persona por día)	256
Factor Máximo Diario	1,2
Factor Máximo Horario	1,8

Nota: Elaboración propia (2022).

Tabla 3*Dotación según medición*

Dotación Según Medición					
Mes	Servicios	Total macromedición m3	Total micromedición m3	Dotación mensual (l/p/d)	ANC
Enero	1200	39194	27601	222	30%
Febrero	1200	41467	29202	235	30%
Marzo	1200	43872	30896	249	30%
Abril	1200	46417	32688	263	30%
Mayo	1200	38127	26850	216	30%
Junio	1200	39121	27550	222	30%
Julio	1200	41109	28950	233	30%
Agosto	1200	34045	23975	193	30%
Setiembre	1200	33541	23621	190	30%
Octubre	1200	33046	23272	188	30%
Noviembre	1200	32557	22928	185	30%
Diciembre	1200	41153	28981	234	30%
				263	30%
				Máxima	Promedio

Nota: Elaboración propia (2022).

La dotación mensual se encuentra por encima de los valores promedios en zonas rurales. Según lo explicado por la ASADA, se debe a que muchas propiedades de la zona son “quintas” y estas tienen alta demanda de agua, principalmente en verano y épocas de vacaciones.

5.4 Población del acueducto

El número de habitantes atendidos por los diversos servicios se calcula tomando como referencia la información de la unidad de consumo equivalente en las “Normas Técnicas para el Diseño y Construcción de Sistemas de Potable, Saneamiento y Abastecimiento de Agua Pluvial” (ver Tabla 4). Estos datos se pueden ajustar para tener datos más precisos para el acueducto en la realidad.

Tabla 4

Cálculo de servicios equivalentes según tipo de actividad a desarrollar

Tipo de actividad del nuevo desarrollo	Unidades de cálculo (UC)	Unidad de consumo equivalente (UCE) o Servicios equivalentes (SE) ¹
Hoteles, Moteles	Habitación	Un servicio Equivalente por cada 3 Unidades de Cálculo
Escuelas, colegios o centros de educación y capacitación	Estudiante	Un servicio Equivalente por cada 25 Unidades de Cálculo
Bodegas, industrias o centros de acopio, almacenamiento y distribución	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio Equivalente por cada 500 Unidad de Cálculo
Restaurantes, sodas Bares y similares	Metro cuadrado de área de parcela o predio. (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio Equivalente por cada 100 Unidad de Cálculo
Locales comerciales, Centros comerciales, Oficinas administrativas y bancarias (Industrial o general)	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio Equivalente por cada 200 Unidad de Cálculo
Parcelamiento agrícola con frente a calle pública	Metro cuadrado del área de parcela	Un servicio Equivalente por cada 500 Unidades de Cálculo
Parcelamiento agrícola con frente a servidumbre	Metro cuadrado del área de parcela	Un servicio Equivalente por cada 5000 Unidades de Cálculo
Centros de recreación, turísticos o club campestre.	Metro cuadrado de área de parcela o predio (incluyendo parqueos y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas)	Un servicio Equivalente por cada 200 unidad de cálculo.

Nota: Por Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2022.

Ahora bien, se utilizará la Tabla 5 para el cálculo de servicios en la ASADA de Labrador de San Mareo.

Tabla 5*Servicios equivalentes*

Cantidad de servicios	Tipo de actividad	Cantidad total de UC	Unidad de cálculo	Servicios equivalentes
2	Hoteles, moteles	12	habitaciones	4
5	Escuelas, colegios o centros de educación y capacitación	350	estudiantes	14
7	Bodegas, industrias o centros de acopio, almacenamiento y distribución*	2500	m2	5
4	Restaurantes, sodas, bares y similares*	650	m2	7
6	Locales comerciales, centros comerciales, oficinas administrativas y bancarias (industrial o general)*	3600	m2	18
5	Parcelamiento agrícola con frente a calle pública	246230	m2	493
3	Parcelamiento agrícola con frente a servidumbre	42560	m2	9
1	Centros de recreación, turísticos o club campestre	2000	m2	10
	*Incluyendo parques y áreas verdes, excluyendo áreas de protección de ríos y quebradas			
	Estimación total de servicios equivalentes	1779		

Nota: Elaboración propia (2022).

Con los datos obtenidos en la Tabla 5, se puede obtener la población de diseño del acueducto (ver Tabla 6).

Tabla 6*Población de diseño*

Población abastecida por el acueducto		
Cantidad de servicios equivalentes:	1779	servicios
Factor hacinamiento:	3,3349025	personas/casa
Población abastecida:	5933	personas

Nota: Elaboración propia (2022).

De acuerdo con el volumen de servicios equivalentes y la densidad poblacional del distrito de Labrador de San Mateo, la población que se abastecería sería de aproximadamente 5933 personas.

5.4.1 Cálculo del crecimiento poblacional

Para realizar la proyección poblacional de la comunidad de San Gabriel de Aserrí, se utilizó la base de datos de factor de crecimiento de INEC.

$$P = P_{\text{actual}} + (P_{\text{actual}} \times \% \text{ Crecimiento})$$

En donde:

P: Población

Con la información obtenida, se determinó el crecimiento de los servicios para un factor de análisis de 10 años.

$$S = P \div \text{Factor de Hacinamiento}$$

En donde:

S: Servicios

Utilizando la fórmula, se calcula la cantidad de crecimiento aproximado que tendrá el distrito de Labrador de San Mateo en los próximos 10 años; cabe mencionar que el distrito de Labrador presenta porcentaje de crecimiento de 1.7 %, el más alto del cantón.

Tabla 7

Crecimiento de la población

Crecimiento de la Población		
Año	Población	Servicios
2022	5933	1780
2023	6034	1810
2024	6136	1840
2025	6240	1872
2026	6346	1903
2027	6454	1936
2028	6564	1969
2029	6675	2002
2030	6788	2036
2031	6903	2070
2032	7020	2106

Nota: Elaboración propia (2022).

El porcentaje de crecimiento asignado a los cálculos fue de un 1.7 % y el factor de hacinamiento de 3.3 persona/casa, según los datos del INEC.

5.5 Aforos de la producción de agua

Las comunidades de ASADA Labrador se alimentan de 6 fuentes. Además, la ASADA depende del 100 % de pozos denominados Praderas del Pacífico, Olga, Camilo

#1, Camilo #2, Las Tres Nazarenas y Enrique Alfaro. La medición de los caudales fue realizada en el mes de setiembre del 2022 y los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Fuentes de abastecimiento

Fuentes de Abastecimiento	
Pozo	Caudal - Q (L/s)
Praderas del Pacifico	2
Olga	8,3
Camilo #1	2
Camilo #2	6
Las tres Nazarenas	7,5
Enrique Alfaro	5
TOTAL (L/s)	30,8

Nota: Elaboración propia (2022).

Sumando el caudal de los pozos, se tiene que la producción total del ASADA de Labrador es de 30.8 L/s. Al ser pozos el caudal, se mantienen estables durante toda la época del año.

5.5.1 Caudales

Según las ecuaciones mencionadas en capítulos anteriores, los caudales se calcularán a partir de la estimación de la población del acueducto.

Tabla 9

Caudales en los próximos años

Caudales en los Proximos Años					
Año	2023	2033	2043	2053	2063
Caudal Promedio(L/s)	23,44	27,740287	32,82	38,836402	45,95
Caudal Máximo Diario(L/s)	28,13	33,29	39,39	46,60	55,14
Caudal Máximo Horario(L/s)	50,64	59,92	70,895638	83,886628	99,250479

Nota: Elaboración propia (2022).

5.6 Proyecciones




El balance de agua para acueducto incluyó la comparación de la producción de las fuentes de abastecimiento, pozos en este caso, de acuerdo con las necesidades de la

población participante. Para realizar el cálculo respectivo, se utiliza el Manual Calculadora Balance Hídrico y la siguiente fórmula.

$$\text{Producción de la Fuentes} - \text{Demanda} = \text{Balance Hídrico}$$

Figura 17

Interpretación del balance hídrico

Resultado del balance hídrico		Interpretación
	Positivo	La producción de las fuentes del sistema es suficiente para satisfacer la demanda actual.
	Cercano a cero	La producción de las fuentes del sistema es suficiente para satisfacer la demanda actual, pero no es suficiente para brindar el servicio a nuevos usuarios.
	Negativo	La producción de las fuentes del sistema no es suficiente para satisfacer la demanda actual ni la de futuros usuarios.

Nota: Tomado del Manual Calculadora Balance Hídrico, 2022.

En la Tabla 10, se observa la situación de la ASADA para los próximos años, manteniéndose el nivel de producción actual.

