

Universidad Técnica Nacional

Sede Central

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Trabajo final de graduación para optar por el título de Licenciatura en
Ingeniería Electromecánica

Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la
Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela

Autor:

Marcos Antonio Hernández Salazar

II Cuatrimestre, 2022

Universidad Técnica Nacional
Sede Central



Acta de Aprobación 10-2022

En la ciudad de Alajuela, a los 02 días del mes de setiembre del año 2022 el Tribunal evaluador participando de forma remota y conformado por las personas: Ing. Marvin Segura Trejos, Ing. Farid Herrera Corrales, Ing. Ronald Porras Alvarado, M.Sc. Rolando Marín León e Ing. Erick Vindas Arguedas, proceden a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica del estudiante **Marcos Antonio Hernández Salazar**, identificación **206740079**, titulado: “**Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela**”, modalidad proyecto de graduación.

El Tribunal Evaluador apegado a las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación de la Universidad Técnica Nacional, realizó la revisión del proyecto del estudiante otorgando una calificación de 9.7, dando como resultado

APROBADO.

MARVIN
GERARDO
SEGURA
TREJOS
(FIRMA)

Firmado
digitalmente por
MARVIN
GERARDO
SEGURA TREJOS
(FIRMA)
Fecha: 2022.09.02
19:36:01 -06'00'

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 22 de agosto del 2022

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela” elaborado por el estudiante: Marcos Antonio Hernández Salazar, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Suscribe cordialmente,

**FARID ALBERTO
HERRERA
CORRALES**

Farid Herrera Corrales

FARID ALBERTO
HERRERA CORRALES
2022.08.23 17:05:38 -06'00'

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha:

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

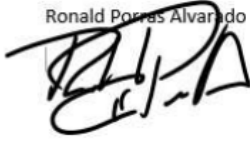
Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela” elaborado por el estudiante: Marcos Antonio Hernández Salazar, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Suscribe cordialmente,

 RONALD PORRAS
ALVARADO
(FIRMA)
2022.08.15
20:35:04 -06'00'

Ing. Ronald Porras Alvarado

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 16 de agosto, 2022

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

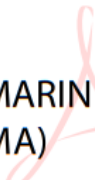
He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela” elaborado por el estudiante: Marcos Antonio Hernández Salazar, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.

Suscribe cordialmente,

ROLANDO
ALBERTO MARIN LEON (FIRMA)



Firmado digitalmente
por ROLANDO ALBERTO
MARIN LEON (FIRMA)
Fecha: 2022.08.16
19:24:32 -06'00'

M.Sc. Rolando Alberto Marín León

**UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL FILÓLOGO
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 21/08/2022

Señores Miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado: “Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela”, elaborado por el estudiante: Marcos Antonio Hernández Salazar, para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe de Ustedes cordialmente,



Zayda Ureña Araya

DECLARACIÓN JURADA

El suscrito, Marcos Antonio Hernández Salazar con cédula de identidad número 206740079, declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: Que soy el autor (a) del presente trabajo final de graduación, modalidad memoria; para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica Nacional y que el contenido de dicho trabajo es obra original del suscrito.

Fecha: 22/08/2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marcos Antonio Hernández Salazar', is written over a horizontal line.

Marcos Antonio Hernández Salazar

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a Dios. Él supo guiarme, me dio salud y fortaleza para seguir adelante ante muchos problemas que se presentaron, y me enseñó a afrontar las adversidades.

Agradecimientos

A mi familia, gracias por su apoyo, comprensión, ayuda, consejos y amor. Me han dado valores y principios, para lograr finalizar la carrera.

A los profesores, quienes logran transmitir el conocimiento y habilidades para lograr tener éxito en los exámenes, proyectos académicos y proyectos laborales.

Gracias también a mis compañeros de carrera, que durante estos seis años nos hemos apoyado mutuamente y nos ha permitido considerarnos una segunda familia: Irene, Juan, Jean Carlo, Brayan, Victor, Francisco, Claudia, Nancy, Beatriz y Kevin.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Resumen.....	23
2	Introducción	25
2.1	Área de estudio	26
➤	Línea temática	26
➤	Situación problema	26
➤	Área temática.....	26
➤	Tema de estudio	26
➤	Objeto de estudio.....	27
2.2	Delimitación de problema	27
2.3	Justificación	28
2.4	Situación actual del conocimiento del tema.....	29
2.5	Objetivos	31
2.5.1	Objetivo general	31
2.5.2	Objetivos específicos.....	31
3	Marco Teórico	33
3.1	Sistema de abastecimiento de agua potable	33
3.1.1	Acueducto	33
3.1.2	La población para el diseño.....	35
3.2	Componentes básicos de un acueducto.....	36
3.2.1	Obras de captación y toma.....	36

3.2.2	Medición de caudal.....	36
3.2.3	Tuberías de conducción y distribución	38
3.2.4	Tanques de almacenamiento	40
3.3	Sistemas de bombeo.....	41
3.3.1	Estación o estaciones de bombeo.....	41
3.3.2	Los principales elementos de las estaciones de bombeo.....	41
3.3.3	Ciclo de bombeo.....	43
3.3.4	Tipos de sistemas de abastecimiento.....	43
3.3.5	Carga neta de succión positiva (NPSH)	45
3.3.6	Profundidad mínima	47
3.3.7	Cargas de impulsión.....	47
3.3.8	Potencia requerida del equipo de bombeo	48
3.4	Tipos de bombas	49
3.5	Software	50
3.5.1	AutoCAD	50
3.5.2	EPANET	50
4	Marco Metodológico.....	51
4.1	Tipo de Investigación.....	51
4.2	Hipótesis.....	51
4.3	Definición de variables	52
4.4	Muestra	53
4.5	Técnicas e instrumentación	54

4.6	Metodología.....	55
4.6.1	Información de entrada.....	55
4.6.2	Revisión de consumos	56
4.6.3	Información de desarrollo	57
4.6.4	Información de salidas (electromecánicas)	58
5	Análisis de la ASADA de Aguas Zarcas.....	60
5.1	Ubicación geográfica de las nacientes	60
5.2	Captación y aforos de nacientes	60
5.3	Tanques de almacenamiento	65
5.4	Sectorizaciones	67
5.5	Análisis de consumo por sector según nacimiento de alimentación	68
5.5.1	Suministro de agua potable Nacimiento Estrada	69
5.5.2	Suministro de agua potable Nacimiento Bejarano	70
5.5.3	Suministro de agua potable Nacimiento Carvajal.....	71
5.5.4	Resumen de análisis de consumo por nacimiento	72
5.5.5	Caudal de consumo por nacimiento, respecto al caudal de aforo en época seca	73
6	Crecimiento poblacional y efecto de consumo, ASADA de Aguas Zarcas	76
6.1	Proyección de crecimiento poblacional del distrito de Aguas Zarcas	76
6.2	Proyecciones de consumo en Nacimiento Bejarano	77

6.2.1	Estudios de proyecciones de consumo en Naciente Bejarano (Sector de Arriba)	77
6.2.2	Proyección de consumo, Calculadora de Balance Hídrico para ASADAS, Versión 1, Naciente Bejarano.....	80
6.2.3	Proyección de consumo, Estudio de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela; Naciente Bejarano.....	83
6.2.4	Resumen de diferencias de factores utilizados en los tres estudios de la Naciente Bejarano.....	85
6.3	Proyección de consumo de la Naciente Carvajal	86
6.4	Proyección de consumo de la Naciente Estrada	87
7	Propuestas de suministro de agua potable, 2037-2056	88
7.1	Bombeo desde la Naciente Estrada al Tanque Bejarano, 2037 a 2056	88
7.2	Bombeo desde la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano, 2037 al 2056	92
7.2.1	Subproyecto del Bombeo de la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano.	93
7.3	Bombeo desde la Perforación del Pozo P#1 al Tanque Bejarano	94
7.4	Dotación de las Naciente Moreras #1 y #2 al Tanque Bejarano.....	96
7.5	Resumen de los sistemas propuestos.....	99
8	Detalle de insumos, materiales, equipos y construcción a realizar para cada proyecto	100

8.1	Materiales tubería y válvulas	100
8.2	Construcción Civil.....	101
8.3	Equipos eléctricos	101
8.3.1	Bombas	102
8.3.2	Conductores	104
8.3.3	Protecciones termomagnéticas	104
8.3.4	Transformadores	105
8.4	Requerimientos adicionales.....	106
8.4.1	Estudios hidrogeológicos.....	106
8.4.2	Compra de terreno	106
9	Inversión de desarrollo del proyecto	107
9.1	Evaluación de la inversión inicial de cada proyecto, valor presente	
2022	107	
9.2	Costos fijos anuales	108
9.2.1	Recibo eléctrico	108
9.2.2	Mantenimiento anual de la bomba centrífuga y sumergible	109
9.3	Sustitución de activos.....	111
10	Selección de la propuesta de suministro de agua potable para el 2037	112
10.1	Categorías de selección.....	112
11	Análisis económico	115
11.1	Análisis económico sin ahorro.....	117

11.2	Análisis económico con ahorro compuesto.....	121
11.3	Resumen comparativo de análisis económico	122
12	Herramienta de EPANET	123
13	Conclusiones.....	128
14	Recomendaciones	130
15	Referencias bibliográficas	131
15.1	Consultor.....	135
16	Apéndices	136
17	Anexos	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de Variables de la investigación	52
Tabla 2. Ubicación de las Nacientes por coordenadas geográficas	60
Tabla 3. Lectura de aforos de las Nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas, 7/19 al 6/20 y 7/20 al 6/21	62
Tabla 4. Tanques de almacenamiento de la Asada de Aguas Zarcas y su ubicación geográfica.....	66
Tabla 5. Sectores de previstas de la ASADA de Aguas Zarcas	68
Tabla 6. Suministro de agua potable a los sectores que alimenta la Naciente Estrada	69
Tabla 7. Suministro de agua potable Naciente Bejarano.....	70
Tabla 8. Suministro de agua potable Naciente Carvajal.....	72
Tabla 9. Resumen de análisis de consumo por naciente	73
Tabla 10. Proyección del Crecimiento de la población del 2011 al 2025, INEC 2011. Distrito de Aguas Zarcas	76
Tabla 11. Ingreso de datos para la “Calculadora de balance hídrico para ASADAS”, Versión 1	81
Tabla 12. Parámetros de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela, 2018.....	83
Tabla 13. Proyección del consumo de la Naciente Bejarano, con los datos indicados por el Ing. Néstor Vargas Araya, en el Estudio de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela (2018).....	84
Tabla 14. Diferencias de factores utilizados en los tres estudios	85

Tabla 15. Resumen de los sistemas propuestos	99
Tabla 16. Lista cotizada de tuberías, válvulas y accesorios de cada proyecto.....	100
Tabla 17. Lista cotizada de construcción civil.....	101
Tabla 18. Lista de cotización de equipos eléctricos de cada proyecto	102
Tabla 19. Información para que el proveedor realice las cotizaciones de las bombas	103
Tabla 20. Información del manual de cada bomba cotizada	103
Tabla 21. Diámetro de conductores.....	104
Tabla 22. Protección termomagnética para las bombas.....	105
Tabla 23. Selección del transformador	105
Tabla 24. Inversión inicial de cada proyecto.....	107
Tabla 25. Distribución anual de bombeo, montos totales de este para un periodo de 20 años.....	109
Tabla 26. Costo de mantenimiento de la bomba centrífuga para un periodo de 20 años.....	110
Tabla 27. Costo de mantenimiento de la bomba sumergible para un periodo de 20 años.....	110
Tabla 28. Reemplazo de activo	111
Tabla 29. Categoría de selección y puntuación.....	113
Tabla 30. Selección del proyecto a desarrollar.....	114
Tabla 31. Valor presente del proyecto seleccionado más IVA	115
Tabla 32. Valor futuro sin intereses	116
Tabla 33. Préstamo para solicitar en el 2036	116

Tabla 34. Préstamo de la inversión inicial (2036), con el Banco Popular de Costa Rica	117
Tabla 35. Préstamo para el cambio de bombas	118
Tabla 36. Proyección de Previstas a suministrar agua potable, anualmente, durante la vida del proyecto.....	119
Tabla 37. Incremento de los costos y gastos operativos de la ASADA de Aguas Zarcas	120
Tabla 38. Ingresos y egresos por previstas en valor presente y valor futuro.....	120
Tabla 39. Factibilidad del Proyecto.....	121
Tabla 40. Comparación de las propuestas del análisis económico.	122

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapas del escenario de cambio climático de la precipitación (%) media de mayo-julio del 2020 y del 2050, proyectado por el modelo regional PRECIS con condiciones de frontera del modelo global HadCM3 y el escenario de emisiones A2. La figura a la izquierda (A) es el clima del 2020 y a la derecha (B) la del 2050	35
Ilustración 2. Naciente Morera #2.....	61
Ilustración 3: Distribución de las nacientes y tanques de la ASADA de Aguas Zarcas	67
Ilustración 4. Topografía de la ruta de interconexión entre la Naciente Estrada y el Tanque Bejarano	89
Ilustración 5. Topografía de la ruta de interconexión entre la Naciente Carvajal y el Tanque Bejarano.....	93
Ilustración 6. Punto seleccionado para hacer la perforación según recorte del mapa “Potencial alto de acuífero de 0 m a 30 m”	95
Ilustración 7. Topografía de la ruta de interconexión entre la perforación de Pozo P#1 y el Tanque Bejarano.	96
Ilustración 8. Ruta desde el Tanque Bejarano a las Nacientes Morera; se visualiza el punto de instalación de la válvula reguladora de presión	97
Ilustración 9. Perfil de elevación de la ruta del Tanque Bejarano a las Nacientes Morera; se visualiza el punto de instalación de la válvula reguladora de presión ...	98
Ilustración 10. Distribución de agua potable con la Naciente Estrada.....	124
Ilustración 11. Distribución de agua potable con la Naciente Bejarano	125
Ilustración 12. Distribución de agua potable con la Naciente Carvajal	126

Ilustración 13. Distribución total del sistema hidráulico de la ASADA de Aguas Zarcas	127
---	-----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Caudales mínimos y promedios de las nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas, en l/s	64
Gráfico 2. Porcentaje del caudal promedio de las nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas, en m ³ /mes	65
Gráfico 3. Diferencia del caudal de consumo vs. el menor caudal proporcionado por cada naciente	74
Gráfico 4. Proyección de consumo de la Naciente Bejarano y su disminución de caudal	79
Gráfico 5. Balance hídrico	82

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Principales consumidores, de la ASADA de Aguas Zarcas.	136
Apéndice 2. Proyección de consumo de la Naciente Bejarano (Sector de Arriba). 137	
Apéndice 3. Proyección de consumo según Calculadora de Balance Hídrico para ASADAS, Versión 1.....	138
Apéndice 4. Memoria de cálculo del sistema de bombeo, desde la Naciente Estrada al Tanque Bejarano	139
Apéndice 5. Memoria de cálculo del sistema de bombeo, desde la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano	140
Apéndice 6. Memoria de cálculo del sistema de bombeo, desde la Perforación P#1 al Tanque Bejarano	141
Apéndice 7. Memoria de cálculo del sistema por gravedad, desde las Nacientes Morera #1 y #2 al Tanque Bejarano	142
Apéndice 8. Memoria de cálculo del Análisis económico del proyecto seleccionado	143
Apéndice 9. Plano 3D de la distribución del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.	144
Apéndice 10. Plano del sistema mecánico del bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.	145
Apéndice 11. Plano del sistema de iluminación de la caseta del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.	146
Apéndice 12. Plano del sistema de tomacorrientes de la caseta del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.	147

Apéndice 13. Plano de la acometida eléctrica del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.....	148
--	-----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de servicio equivalente según tipo de actividad a desarrollar....	149
Anexo 2. Normas técnicas para tubos utilizados en sistemas de abastecimiento de agua potable.....	150
Anexo 3. Coeficiente “C” máximo de Hazen y Williams.....	151
Anexo 4. Gráfica de bomba seleccionada para el bombeo desde la Naciente Estrada al Tanque Bejarano	152
Anexo 5. Gráfica de bomba seleccionada para el bombeo desde la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano	153
Anexo 6. Gráfica de bomba seleccionada para el bombeo desde la Perforación P#1 al Tanque Bejarano	154

1 Resumen

Palabras claves: acueducto, bombeo, naciente, captación y perforación.

La investigación trata sobre el efecto de nuevos desarrollos urbanos y construcciones comerciales, en las condiciones de bombeo y distribución de la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADA) Aguas Zarcas, y la demanda de agua potable y presión de servicio requerida. Esto tiene el fin de contemplar la obtención del suministro de agua faltante para la Zona Alta de Aguas Zarcas, estimando un desarrollo poblacional de 17 años en el suministro de agua potable.

Para el desarrollo de la investigación, se evaluará obtener el recurso hídrico adicional requerido de las siguientes fuentes:

1. De la naciente Estrada, la cual se encuentra a un nivel inferior que la naciente Bejarano, y produce más agua de la captada actualmente, por lo que se necesitaría un diseño del sistema de bombeo, en caso de que la investigación favorezca la toma de agua en este punto.
2. De la perforación (pozo), para la cual se realizará un estudio que venga a determinar si existen mantos acuíferos en los alrededores de la naciente Bejarano, con el fin de obtener el agua faltante requerida. En el caso de que el estudio sea positivo, se ejecutará el diseño del sistema de bombeo.
3. Del Parque Nacional Juan Castro Blanco, dado que la Zona Alta de Aguas Zarcas colinda con este parque, el cual posee mayor altura que la naciente

Bejarano, por lo que se evaluará tomar el faltante de agua de esta zona, y en caso de ser necesario se hará el diseño electromecánico.

2 Introducción

El cantón de San Carlos se compone de 13 distritos, siendo Aguas Zarcas el cuarto, con una extensión de 159.04 m² (Municipalidad de San Carlos, 2014, p. 34). La localidad de Aguas Zarcas centro cuenta con los servicios de electricidad y de telefonía. En cuanto a las infraestructuras, se encuentran: escuela pública, colegio, salón comunal, iglesias, instituciones bancarias, sodas, restaurantes, diferentes negocios comerciales, Cruz Roja, clínica, instituciones del Estado, estaciones de combustible, hoteles, entre otras.

La Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADA) de Aguas Zarcas opera un sistema de abastecimiento de agua potable por gravedad, teniendo tres nacientes captadas, ocho tanques de almacenamiento, dos equipos de cloración por pastilla y medidores instalados, abasteciendo actualmente a un total de 1862 previstas.

El distrito de Aguas Zarcas cuenta con un 12% de la población de San Carlos (Municipalidad de San Carlos, 2014, p. 38). A la fecha, se tienen proyectos urbanísticos situados en Aguas Zarcas, y actualmente hay varios de esta naturaleza con interés de ser desarrollados en esta comunidad, y que requerirían aprobación de la ASADA.

La ASADA, para sus operaciones, divide a Aguas Zarcas en dos: el **Sector de Arriba**, alimentado con agua potable por la naciente Bejarano, y el **Sector de Abajo**, alimentado por las nacientes Carvajal y Estrada.

Como elementos a resaltar, la naciente Bejarano es la que se encuentra a mayor altura y abastece a la Zona Alta de Aguas Zarcas. Esta naciente se encuentra a su límite de capacidad de 20 l/s, con un total de 921 previstas instaladas, y se proyecta aumentar el suministro de agua a 36 l/s para abastecer un total de 1987 previstas y cubrir el desarrollo poblacional, en un plazo estimado de 17 años para este sector.