Tabla 10

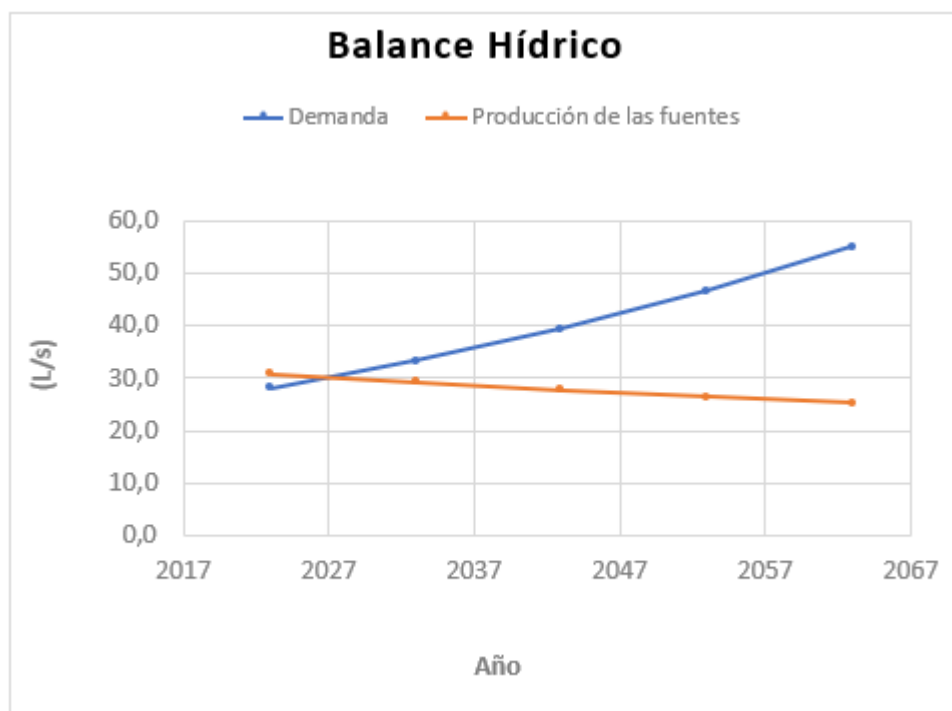
Proyecciones

Proyecciones					
Año	Servicios	Demanda (L/s)	Producción (L/s)	Balance Hídrico (L/s)	Interpretación
2023	1779	28,13	30,80	2,67	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios
2033	2106	33,29	29,29	-3,99	Desabastecimiento y racionamiento del servicio
2043	2491	39,39	27,86	-11,52	Desabastecimiento y racionamiento del servicio
2053	2948	46,60	26,50	-20,10	Desabastecimiento y racionamiento del servicio
2063	3487	55,14	25,20	-29,93	Desabastecimiento y racionamiento del servicio

Nota: Elaboración propia (2022).

Figura 18

Gráfico de proyecciones



Nota: Elaboración propia (2022).

En la Tabla 10, se observa que la ASADA tiene disponibilidad de agua hasta el 2033, mientras se mantengan los caudales actuales. Del 2033 en adelante, la ASADA deberá de buscar nuevas fuentes, para poder satisfacer la creciente demanda de la zona y seguir brindando nuevos servicios.

5.7 Modelación

La creación de un modelo hidráulico de una red de distribución de agua potable simula el comportamiento del sistema. Se utilizó el *software* de modelado EPANET 2 para modelar el sistema, incluido ASADA de Labrador. En este caso, el modelo simula los siguientes elementos: tramos de tubería, nodos de consumo, tanques de almacenamiento, tanques de quiebra, gradientes y embalses. Para que los resultados obtenidos en el modelo sean confiables, se debe conocer lo siguiente:

1. Planos de red de distribución que indiquen tipo de material y sus dimensiones.
2. Planos de red de distribución que indiquen tipo de material y sus dimensiones.
3. Distribución de la demanda.

4. Variación de la demanda por hora.

Como se mencionó anteriormente, para que los resultados del modelo sean precisos, se requiere información actualizada y el comportamiento más realista del sistema ASADA. En este caso, varios factores limitan la precisión de los datos del modelo hidráulico:

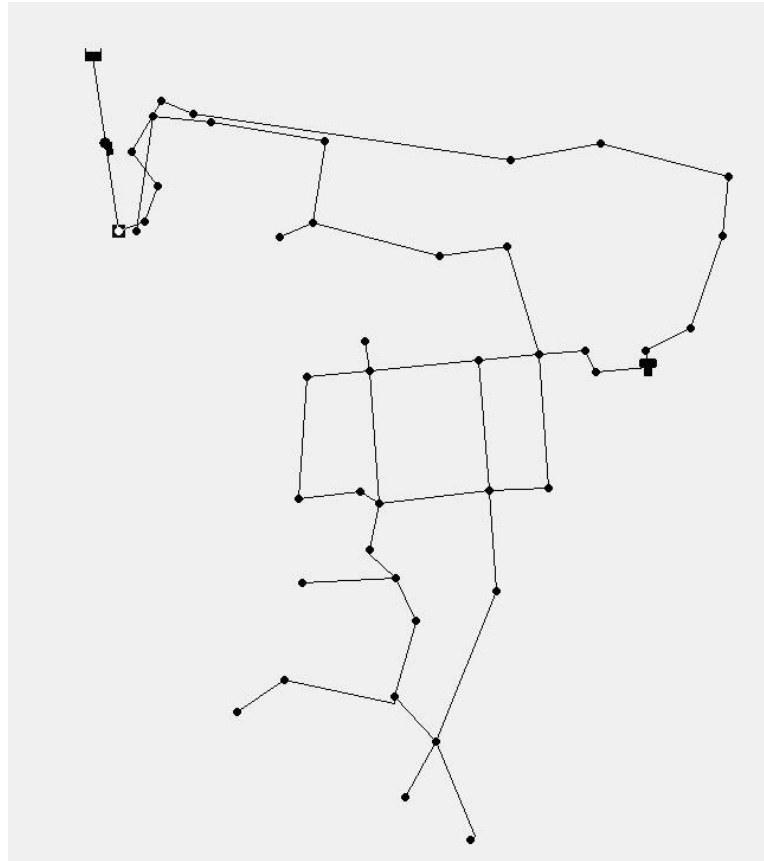
- La ASADA no cuenta con planos en AutoCAD, las curvas de nivel más recientes son varios planos no completos de los 1999-2000.
- La asignación de la demanda en el modelo se basa en la información de haciamiento de INEC 2011. Este factor puede cambiar si cambia el censo.
- Los diámetros de las tuberías no los conocen al 100 %, por lo tanto, se utilizan de 4 pulgadas, que es el más común de la ASADA.

5.7.1 Construcción de la infraestructura del modelo

La construcción de una red de distribución hídrica consiste en mapear los diferentes elementos que componen el sistema. Para realizar la construcción, se debe realizar el levantamiento de la red; en este caso, se obtienen utilizando *Google Earth* (la ASADA no cuenta con levantamiento topográfico).

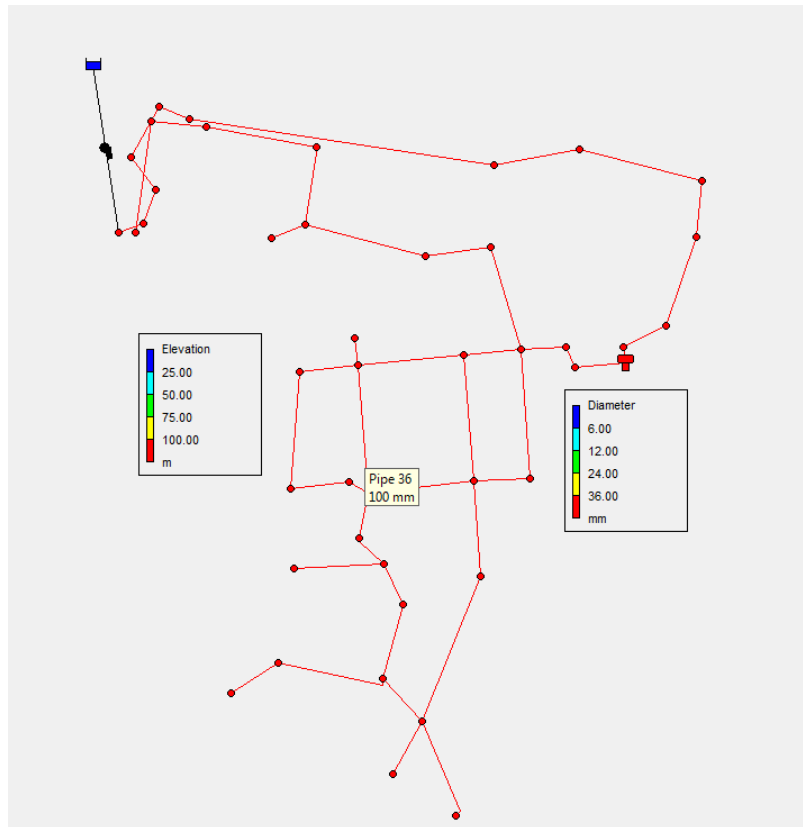
Al dibujar elementos en un diseño, el programa permite asignar propiedades de cada elemento, por ejemplo, en diámetros de tubería, asignando propiedades de materiales y valores de coeficiente.

Después de dibujar y asignar las características de las tuberías, los elementos son los pozos y sus respectivos tanques de almacenamiento. En este caso, la ASADA se puede separar en cuatro secciones, donde hay un tanque de almacenamiento para cada sección y mínimo un pozo. De igual manera, todo el sistema se encuentra unido.

Figura 19*Red del Sector #1*

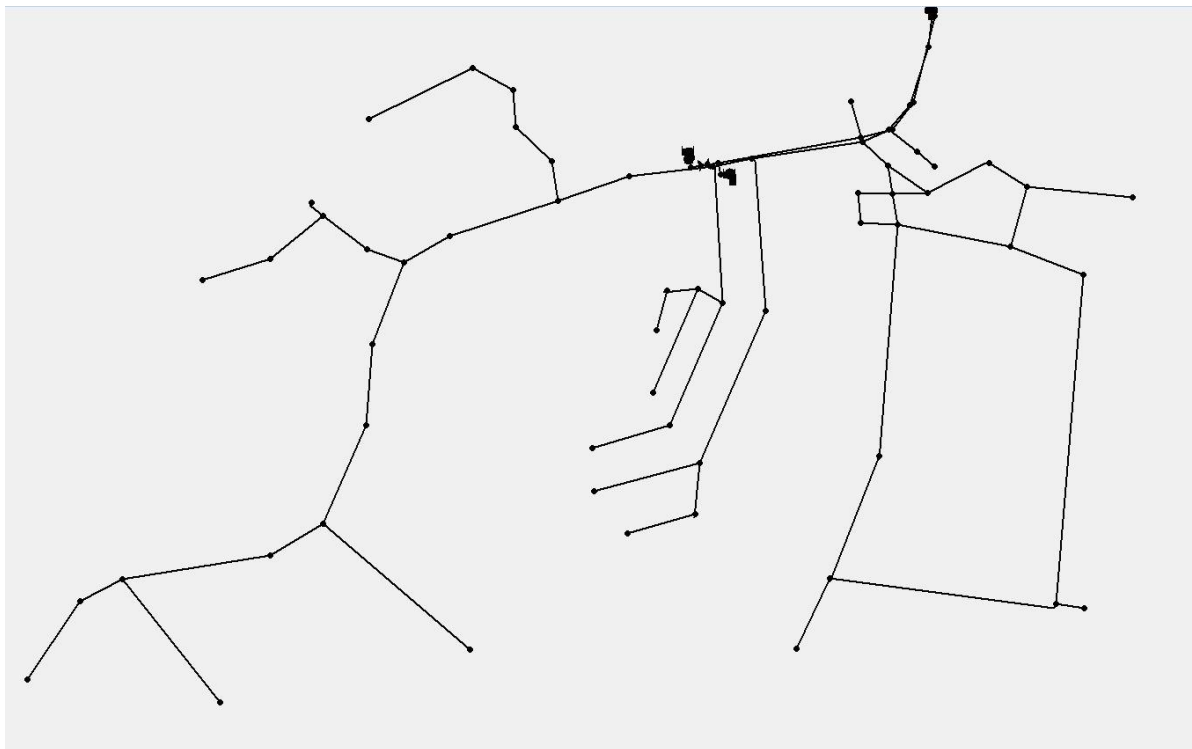
Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

En la Figura 19, se puede observar el Sector #1 de la ASADA, el cual se caracteriza por tener el pozo que mayor caudal produce y por tener la urbanización más grande del distrito. Cuenta con un pozo Las Tres Nazarenas y su respectivo tanque se encuentra a 3.5 km aproximadamente. El tanque de almacenamiento es un tanque elevado metálico.

Figura 20*Red del Sector #1*

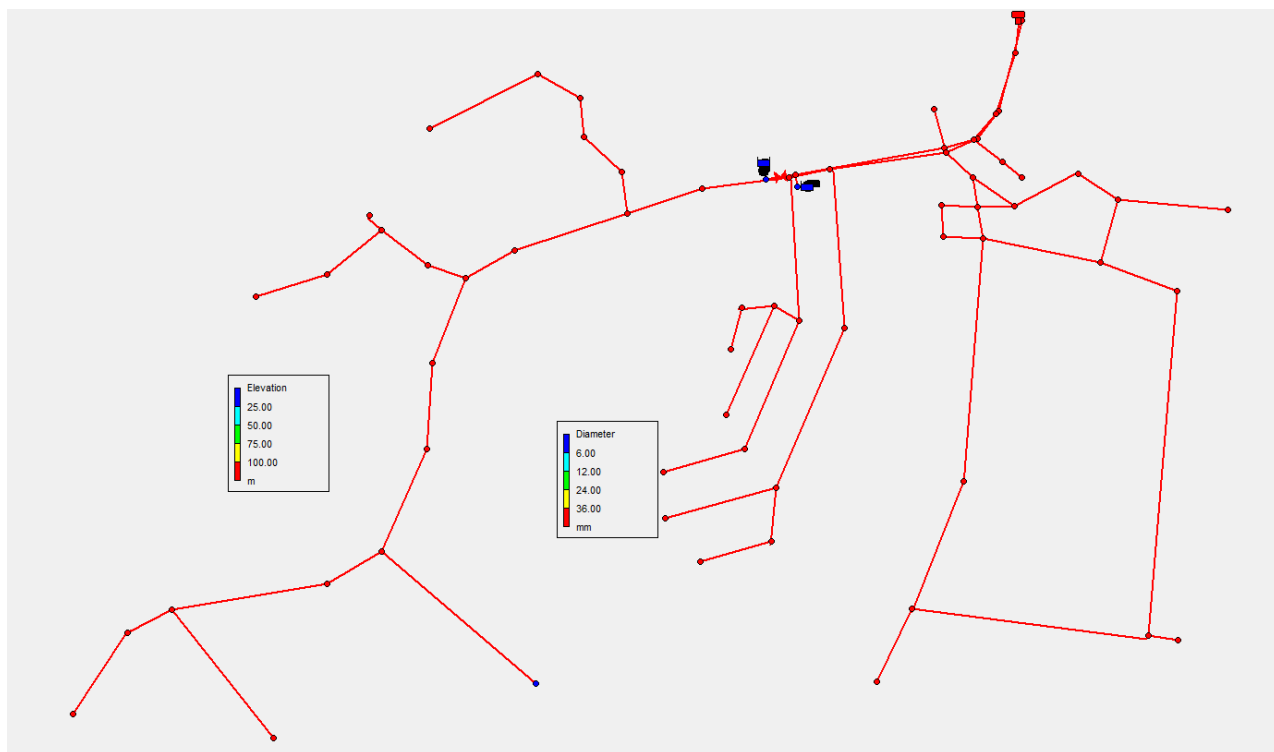
Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como se puede observar en la Figura 20, toda la red se encuentra por encima de los 100 m, teniendo el punto más alto a 206 m sobre el nivel del mar y el más bajo a 138 m sobre el nivel del mar; a su vez, los diámetros de las tuberías son de 2 pulgadas o 50mm para las tuberías de conducción y de 4 pulgadas o 100mm en las tuberías de distribución. En ambos casos, son tuberías en PVC.

Figura 21*Red del Sector #2*

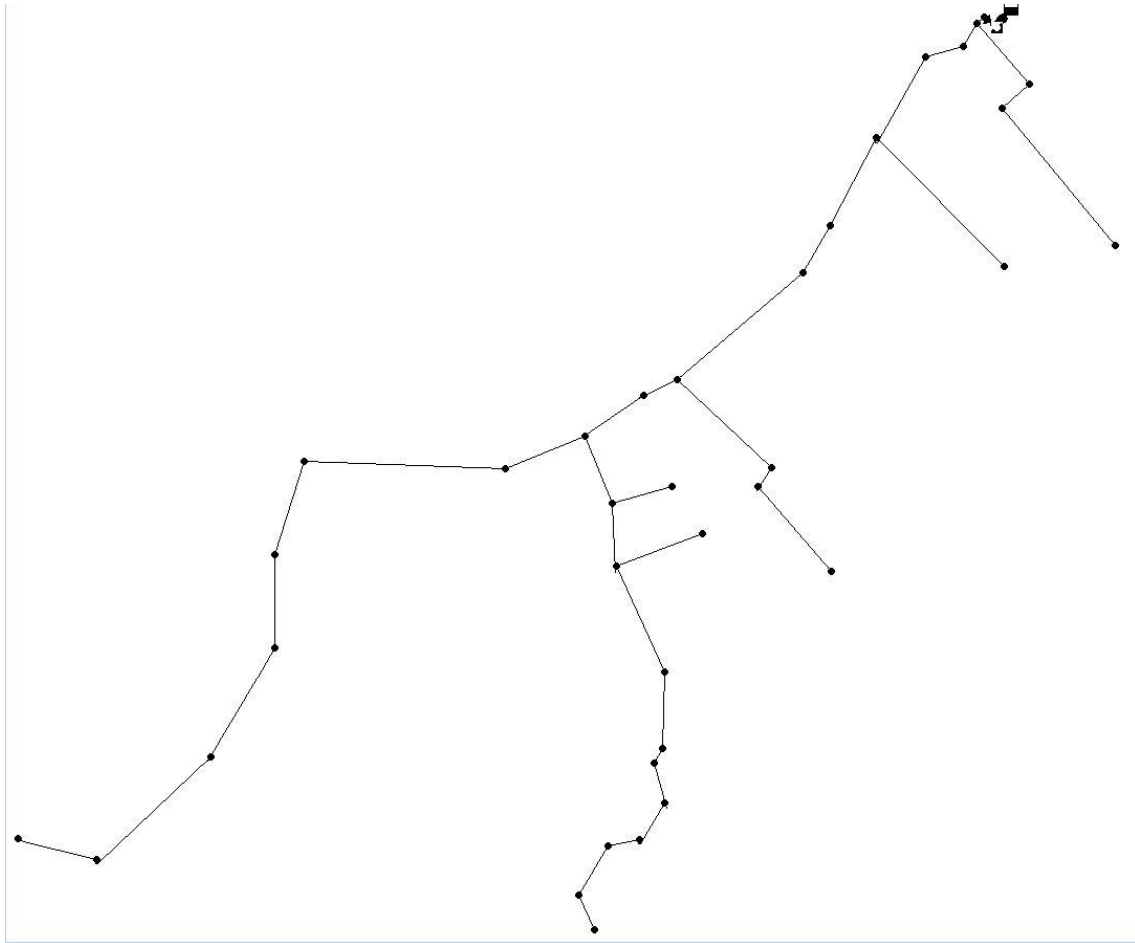
Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