2.1 Área de estudio

➤ Línea temática

Sistemas de abastecimiento de agua potable.

➤ Situación problema

Falta de la capacidad del acueducto para abastecer con agua potable a nuevas urbanizaciones y/o construcciones comerciales en la Zona Alta de Aguas Zarcas.

➤ Área temática

Abastecimiento, bombeo y distribución de agua potable, proyectado a 20 años.

➤ Tema de estudio

Capacidad del acueducto de abastecimiento de agua potable en nuevos desarrollos urbanísticos.

➤ **Objeto de estudio**

El efecto de nuevos desarrollos urbanos y/o construcciones comerciales, sobre las condiciones de sistemas de bombeo, sistemas mecánicos y de distribución de las líneas de la ASADA Aguas Zarcas, y la demanda en cantidad de agua potable y presión de servicio requerida, en las previstas existentes, para el año 2021.

2.2 Delimitación de problema

La Zona Alta de Aguas Zarcas de San Carlos presenta una limitante o faltante de agua potable, ya que la naciente Bejarano, que abastece esta zona, se encuentra a su límite de capacidad de 20 l/s, con un total de 921 previstas instaladas, y existe una demanda de crecimiento poblacional del 1.93%. Para atacar esta problemática, se pretende evaluar tres opciones:

- a. Captar el excedente de agua de la naciente Estrada, la cual se encuentra a un nivel inferior que la naciente Bejarano, y produce más agua de la que se capta actualmente; por lo que se necesitaría captar este excedente de agua y bombearla al tanque de almacenamiento de la naciente Bejarano.
- b. Perforación (pozo): para esto se realizará un estudio, con el propósito de determinar si existen capas de agua subterránea en los alrededores de la naciente Bejarano, para lo que se podría desarrollar un diseño de sistema de bombeo, cuyo fin es el de transportar el agua al tanque de la naciente, y así abastecer el agua faltante requerida.
- c. Captación de recurso hídrico del Parque Nacional Juan Castro Blanco: al tomar de ahí el faltante de agua de la naciente Bejarano por medio de un

diseño hidráulico, dado que el parque nacional es colindante con la Zona Alta de Aguas Zarcas.

Para ello, se evaluará, por medio de sistemas ingenieriles y herramientas informáticas, el caudal disponible de las fuentes que tienen los panoramas planteados, de manera que se estimen los costos de captación, tubería, transporte, almacenamiento y distribución del agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas.

El diseño seleccionado pretende cubrir un desarrollo poblacional estimado de 17 años en el suministro potable de agua para la Zona Alta de Aguas Zarcas. El periodo para desarrollar el estudio es el último cuatrimestre del 2021 y el primer semestre del 2022.

2.3 Justificación

El estudio se orientará a aumentar el suministro de agua de la Zona Alta de Aguas Zarcas, debido a que actualmente la naciente Bejarano alimenta 921 previstas de agua potable, con un caudal de 20 l/s. Esta naciente se encuentra a su límite de capacidad, por lo que en poco tiempo ya no se habilitarán más previstas en los sectores que alimenta, provocando un freno en el desarrollo.

Al no contar con el caudal suficiente en la Zona Alta, y permitir la construcción de más viviendas, existe la posibilidad de tener racionamientos de agua potable, por algunas horas del día, agravándose más esta medida en horas pico. A su vez, este faltante de agua puede provocar que existan problemas de salud, como diarreas e intoxicaciones. Para setiembre de 2021, la ASADA abastece 1996 previstas, de las cuales la naciente Estrada provee el agua para 378, la naciente Carvajal para 603

(estas dos nacientes alimentan el Sector Abajo) y la naciente Bejarano suministra agua para 1006 (alimenta el Sector Arriba), de las que hay previstas comerciales, residenciales, de escuelas, de colegios y de clínicas.

La naciente Bejarano se encuentra a su límite de capacidad, por lo que se proyecta aumentar el suministro de agua a 36 l/s para abastecer un total de 1987 previstas y cubrir el desarrollo poblacional, estimado en 17 años para este sector. Este proyecto permitirá que el progreso de la zona no se detenga, y garantiza que todas las previstas instaladas cuenten con el volumen adecuado y la presión de servicio requerida.

Este proyecto permite no detener el desarrollo del distrito y del cantón de San Carlos, y que el buen suministro de agua potable contribuya a controlar problemas de salud, intoxicaciones y posibles problemas de higiene personal y comunal.

2.4 Situación actual del conocimiento del tema

A continuación, se presentan algunas investigaciones, utilizadas para la presentación de la situación actual en la que se encuentra la ASADA de Aguas Zarcas.

El estudio evalúa el historial de consumos totales del acueducto, para determinar la dotación real, la disponibilidad del recurso hídrico en las nacientes y la distribución de las tuberías. Para esto se toma en cuenta el abastecimiento actual y futuro, con la proyección del agua potable para el centro de Aguas Zarcas. De igual forma, los autores proponen aumentar el volumen de agua de 20 l/s a 36 l/s en la Zona Alta de Aguas Zarcas, ya que el volumen actual está a su límite de capacidad,

y señalan que la ASADA, en su condición actual, impide abastecer un desarrollo poblacional en un periodo de 10 años (Asesores Técnicos de Acueductos S.A., 2018).

En la tesis de graduación de Vividea Castro (2018), se recalca la similitud del trabajo a realizar, donde se destaca que en la captación de agua potable para suministrar a las comunidades es de suma importancia apegarse al procedimiento del manual de Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluviales (2017), del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, para alcanzar los objetivos del trabajo.

En la tesis de graduación de Chavarría Villalobos (2019), se recalca la similitud del trabajo a realizar, donde se destaca que, para la captación de agua potable para suministrarla a comunidades, en ellas se evalúan los componentes del sistema: hidráulica, captación, dotación, transporte, almacenamiento, saneamiento de agua y suministro de agua potable.

De acuerdo con la Municipalidad de San Carlos (2014), en el Plan de Desarrollo Distrital, Aguas Zarcas 2014-2024, se encuentra información más detallada de la zona de Aguas Zarcas y los niveles de crecimiento poblacional para los próximos años.

En la Ley 276/1942, del 27 de agosto, denominada Ley de Aguas, del Sistema Costarricense de Información Jurídica, se establecen las regulaciones para los sistemas de aguas de Costa Rica, tanto de dominio público y privado, como de su

debido aprovechamiento para navegación, consumo de animales y consumo humano.

Decreto Ejecutivo N° 38924/2015: este regula la calidad de agua para los consumos humanos, establecida por el Ministerio de Salud, para lo cual se crearon documentos para la recolección de muestras y los análisis requeridos de los laboratorios, con el fin de determinar el nivel de afectación a la salud.

2.5 Objetivos

2.5.1 Objetivo general

Evaluar distintos escenarios de fuentes de recurso hídrico (afloramiento cercano de la naciente Estrada, naciente del parque nacional y pozo), sobre la capacidad del sistema de bombeo, sistema mecánico y sistema de distribución de agua potable, por medio de estadísticas, cálculos y programas computacionales, para la determinación del incremento de capacidad de la ASADA, en la zona de Aguas Zarcas de San Carlos, durante el segundo semestre del 2021.

2.5.2 Objetivos específicos

Determinar, por medio de cálculos o estadísticas, el caudal disponible de las fuentes que tiene cada uno de los panoramas planteados, para la determinación de su capacidad de abastecimiento en la Zona Alta de Aguas Zarcas.

Evaluar, por medio de cálculos ingenieriles y herramientas informáticas, los sistemas de suministro de energía eléctrica, sistemas de bombeo, sistemas de

captación y transporte de agua potable, para estimar los costos de implementación de cada alternativa.

Desarrollar un programa computacional, donde se visualicen los datos de presión y caudal en las previstas existentes y la comparación entre los datos obtenidos del programa, versus los datos calculados, para la determinación de la confiabilidad del sistema.

3 Marco Teórico

3.1 Sistema de abastecimiento de agua potable

Sistema formado por obras con accesorios, tuberías o conductos, cuyo objetivo es captar, conducir, almacenar, tratar y distribuir agua potable. Por la manera en cómo se conduce el agua, los sistemas de abastecimiento de agua potable se dividen en dos tipos: aprovechando la gravedad o por la utilización de energía para realizar el bombeo del líquido, con el objetivo de suministrar agua potable en una zona determinada en beneficio de la población.

3.1.1 Acueducto

Los sistemas de acueductos están condicionados por la legislación, pudiendo ser sistemas de conservación, sistemas de preservación, sistemas de recursos hídricos y de obras de infraestructura de construcción, mantenimiento, reposición y sustento (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2020).

El ente costarricense, encargado de intervenir en todos los asuntos correspondientes a las operaciones, mantenimiento, administración y desarrollo de los sistemas de abastecimientos de agua potable, es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Esta institución puede delegar poderes en otras organizaciones debidamente registradas, como la Asociación Administradora de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunal (ASADAS).

Las ASADAS son asociaciones de derecho privado, sin fines de lucro, que son claves en la gestión integrada del recurso hídrico, y son las únicas responsables de la gestión comunitaria por delegación del AyA.

Las ASADAS, en conjunto con el AyA, deben realizar los estudios para abastecer a la máxima población. Los estudios contemplan la población, la geografía del terreno, los caudales de las nacientes, la distribución, el caudal en las previstas, la presión en las previstas y la disminución de caudal por el efecto del cambio climático.

Según el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones y el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2012), se estima que las temporadas de lluvia disminuyan un 6% del 2020 al 2050, en la Zona de Aguas Zarcas, San Carlos, lo que se refleja en la disminución de caudal de las fuentes de abastecimiento de agua potable.

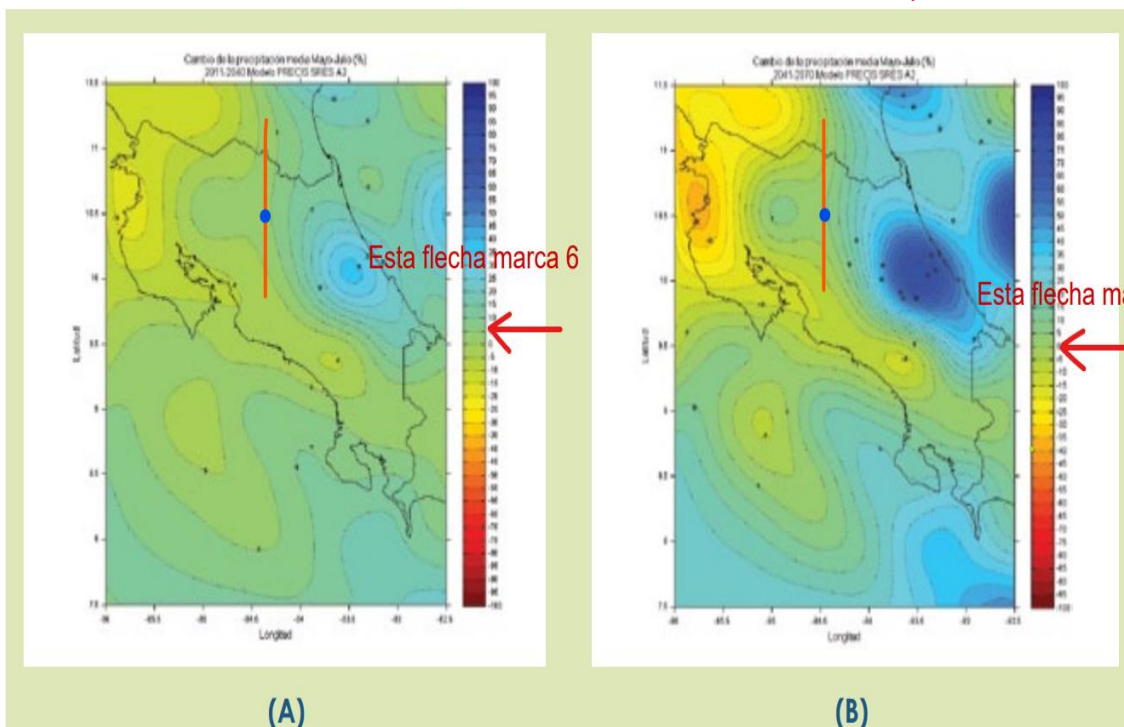


Ilustración 1. Mapas del escenario de cambio climático de la precipitación (%) media de mayo-julio del 2020 y del 2050, proyectado por el modelo regional PRECIS con condiciones de frontera del modelo global HadCM3 y el escenario de emisiones A2. La figura a la izquierda (A) es el clima del 2020 y a la derecha (B) la del 2050

Fuente: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones e Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2012).

3.1.2 La población para el diseño

Para determinar el caudal de agua que se debe suministrar a la población, se tienen que enumerar las viviendas a las que se desea proporcionar el agua potable y contemplar el número de habitantes por vivienda, según el último censo realizado a la población.

Por su parte, para el cálculo correspondiente a las unidades que no sean habitacionales, se aplica el factor correspondiente, para determinar el equivalente del consumo habitacional, y de esta manera estimar el consumo de agua potable. En el

anexo 1 se encuentra la tabla que es utilizada para adquirir los factores de equivalencias (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

Al conocer el consumo que tendrá la comunidad, se procede a realizar las captaciones de agua, con el fin de verificar si el caudal de la o las nacientes tiene la capacidad de abastecer a la población en estudio.

3.2 Componentes básicos de un acueducto

3.2.1 Obras de captación y toma

Las obras de captación se calculan a partir del caudal de agua a extraer de la fuente de agua disponibles; estas obras se tienen que diseñar para un periodo de captación que comprende de 25 a 50 años. Para determinar el periodo máximo que las fuentes pueden dotar de agua potable a la población, se calcula con la demanda de agua y el menor volumen de agua disponible de la naciente, en la época de estiaje (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

3.2.2 Medición de caudal

La tarea de la hidrometría es determinar el caudal que fluye por un sistema de tuberías o cauce en un tiempo determinado. Con la información obtenida al realizar el análisis de hidrometría, se puede llevar a cabo un estudio exhaustivo sobre el uso y utilización del agua del sistema de tuberías o cauce en estudio, con el fin de conocer el impacto económico que se puede lograr en el aprovechamiento de las aguas superficiales o subterráneas (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017).

En la mayoría de los casos, los flujos de agua no son continuos, varían al igual que la profundidad, lo que provoca un cambio de la velocidad del agua. Pero al conocer los datos de una sección transversal, y según la velocidad, se puede obtener el caudal respectivo. Se destaca el método aforo para realizar el cálculo del caudal, según por donde fluya el líquido.

Aforo, método volumétrico: se suele implementar en flujos de agua pequeños como nacientes y riachuelos (quebradas), con alto porcentaje de exactitud. Para ello se necesita un recipiente bastante grande, y donde se pueda hacer la lectura del volumen que pueda almacenar de forma precisa.

Consiste en hacer que el caudal de la naciente o quebrada llegue al depósito, conocido como recipiente, y cronometrar el tiempo en que se tarda llenando el depósito.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = caudal expresado en $\frac{m^3}{s}$

V =volumen dado en m^3

t = tiempo en segundos s

Su utilización es práctica en trabajos experimentales, o para tener una idea del flujo volumétrico que fluye en determinados riachuelos.

Al conocer el flujo de agua que puede proporcionar la naciente o el caudal requerido por la población, se determinan los diámetros de las tuberías, la vida útil, la velocidad y la presión, indicados en el reglamento del AyA.

3.2.3 Tuberías de conducción y distribución

3.2.3.1 Vida útil

Las tuberías que captación de agua, que solo requieran de desinfección para consumo humano, deben tener una vida al menos 25 años, basándose en la misma vida que tendrá la toma o captación.

“Para líneas de tubería de conducción de agua tratada, el período es de 25 años” (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p. 14), y para tuberías de distribución la vida útil es de 20 años.

3.2.3.2 Velocidad

La velocidad máxima de agua en las líneas de conducción es de 5.0 m/s y la mínima de 0.60 m/s, y la velocidad máxima en las líneas de distribución es de 3.0 m/s, según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017).

3.2.3.3 Presión

Las líneas de agua potable deben tener capacidad de soportar los golpes de ariete y las presiones estáticas que se dan dentro de las tuberías; esas líneas de agua potable también deben soportar cargas exteriores, como cargas de vehículos, soportar golpes en caso de estar expuestas y ser resistentes a la intemperie.

De acuerdo con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), se permite en puntos aislados presión de hasta 70 metros de columna de agua (mca), cuando el área sea muy quebrada o irregular.

3.2.3.4 Diámetros

En las líneas de conducción y de aducción, el diámetro será el determinado por el cálculo hidráulico.

3.2.3.5 Materiales de construcción

El más recomendado, en líneas de conducción y de aducción, es el polietileno de alta densidad, conocido como HDPE, según sus siglas en inglés. En el anexo 2, se detallan las normas técnicas que deben cumplir las tuberías en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Las líneas de conducción se deben dimensionar empleando las fórmulas de Hazen y Williams u otras; si se requiere utilizar otra fórmula, se debe justificar con base en la documentación técnica, y esta deberá ser aprobada por el AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017). Los factores máximos para la fórmula de Hazen y Williams (C), para los tipos de materiales, son los que se detallan en el anexo 3.

Imprescindiblemente, los sistemas de acueductos utilizan las tuberías para transportar agua de un lugar a otro; también estos conductos están conectados con los tanques de almacenamiento, los que permiten que, en horas de máximo consumo, la mayor parte de población cuente con agua potable, según los requerimientos del AyA.

3.2.4 Tanques de almacenamiento

El volumen de los tanques de almacenamiento debe cumplir con, al menos, los siguientes criterios mínimos:

- a) Volumen de regulación de consumos: volumen que se contempla para cubrir las fluctuaciones en diferentes horarios del día; este se determina usando las curvas de consumo de la población en estudio. En caso de no contar con la información anterior, se puede aplicar un factor de 1.14 del volumen promedio diario, siempre que el “caudal que alimenta el tanque es constante e igual al caudal promedio requerido” (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017, p. 18).
- b) Volumen de reserva contra incendios: se refiere al caudal necesario para combatir un incendio en un lugar determinado; los requerimientos los establece el Benemérito Cuerpo de Bomberos, de conformidad con la Ley N° 8641 y la Ley N° 8228 y sus reformas vigentes.
- c) Volumen de reserva por interrupciones: el volumen de reserva debe ser como mínimo de cuatro horas, según el caudal promedio diario (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

El volumen de almacenamiento mínimo contempla los tres factores anteriores.

Su diseño debe ser de al menos 25 años de vida útil (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017), y en lugares no urbanizados se debe dejar espacio para construir otro tanque de condiciones análogas.

El suministro de agua al o a los tanques se puede hacer por:

- a) Sistemas por gravedad: el punto de captación deberá estar por encima del tanque.
- b) Sistemas de bombeo: estos tienen la ventaja de que pueden estar a un nivel inferior al que se encuentra el tanque, y mediante este sistema se puede suministrar el líquido requerido al tanque.
- c) Mixto: sistema por gravedad y sistema de bombeo, cuyo fin es cubrir la demanda de agua de la población.

3.3 Sistemas de bombeo

3.3.1 Estación o estaciones de bombeo

Esta se define por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2005) como: el conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento, y la impulsan a un reservorio de almacenamiento, o directamente a la red de distribución. La vida útil de las estaciones de bombeo se diseña para 20 años; por su parte, para el motor y bomba esta debe ser de 10 a 15 años, y la vida útil de los equipos de desinfección debe ser de cinco años.