En la Figura 21, se puede observar el Sector #2 de la ASADA, el cual se caracteriza por tener la mayor cantidad de pozos (tres): Olga, Camilo #1 y Camilo #2, así como por tener la mayor densidad de población del distrito. Los pozos se encuentran a aproximadamente 5 km de su respectivo tanque. El tanque de almacenamiento es el principal de la ASADA, es un tanque de concreto a nivel del terreno.

Figura 22*Red del Sector #2*

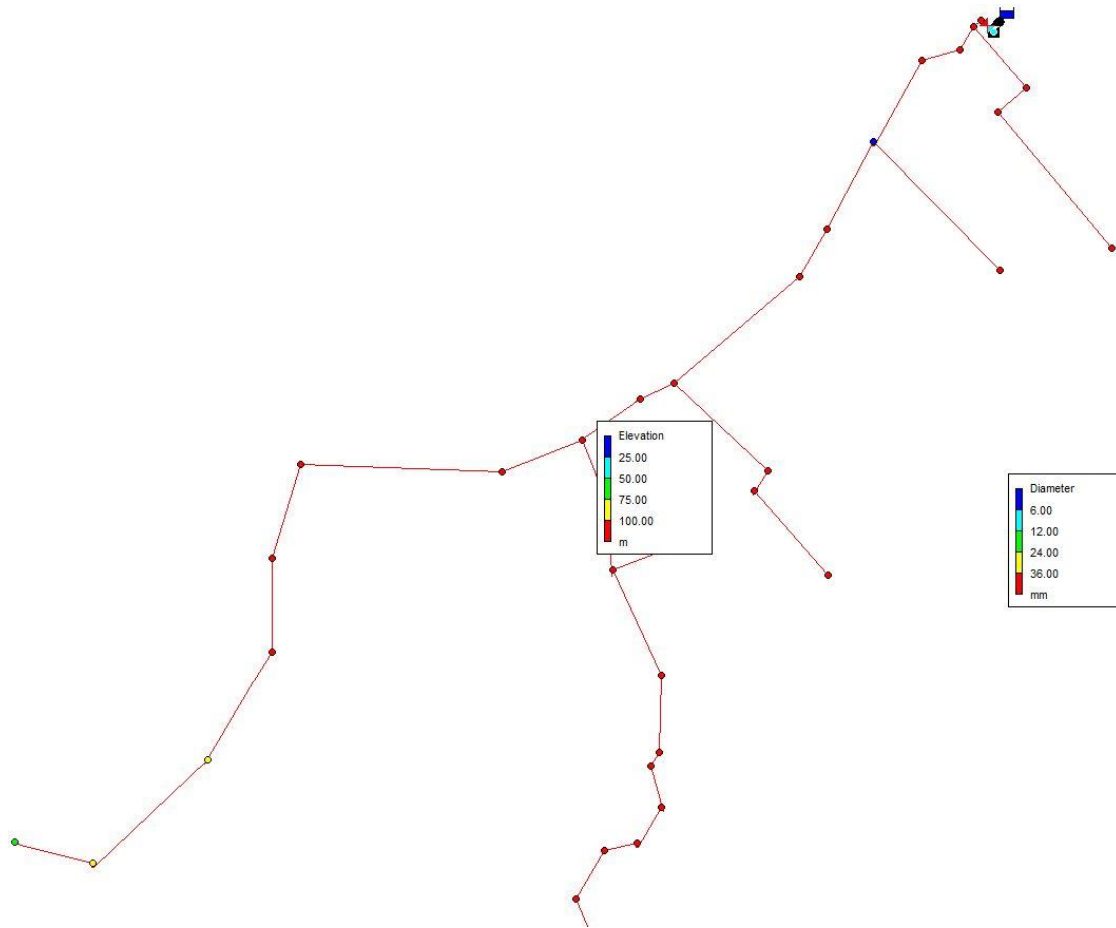
Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como se puede observar en la Figura 22, toda la red se encuentra por encima de los 100 m, teniendo el punto más alto (donde se encuentra el tanque de almacenamiento) a 196 m sobre el nivel del mar y el más bajo, a 142 m sobre el nivel del mar; los diámetros de las tuberías son de 2 pulgadas o 50mm para las tuberías de conducción y de 4 pulgadas o 100mm en las tuberías de distribución. En ambos casos, son tuberías en PVC.

Figura 23*Red del Sector #3*

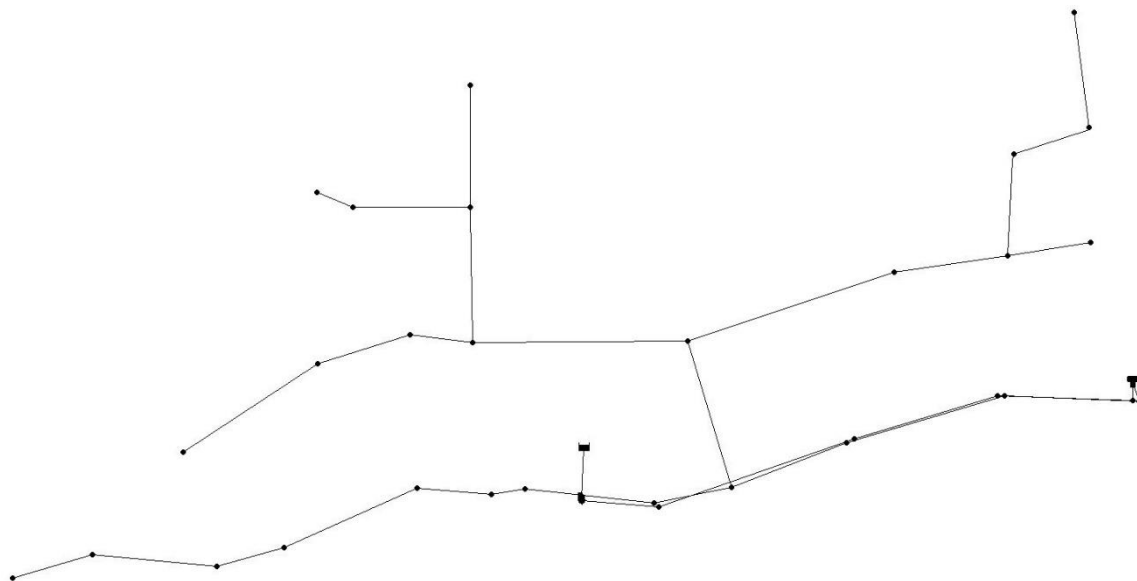
Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

En la Figura 23, se puede observar el Sector #3 de la ASADA, el cual se caracteriza por tener la menor densidad de población del distrito. El pozo Enrique Alfaro es uno de los más nuevos de la ASADA y se encuentra debajo del tanque de almacenamiento, que es un tanque elevado metálico que fue relocalizado recientemente; antes pertenecía al pozo Olga en el Sector #2.

Figura 24*Red del Sector #3*

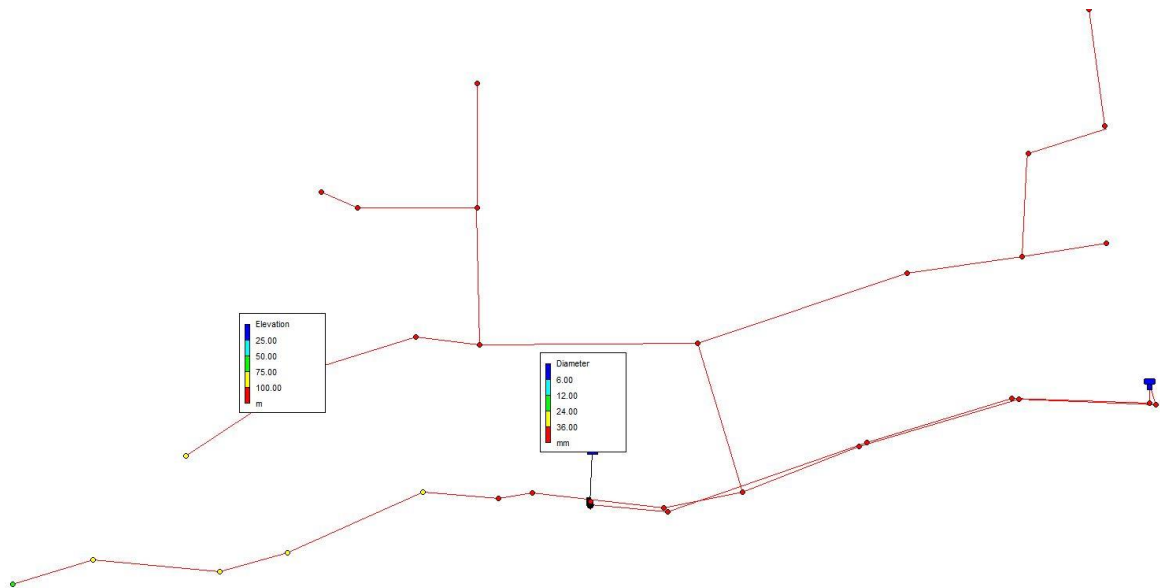
Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como se puede observar en la Figura 24, parte de la red se encuentra por debajo de los 100 m sobre el nivel del mar, teniendo el punto más alto (donde se encuentra el tanque de almacenamiento) a 157 m sobre el nivel del mar y el más bajo a 71.6 m sobre el nivel del mar; los diámetros de las tuberías son de 2 pulgadas o 50mm para las tuberías de conducción y de 4 pulgadas o 100mm en las tuberías de distribución. En ambos casos, son tuberías en PVC.

Figura 25*Red del Sector #4*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

En la Figura 25, se puede observar el Sector #4 de la ASADA, el cual se caracteriza por ser el sector más nuevo de la ASADA. El pozo Praderas del Pacífico es uno de los más nuevos de la ASADA y este se encuentra a 1 km del tanque de almacenamiento, que es un tanque elevado metálico, igual al tanque del Sector #1. Esto se debe a que es la misma inmobiliaria la que desarrolló los proyectos.

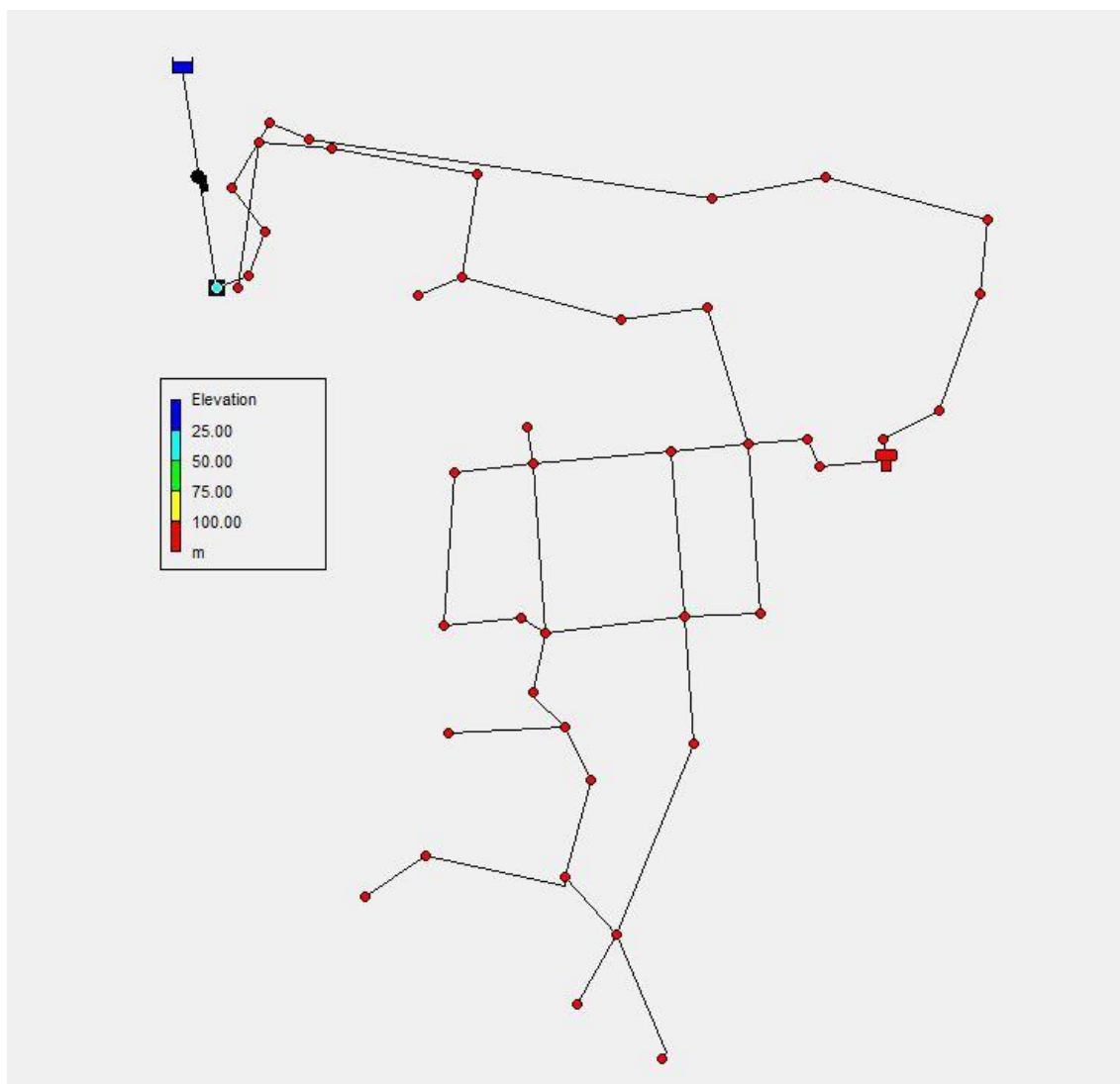
Figura 26*Red del Sector #4*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como se puede observar en la Figura 26, parte de la red se encuentra por debajo de los 100 m sobre el nivel del mar, teniendo el punto más alto (donde se encuentra el tanque de almacenamiento) a 120 m sobre el nivel del mar y el más bajo a 68 m sobre el nivel del mar; los diámetros de las tuberías son de 2 pulgadas o 50mm para las tuberías de conducción y de 4 pulgadas o 100mm en las tuberías de distribución. En ambos casos, son tuberías en PVC.

5.7.2 Asignación de las elevaciones

Para asignar las elevaciones, se utilizó el programa de *Google Earth*, debido a que la ASADA no cuenta con un levantamiento topográfico, lo cual puede afectar la precisión de las elevaciones. La región se caracteriza por tener una topografía relativamente plana, en su mayoría. En la Figura 27, se puede observar un ejemplo de la asignación de elevaciones en el programa.

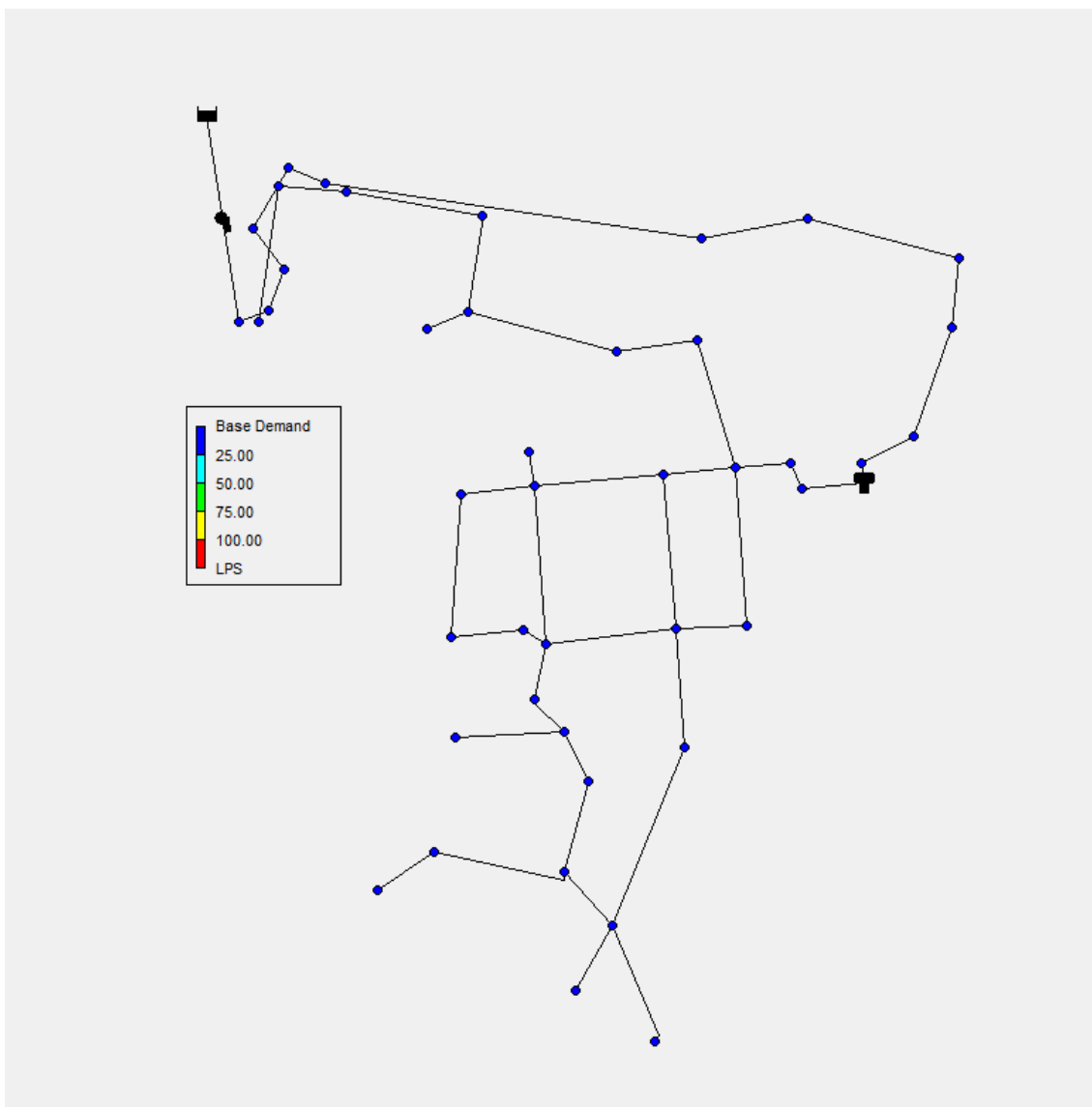
Figura 27*Asignación de elevación Sector #1*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