3.3.2 Los principales elementos de las estaciones de bombeo

En las estaciones de bombeo de agua potable se pueden concentrar distintos elementos que interactúan entre sí. Los más importantes son:

- Caseta de bombeo: lugar de resguardo del sistema de bombeo.

- Centros de carga: suministran la corriente a los controladores y motores.
- Tableros de protección y control eléctrico: en su interior se pueden encontrar componentes como contactores, PLC y variadores de frecuencia; de los gabinetes pueden sobresalir botoneras para controlar el arranque y la detención del motor de la bomba.
- Controladores: por lo general son PLC y/o variadores de frecuencia.
- Equipo de bombeo: está conformado por motor y bomba.
- Tubería de succión: un extremo se encuentra sumergido en el líquido que se pretende extraer, y la otra punta está conectada a la entrada de la bomba.
- Tubería de descarga: está conectada en la salida de la bomba, y la descarga se produce en los tanques de almacenamiento.
- Válvulas de regulación y control: con el fin de controlar el flujo del agua o para redireccionar el líquido.
- Equipo de cloración o de desinfección: con la finalidad de eliminar patógenos perjudiciales para la salud del ser humano.
- Instrumentos de máximo y mínimos: estos componentes pueden estar conectados al PLC, con el fin de tener un mejor desempeño de la bomba. Si el nivel inferior se acciona indicando que el nivel del agua está bajo, el PLC desconecta la corriente eléctrica del motor de la bomba para protegerlo.

3.3.3 Ciclo de bombeo

Para determinar los tiempos de trabajo de la bomba y el ciclo de arranques en 24 horas (diarios), se debe tener en cuenta el aforo que producen la fuente, la demanda de agua, la dependencia de energía y los costos de trabajo.

Se recomienda, de acuerdo con la OPS (2005), bombear por periodos de ocho horas diarias, que se pueden distribuir en las horas más ventajosas, esto con el objetivo de reducir costos y por razones operativas. En casos extremos, este periodo de bombeo puede ser mayor, pero sin exceder un máximo de 12 horas.

3.3.4 Tipos de sistemas de abastecimiento

Con un tanque de almacenamiento antes del sistema de bombeo, la dimensión de la tubería de succión, bomba y tubería de descarga se calcula con base en los caudales máximos diarios y el dígito de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{max.d} \frac{24}{N}$$

Donde:

Q_b = Caudal de bombeo, $\frac{l}{s}$.

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo diario, $\frac{l}{s}$.

N = Número de horas de bombeo.

(Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2005).

Con el tanque de almacenamiento posterior al sistema de bombeo, se calcula el caudal de bombeo, según el caudal máximo horario y las pérdidas por fricción en la línea de distribución y el número de horas de trabajo de la bomba.

3.3.4.1 Cargas por altura dinámica o altura manométrica total

La carga dinámica se define como el incremento total de la carga total del flujo a través de la bomba, según la OPS (2005), donde se deben vencer las cargas de succión más la carga de impulso:

$$H_b = H_s + H_i$$

Donde:

H_b = Altura dinámica o altura de bombeo, m.

H_s = Carga de succión, m.

H_i = Carga de impulsión, m.

3.3.4.2 La carga de succión

Es la diferencia de altura que existe entre el eje de la bomba y la altura mínima del agua que puede succionar la bomba de la captación.

$$H_s = h_s + \Delta h_s$$

Donde:

H_s = Altura del eje de la bomba al nivel inferior del agua, en el punto de captación, m.

Δh_s = Pérdida de carga en la succión, m.

Se tiene que contemplar que exista sumergido un porcentaje mínimo de la tubería de succión en el líquido de la captación, con el objetivo de que la bomba no trabaje en vacío, lo que la puede dañar.

3.3.5 Carga neta de succión positiva (NPSH)

Cuando la bomba es accionada y comienza a succionar agua, la presión en la entrada de la bomba disminuye, debido a la rapidez con que giran los alabes de la bomba, lo que provoca altas velocidades del flujo de agua. Si la presión en la entrada de la bomba se reduce por debajo de la presión de vapor del agua, se comenzarán a formar burbujas de vapor al interior del fluido.

Según el párrafo anterior, si en la entrada de la bomba disminuye la presión, se forman las burbujas y, debido a la velocidad que tiene el líquido, estas son arrastradas; cuando estas burbujas llegan a una zona de mayor presión, son aplastadas bruscamente y el vapor regresa al estado líquido. A este fenómeno se le conoce como cavitación.

Los efectos que tiene este fenómeno son: a) desgastes en los alabes de la bomba: sucede porque las burbujas de vapor chocan con estos, bruscamente, generando desgaste; b) ruidos: sucede cuando las burbujas chocan con los alabes, y el sonido da la impresión de que se trata de grava o sedimentos; c) vibraciones, debido a los golpes que tienen los alabes con las burbujas de vapor y en diferentes partes del sistema; d) reducción de caudal; y e) disminución de la eficiencia de la bomba.

Para evitar la cavitación, se tiene que contemplar la diferencia de presión en la entrada de la bomba y la presión del fluido que es bombeado. Los fabricantes de bombas enfatizan dos valores del NPSH disponible y del NPSH requerido.

El NPSH requerido es proporcionado por el fabricante, y corresponde a la carga mínima que necesita la bomba para conservar su funcionamiento estable; esto se encuentra basado en la elevación que se logra respecto al eje de la bomba.

El NPSH disponible es parámetro del conjunto de succión de la bomba: este se calcula en metros de columna de agua, mediante el siguiente cálculo.

$$NPSH_{disponible} = H_{atm} - (H_{vap} + h_s + \Delta H_s)$$

Donde:

$NPSH_{disponible}$ = Carga neta de succión positiva disponible, m.

H_{atm} = Presión atmosférica, m.

H_{vap} = Presión de vapor, m.

h_s = Altura estática de succión, m.

ΔH_s = Pérdida de carga por accesorios y tubería, m.

(Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2005).

Con el objetivo de que no se tenga cavitación en la bomba, se tiene que cumplir la siguiente fórmula:

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

Para el cálculo del NPSH, se debe trazar la distancia de referencia respecto al eje de la bomba horizontal, y para las bombas verticales se toma el punto más bajo como referencia.

Una causa adicional para que se dé la cavitación es la de las excesivas revoluciones a las que gira el motor de la bomba. Para corregir esto, se debe verificar que la velocidad del motor sea la especificada por los fabricantes.

3.3.6 Profundidad mínima

Para calcular la altura de sumergencia mínima que debe existir entre el nivel del agua y la rejilla o boca de succión de la bomba, se debe verificar el valor de las siguientes dos ecuaciones y escoger el mayor de ellos, para proseguir con el cálculo.

- Inspeccionar la velocidad para el volumen de bombeo citado.

$$\Delta H = \frac{v^2}{2g} + 0.02$$

- Con el fin de evitar el ingreso el aire a la tubería de succión, se calcula la profundidad que debe tener la tubería de succión con la siguiente fórmula:

$$\Delta H = 2.5d + 0.10$$

3.3.7 Cargas de impulsión

Principalmente, son ejercidas por la gravedad de la tierra, y es la diferencia que existe entre el nivel máximo del agua respecto al eje del impulsor, más las cargas en la línea de succión de la bomba.

$$H_i = h_i + \Delta h_i$$

Donde:

h_i = Altura máxima a la que tendrá que llegar el agua respecto al eje de la bomba, m.

Δh_i = Pérdida de carga del conducto de impulso, m.

En la ecuación de altura manométrica, remplazando las ecuaciones de carga de succión y carga de impulsión, se obtienen las siguientes relaciones:

Ecuación para bombeo de bomba con eje horizontal y eje vertical:

$$H_b = h_s + \Delta h_s + h_i + \Delta h_i$$

Ecuación para bombeo de bomba sumergible:

$$H_b = h_i + \Delta h_i$$

3.3.8 Potencia requerida del equipo de bombeo

El método matemático para realizar los cálculos de bomba y del motor de esta, se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{Q_b * H_b}{76 * \eta}$$

Donde:

P_b = Potencia de la bomba y del motor (HP).

Q_b = Flujo de bombeo (l/s).

H_b = Elevación manométrica total (m).

η = Eficiencia del equipo de bombeo; $\eta = \eta_{motor} \eta_{bomba}$.

Los fabricantes proporcionan las fichas técnicas y las curvas características con datos de capacidad y rendimiento real de cada bomba.

Se avala que la selección de la bomba deba impulsar caudal de agua a la elevación requerida, donde la eficiencia (η) debe ser mayor al 70%.

3.4 Tipos de bombas

Se destacan principalmente tres tipos de bombas en el abastecimiento de agua potable, las cuales se describen a continuación:

- a) Bombas centrífugas horizontales: estas tienen el eje horizontal; la principal ventaja que tienen es que se pueden instalar fuera del abastecimiento, por lo que se puede instalar en los lugares secos, protegidos y de fácil acceso.
- b) Bombas centrífugas verticales: la ventaja que tienen es que se pueden construir en diámetros pequeños, permitiendo poder introducirlas a los pozos; también permiten colocar determinada cantidad de impulsores sobre el mismo eje, y principalmente se colocan sobre el punto de succión.
- c) Bombas sumergibles: unidades compactas que contienen al motor y la bomba juntos; este conjunto trabaja inmerso en el punto de captación. Tienen ventaja sobre las de eje vertical para trabajar en pozos profundos. Una desventaja es su eficiencia, lo que sobrelleva a elevados costos de operación.

3.5 Software

3.5.1 AutoCAD

Software de diseño asistido por computadora (CAD), que pertenece a la familia de Autodesk. Este sistema es principalmente usado por ingenieros y arquitectos, para la creación de dibujos precisos en 2D y 3D.

Con este sistema se pueden utilizar dibujos de gran escala, lo que permite la compresión del terreno o estructura en la que se está trabajando. Por otro lado, permite emplear sistemas pequeños, como CHISF, lo que le permite al usuario una mejor percepción de estos componentes.

3.5.2 EPANET

Sistema computacional para el modelado de distribución de agua potable. Permite comprender el movimiento de agua dentro de las líneas del sistema; se admite desarrollar análisis gracias a sus distintas herramientas y aplicaciones en sistemas de agua potable.

EPANET es muy utilizado por ingenieros y consultores para el diseño, dimensionamiento y modelado de líneas de distribución de agua potable, lo que permite un mejor aprovechamiento de los recursos y una mejora en las operaciones de los componentes del sistema, como tanques y bombas, y de esta manera se reducen los costos en consumo de energía.

Es software de dominio público, que permite su descarga, copiado y distribución libremente, y es compatible con todas las versiones de Windows.

4 Marco Metodológico

En el presente apartado se detallarán argumentos utilizados con el fin del desarrollo de este trabajo; se presentan métodos prácticos y teóricos para el análisis de problemas planteados, obteniendo resultados adecuados de los inconvenientes en estudio.

4.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación será de carácter cuantitativo, para lo cual se tienen que analizar los datos de las mediciones generadas, incluyendo pruebas de campo, como datos de la simulación por computadora.

4.2 Hipótesis

La escogencia del nuevo punto de captación, que suministre agua potable a la Zona Alta de Aguas Zarcas, contribuirá al desarrollo de la población durante al menos 20 años.

El programa EPANET es una herramienta conveniente para llevar un control de presión y caudal en las previstas (en el sistema de distribución de agua potable), por parte de la ASADA de Aguas Zarcas

Cuál de los procesos analizados (afloramiento cercano de la naciente Estrada, naciente del parque nacional y pozo), será el más adecuado para la ASADA de Aguas Zarcas en beneficio de los consumidores

Cuál será el costo y tiempo del desarrollo de cada uno de los procesos planteados

4.3 Definición de variables

Tabla 1. Tabla de Variables de la investigación

Objetivos	Variable	Dimensión	Indicador
Establecer los procesos para aumentar la dotación de agua potable a la Zona Alta de Aguas Zarcas, para abastecer un desarrollo poblacional de al menos 17 años, en esta Zona Alta.	Capacidad.	Disponibilidad de agua en las previstas.	Número de previstas futuras/volumen y caudal futuro. Número de previstas futuras/volumen y caudal presente.
Determinar, por medio de cálculos o estadísticas, el caudal brindado por las fuentes en todos los meses del año, para determinar los meses que menor caudal brindan en el suministro de agua potable para la Zona Alta de Aguas Zarcas.	Caudal.	Rendimiento.	Caudal/periodo (meses).

Identificar el número de previstas máximas que se puedan dotar con el aumento del caudal, para la determinación de la presión y caudal en las horas pico, según el reglamento del AyA.	Eficiencia (previstas/ hora pico).	Disponibilidad .	Volumen proporcionado/ cantidad total de previstas.
--	--	---------------------	--

Fuente: Elaboración propia (2022).

4.4 Muestra

Actualmente, la ASADA de Aguas Zarcas cuenta con tres fuentes de captación de agua y un total de 1997 previstas instaladas, distribuidas de la siguiente manera: la naciente Bejarano abastece un número de 1010 previstas, la naciente Estrada 390, y la naciente Carvajal 597.

$$\frac{K^2 * N * p * q}{e^2 (N - 1) + K^2 * p * q}$$

Donde:

K= 1,96 (Coeficiente de confianza constante del 95%).

E = 0,10 (Error admisible).

P= 0,50 (Probabilidad a favor).

q= 0,50 (Probabilidad en contra).

N = (1997) Números de previstas actuales.

$$\frac{(1,96)^2 * 1997 * 0,5 * 0,5}{(0,1)^2 (1997 - 1) + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5} = 91,667 \approx 92$$

El número de la muestra da como resultado 92 previstas de agua potable, que se tienen que analizar y comparar con los datos del programa, esto con el fin de terminar la desviación estándar que existe entre la presión y el caudal de las previstas reales vs. las del programa EPANET.

La recolección de los datos se hará visitando diferentes locaciones con previstas instaladas de la ASADA de Aguas Zarcas. En estos puntos se va a recolectar la información de: número de prevista, caudal de entrada en la prevista, presión en la prevista y ubicación de esta.

4.5 Técnicas e instrumentación

Para recolectar la información, se usan instrumentos y técnicas con el fin de tabular y analizar la información; de esta manera se determinan los volúmenes de agua que proporciona cada naciente analizada, se establece el consumo de agua potable por persona y por prevista de los usuarios de la ASADA de Aguas Zarcas. A continuación, se presentan técnicas e instrumentos utilizados para recolectar la información.

- Diagnóstico de recorrido.
- Tablas y gráficos (tendencias).
- Tablas de consumos, hojas de cálculo.
- Lista del número de previstas.
- Lista de ubicaciones.

- Planos.
- Mapeo de las rutas de tuberías.
- Censo de habitantes.
- Censo de viviendas.
- Análisis económico.
- Método de comparación entre las propuestas.

4.6 Metodología

A continuación, se presenta la metodología a utilizar en la investigación a realizar, la cual inicialmente será por medio de visitas de campo para la recolección de datos, y que se compone de la siguiente forma:

4.6.1 Información de entrada

- Visitar las tres nacientes, para la medición de altura y ubicación con GPS por medio de aplicación celular, para determinar la toma de los puntos GPS (Mobile Topographer).
- Medición de los caudales de las tres nacientes (Estrada, Carvajal y Bejarano), para evaluar los caudales de captación de la ASADA, por medio de un aforo volumétrico.
- Determinar el caudal del afloramiento no analizado ni captado cercano a la naciente Estrada, por medio de un aforo por flotador.

- Levantamientos de mapas de ubicación con los datos del GPS de las nacientes, para manejar la información de cómo están distribuidas en el terreno, y así realizar análisis según su distribución.
- Toma de datos en campo de tuberías y número de previstas de agua potable, instaladas desde el 2018 en adelante con el programa Mobile Topographer; inspección ocular o información suministrada por funcionarios de la ASADA de Aguas Zarcas, para la actualización de planos.
- Evaluar el nivel de agua que tienen las nacientes Morera 1 y 2 del Parque Nacional Juan Castro Blanco, que son de interés para la ASADA de Aguas Zarcas, con el propósito de abastecer la Zona Alta.
- Realizar y medir la ruta y desnivel (topografía) para la tubería, en caso de toma de agua de la o las nacientes de interés para la ASADA de Aguas Zarcas, ubicadas en el Parque Nacional Juan Castro Blanco.
- Determinar la ubicación de un pozo perforado en caso de requerir su construcción, para obtener agua y bombearla para solventar el faltante para la Zona Alta de Aguas Zarcas.

4.6.2 Revisión de consumos

- Revisión de consumos actuales, por medio del registro de los medidores de la ASADA, para determinar a qué nivel de capacidad se encuentran actualmente las nacientes.

- Realizar una tabla de los principales consumidores de agua potable de las diferentes zonas, por medio de los datos de los medidores de la ASADA, para graficar los consumos y determinar su afectación en horas pico.

4.6.3 Información de desarrollo

- Análisis de los distintos escenarios de fuentes de recurso hídrico (otras nacientes, pozo, parque nacional), donde se estiman los costos de captación, tubería, transporte, almacenamiento y distribución del agua potable.
- Mediante la herramienta de Google Earth Pro, se determinan la distribución de las nacientes y los tanques de la ASADA. De igual modo, se establecen las ubicaciones de las nuevas fuentes de agua que se desean captar, y también las rutas necesarias para instalar las tuberías, si se requieren.
- La herramienta Google Earth Pro, permite determinar las elevaciones a las que encuentran las nacientes y los tanques, permite ver las rutas trazadas de las nacientes que se desean captar para el tanque Bejarano, y permite ver la elevación del terreno en el trayecto trazado.
- Mediante cálculos se determinan las tablas de idoneidad, que consiste en evaluar los tres estudios y establecer la factibilidad de cada uno de ellos, tomando en cuenta: a) vida útil de la naciente, b) caudal y c) costo de implementación.

4.6.4 Información de salidas (electromecánicas)

- Lista de los principales consumidores de agua potable.
- Actualización de planos con los datos recolectados de la visita, para determinar el número de previstas actuales, la distribución de tuberías y su correcta ubicación en estos.
- Diseño de la acometida eléctrica, para suministrar corrientes eléctricas al sistema de bombeo.
- Diseñar sistemas de bombeo, que cuenten con los requerimientos mínimos de ley.
- Proponer sistema de captación.
- Implementar el sistema de cloración o de desinfección.
- Determinar el punto de conexión del sistema nuevo de tuberías al tanque de almacenamiento, o a la línea de tuberías ya existente.
- Diseñar las líneas de tuberías del sistema de bombeo para el transporte del agua potable.
- Determinar el efecto de la conexión de sistema nuevo de agua potable sobre el sistema actual.
- Determinar los costos de captación, suministro de corriente eléctrica, sistema de bombeo, sistema de tuberías y almacenamiento.
- Determinar el costo de la perforación del pozo.

- Tablas de idoneidad para establecer cuál de los tres estudios es más factible de construir, tomando en cuenta: a) vida útil de la naciente, b) caudal, c) costo.
- Programa EPANET, con los datos del acueducto y con los datos seleccionados de la tabla de idoneidad para su uso en la ASADA de Aguas Zarcas.
- Capacitar, a la administración de la ASADA de Aguas Zarcas, en el manejo del programa EPANET, para que pueda agregar al programa las modificaciones de prevista nuevas, y que determine si otras previstas se ven afectadas en el suministro de agua y la presión de servicio.