5.7.3 Asignación de la demanda

Esta fase incluye la asignación de la demanda de agua a los nodos, solo a las líneas de distribución. Los nodos que forman parte de la línea de conducción no deben tener un valor de demanda, esto según la norma del AyA, con la cual cumple la ASADA de Labrador.

La asignación de la demanda que se utilizó fue el recuento de propiedades construidas con la ayuda de un fontanero de la ASADA y comprobación con el programa de *Google Earth*.

Figura 28*Asignación de elevación Sector #1*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

En la Figura 28, se pueden observar las demandas por nodos en el Sector #1 de la ASADA.

5.7.4 Calibración del modelo

El significado de calibrar un modelo implica realizar cambios o ajustes con el fin de que el sistema tenga un comportamiento más preciso. La calibración es importante porque permite una mejor interpretación del diseño y la toma de decisiones. La calibración se realiza generando el comportamiento hidráulico general del modelo y

verificando que el operador parece estar alto o bajo en ciertas partes. En el caso del modelo generado en EPANET 2, se revisaron las distancias con *Google Earth* de las tuberías y se utilizó el mapa para calibrar las tuberías y que estas calzaran de mejor manera.

Figura 29

Sector #1



Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como se puede observar en la Figura 29, se utilizó el mapa dado por *Google Earth*, para -de esta manera- tener un dibujo de las redes más acertado a la realidad.

El modelo se presentó al fontanero principal de la ASADA, el cual comentó que es bastante acertado para la infraestructura actual y que tiene el mismo problema de baja

presión en una parte del Sector #2. De esta manera, se le hizo saber la solución, que consiste en poner una caseta de rebombeo.

5.7.5 Resultados del modelo y características de las tuberías

Cuando se completa el proceso de calibración del modelo y se obtiene un ajuste bastante representativo a la situación actual del sistema, se debe calcular el comportamiento y mostrar los resultados obtenidos con el modelo. La configuración hidráulica se encuentra bien porque los tanques se localizan en las zonas más altas de cada sección.

De esta forma, no se encuentran estrangulamientos, debido a que las tuberías de distribución se están todas en 4 pulgadas, según lo explicado por el fontanero de la ASADA. Como recomendación, se propone ubicar una caseta de rebombeo en el Sector #2, por bajas presiones en varias partes del sistema. Todo el sistema de distribución se encuentra funcionando por gravedad; por eso, los tanques se encuentran en las zonas más altas de cada sección.

Tabla 11

Resumen de tuberías

Características de las tuberías	
Longitud total de la red (m)	71 000
Diametro Mínimo (mm)	50
Diametro Máximo (mm)	100
Diametro Promedio (mm)	100

Nota: Elaboración propia (2022).

Los datos en la Tabla 11 fueron suministrados por la ASADA. Como se mencionó anteriormente, se utilizó un tubo promedio de 4 pulgadas para la tubería de distribución; este el diámetro más utilizado y fue el indicado a utilizar en el modelo por la ASADA.

Figura 30*Sector #1 tubería*

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor
Pipe 3	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 4	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 5	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 6	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 7	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 8	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 9	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 10	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 11	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 12	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 13	0.53	0.27	3.99	0.053
Pipe 14	0.53	0.07	0.14	0.058
Pipe 15	0.00	0.00	0.00	0.000
Pipe 16	138.86	17.68	4141.19	0.026
Pipe 17	138.86	17.68	4011.99	0.025
Pipe 18	35.40	4.51	307.31	0.030
Pipe 19	35.40	4.51	350.53	0.034
Pipe 20	28.36	3.61	206.83	0.031
Pipe 21	21.42	2.73	127.56	0.034
Pipe 22	6.94	0.88	47.59	0.120
Pipe 23	-0.15	0.02	0.00	0.000
Pipe 24	8.87	1.13	85.29	0.131

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como se observa en la Figura 30, los valores de la tubería cambian dependiendo de la conexión, cantidad de conexiones que tenga, pendiente que tenga la tubería. En los anexos, se detallarán todas las tuberías del sistema.

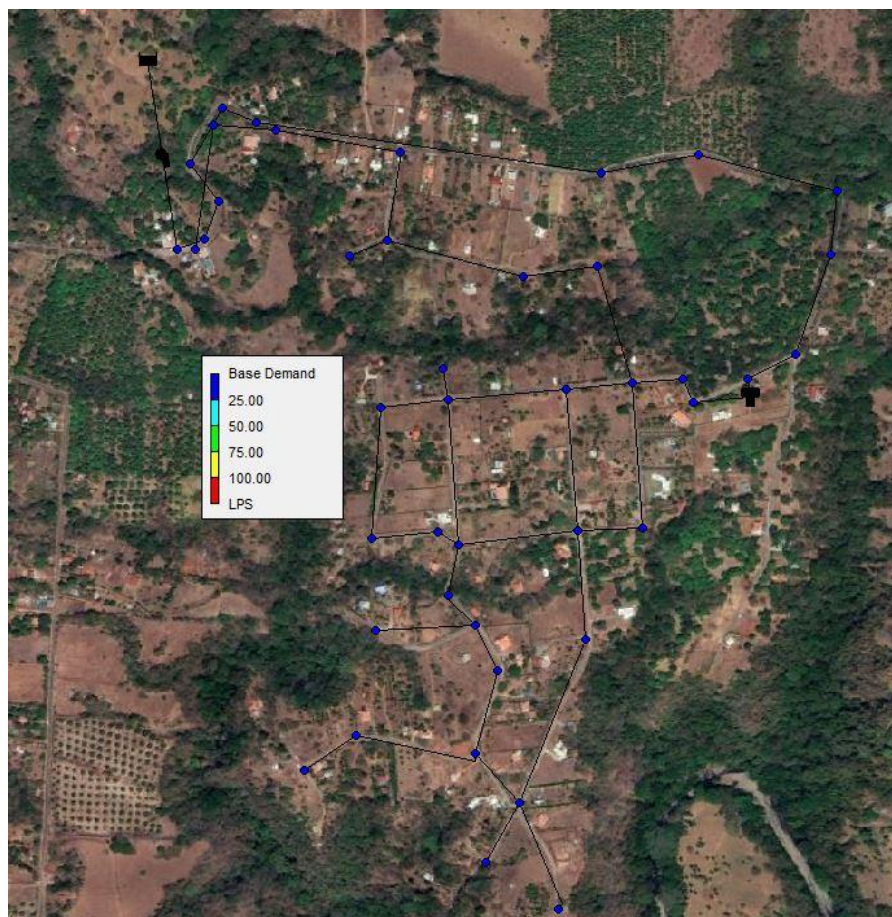
5.7.6 Características de los nodos

En la Tabla 12, se presenta un resumen de los nodos del acueducto. Anteriormente, se mencionó los nodos con menor y mayor elevación de la cada sección; en la Tabla 12, se encuentra un promedio.

Tabla 12*Características de los nodos*

Carácterticas de lo nodos	
Elevación Mínima (m)	102
Elevación Máxima (m)	215
Elevación Promedio (m)	164,2

Nota: Elaboración propia (2022).