5 Análisis de la ASADA de Aguas Zarcas

5.1 Ubicación geográfica de las nacientes

Los datos de las nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas se muestran en la siguiente tabla. La elevación de las nacientes está representada en metros sobre el nivel del mar (msnm), y mediante la ubicación geográfica en Universal Transversal de Mercator (UTM).

Tabla 2. Ubicación de las Nacientes por coordenadas geográficas

Ubicación de las Nacientes			
Nombre	Coordenadas		Elevación (msnm)
	Latitud	Longitud	
Naciente Estrada	10,36	-84,33	550,00
Naciente Carvajal	10,36	-84,33	559,00
Naciente Bejarano	10,35	-84,33	591,00
Naciente Morera #1	10,33	-84,33	800,00

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

5.2 Captación y aforos de nacientes

Las nacientes que se encuentran captadas por parte de la ASADA, y proporcionan caudal a la población de Aguas Zarcas, son: Estrada, Carvajal y Bejarano. Las nacientes Estrada y Carvajal alimentan al sector bajo de Aguas Zarcas, y la naciente Bejarano alimenta al sector alto de Aguas Zarcas.

Las nacientes Morera #1 y #2 se encuentran captadas rústicamente, como se evidencia en la ilustración siguiente; esto se debe a que se encuentran dentro del Parque Nacional Juan Castro Blanco, y por reglamento a la Ley N° 9590, Ley para autorizar el aprovechamiento de agua para consumo humano y construcción de obras conexas en el Patrimonio Natural del Estado, N° 42548-MINAE (2021). A la fecha de realizar el estudio, la ASADA de Aguas Zarcas no ha tramitado los permisos (estudios técnicos, formularios y planos, entre otros) de esta ley para realizar construcciones dentro del área protegida.



Ilustración 2. Naciente Morera #2

Fuente: Elaboración propia (2022).

En la tabla 3 se muestran los caudales aforados de las nacientes; estos datos son recolectados una vez al mes por la ASADA de Aguas Zarcas. La recolección de datos de las nacientes Morera #1 y #2 se iniciaron en la fecha 10 de julio del 2020, con el fin de analizarlos para uso futuro.

Tabla 3. Lectura de aforos de las Nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas, 7/19 al 6/20 y 7/20 al 6/21

Periodos de control	Día de Aforos	Naciente Bejarano	Naciente Carvajal	Naciente Estrada	Naciente Morera #1	Naciente Morera #2
Periodo de 10/7/2020 al 10/6/2021	10/7/2020	25,36	13,96	53,68	9,34	2,48
	10/8/2020	25,40	13,98	53,22	8,13	2,10
	10/9/2020	34,86	13,04	53,33	12,15	2,82
	10/10/2020	33,48	13,55	52,86	9,40	1,82
	14/11/2020	36,23	13,69	53,64	15,84	2,75
	14/12/2020	51,85	14,10	53,49	24,51	4,07
	15/1/2021	30,77	14,48	52,73	8,50	1,08
	15/2/2021	26,27	15,37	52,82	5,94	0,86
	15/3/2021	23,40	15,57	53,65	3,82	0,76
	15/4/2021	23,22	15,62	52,41	2,91	0,76
	15/5/2021	21,92	14,84	52,63	6,72	1,03
	15/6/2021	23,57	15,27	54,00	6,86	1,17
Total		29,69	14,46	53,21	9,51	1,81

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

En la tabla 3, se destacan los valores mínimos de cada naciente (recuadro relleno en rojo claro) y los caudales máximos (recuadro relleno de verde claro). Se evidencia que en los meses de verano (meses 02, 03, 04 y 05) es donde se presenta una disminución del caudal de las nacientes Bejarano, Estrada, Morera #1 y Morera #2. Cabe destacar que la única naciente que no tiene este comportamiento es la naciente Carvajal, en la cual el menor caudal se presenta del mes 09 al mes 12.

En el estudio hecho por Asesores Técnicos de Acueductos S.A. (2018), “se recomienda captar un afloramiento de agua contiguo a la Naciente Estrada” (p. 8); en el estudio se estima que la mejora en la naciente Estrada proporcionará un caudal superior a 30,00 l/s en época seca. Este trabajo ya se encuentra realizado, y la naciente Estrada pasó de un promedio de 16,00 l/s a un promedio de 53,21 l/s. Después de la mejora, el caudal mínimo presentado fue el 15 de abril del 2021, con un caudal de 52,41 l/s.

En el gráfico siguiente se muestran los caudales mínimos de cada naciente en barras de color rojo claro, y los caudales promedios en m³/mes con barras de color azul claro, siendo la naciente Estrada la que produce más agua, según los aforos realizados por la ASADA de Aguas Zarcas. Cabe destacar que el 100% del líquido que produce cada naciente no es aprovechado, ya que en cada naciente existen tuberías para desaguar el agua que no es consumida por los usuarios de la ASADA, lo que permite el mantenimiento de un caudal ecológico en cada sitio.

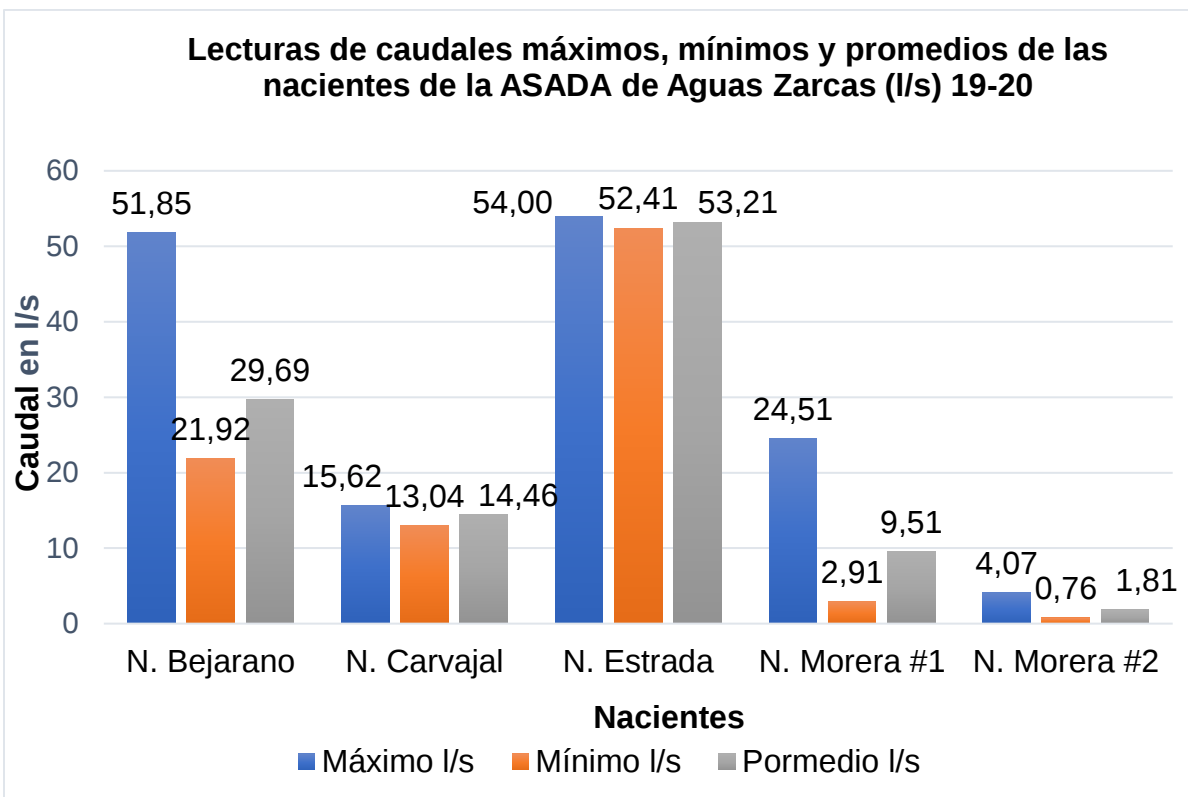


Gráfico 1. Caudales mínimos y promedios de las nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas, en l/s

Fuente: Elaboración propia (2022).

El gráfico siguiente muestra los caudales de agua que pueden suministrar las nacientes captadas por la ASADA, esto con el fin de priorizar las nacientes. Se destaca que la naciente Estrada tiene la capacidad de proporcionar el 49,00% del líquido total y la naciente Bejarano un 27,00%, siendo estas las dos nacientes más importantes para la ASADA.

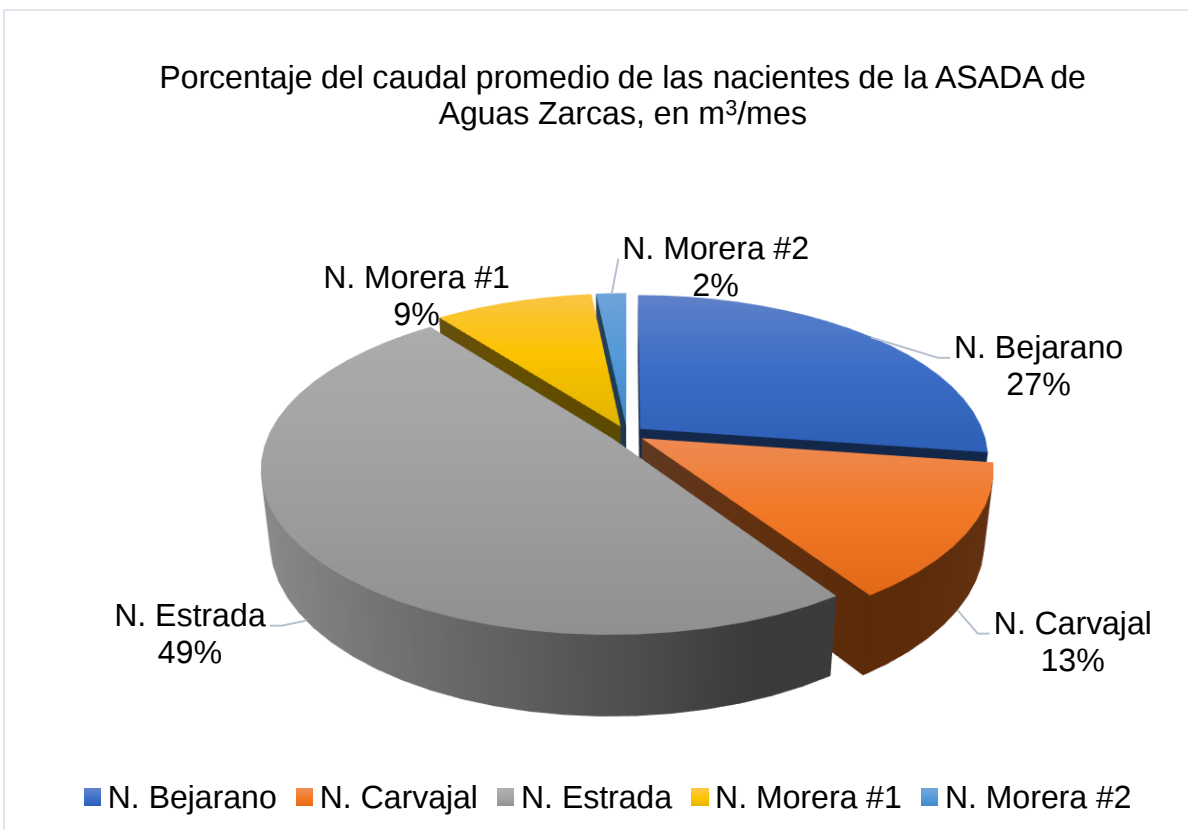


Gráfico 2. Porcentaje del caudal promedio de las nacientes de la ASADA de Aguas Zarcas, en m³/mes

Fuente: Elaboración propia (2022).

5.3 Tanques de almacenamiento

Se muestran las ubicaciones y la elevación en metros sobre el nivel del mar, de los tanques propiedad de la ASADA de Aguas Zarcas.

Tabla 4. Tanques de almacenamiento de la Asada de Aguas Zarcas y su ubicación geográfica

Ubicación de Tanques Actuales						
Nombre	Quien los alimenta	Volumen m	Elevación msnm	Material de construcción	Coordenadas	
					Long	Lat
Manantial #2	Bejarano	21,46	548,00	Acero	-84,34	10,37
San Gerardo #4 y #5	Bejarano	127,00	535,00	Acero	-84,34	10,37
Belén #3	Bejarano	200,00	557,00	Fibra de vidrio	-84,34	10,37
Botas #6	Estrada y Carvajal	57,00	512,00	Acero	-84,34	10,37
Bejarano #1 Almacenamiento	Bejarano	27,97	574,00	Acero	-84,33	10,36
Total		433,43				
Tanques próximos para construir						
Lote tanque Bejarano	Estrada, Moreras o pozo	300,00	569,00	Acero	-84,33	10,36
Tanque Estrada	Estrada	1100,00	520,00		-84,33	10,37

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Actualmente, existen seis tanques que están en uso por la ASADA de Aguas Zarcas, para un volumen total de 433,43 m³. Se pretende construir dos tanques adicionales, uno de 300 m³ y uno de 1100,00 m³, para almacenar los volúmenes del líquido requerido, con el fin de abastecer a la población en horas de máximo consumo.

En la imagen siguiente se muestra la distribución sobre el terreno de las nacientes y los tanques de almacenamiento de la ASADA de Aguas Zarcas. En la parte derecha de la imagen se pueden apreciar las nacientes Morera #1 y #2, que se encuentran dentro del Parque Juan Castro Blanco, según la línea verde continua que indica el límite entre la propiedad privada y el área de protección.

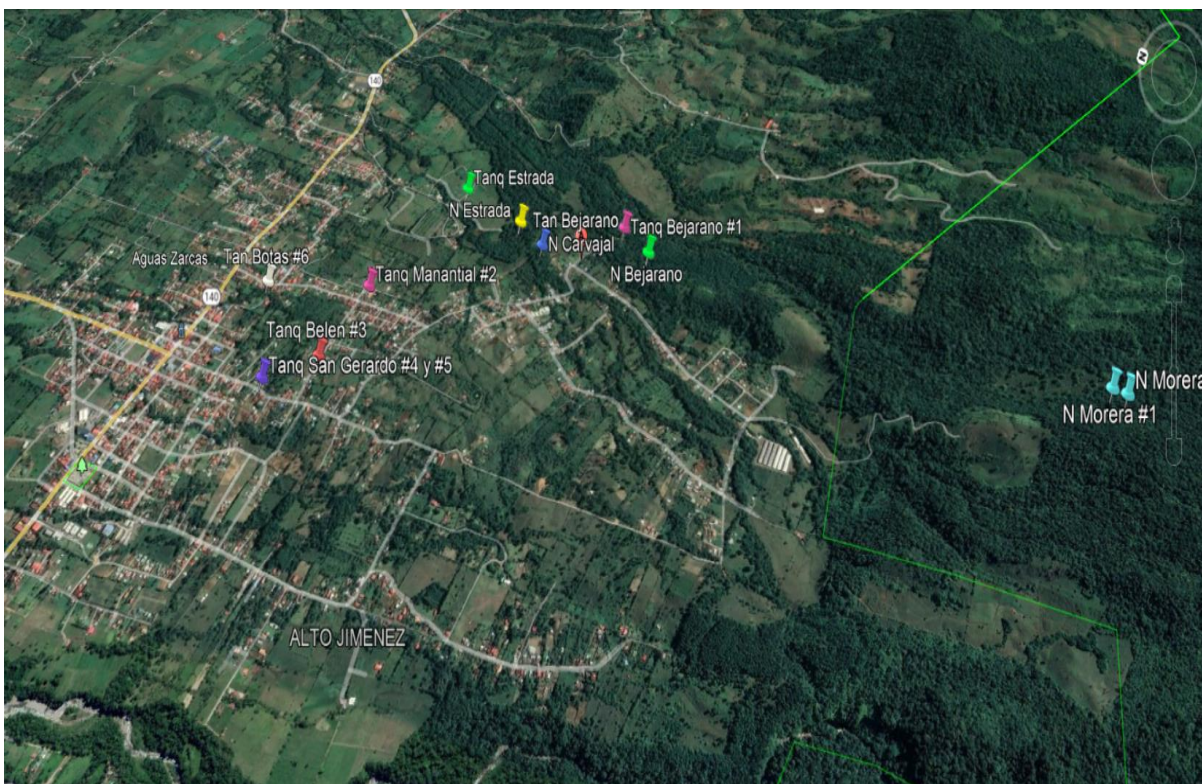


Ilustración 3: Distribución de las nacientes y tanques de la ASADA de Aguas Zarcas

Fuente: Elaboración propia (2022).

5.4 Sectorizaciones

La ASADA de Aguas Zarcas, con el fin de tener un mayor control del suministro de agua, divide en 28 sectores el total de previstas, por medio de las cuales brinda servicio, nombrándolos por lo general igual a la calle donde están. Por su parte, las previstas se separan por la naciente que las alimenta; esto se debe a que un mismo sector pueda ser alimentado por dos o más nacientes.

Tabla 5. Sectores de previstas de la ASADA de Aguas Zarcas

N°	Sector	N°	Sector
1	Venecia Calle Principal (Estrada)	15	Desvío (Carvajal)
2	Calle Berman (Bejarano)	16	Escuela (Carvajal)
3	Calle Chacón (Estrada)	17	Génesis (Bejarano)
4	Calle Colegio (Bejarano)	18	Iglesia (Bejarano)
5	Calle del Río (Carvajal)	19	La Cuesta (Estrada)
6	Calle Gadillo (Estrada)	20	Manantial (Bejarano)
7	Calle Las Rosas (Bejarano)	21	Nazareth Abajo (Bejarano)
8	Calle Pérez (Bejarano)	22	Nazareth Arriba (Bejarano)
9	Calle Pilarte (Estrada)	23	Pital (Estrada)
10	Calle San Pedro (Bejarano)	24	Pura Vida (Bejarano)
11	Calle Torres (Bejarano)	25	Río Centro (Carvajal)
12	Calle Ugalde (Bejarano)	26	San Gerardo Abajo (Bejarano)
13	Centro (Carvajal)	27	San Gerardo Arriba (Bejarano)
14	Clínica (Carvajal)	28	Viento Fresco (Estrada)

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Seguidamente, se muestra la composición por nacimiento de estos sectores y su consumo en un periodo de 12 meses.

5.5 Análisis de consumo por sector según nacimiento de alimentación

En esta sección se evalúa, entre octubre del 2020 y setiembre del 2021, el consumo promedio de cada sector, y se determina el consumo por nacimiento (Estrada, Bejarano y Carvajal) en metros cúbicos por mes, así como el consumo diario de cada una y, de esta manera, su equivalente en metros cúbicos por segundo.

5.5.1 Suministro de agua potable Naciente Estrada

En la tabla siguiente se evalúan los siete sectores que son alimentados por la naciente Estrada, se indica el número de previstas (abonados) por sector, el consumo por sector y el promedio de consumo por prevista de cada sector.

Tabla 6. Suministro de agua potable a los sectores que alimenta la Naciente Estrada

Sector	Suma de # Abonados SET-21	Suma de Promedio de consumo m ³ /mes	Promedio de Volumen de consumo por sector/previstas m ³ /mes	Suma de Porcentaje de consumo por sector
Venecia Calle Principal (Estrada)	52,00	929,50	17,90	11,00%
Calle Chacón (Estrada)	49,00	1 000,30	27,10	12,00%
Calle Gadillo (Estrada)	29,00	784,80	30,60	9,00%
Calle Pilarte (Estrada)	62,00	1 666,10	53,40	20,00%
La Cuesta (Estrada)	45,00	1 078,30	28,20	13,00%
Pital (Estrada)	71,00	1 475,00	27,70	17,00%
Viento Fresco (Estrada)	79,00	1 548,30	20,70	18,00%
Total, general	387,00	8 482,30	29,40	100,00%

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Para setiembre del 2021, el número total de usuarios alimentados por la naciente Estrada es de 387, con un suministro de 8482,30 m³/mes y un promedio de consumo por prevista de 29,40 m³/mes. El sector que más agua potable consume es Calle Pilarte, con un total de 62 previstas, y un promedio de consumo de 53,40 m³/mes por prevista, lo que equivale a un 20% del consumo total.

El sector con más previstas es Viento Fresco, con un total de 79 y un promedio de consumo por prevista de 20,70 m³/mes, y un caudal de consumo de 1548,30 m³/mes, equivalente a un 18%.

5.5.2 Suministro de agua potable Naciente Bejarano

La naciente abastece 1006 previstas de agua potable y tiene que suministrar un promedio de 21 655,50 m³/mes; el consumo promedio por prevista es de 29.37 m³/mes.

Tabla 7. Suministro de agua potable Naciente Bejarano

Etiquetas de Fila	Suma de # Abonados SET-21	Suma de Promedio de consumo m ³ /mes	Promedio de VOLUMEN CONSUMIDO/# PREVISTAS	Suma de Porcentaje de consumo por sector
Calle Berman (Bejarano)	41,00	550,33	13,42	2,54%
Calle Colegio (Bejarano)	47,00	1 900,25	86,25	8,77%
Calle Las Rosas (Bejarano)	15,00	364,67	24,31	1,68%
Calle Pérez (Bejarano)	38,00	886,50	23,33	4,09%
Calle San Pedro (Bejarano)	63,00	1 170,25	18,58	5,40%
Calle Torres (Bejarano)	27,00	434,25	16,08	2,01%
Calle Ugalde (Bejarano)	86,00	1 817,92	21,14	8,39%
Génesis (Bejarano)	56,00	1 396,25	48,94	6,45%
Iglesia (Bejarano)	53,00	1 139,25	25,37	5,26%
Manantial (Bejarano)	92,00	2 032,92	16,11	9,39%
Nazareth Abajo (Bejarano)	221,00	4 437,67	24,08	20,49%
Nazareth Arriba (Bejarano)	57,00	1 039,75	19,32	4,80%
Pura Vida (Bejarano)	33,00	735,67	28,24	3,40%
San Gerardo Abajo (Bejarano)	96,00	2 205,75	31,85	10,19%
San Gerardo Arriba (Bejarano)	81,00	1 544,08	13,90	7,13%
Total General	1 006	21 655,50	29,37	100.00%

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Los sectores que más consumen son Nazareth Abajo con 4 438,00 m³/mes, para un total de 221 previstas, lo que equivale al 20,49% del suministro (celda marcada con fondo verde claro) y un promedio de consumo por prevista de 24,10 m³/mes. El segundo sector que más consume es San Gerardo Abajo, con 96 previstas y un consumo de 2 205,75 m³/mes, equivalente a un 10,19% del total. La media de gasto por prevista es de 31,85 m³/mes, y un consumo por prevista de 0.011729 l/s.

El sector de Calle Colegio presenta 47 previstas, y un consumo de 1 900,25 m³/mes, para un consumo promedio por prevista de 86,25 m³/mes, siendo el sector que más consume por prevista, el cual se convierte en un sector crítico para la ASADA. Este mismo sector equivale al 8,77% del suministro total que proporciona la Naciente Bejarano.

5.5.3 Suministro de agua potable Naciente Carvajal

Esta naciente abastece 603 previstas, el promedio del caudal total demandado es de 13 796.83 m³/mes, y el consumo promedio por prevista es de 34.43 m³/mes.

Tabla 8. Suministro de agua potable Naciente Carvajal

Etiquetas de Fila	Suma de # Abonados SET-21	Suma de Promedio de consumo m ³ /mes	Promedio de VOLUMEN CONSUMIDO/# PREVISTAS	Suma de Porcentaje de consumo por sector
Calle del Río (Carvajal)	19,00	979,50	82,81	7,10%
Centro (Carvajal)	189,00	2 909,83	20,05	21,09%
Clínica (Carvajal)	21,00	588,58	35,96	4,27%
Desvío (Carvajal)	120,00	3 500,25	34,32	25,37%
Escuela (Carvajal)	92,00	1 619,25	19,22	11,74%
Río Centro (Carvajal)	162,00	4 199,42	25,76	30,44%
Total General	603,00	13 796,83	34,43	100,00%

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

El sector que más consume es Río Centro, con 162 previstas y un promedio de consumo por prevista para este sector de 25,76 m³/mes; el sector Desvío con 120 previstas consume 3 500,25 m³/mes, el cual presenta un consumo promedio por prevista de 34,32 m³/mes. El promedio de consumo total por prevista es de 34,43 m³/mes.

5.5.4 Resumen de análisis de consumo por naciente

En la tabla siguiente se resume el número de previstas que alimenta cada naciente, para un total de 1996 previstas en setiembre del 2021, y se requiere un caudal de 43 634.60 metros cúbicos por mes, para abastecer a la población de Aguas Zarcas.

Tabla 9. Resumen de análisis de consumo por naciente

Nacientes	# Abonados SET-21	Promedio de consumo m ³ /mes	Consumo total de cada naciente en l/s
Bejarano	1 006,00	21 655,50	11,80
Carvajal	603,00	13 796,80	7,07
Estrada	387,00	8 482,30	4,54
Total, general	1 996,00	43 934,60	23,41

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

La naciente Bejarano suministra 11,80 l/s para cubrir la demanda de agua potable, la naciente Carvajal tiene una demanda de 7,07 l/s y la naciente Estrada de 4,54 l/s, para un total de 23,41 l/s requeridos de demanda por los usuarios de la ASADA de Aguas Zarcas.

5.5.5 Caudal de consumo por naciente, respecto al caudal de aforo en época seca

Seguidamente, se muestra el consumo de cada naciente, el caudal demandado por la población versus el caudal de aforo captado en época seca.

El menor caudal aforado de la naciente Bejarano fue el 10 de mayo del 2020, y proporcionó un caudal de 19,93 l/s. El promedio de consumo de la población es de 11.80 l/s, siendo un consumo de 59,20%.

En la naciente Carvajal, el menor caudal aforado fue el 10 de setiembre de 2019, y suministro 11.41 l/s. El promedio de consumo de la población es de 7,07 l/s, equivalente a 61,99%.

La naciente Estrada proporciona en época seca un caudal de 52,41 l/s, el caudal demandado por la población es de 4,54 l/s, y el gasto corresponde a 8,66%.

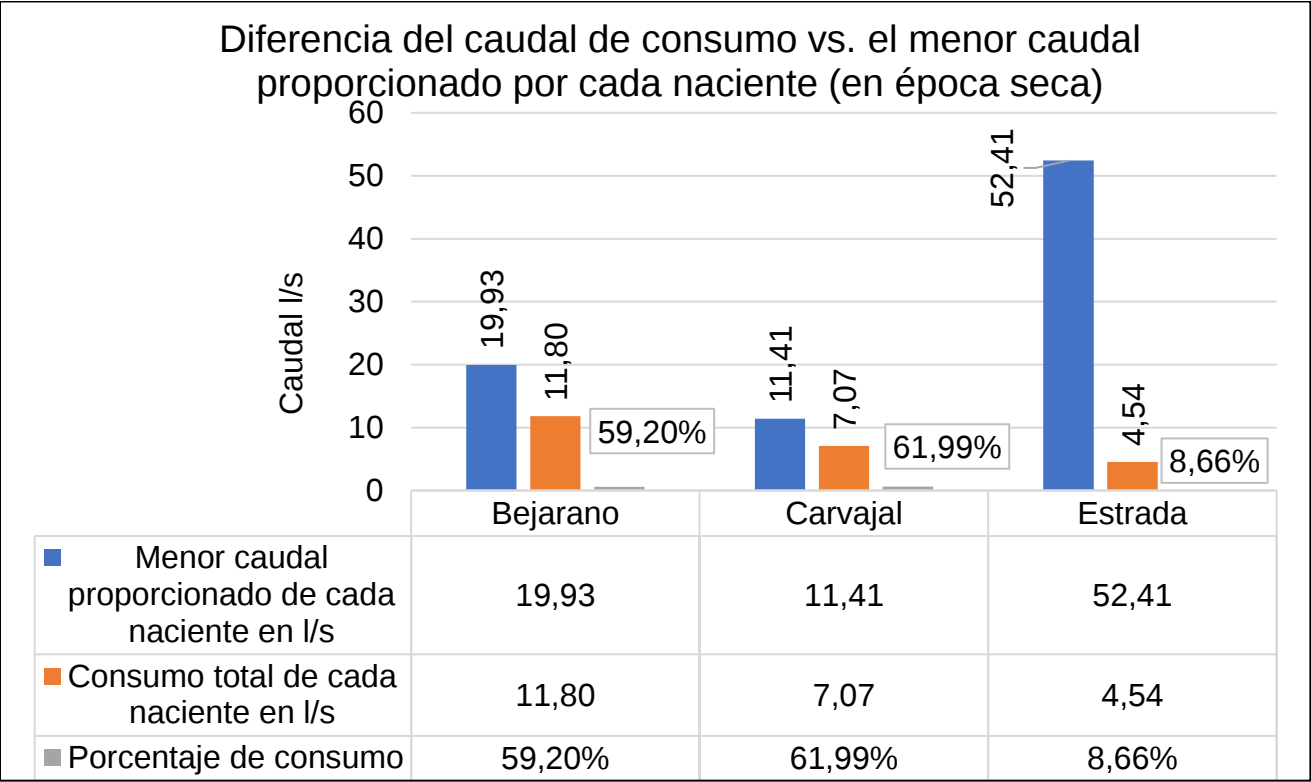


Gráfico 3. Diferencia del caudal de consumo vs. el menor caudal proporcionado por cada naciente

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Se destaca que en el 2019 se realizaron mejoras en la captación de esta naciente, y pasó de proporcionar un caudal de 15,00 l/s a 52,41 l/s en época seca.

Como se mencionó en el apartado 2 de este trabajo investigativo, la ASADA, por sus operaciones, divide a Aguas Zarcas en dos: **Sector de Arriba**, alimentado con agua potable de la naciente Bejarano y **Sector de Abajo**, alimentado por las nacientes Carvajal y Estrada.

Como elementos a resaltar, la naciente Bejarano es la que se encuentra a mayor altura y abastece a la Zona Alta de Aguas Zarcas. Se pretende aumentar el volumen de agua que proporciona, con el fin de cubrir el desarrollo poblacional futuro.

Por otra parte, las mejoras que se realizaron a la naciente Estrada brindan el caudal 40,83 l/s suficiente para cubrir la demanda por sí sola del Sector de Abajo hasta el año 2056.

6 Crecimiento poblacional y efecto de consumo, ASADA de Aguas Zarcas

6.1 Proyección de crecimiento poblacional del distrito de Aguas Zarcas

Para realizar las proyecciones futuras de crecimiento poblacional, se consultó al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos -INEC- (2011), siendo este el último censo llevado a cabo por dicha institución, y no hay a la fecha uno más actualizado, por lo que se procede a realizar los cálculos con las proyecciones del censo citado.

Tabla 10. Proyección del Crecimiento de la población del 2011 al 2025, INEC 2011. Distrito de Aguas Zarcas

Distrito	Año	Población total proyectada	Aumento de la Población respecto al año anterior	% de crecimiento	Densidad de población
Aguas Zarcas	2011	21 112,00	0	0	132,70
	2012	21 594,00	482,00	2,23%	135,80
	2013	22 075,00	481,00	2,18%	138,80
	2014	22 556,00	481,00	2,13%	141,80
	2015	23 026,00	470,00	2,04%	144,80
	2016	23 509,00	483,00	2,05%	147,80
	2017	23 989,00	480,00	2,00%	150,80
	2018	24 462,00	473,00	1,93%	153,80
	2019	24 923,00	461,00	1,85%	156,70
	2020	25 373,00	450,00	1,77%	159,50
	2021	25 843,00	470,00	1,82%	162,50
	2022	26 305,00	462,00	1,76%	165,40
	2023	26 761,00	456,00	1,70%	168,30
	2024	27 207,00	446,00	1,64%	171,10
	2025	27 647,00	440,00		173,80
			Promedio	1,93%	

Fuente: INEC, Censo (2011). Cuadro 5, Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo.

En esta tabla 9, se visualiza el crecimiento poblacional proyectado al año 2025, y en la misma tabla se promedia el crecimiento poblacional anual para el distrito de

Aguas Zarcas, equivalente a 1,93% y su densidad de población, según los datos suministrados por el INEC.

El censo, a su vez, indica el número de habitantes por vivienda, el cual corresponde a 3,71 personas. Por su parte, la ASADA estima que para el distrito de Aguas Zarcas cada vivienda tiene una prevista de agua potable.

Por consiguiente, y dado que la naciente Bejarano no ha tenido mejoras y es la que atiende la parte alta de Aguas Zarcas, se procede a realizar proyecciones de consumo, para establecer la vida útil y previstas que puedan ser abastecidas por ella.

6.2 Proyecciones de consumo en Naciente Bejarano

A continuación, se presentan tres proyecciones de consumo para la naciente Bejarano, cuyo fin es analizar la vida útil y previstas que puedan ser abastecidas durante ese periodo.

6.2.1 Estudios de proyecciones de consumo en Naciente Bejarano (Sector de Arriba)

Como se mencionó en la sección anterior, se estima un total de 3,71 habitantes por cada prevista instalada, la proyección de crecimiento será de un promedio de 1,93%, y el número de previstas instaladas en el Sector de Arriba (previstas que alimenta la naciente Bejarano), para setiembre de 2021, es de 1006 previstas.

Con estos datos se calcula el número de habitantes en el sector; para el año 2021 serán 3 732,30 individuos, y a este valor se le multiplica el 1,93%, para determinar la población del siguiente año, que para el 2022 será de 3 804,40

personas. Este dato se divide por 3,71 residentes por vivienda, para conocer el número de previstas en el 2022, las cuales se proyectan y serán 1 025,40 previstas ya instaladas.

Este procedimiento se repite para el 2023 y continúa repitiéndose hasta el 2056; de esta manera se proyectó el número de previstas correspondiente a cada año, desde el año 2021 hasta el año 2056. (Véase el apéndice 2).

Con el número de previstas anuales y el promedio de consumo por prevista (0,011729 l/s), se proyecta el consumo anual de la naciente Bejarano para los próximos 30 años. Así, en el 2021 el caudal promedio consumido por la población fue de 11,80 l/s, y para el 2056 se proyecta un consumo de 23,10 l/s, para abastecer un total de 1 965,4 previstas.

El manual de Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluviales AyA (2017), establece que el caudal promedio diario se debe multiplicar por un factor de 1.20, para obtener el caudal máximo diario (FMD), y establece un factor máximo horario (FMH) de 1,80 sobre el caudal máximo diario.

Este FMD 1,20 contempla los consumos máximos que se puedan dar en un día determinado, y el FMH de 1,80 contempla el consumo máximo en una hora determinada, o más conocido como picos de consumo.

Ya, al conocer el consumo promedio de cada año, se le multiplica el FMD de 1.20, para contemplar los días de mayor consumo (también llamado factor de seguridad, equivalente a un 20,00% más).

Como se indicó en el apartado 3, la disminución de las lluvias del 2020 al 2056 se estima que sea de un 6.00% para Aguas Zarcas, lo que equivale a un 0,27% anual, por lo que puede estimarse que el suministro de agua potable de la naciente Bejarano disminuirá año con año.

Seguidamente, se grafican el consumo del caudal promedio de la naciente Bejarano, el caudal máximo diario y la disminución de caudal de la naciente Bejarano:

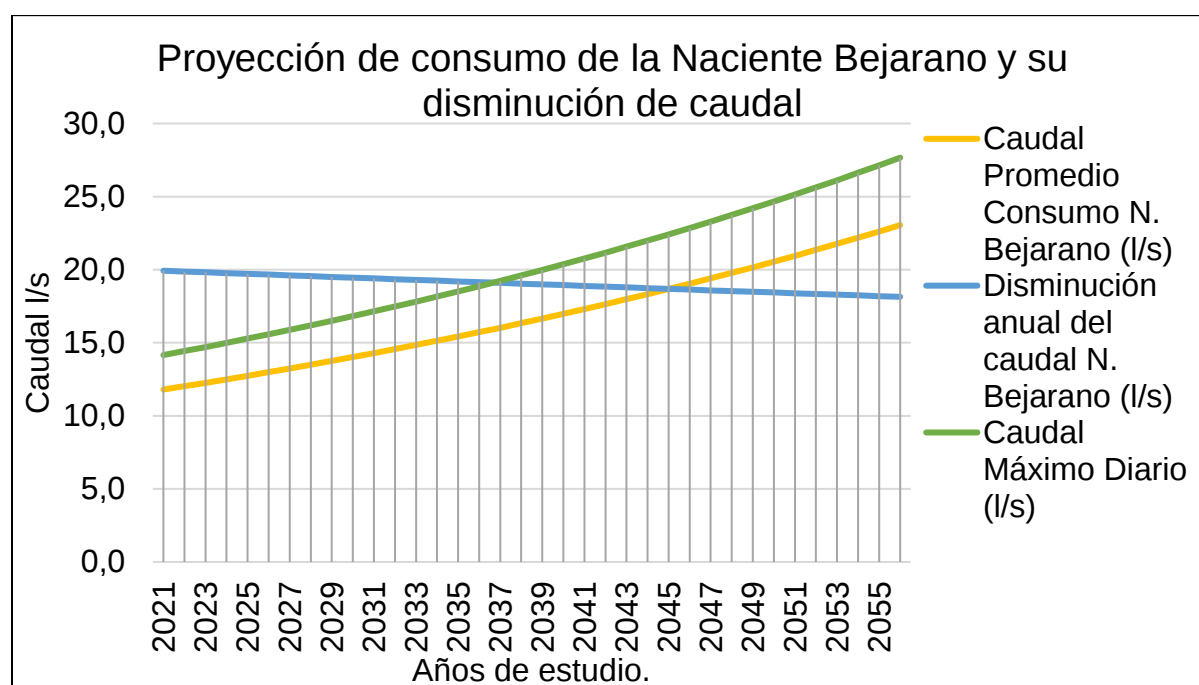


Gráfico 4. Proyección de consumo de la Naciente Bejarano y su disminución de caudal

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Con base en lo anterior, se indica en la gráfica que, a partir del 2037, la naciente Bejarano no tiene el caudal suficiente para abastecer la demanda, lo que puede provocar racionamientos en algunos sectores. Se deben buscar nuevas fuentes de agua para suministrar el caudal requerido. Para el 2056 se estima un faltante de caudal máximo diario de 9,50 l/s.

6.2.2 Proyección de consumo, Calculadora de Balance Hídrico para ASADAS, Versión 1, Naciente Bejarano

Para un análisis rápido, se cuenta con el Excel “Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1”, el cual es una herramienta generada mediante un esfuerzo conjunto de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica (UNED), de Gestión de ASADAS del AyA, y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), dentro del marco del Proyecto de Fortalecimiento de Acueductos Comunales.