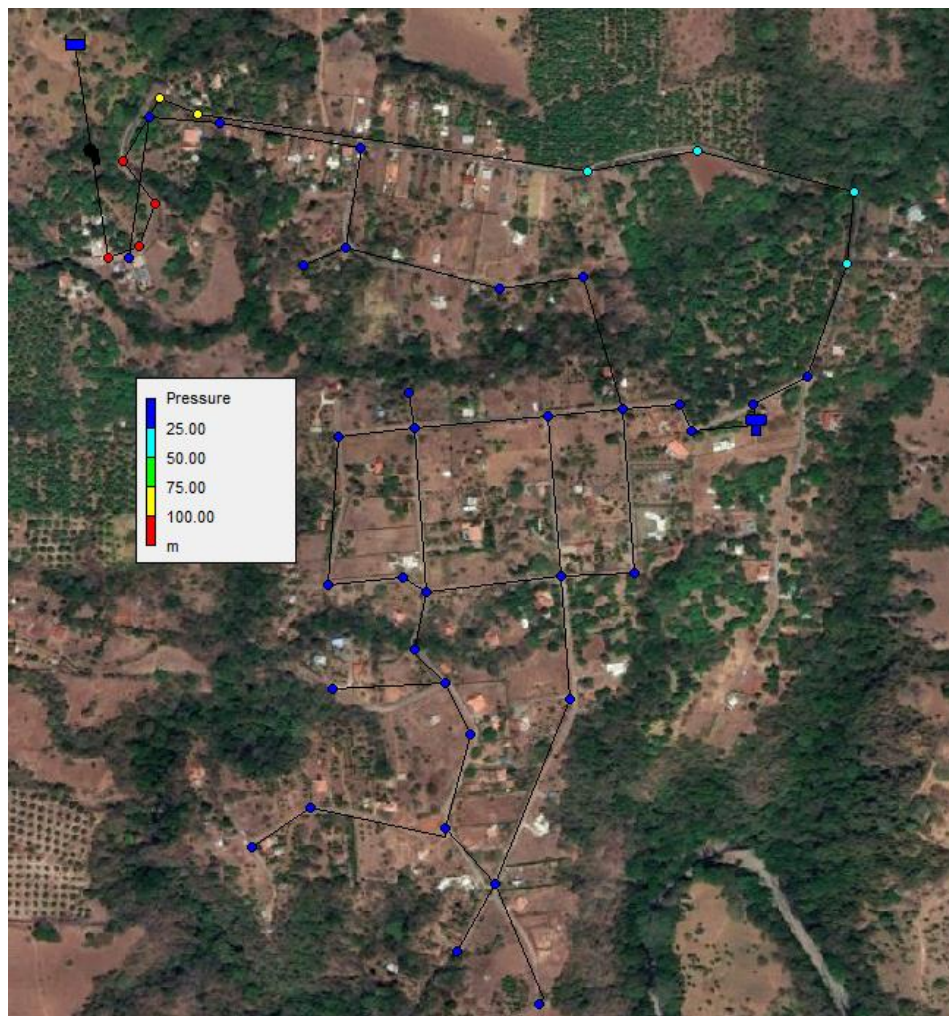
Figura 31*Sector #1 demanda nodos*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

La demanda total en los nodos es de 14.32 L/s.

5.7.7 Presiones

Para empezar con las presiones en el sistema que corresponden a la red de distribución del Sector #1, se simula el modelo en horas de la madrugada, a fin de observar el comportamiento de las presiones durante ese tiempo. Exactamente, la hora en que se encuentra es las 1:00 a. m.

Figura 32*Sector #1 presión nodos*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

Como puede verse en la Figura 32, el comportamiento de la presión de la tubería aumenta cuando la demanda es mínima. Debido al momento de la simulación, se puede explicar que la mayoría de la gente descansa temprano en la mañana, por lo que el consumo de agua es casi nulo. Se pasa a modelar el sistema a las 7 a. m., “hora pico” y, conforme suba el consumo de agua, las presiones en los nodos van a disminuir, como se ve en la Figura 33. En ambas figuras, la presión cambia en los nodos de conducción, al haber mayor demanda la presión baja en dichos nodos.

Cabe destacar que las presiones de todos los sectores se mantuvieron dentro del parámetro de la norma, no se pasaron de los 50 mca. Las presiones máximas que soportan los materiales son 250 psi (35 mca). El valor máximo se dio en el Sector #1, con 46mca; esto se debe a que el último nodo se encuentra con una diferencia en altura de 68 m, por

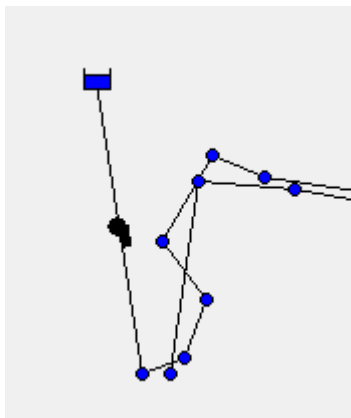
lo que se recomienda utilizar una válvula reguladora de presión, es fácil de instalar y su costo es relativamente bajo. Según lo conversado con el fontanero, hasta el momento, no han tenido problemas en la zona con esta presión.

5.7.8 Demandas

El valor de demanda obtenido varía según el tiempo de consumo y el tipo de tubería. Para tuberías de solo conducción, este valor siempre será 0, ya que no hay suscriptores conectados a la línea de conducción (ver Figura 33).

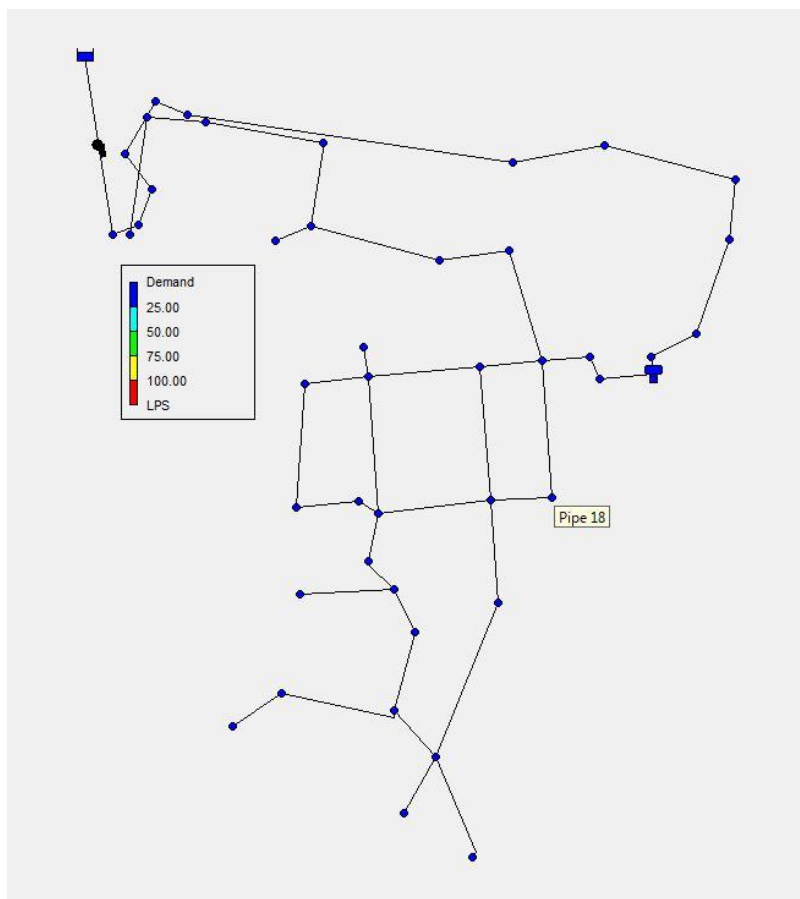
Figura 33

Sector #1 demanda línea de conducción



Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

En la Figura 34, se observan las demandas en la red de distribución durante la hora de mayor consumo, que sería a las 7 a. m., aproximadamente. Cabe mencionar que el consumo o la demanda varía dependiendo de las fechas; en esta zona, las fechas de vacaciones equivalen a mayor demanda.

Figura 34*Sector #1 demanda línea de distribución*

Nota: Elaboración propia (2022), en EPANET 2.

La demanda de la ASADA en horas de alta demanda es de 19.68L/s, estando por debajo de la capacidad máxima de producción, mientras que la demanda promedio es de alrededor de 16.48L/s. Hay que decir que la demanda afecta directamente sobre la presión (a mayor demanda, menor presión). La ASADA mantiene los valores de la presión en un rango positivo durante su mayor demanda.

Capítulo VI

6.1 Conclusiones

La herramienta utilizada para la obtención de estos resultados fue la Calculadora de Balance Hídrico de ASADAS, que, junto con el AyA y otras entidades, tiene como objetivo identificar si hay disponibilidad de agua para nuevos servicios. Este enfoque genera un marco de tiempo para la capacidad de ASADA, para abastecer a una población en crecimiento, teniendo en cuenta la producción actual, y entre mayor sea el crecimiento, mayor será la demanda.