El manual indica que las ASADAS podrán utilizar la calculadora de balance hídrico, principalmente con dos objetivos:

- Para conocer si es necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento que puedan ser interconectadas al acueducto.
- Para conocer si hay agua disponible para nuevos servicios.

Así mismo, este manual señala que las ASADAS, que deseen implementar esos objetivos, deben realizar un estudio técnico y ser aprobado por las Oficinas Regionales de Acueductos Comunales (ORAC) del AyA, debiéndose respetar las conclusiones de esos estudios.

A continuación, se muestran los datos que se deben ingresar a la Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1.

Tabla 11. Ingreso de datos para la “Calculadora de balance hídrico para ASADAS”, Versión 1

Descripción	Datos por ingresar
Cantidad de servicios	1 006
Caudal proporcionado por la naciente Bejarano (l/s)	19,93
Factor hacinamiento	3,71
Tipo de población	Población urbana.
Porcentaje de crecimiento poblacional anual	1,90%
Dotación (Litros/persona/día)	300,00
Factor Máximo Diario (FMD)	1,20
Factor Máximo Horario (FMH)	1,80
Estimación de efectos del cambio climático en la reducción del caudal de las fuentes	0,27%
Intervalo de análisis	4

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

Gráfico del Excel “Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1”

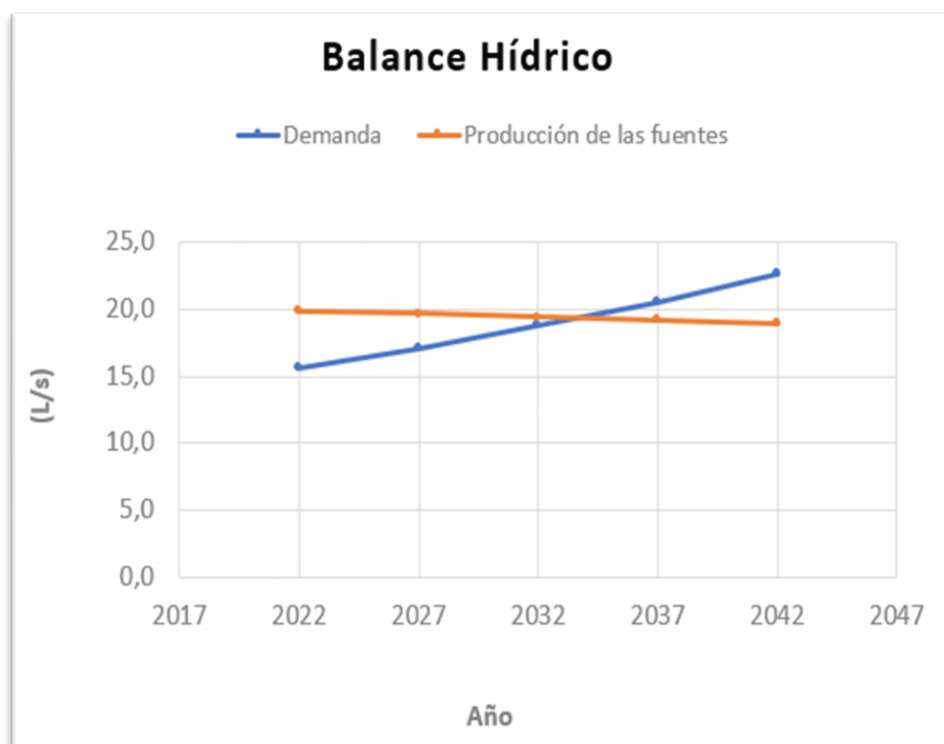


Gráfico 5. Balance hídrico

Fuente: Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1 (2022).

La línea azul muestra la demanda del caudal con el Factor Máximo Diario (FMD), y la línea anaranjada muestra el caudal de la naciente y su disminución por efecto del cambio climático.

Las líneas se interceptan entre los años 2033 y 2034, lo que indica que para el año 2034 la naciente Bejarano no tiene la capacidad de abastecer la demanda, por lo que pueden existir racionamientos de agua potable en algunos sectores.

6.2.3 Proyección de consumo, Estudio de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela; Naciente Bejarano

En el estudio realizado por el Ing. Néstor Vargas Araya, se utilizan los parámetros de evaluación hechos en el año 2018, donde se consideran para el análisis de consumo los siguientes datos:

Tabla 12. Parámetros de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela, 2018

Descripción	Datos de Evaluación
Habitantes por casa o prevista	6,00
Tasa de crecimiento poblacional, anual	3,50%
Factor de caudal máximo diario	1,25
Factor de caudal máximo horario	1,5
Dotación en litros por habitante por día	210,00
Factor de caudal por casa en l/s	0,0273

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de la información del Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela (2018).

Seguidamente, se realiza la proyección del consumo de la naciente Bejarano, con los datos indicados por el Ing. Néstor Vargas Araya, en el Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela (2018).

Tabla 13. Proyección del consumo de la Naciente Bejarano, con los datos indicados por el Ing. Néstor Vargas Araya, en el Estudio de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela (2018)

Años de proyección del estudio de evaluación	Proyección de crecimiento poblacional	Proyección del estudio de evaluación, caudal máximo diario
2018	5 526,00	16,79
2019	5 692,00	17,29
2020	5 863,00	17,81
2021	6 038,00	18,35
2022	6 220,00	18,90
2023	6 406,00	19,46
2024	6 598,00	20,05
2025	6 796,00	20,65
2026	7 000,00	21,27
2027	7 210,00	21,91
2028	7 426,00	22,56
2029	7 649,00	23,24
2030	7 879,00	23,94
2031	8 115,00	24,66
2032	8 359,00	25,39
2033	8 609,00	26,16
2034	8 868,00	26,94
2035	9 134,00	27,75
2036	9 408,00	28,58
2037	9 690,00	29,44

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de la información del Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela (2018).

Se visualiza que, para el 2024, el caudal de la naciente Bejarano (19,93 l/s) no tiene la capacidad de abastecer la demanda de 20,05 l/s, en agua potable requerida por la población, según la proyección del Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela.

6.2.4 Resumen de diferencias de factores utilizados en los tres estudios de la Naciente Bejarano

Tabla 14. Diferencias de factores utilizados en los tres estudios

Descripción de los datos	Proyección de consumo de la Naciente Bejarano (Sector de Arriba)	Proyección de consumo, Calculadora de Balance Hídrico para ASADAS, Versión 1	Proyección de consumo, Estudio de Evaluación del Acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela
Año de estudio	2021	2021	2018
Cantidad de servicios	1 006	1 006	921
Caudal proporcionado por la naciente Bejarano (l/s)	19,93	19,93	20,00
Factor hacinamiento	3,71	3,71	6,00
Tipo de población	Urbana	Urbana	Rural
Porcentaje de crecimiento poblacional anual	1,93%	1,90%	3,50%
Dotación (Litros/persona/día)	273,00	300,00	210,00
Factor Máximo Diario (FMD)	1,20	1,20	1,25
Factor Máximo Horario (FMH)	1,80	1,80	1,50
Estimación de efectos del cambio climático en reducción del caudal de las fuentes anual	0,27%	0,27%	0,00

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de la información de la Proyección de consumo de la Naciente Bejarano (Sector de Arriba), Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1, y el Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela (2018).

La comparativa de las tres proyecciones, demuestra que la Proyección de consumo de la naciente Bejarano (Sector de Arriba), es similar a la Proyección de consumo, calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1, tanto en los datos de ingreso como en los datos de salida. Por otro lado, la Proyección de consumo, Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela,

realizada por el Ing. Néstor Vargas, tiene datos de factores más elevados que los dos métodos antes mencionados. Para los dos primeros casos se tiene un factor de hacinamiento (habitantes por vivienda) de 3,71, y para el tercero uno de 6,00. Otro factor para considerar es el porcentaje de crecimiento poblacional anual, en los dos primeros casos de 1,93% y 1,90%, respectivamente, y para el tercero de 3,50%. Por esta razón, se proyecta en el Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela que, para el 2024, la naciente Bejarano no tiene la capacidad para abastecer la demanda de agua potable.

Para continuar con los cálculos de bombeo, se trabaja con los datos de Proyección de consumo de la naciente Bejarano (Sector de Arriba), ya que estos son calculados de la dotación real de la naciente Bejarano y el consumo real de la población. También se estimó el crecimiento poblacional a partir del INEC, en el Censo del 2011, y de esta misma fuente se obtiene el número de habitantes por vivienda para la comunidad de Aguas Zarcas. Otros datos importantes son los factores recomendados, FMD y FMH, por la Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017).

6.3 Proyección de consumo de la Naciente Carvajal

Como se mencionó en la sección 6.1, se estima un total de 3,71 habitantes por cada prevista instalada, donde la proyección de crecimiento será de un promedio de 1,93% y el número de previstas instaladas, para setiembre del 2021, es de 603 previstas.

Si se realizan los cálculos de la demanda de agua para el año 2056, con los mismos factores utilizados en la sección 6.1, la demanda será de 16,60 l/s. La naciente Carvajal proporciona en la época seca un máximo de 11,40 l/s, pero como se mencionó anteriormente, las nacientes Carvajal y Estrada alimentan en conjunto a la población de la parte baja, por lo que el faltante de 5,20 l/s será suministrado por la naciente Estrada, ya que las dos alimentan al tanque Botas.

6.4 Proyección de consumo de la Naciente Estrada

Se realiza la proyección de consumo del total de la población del Sector de Abajo, alimentado por las nacientes Carvajal y naciente Estrada. Se evidencia que la naciente Estrada tiene la capacidad de abastecer al total de la población del Sector de Abajo. Dado que para setiembre de 2021 tiene 990 previstas instaladas, se estimó que para el año 2056 el número de previstas será de 1 943, y se requerirá un caudal de consumo de 27,20 l/s, el cual está por debajo de los 53,43 l/s de caudal proporcionado por la naciente Estrada en época seca.

Como se menciona anteriormente, el actual suministro de agua potable de la naciente Bejarano abastecerá las previstas hasta el año 2036, según el crecimiento poblacional, y ya para el 2037 se requiere de nuevas fuentes de suministro de agua potable. En el apartado siguiente se evaluarán distintas propuestas de suministro de agua potable para la Zona Alta de Aguas Zarcas.

7 Propuestas de suministro de agua potable, 2037-2056

En la sección 6.2.1, se identifica que la naciente Bejarano, a partir del año 2037, no tendrá el caudal suficiente para cubrir la demanda de agua potable, por lo que se tendrán que buscar distintas fuentes para suplir ese faltante. Al retomar lo señalado en la sección 3.2.1, donde se indica que las obras de captación se deben diseñar para un periodo que comprenda entre 20 y 25 años, en el apéndice 2 se visualiza la proyección de consumo hasta el año 2056, cubriendo un periodo de 20 años (2036-2056), por lo que para el año 2056 el caudal demandado faltante será de 9,50 l/s.

Se procede, entonces, a realizar las siguientes propuestas para atender el faltante de agua indicado para la naciente Bejarano:

7.1 Bombeo desde la Naciente Estrada al Tanque Bejarano, 2037 a 2056

Se determina, por medio de señal satelital de la herramienta de Google Earth Pro, que existe una diferencia de elevación de 24 metros entre los puntos A “Naciente Estrada, que se encuentra a una elevación de 550 msnm”, el punto B “Tanque Bejarano, que se encuentra a una altura de 569 msnm” y el punto C “5 metros de altura entre el nivel del piso y a la entrada de agua al Tanque Bejarano”, una longitud entre los puntos A y C es de 615 m. Además, se establece que el caudal requerido para realizar los cálculos es de 9,50 l/s.

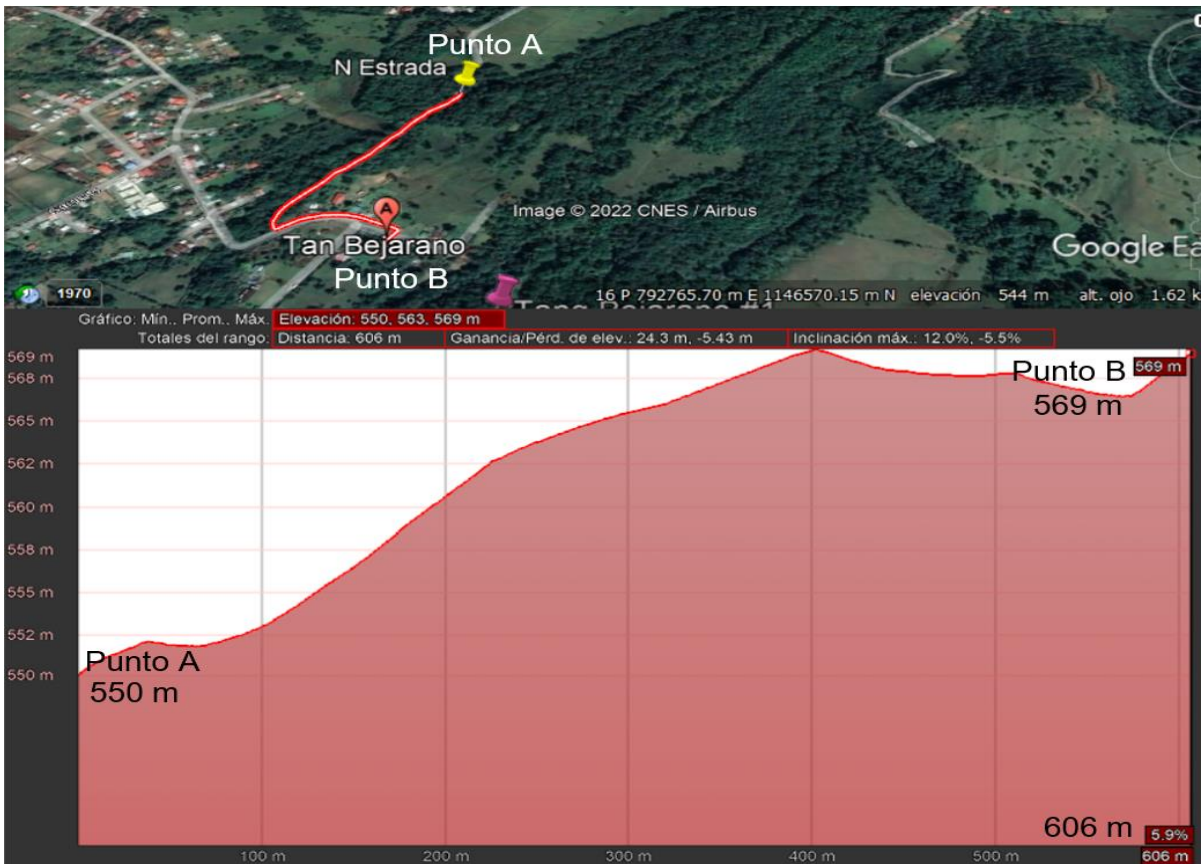


Ilustración 4. Topografía de la ruta de interconexión entre la Naciente Estrada y el Tanque Bejarano

Fuente: Elaboración propia (2022),

Se enumerarán los pasos para obtener los datos de caudal, diámetro, velocidad y potencia.

Paso 1: Estimar el caudal de bombeo (Q_b en l/s):

En las secciones 3.3.3 y 3.3.4, se establece el procedimiento para este cálculo, el cual se recomienda que sea de menos de 12 horas de bombeo al día. Así, para el cálculo se estimaron nueve horas, con el fin de poder aumentar las horas de bombeo en caso de ser necesario, y en este sentido se obtiene que el Q_b es de 25,40 l/s.

Paso 2: Diámetro comercial de la tubería; primero se selecciona una velocidad del fluido dentro de la tubería:

En la sección 3.2.3.2, se indica que la velocidad dentro de la tubería no puede ser inferior a 0,60 m/s, ni superior a 5,00 m/s, por lo que para el cálculo a realizar se establece una velocidad teórica de 3,00 m/s, esto con el propósito de determinar el diámetro ideal para mantener esa velocidad. Se obtiene, entonces, que el diámetro ideal es de 0,1038 m; seguidamente, se busca ese diámetro en el catálogo de la empresa Durman Esquivel del 2016, donde se logra identificar que el diámetro más próximo es de 0,106 m.

Paso 3: Seleccionar el tipo de tubería, la cédula de la tubería y el coeficiente “C” para la ecuación de Hazen y Williams:

El tipo de tubería a utilizar será del tipo PVC, cédula SDR 26 (160,00 psi), y el coeficiente será de 130. (Véase el anexo 3).

Paso 4: Velocidad real dentro de la tubería (m/s):

Obtenido el diámetro del tubo, se calcula la velocidad real dentro de la tubería, la cual es 2,90 m/s.

Paso 5: Calcular el coeficiente K:

Este se calcula a partir del caudal, la velocidad dentro de la tubería, la longitud de la tubería, y el coeficiente C, que es de 44 987,00.

Paso 6: Pérdida de carga por fricción dentro de la tubería (Hl en m) y disminución de carga por accesorios (hl en m):

Con el coeficiente K calculado, se procede a determinar la pérdida de carga dentro de la tubería, que es de 50,50 m. Por otro lado, el coeficiente K de los accesorios es proporcionado por los fabricantes; la pérdida de carga por accesorios se mide en metros, y para este caso es de 6,70 m.

Paso 7: Se calcula la energía que se agrega al fluido (h_a en m):

Esta corresponde a la diferencia de alturas entre el punto inicial y el punto final (26 m), más la pérdida de carga por fricción y la pérdida de carga por accesorios, para un h_a total de 83,33 m.

Paso 8: Se calcula la presión dentro de la tubería:

Con el dato de “ h_a ” se convierte la presión al sistema inglés, que es de 118,50 psi.

Paso 9: Estimar la potencia (hp) de flujo para la bomba:

Esta es la potencia que la bomba le debe introducir al flujo, para que se cumplan los requerimientos de caudal y la velocidad del flujo, obteniéndose una potencia de 28 hp.

Paso 10: Selección de la bomba:

La información anterior se le suministra al proveedor, quien realizará la selección de la bomba según los datos del fabricante, como: el caudal (Q), la altura de bombeo (h_a), la eficiencia, el rango de trabajo y la NPSH. (Véase la sección 3.3.5).

7.2 Bombeo desde la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano, 2037 al 2056

Para implementar este sistema de bombeo, se evaluó:

- I. Proyección de consumo de la naciente Carvajal. (Véase la sección 6.3).
- II. Se determina que la naciente Estrada tiene la capacidad de abastecer por sí sola al total de la población del Sector de Abajo de Aguas Zarcas, y cubrir el desarrollo poblacional hasta el año 2056. (Véase la sección 6.4).
- III. Subproyecto: Caudal por gravedad del tanque Estrada al tanque Botas. (Véase la sección 7.2.1).
- IV. El caudal proporcionado por la naciente Carvajal es de 11,41 l/s, tiene la capacidad de suministrárselo, a la población del Sector de Arriba de Aguas Zarcas, entre los años 2037 y el 2056. (Véase el gráfico 3, en la sección 5.5.5).

Con la información anterior, se determina que 20 horas de bombeo es el mínimo de horas requerido; para no exceder el caudal proporcionado por la naciente Carvajal, el caudal de bombeo será de 11,40 l/s. Se determina, por medio de señal satelital de la herramienta de Google Earth Pro, que existe una diferencia de elevación de 14 m entre los puntos A Naciente Carvajal se encuentra a una elevación de 560 msnm y el punto B Tanque Bejarano se encuentra a una altura de 569 msnm, más 5 metros de altura a la entrada del Tanque Bejarano y una longitud entre los puntos A y C puntos de 416 m.



Ilustración 5. Topografía de la ruta de interconexión entre la Naciente Carvajal y el Tanque Bejarano

Fuente: Elaboración propia (2022).

7.2.1 Subproyecto del Bombeo de la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano.

7.2.1.1 Subproyecto, Caudal por gravedad del Tanque Estrada al Tanque Botas

Paso 1: Se proyectó el crecimiento poblacional de la naciente Estrada en la sección 6.4, y se determinó que la naciente tiene la capacidad de abastecer por sí solo al total de la población del Sector de Abajo de Aguas Zarcas, siendo el caudal requerido de 27.20 l/s para cubrir un desarrollo poblacional hasta el 2056.

Paso 2: Se calcula el diámetro de la tubería para abastecer al sector bajo de Aguas Zarcas. La tubería va desde el tanque Estrada al tanque Botas, y el conducto entre los tanques se calculó contemplando cubrir un desarrollo poblacional hasta el año 2056.

Paso 3: Se estableció que el diámetro de la tubería es de 155.3 mm (6”), con una velocidad del líquido dentro de la tubería de 1,44 m/s, la longitud de tuberías de 1 458 m, y una presión de 156,23 kPa (22.66 Psi).

7.3 Bombeo desde la Perforación del Pozo P#1 al Tanque Bejarano

Se selecciona el punto de perforación con el “Mapa de acuíferos potenciales someros 0 m-30 m”; este mismo mapa se puede encontrar en el link mapas.da.go.cr. El punto seleccionado para hacer la perforación, según el mapa “Potenciales Acuíferos de 0 m a 30 m”, establece un “potencial alto” para encontrar un acuífero.

Los requerimientos del AyA establecen una zona de seguridad para el pozo de 40 m a 100 m, y que no esté a menos de 100 m de un río, quebrada o acequia.

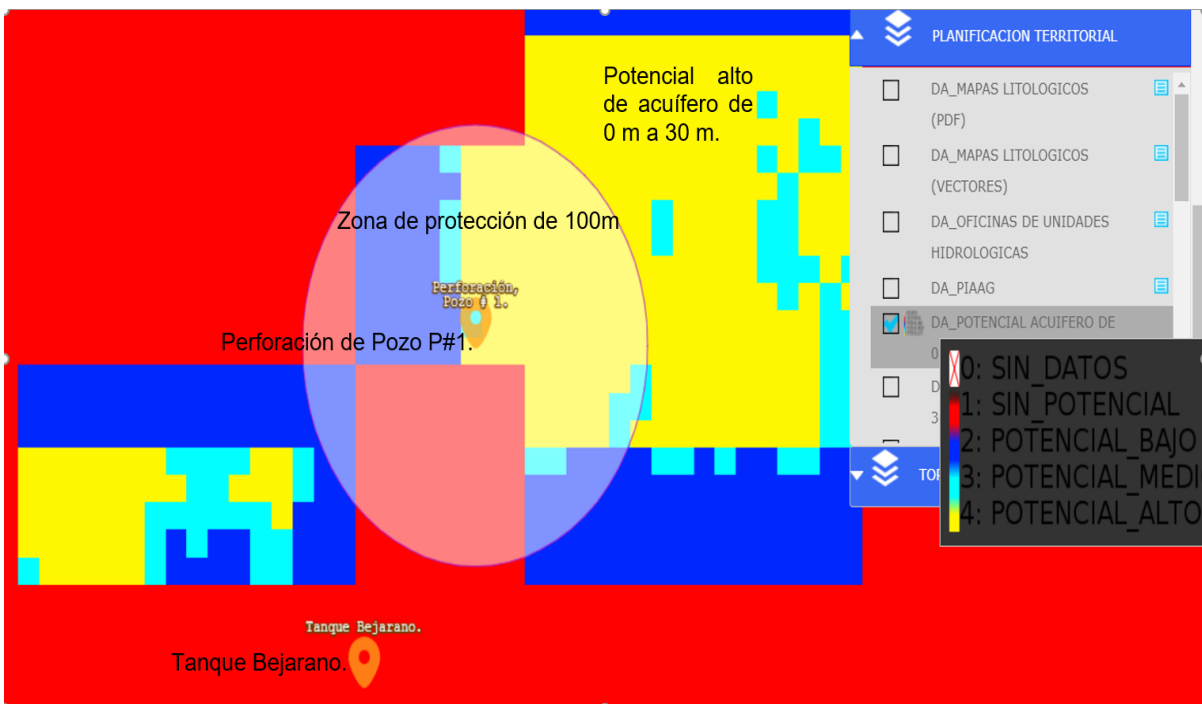


Ilustración 6. Punto seleccionado para hacer la perforación según recorte del mapa “Potencial alto de acuífero de 0 m a 30 m”

Fuente: Elaboración propia (2022).

El caudal requerido para realizar los cálculos es de 9,50 l/s, con una diferencia de elevación entre la superficie y la profundidad del pozo P#1, que es de 28 m, con una diferencia de elevación entre los puntos de la boca de succión de la bomba y la entrada del tanque Bejarano de 46 m y la longitud entre los puntos de 253 m.

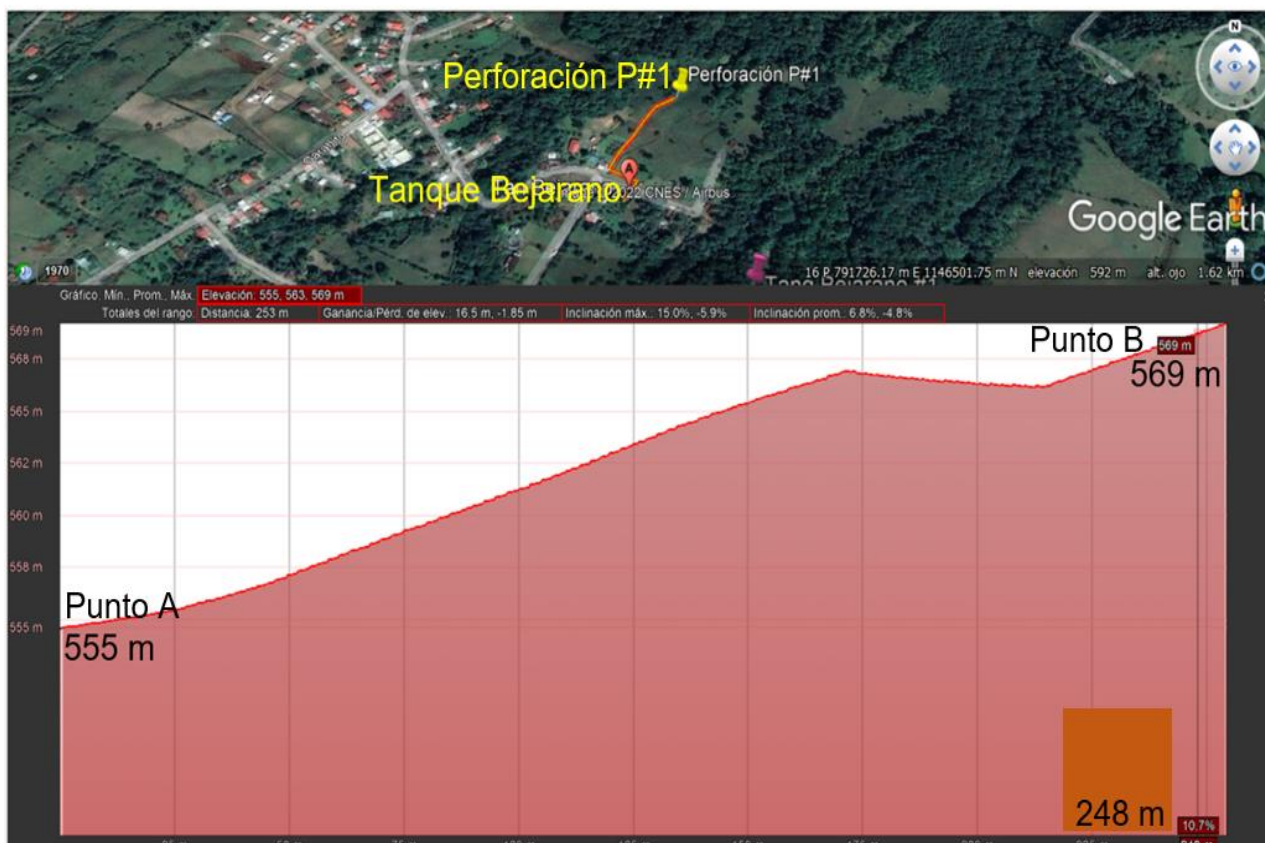


Ilustración 7. Topografía de la ruta de interconexión entre la perforación de Pozo P#1 y el Tanque Bejarano

Fuente: Elaboración propia (2022).

7.4 Dotación de las Naciente Moreras #1 y #2 al Tanque Bejarano

Estas nacientes se localizan dentro del Parque Nacional Juan Castro Blanco, y se encuentran a una altura mayor que la comunidad de Aguas Zarcas; por lo que se propone aprovechar este desnivel para transportar el agua desde las nacientes Morera hasta el tanque Bejarano, por medio de sistema por gravedad.

El caudal mínimo total, proporcionado por las dos nacientes en época seca, es de 3.7 l/s; con este caudal se ha proyectado que las dos nacientes, en conjunto con el caudal que la naciente Bejarano, abastecerán (según el crecimiento poblacional) de agua potable hasta el año 2045. Cabe destacar que la naciente

Bejarano abastecerá por sí sola a la población hasta el año 2037, y con la suma de este caudal adicional abastecerá por nueve años más, a partir del 2037, a la Parte Alta de Aguas Zarcas.

La longitud total entre los puntos A y C es de 2 660 metros, y con una diferencia de altura entre los extremos de 251 metros. Según cálculos, el sistema requiere de una válvula reguladora de presión en el punto C, el cual tiene una altura de 143 m con respecto al punto A (tanque Bejarano).



Ilustración 8. Ruta desde el Tanque Bejarano a las Nacientes Morera; se visualiza el punto de instalación de la válvula reguladora de presión

Fuente: Elaboración propia (2022).

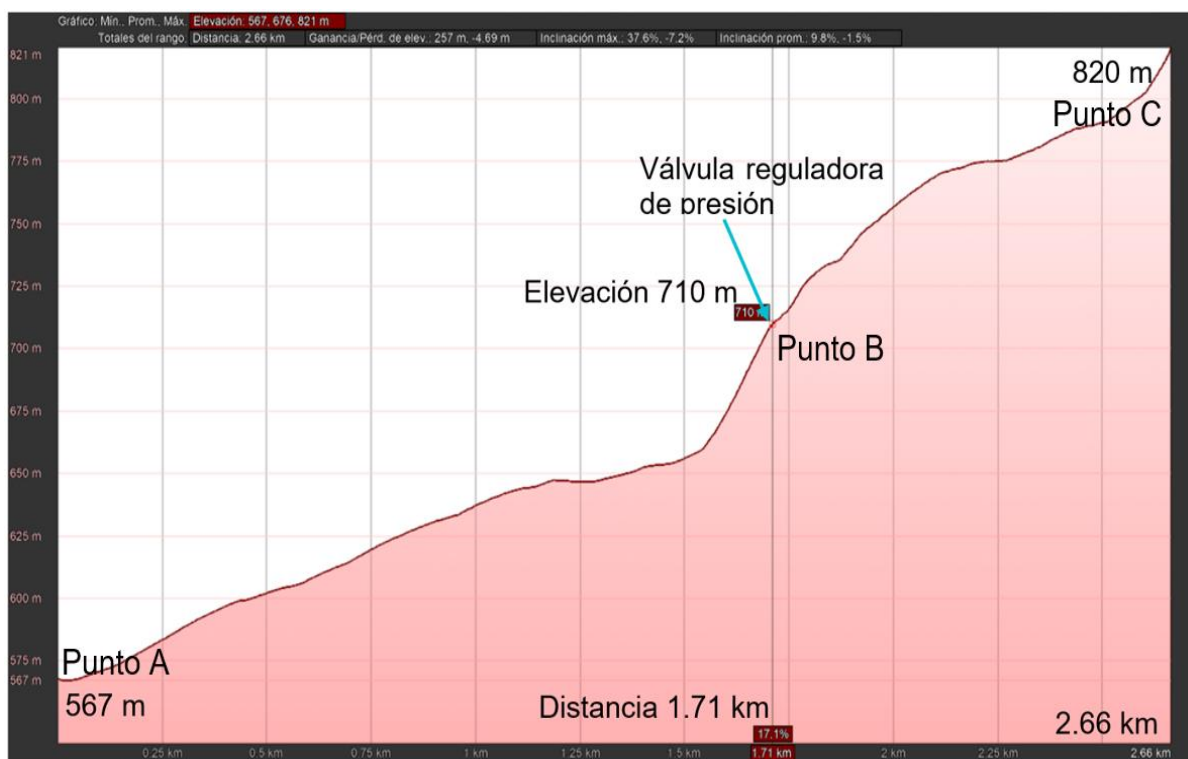


Ilustración 9. Perfil de elevación de la ruta del Tanque Bejarano a las Nacientes Morera; se visualiza el punto de instalación de la válvula reguladora de presión
Fuente: Elaboración propia (2022).

Para calcular el diámetro de la tubería, se determina primero una velocidad aproximada (véase la sección 3.2.3.2), la cual, para este caso, se determina en una velocidad de 1,50 m/s; ya con este dato, se procede a calcular el diámetro aproximado de tubería. Ya con el diámetro aproximado, se busca en el manual del fabricante un diámetro interno comercial. Ya con el diámetro comercial seleccionado (2", SDR 26), se procede a calcular la velocidad real dentro de la tubería, que es de 1,52 m/s.

Con el coeficiente de carga por fricción (130 para tubería PVC) se determina la presión dentro de la tubería, la cual se indica en la sección 3.2.3.3, donde se menciona que se permiten hasta 70 metros de columna de agua (mca). Por esta

razón, se tiene que colocar una válvula reductora de presión en el punto B (710 msnm), y esto divide el tramo de tubería en dos secciones.

Del punto A (567 msnm) al punto B (710 msnm) hay una carga de 50,71 m, y del punto B al punto C (818 msnm) hay una carga de 57.53 m.

7.5 Resumen de los sistemas propuestos

Tabla 15. Resumen de los sistemas propuestos

Ruta	Caudal l/s	Velocidad real m/s	Diámetro m	Tubería	Carga en la boca de la bomba (ha en m)	Presión kPa
Naciente Estrada al tanque Bejarano	25,40	2,90	0,1055 (4")	PVC (SDR 26)	83,33	817,03
Naciente Carvajal al tanque Bejarano	11,40	3,20	0,0674 (2 1/2")	PVC (SDR 26)	89,35	816,34
Pozo P#1 al tanque Bejarano	25,40	2,90	0,1055 (4")	PVC (SDR 26)	77,00	751,53
Nacientes Morera #1 y #2 al tanque Bejarano	3,70	1,52	0,055 (2")	PVC (SDR 26)	Carga en la entrada del tanque 50,71	497,28

Fuente: Elaboración propia (2022).

8 Detalle de insumos, materiales, equipos y construcción a realizar para cada proyecto

A continuación, se muestran los elementos que requieren la implementación de cada uno de los proyectos indicados en la sección 7, para lo cual se consideran los siguientes aspectos.

8.1 Materiales tubería y válvulas

Se contempla la longitud de la línea hidráulica que conecta los puntos de captación o bombeo al tanque requerido; se examinan los tubos, las válvulas, los filtros y los accesorios en caso de requerirse.

Tabla 16. Lista cotizada de tuberías, válvulas y accesorios de cada proyecto

Cotizaciones realizadas en tuberías y accesorios	Naciente Estrada al tanque Bejarano	Naciente Carvajal al tanque Bejarano	Pozo P#1 al tanque Bejarano	Naciente Morera al tanque Bejarano
Longitud de la tubería	615 m	416 m	290 m	2 600 m
Diámetro de tubería	0,106 m	0,067 m	0,106 m	0,055 m
Válvulas compuertas	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Válvulas reguladoras de presión	No aplica	No aplica	No aplica	SÍ
Filtros	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Otros (accesorios)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ

Fuente: Elaboración propia (2022).

8.2 Construcción Civil

Este apartado considera la caseta de bombeo, la instalación de la línea de tubería, las captaciones y la perforación de un pozo, según se requiera.

Tabla 17. Lista cotizada de construcción civil

Cotizaciones realizadas en construcción civil	Naciente Estrada al tanque Bejarano	Naciente Carvajal al tanque Bejarano	Pozo P#1 al tanque Bejarano	Naciente Morera al tanque Bejarano
Caseta de bombeo	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Instalación de tuberías	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Captaciones	SÍ	SÍ	No aplica	SÍ
Perforación	No aplica	No aplica	SÍ	No aplica
Conformación de camino	No aplica	No aplica	SÍ	No aplica

Fuente: Elaboración propia (2022).

8.3 Equipos eléctricos

Este apartado comprende el diseño de planos eléctricos, la extensión de línea trifásica, la adquisición e instalación de: bomba, gabinetes, transformadores, protecciones y otros.

Tabla 18. Lista de cotización de equipos eléctricos de cada proyecto

Cotizaciones realizadas en equipos eléctricos	Naciente Estrada al tanque Bejarano	Naciente Carvajal al tanque Bejarano	Pozo P#1 al tanque Bejarano	Naciente Morera al tanque Bejarano
Bomba	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Extensión de línea trifásica	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Transformadora de 45 KVA, 24,9 kV a 480 V. pedestal	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Planos eléctricos	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Panel de control	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Interruptor de seguridad de servicio pesado	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Instalación de la bomba y gabinetes	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica
Sistema de intercomunicación remota	SÍ	SÍ	SÍ	No aplica

Fuente: Elaboración propia (2022).

8.3.1 Bombas

A partir de la sección 7.5 (Resumen de los sistemas propuestos) se realizan los cálculos de dimensionamiento de las bombas.

Tabla 19. Información para que el proveedor realice las cotizaciones de las bombas

Cantidad de bombas	Tipo de energía eléctrica disponible	Tipo de bomba requerido	Caudal	Carga total sobre la bomba ("ha" en metros)
1	460 voltios trifásicos	Centrífuga	15 250,00 l/minuto	83,30 m
1	460 voltios trifásicos	Centrífuga	685,00 l/minuto	53,00 m
1	460 voltios trifásicos	Sumergible	1 525,00 l/minuto	77,00 m

Fuente: Elaboración propia (2022).

Según lo anterior, mediante consulta a diferentes proveedores, se obtienen los datos técnicos de cada bomba:

Tabla 20. Información del manual de cada bomba cotizada

	Naciente Estrada	Naciente Carvajal	Perforación de Pozo P#1
Tipos de motor	Centrífuga, de la naciente Estrada	Centrífuga, de la naciente Carvajal	Sumergible, del pozo P#1
Hp	40,00	30,00	40,00
Amperios a 230 V	104,00	80,00	104,00
Amperios a 460 V	52,00	40,00	52,00
Letra característica	****	****	****
Servicio de ciclo de trabajo	Continuo	Continuo	Continuo

Fuente: Elaboración propia (2022).