Por su parte, en el cálculo de balance hídrico, se detalla el procedimiento de cálculo para los futuros 10 años, con el crecimiento del INEC 2011, con la finalidad de determinar la capacidad de la ASADA para los futuros años y se obtuvo información necesaria para evaluar aspectos del funcionamiento de la organización.

Aunado a lo anterior, se construyó un modelo hidráulico del sistema de abastecimiento de la ASADA de Labrador de San Mateo, utilizando el programa EPANET 2.2, para aproximar el comportamiento del sistema. De esta manera, el modelo facilita analizar el comportamiento de las presiones en las tuberías, así como las demandas, como ocurrió con el Sector #2 con baja presión.

Finalmente, al utilizar la calculadora de balance hídrico, se puede aproximar que la población de la zona llegará a crecer a 2106 habitantes, dando abasto todavía. Se proyecta que, para el 2042, la ASADA deberá de buscar nuevas fuentes de abastecimiento.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar el Manual de Reglamento de Normas Técnicas y Procedimientos para el mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua del programa de sellos sanitarios del AyA para todos los componentes.
- Se recomienda buscar el sitio para una nueva fuente de abastecimiento, en caso de que alguna de las fuentes actuales disminuya o presente problemas con contaminantes, principalmente en el Sector #1, donde el antiguo pozo presentó contaminación con arsénico.
- Se recomienda la implementación de una válvula reguladora de control de nivel para regular el nivel de agua del tanque principal, para no tener que depender del personal realizando visitas durante el día y la noche; también, para disminuir el riesgo de reembalse y desperdicio del agua.
- Para el sector, se recomienda la construcción de una caseta de rebombeo, para mejorar la presión de la zona (ver Anexo 2, donde se adjunta una con precios aproximados para la construcción de dicha caseta).
- Se recomienda cambiar la tubería de salida del pozo de PVC a hierro galvanizado, para evitar fugas por el deterioro del PVC por su exposición al sol.
- Se recomienda instalar sistemas de macro medidores en la salida de los pozos y de los tanques de almacenamiento.
- Realizar una valoración con un hidro geólogo para verificar las razones del arsénico en un antiguo pozo y con esto verificar que no se expanda a otros pozos.

Referencias bibliográficas

- AyA. (2019). *Manual de uso de la calculadora de balance hídrico para asadas (versión 1)*. <https://bit.ly/3G83rP5>
- Camacho, S., & Bello, W. (2016). *Propuesta de mejoramiento técnico operativo al acueducto Veredal Servimazatas Vereda Riofrio Occidental Tabio, Cundinamarca* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad Distrital – RIUD. <https://bit.ly/3i1jq9M>
- De Miguel, Á., Lado, J., Martínez, V., Leal, M., & García, R. (2009). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 78-85. <https://bit.ly/3Q1RmQj>
- Fundación AQUAE. (2022, 13 de enero). *La escorrentía: un proceso clave en el ciclo del agua*. <https://bit.ly/3WS58XV>
- Iagua, (2021, 23 de diciembre). *¿En qué consiste la precipitación atmosférica?* <https://www.iagua.es/respuestas/que-consiste-precipitacion-atmosferica>
- Gaviria-Montoya, L., Pino-Gómez, M., & Soto-Córdoba, S. (2016). *Evaluación de la gestión de la ASADA COOPEROSALES, San Nicolás, Cartago, desde una perspectiva del uso sostenible del recurso hídrico* [Proyecto de investigación, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. <https://bit.ly/3Z11xbN>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Guía de Autoevaluación y Elaboración de Plan de Mejora y Eficiencia para ASADAS*. <https://bit.ly/3vtYPOq>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017, mayo). *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. <https://bit.ly/3Wy6GXa>
- Instituto Nacional de Aprendizaje. (s.f.). *Reseña histórica de la creación de las ASADAS*. <https://bit.ly/3Q8jOjA>
- kARHU, M. K. (2006, 6 mayo). *Escorrentía Superficial* [Fotografía]. <https://bit.ly/3jH8vT0>
- Mitigación cambio climático a través del fortalecimiento de la ASADA Labrador. (2016). <https://bit.ly/3GuKUhC>
- Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. *Boletín Electrónico*, (8), 1-12. <https://bit.ly/3WVvJ6l>

Urrea, E. (2020). *Propuesta de mejoramiento en los acueductos, municipio de Guarne. Caso de estudio Vereda San Isidro* [Tesis de grado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional UDEA. <https://bit.ly/3Vz8U7A>

Valverde, G. (2022). *PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA ASADA SAN GABRIEL DE ASERRÍ A UN HORIZONTE DEL AÑO 2032* (Licenciatura). Universidad Latina de Costa Rica.

Rodríguez, L. & Gómez, Y. (2007, septiembre). El origen Cósmico del agua. Recuperado 10 de julio de 2022, de <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/77-vol-58-num-3-julio-septiembre-2007/agua/114-el-origen-cosmico-del-agua>

Anexos

Anexo 1. Especificaciones tubería PVC ASTM D 2241

ESPECIFICACIONES TUBERÍA ASTM D-2241

Presiones de trabajo

Diámetro nominal		Diámetro externo promedio		315 PSI (SDR 13.5)			250 PSI (SDR 17)			160 PSI (SDR 26)			125 PSI (SDR 32.5)			100 PSI (SDR 41)		
				Diámetro interno promedio		Espesor de pared	Diámetro interno promedio		Espesor de pared	Diámetro interno promedio		Espesor de pared	Diámetro interno promedio		Espesor de pared	Diámetro interno promedio		Espesor de pared
Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	Pulg.	mm.	Pulg.	Pulg.	mm.	Pulg.	Pulg.	mm.	Pulg.	Pulg.	mm.	Pulg.
1/2	12	0.84	21.34	0.716	18.19	0.062												
3/4	18	1.050	26.67	0.894	22.71	0.078	0.926	23.52	0.062									
1	25	1.315	33.40	1.121	28.47	0.097	1.161	29.49	0.077	1.195	30.35	0.060						
1 1/4	32	1.660	42.16	1.414	35.92	0.123	1.464	37.19	0.098	1.532	38.91	0.064	1.540	39.12	0.060			
1 1/2	38	1.900	48.26	1.618	41.10	0.141	1.676	42.57	0.112	1.754	44.55	0.073	1.780	45.21	0.060	1.802	45.77	0.049
2	50	2.375	60.33	2.023	51.38	0.176	2.095	53.21	0.140	2.193	55.70	0.091	2.229	56.62	0.073	2.259	57.38	0.058
2 1/2	63	2.875	73.03	2.449	62.20	0.213	2.537	64.44	0.169	2.655	67.44	0.110	2.699	68.55	0.088	2.735	69.47	0.070
3	75	3.500	88.90	2.982	75.74	0.259	3.088	78.44	0.206	3.230	82.04	0.135	3.284	83.41	0.108	3.330	84.58	0.085
4	100	4.500	114.30	3.834	97.38	0.333	3.970	100.84	0.265	4.154	105.51	0.173	4.224	107.29	0.138	4.280	108.71	0.110
6	150	6.625	168.28	5.643	142.33	0.491	5.845	148.46	0.390	6.115	155.32	0.255	6.217	157.91	0.204	6.301	160.05	0.162
8	200	8.625	219.08				7.809	193.27	0.508	7.961	202.21	0.332	8.095	205.61	0.265	8.205	208.41	0.210
10	250	10.750	273.05				9.486	240.94	0.632	9.924	252.07	0.413	10.088	256.24	0.331	10.226	259.74	0.262
12	300	12.750	323.85				11.250	285.75	0.750	11.770	298.96	0.490	11.966	303.94	0.392	12.128	308.05	0.311

Se fabrica bajo pedido, verificar cantidad mínima.

Anexo 2. Costo aproximado de construcción de caseta

Descripción	Unidad	Costo Unitario	Costo
Terreno 50 metros cuadrados	GBL	¢750 000,00	¢ 750 000,00
Construcción de la caseta 5 metros cuadrados	GBL	¢550 000,00	¢ 550 000,00
Cerramiento Perimetro 40 metros lineales	ML	¢ 12 500,00	¢ 500 000,00
Valvulas tipo bola 2"	UN	¢ 19 450,00	¢ 38 900,00
Tubo de 4" PVC, sch40	UN	¢ 39 950,00	¢ 79 900,00
Accesorios PVS	GBL	¢ 65 000,00	¢ 65 000,00
Bomba de 2HP	UN	¢360 000,00	¢ 360 000,00
Manometro	UN	¢ 6 700,00	¢ 6 700,00
Sistema Electrico y de Control	GBL	¢250 000,00	¢ 250 000,00
TOTAL			¢2 600 500,00

Glosario

- Acuífero: Formación geológica o grupo de formaciones que contiene agua y que permite su movimiento a través de sus poros bajo la acción de la aceleración de la gravedad o de diferencias de presión.
- Afluente: Agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio o a algún proceso de tratamiento.
- ARESEP: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.
- ASADA: Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Rurales.
- AyA: Acueductos y Alcantarillados.
- MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica.
- QMD: Caudal máximo por día.

- QMH: Caudal máximo por hora.
- TEC: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- UCR: Universidad de Costa Rica.