A partir de esta información, se realizarán los cálculos para determinar los diámetros de los conductores, las protecciones y el transformador.

8.3.2 Conductores

A continuación, se presentan los diámetros de conductores para alimentación de motores de las bombas.

Tabla 21. Diámetro de conductores

NEC		Naciente Estrada	Naciente Carvajal	Perforación de pozo P#1
Artículo 430,22 A	Factor del conductor	125%	125%	125%
	Dimensionamiento del conductor	65	50	65
Tabla 310,15 B 16	Temperatura, columna de 60 °C	60	60	60
	Conductor Comercial THWN #, seleccionado	4	6	4

Fuente: Elaboración propia (2022).

8.3.3 Protecciones termomagnéticas

En cuanto a las protecciones termomagnética para los motores de las bombas, se obtiene:

Tabla 22. Protección termomagnética para las bombas

		Naciente Estrada	Naciente Carvajal	Perforación de pozo P#1
	Amperios a 460 V	52 A	40 A	52 A
	Tipo de interruptor	Termomagnético (tiempo inverso)	Termomagnético (tiempo inverso)	Termomagnético (tiempo inverso)
Tabla 430,52	Factor de protección mínimo	250%	250%	250%
Artículo 430,52. Excepción: 2 a	Factor de protección máximo	400%	400%	400%
	Protección mínima	130 A	100 A	130 A
	Protección máxima	208 A	160 A	208 A

Fuente: Elaboración propia (2022).

8.3.4 Transformadores

Para la estimación de transformadores para alimentación de motores de las bombas, se obtiene:

Tabla 23. Selección del transformador

	Naciente Estrada	Naciente Carvajal	Perforación de Pozo
Voltaje de entrada L-L	24 900 V	24 900 V	24 900 V
Voltaje de salida L-L	460 V	460 V	460 V
Amperios	52 A	40 A	52 A
Raíz cuadrada de 3	1,73	1,73	1,73
Factor de arranque 20%	1,20	1,20	1,20
Potencia requerida kVA	49,70 kVA	38,20 kVA	49,70 kVA

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el apartado 9 se selecciona la propuesta del bombeo desde la naciente Estrada, siendo la potencia requerida de 49,70 kVA.

8.4 Requerimientos adicionales

8.4.1 Estudios hidrogeológicos

En los casos de las captaciones de la perforación del pozo P#1, en las nacientes Morera #1 y #2, se tienen que desarrollar estudios hidrogeológicos, para determinar el nivel de agua subterránea que existe, para los cuales deben ser contratados los profesionales pertinentes, por parte de la ASADA de Aguas Zarcas.

8.4.2 Compra de terreno

Para ejecutar el proyecto de perforación del pozo P#1, es necesario realizar la adquisición del terreno, ya que actualmente el punto seleccionado para la perforación no es propiedad de la ASADA de Aguas Zarcas.

9 Inversión de desarrollo del proyecto

Con base en la sección 8, se recopila la información necesaria para estimar el costo inicial de cada proyecto, por lo que en esta sección se abordan la inversión inicial de cada proyecto, los costos fijos anuales y los costos de sustitución de activos.

9.1 Evaluación de la inversión inicial de cada proyecto, valor presente 2022

En la tabla siguiente se muestran los montos obtenidos para el año 2022 (todas las cotizaciones se realizaron en enero y febrero del 2022).

Tabla 24. Inversión inicial de cada proyecto

Descripción	Sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano	Sistema de bombeo desde la naciente Carvajal al tanque Bejarano	Sistema por gravedad del tanque Estrada al tanque Botas	Sistema de bombeo desde la perforación del pozo P#1 al tanque Bejarano	Sistema por gravedad desde las nacientes Morera #1 y #2 al tanque Bejarano
Tubería y accesorios para la línea	₡10 378 783,00	₡ 4 952 886,00	₡44 603 523,00	₡ 5 945 981,00	₡12 135 691,00
Costo civil	₡ 5 524 500,00	₡ 5 182 500,00	₡19 530 000,00	₡ 13 397 500,00	₡10 856 000,00
Costo eléctrico	₡77 191 384,00	₡70 663 488,00	No aplica	₡ 75 795 543,00	No aplica
Estudios hidrogeológicos	No aplica	No aplica	No aplica	₡ 1 150 000,00	No aplica
Adquisición de terreno	No aplica	No aplica	No aplica	₡ 40 000 000,00	No aplica
Total	₡93 094 667,00	₡80 798 874,00	₡64 133 523,00	₡136 289 024,00	₡24 491 691,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

En la tabla anterior, se evidencia que la inversión de menor costo para la ASADA Aguas Zarcas corresponde al proyecto de “Sistema por gravedad desde las nacientes Morera #1 y #2 al tanque Bejarano”. En segundo lugar, se encuentra el proyecto “Sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano”. Por otro lado, el proyecto “Sistema de bombeo desde la naciente Carvajal al tanque Bejarano” representa la inversión más alta, dado que contiene un subproyecto que se tiene que realizar para poder ejecutarlo de forma completa; esta inversión, al considerar el subproyecto, corresponde a ₡144 932 396,40 (ciento cuarenta y cuatro millones novecientos treinta y dos mil trescientos noventa y seis colones con 40/100) a febrero del 2022.

9.2 Costos fijos anuales

Estos son montos que se tienen que contemplar para cubrir la operación y el funcionamiento del sistema, los cuales corresponden a:

9.2.1 Recibo eléctrico

Para realizar el cálculo del recibo eléctrico, se contemplan las horas de operación de una bomba; el costo del kWh es de \$0.15 de tarifa industrial (proporcionado por la operadora de servicios eléctricos Coopelesca), y una operación anual.

Se estima que, para los primeros cuatro años, después de poner en marcha el proyecto, se requiere únicamente bombeo de agua en los cuatro meses más críticos de la época seca. Para los seis años siguientes, el bombeo requerido será

para los seis meses de época seca, y después de los 10 años de puesta en marcha el proyecto, se bombeará los 12 meses del año.

Tabla 25. Distribución anual de bombeo, montos totales de este para un periodo de 20 años

Periodos de facturación	Bomba Estrada	Bomba Carvajal	Bomba del pozo P#1
Monto anual de facturación eléctrica durante los primeros cuatro años	₡ 2 544 528,00	₡ 4 349 620,00	₡ 2 544 528,00
Monto anual de facturación eléctrica. Del año 4 al año 10	₡ 3 816 792,00	₡ 6 524 431,00	₡ 3 816 792,00
Monto anual de facturación eléctrica, del año 10 en adelante	₡ 7 633 584,00	₡13 048 861,00	₡ 7 633 584,00
Total	₡13 994 903,81	₡23 922 912,00	₡13 994 904,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

Para las bombas “Estrada” y “Pozo #1”, el monto para una operación de nueve horas diarias en un periodo de 20 años es equivalente a ₡13 994 903,81 (trece millones novecientos noventa y cuatro mil novecientos tres colones con 81/100). En ambos casos esto obedece a que las potencias de las bombas son iguales. La bomba “Carvajal” representa el mayor costo para la ASADA Aguas Zarcas, bajo las mismas condiciones, dado que es de mayor tamaño, lo que genera un consumo eléctrico mayor.

9.2.2 Mantenimiento anual de la bomba centrífuga y sumergible

Con base en la sección anterior, se evidencia que el mantenimiento preventivo (cambios de rodamientos, revisión de la propela, reparación de fugas y revisión del

sistema eléctrico), los primeros 10 años, tanto para la bomba centrífuga como para la bomba sumergible, se pueden realizar una vez al año, y del año 10 en adelante se tendrán que llevar a cabo dos mantenimientos anuales.

Tabla 26. Costo de mantenimiento de la bomba centrífuga para un periodo de 20 años

Periodo	Años	Número de mantenimientos al año	Costo unitario	Costo por año	Subtotal
Del año 0 al año 10	10	1	₡ 60 000,00	₡ 60 000,00	₡ 600 000,00
Del año 10 en adelante	10	2	₡ 60 000,00	₡ 120 000,00	₡ 1 200 000,00
Total					₡1 800 000,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

Tabla 27. Costo de mantenimiento de la bomba sumergible para un periodo de 20 años

Periodo	Años	Número de Mantenimientos al año	Costo unitario	Costo por año	Subtotal
Del año 0 al año 10	10	1	₡ 120 000,00	₡ 120 000,00	₡ 1 200 000,00
Del año 10 en adelante	10	2	₡ 120 000,00	₡ 240 000,00	₡2 400 000,00
Total					₡3 600 000,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

El mantenimiento de la bomba sumergible es más elevado que el de la bomba centrífuga, ya que se tiene que extraer la bomba del pozo, donde se encuentra en operación.

9.3 Sustitución de activos

Según la directriz CN-001-2009 (Ministerio de Hacienda, 2009) el porcentaje de depreciación de las bombas es de 10% anual, con una vida útil de 10 años. Por esta razón, se tendrá que hacer el remplazo de la bomba a los 10 años después de su instalación.

Tabla 28. Remplazo de activo

Equipos	Descripción del producto	Precio unitario \$	Precio unitario	Subtotal
Bomba Estrada	Bomba centrífuga Goulds 3656-m 11bf 2-1/2x3 40hp 230/460v 3f 36 tefc	\$ 8 203,00	₡ 5 229 392,00	₡ 5 229 392,00
Bomba Carvajal	Bomba centrífuga Goulds 30hp 3656m 3x4-8 3f 230/460v 3500rpm	\$ 5 937,00	₡ 3 784 765,00	₡ 3 784 765,00
Bomba pozo P#1	Bomba sumergible Goulds 7clc-3e nema 6 desc 6 imp 316ss	\$ 3 873,00	₡ 2 468 841,00	₡ 3 994 452,00
	Motor sumergible SME 40HP 3600RPM 230V 3F NEMA6 PT100 PE2-PA	\$ 2 393,00	₡ 1 525 611,00	

Fuente: Elaboración propia (2022).

Para las estimaciones, el tipo de cambio de un dólar a colones es de ₡ 637,52, cuyo dato se obtuvo del Banco de Costa Rica el día 17 de marzo de 2022. Esto se realizó con el fin de tener una referencia para trabajar todos los montos en colones.

10 Selección de la propuesta de suministro de agua potable para el 2037

A partir de las secciones 6, 7, 8 y 9, en este apartado se definirá el proyecto que mejor conviene a la ASADA de Aguas Zarcas. La selección de este se hará a través de la escogencia de categorías y la definición de una puntuación para cada categoría, a saber:

10.1 Categorías de selección

Con el fin de filtrar y escoger el proyecto más adecuado, se realizaron criterios de selección, los cuales son:

Tabla 29. Categoría de selección y puntuación

Inversión inicial	Donde 1 es el costo de la inversión más alta y 4 es el costo de la inversión más baja, según lo indicado en la sección 9.1
Tiene proyectos auxiliares	1 = Sí.
	2 = No.
Proporciona el caudal requerido	1 = Queda por definir o no proporciona el caudal.
	2 = Si proporciona el caudal a su límite de capacidad.
	3 = El caudal excede la capacidad en época seca.
Vida útil (más de 20 años)	1= No cumple con el requerimiento del AyA.
	2 = Cumple con el requerimiento del AyA.
Tiempo de desarrollo	1 = Entre un año y seis meses.
	2 = Entre seis y cuatro meses.
	3 = Menos de cuatro meses.
Estudios pendientes	1 = Sí.
	2 = No.
Facturación eléctrica	1 = Sí paga recibo eléctrico.
	2 = No paga recibo eléctrico (suministro por gravedad).
Mantenimientos de equipos eléctricos	1 = Sí requiere mantenimiento eléctrico.
	2 = No requiere mantenimiento eléctrico (suministro por gravedad).

Fuente: Elaboración propia (2022).

A partir de la definición de las categorías y sus puntuaciones, se pretende seleccionar la mejor propuesta de suministro de agua potable para el 2037, indicada en la sección 7, con el propósito de desarrollar el análisis económico de esta y establecer su factibilidad económica.

Tabla 30. Selección del proyecto a desarrollar

Categoría	Bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano	Bombeo desde la naciente Carvajal al tanque Bejarano	Bombeo desde el Perforación del pozo P#1 al tanque Bejarano	Dotación de las nacientes Morera #1 y #2 al tanque Bejarano
Inversión inicial	3	1	2	4
Tiene proyectos auxiliares	2	1	2	2
Proporciona el caudal requerido	3	2	1	1
Vida útil más de 20 años	2	2	2	1
Tiempo de desarrollo	3	1	2	1
Estudios pendientes	2	2	1	1
Facturación eléctrica	1	1	1	2
Mantenimientos de equipos eléctricos	1	1	1	2
Total	17	11	12	14

Fuente: Elaboración propia (2022).

Del análisis anterior, se obtiene que el proyecto con el mejor puntaje es el Bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano, con un total de 17 puntos. A raíz de ello, esta opción se considera el proyecto más factible de construir o desarrollar para la ASADA Aguas Zarcas, para el cual se realizará un análisis económico, con el fin de establecer su factibilidad.

11 Análisis económico

Como se mencionó en el apartado anterior, el proyecto que se evaluará en el análisis económico es el Bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.

Paso 1. Incorporar el Impuesto de Valor Agregado (IVA) al dato seleccionado en la sección 10.

Tabla 31. Valor presente del proyecto seleccionado más IVA

Descripción	Valor
Valor inicial sin IVA 2022	₡ 93 094 667,00
13%	₡ 12 102 307,00
Total, Valor presente con IVA	₡ 105 196 974,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

Paso 2. Llevar el valor presente de inversión inicial (2022) (véase la sección 9.1) a valores futuros (2036), ya que el proyecto se construirá a comienzo del año 2036 (inicio del proyecto en 14 años).

Con el libro de Blank y Tarquin (2012), se realiza este cálculo. En él no se contempla el interés, sino que solo interviene la inflación, la cual se estimó en 3% +- 1p.p (Ministerio de Hacienda, 2021).

Tabla 32. Valor futuro sin intereses

Descripción	Valor
Valor presente	₡ 105 196 974,00
Inflación 3%+- 1p.p por año	3,00%
Año presente	2022
Año futuro	2036
Periodos	14
Total, Valor futuro 2036	₡ 159 119 862,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

El libro de Ingeniería económica, de Blank y Tarquin (2012), establece que se aplica una tasa de descuento de 4 a 8% a las instituciones gubernamentales. Por otro lado, una ASADA no es una institución gubernamental, pero la ASADA de Aguas Zarcas tiene convenio con el Ministerio de Hacienda, para exonerar los artículos que están relacionados con el suministro de agua potable.

Al existir este convenio con el Ministerios de Hacienda, se puede aplicar el descuento a la ASADA de Aguas Zarcas. Con esta reducción se establece la inversión inicial futura para el año 2036.

Tabla 33. Préstamo para solicitar en el 2036

Descripción	Valor
Valor futuro con IVA 13%	₡ 159 119 862,00
Tasa de descuento	8,00 %
	₡ 12 729 589,00
Total del préstamo para solicitar en el 2036	₡ 146 390 273,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

11.1 Análisis económico sin ahorro

La siguiente tabla muestra los valores para desarrollar los cálculos correspondientes al préstamo, para realizar el proyecto de Bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano.

Tabla 34. Préstamo de la inversión inicial (2036), con el Banco Popular de Costa Rica

Descripción	Datos
Monto del préstamo 2036	₡ 146 390 272,00
Plazo en meses	180,00
Interés	11,75%
Periodo de gracia	0,00
Cuota	₡ 1 733 453,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

El préstamo es de ₡146 390 727,00, a un plazo de 180 meses (15 años), con una tasa de interés del 11.75% anual; la cuota mensual es de ₡ 1 733 453,00.

En el 2046 se tiene que realizar el remplazo de la bomba; el monto del préstamo es de ₡ 10 630 277,00, el cual ya contempla el crecimiento anual inflacionario, según el Ministerio de Hacienda.

Tabla 35. Préstamo para el cambio de bombas

Descripción	Datos
Monto del préstamo	₡ 10 630 277,00
Plazo en meses	96,00
Interés	11,75%
Periodo de gracia	0,00
Cuota	₡ 171 315,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

Se establece que el préstamo será a un plazo de 96 meses (ocho años), con la tasa del 11,75%, y el pago de cada mensualidad será de ₡ 171 315,00.

Entre el préstamo inicial y el préstamo requerido para el cambio de bombas, se sobrepondrán durante un periodo de cinco años, y el monto a pagar por mes de las dos deudas será de ₡ 1 904 768,00.

Para el cálculo de recuperación del dinero se hace de la siguiente manera:

- a) Se calcula el número de los usuarios que se van a intervenir entre los años 2036 y 2056, con el fin de analizar la factibilidad del proyecto.

Tabla 36. Proyección de Previstas a suministrar agua potable, anualmente, durante la vida del proyecto

Años	Usuarios
2036	0
2037	26
2038	53
2039	80
2040	107
2041	135
2042	164
2043	193
2044	222
2045	252
2046	283
2047	314
2048	346
2049	379
2050	412
2051	446
2052	481
2053	516
2054	552
2055	588
2056	625

Fuente: Elaboración propia (2022).

- b) Se anotan los porcentajes de los ingresos y de los egresos operativos anuales (costos operativos, entre otros), de acuerdo con los datos proporcionados por la ASADA.

Tabla 37. Incremento de los costos y gastos operativos de la ASADA de Aguas Zarcas

SENSIBILIZACIONES	
Incremento en Ingresos Operativos	5,00%
Incremento en Costos de Operación	3,00%
Incremento en Gastos de Administración	3,00%

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información brindada por la ASADA de Aguas Zarcas.

- c) Se calcula el promedio de ingresos por prevista, esto en valor presente (2021), y se calcula el ingreso por previstas a valor futuro (2036).

Tabla 38. Ingresos y egresos por previstas en valor presente y valor futuro

Años del Proyecto	2021, valor presente	2036, valor futuro
Total Ingresos	₡ 93 224,00	₡ 193 806,00
Total Egresos	₡ 32 687,00	₡ 50 925,00
Saldo por prevista al año	₡ 60 537,00	₡ 142 881,00

Fuente: Elaboración propia (2022).

- d) Al conocer el porcentaje del ingreso operativo por previstas y el crecimiento de previstas, se calcula el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), entre otros.

Según el procedimiento anterior, se establece que el VAN es positivo y el TIR es de 16.28%. Se evidencia que el proyecto es factible de construir, ya que todos los valores son positivos, y de acuerdo con el análisis, el proyecto tendrá ingresos de 88,48%, en el transcurso de 20 años.

Tabla 39. Factibilidad del Proyecto

K Banco (Intereses)	11,75%
VNA	₡ 275 923 559,62
VAN	₡ 129 533 287,62
TIR	16,28%
PR (Periodo de Recuperación)	16,00 años
% de Ingresos	88,48%
ID	1,88

Fuente: Elaboración propia (2022).

11.2 Análisis económico con ahorro compuesto.

Se estima realizar un ahorro de 5% del flujo neto de efectivo después de amortización, el ahorro es de tipo compuesto, el cual se recomienda empezar en el año 2023 y finalizarlo en el año 2035, se estima que el ahorro sin intereses será de 73 749 969,89, y los intereses ganados serán de aproximado de 16 270 956,89, para un total de 90 020 926,37.

En base a lo anterior el préstamo a solicitar será 56 369 345,63, para el desarrollo del proyecto; con el método del ahorro compuesto la ASADA logrará reducir la inversión aproximadamente en 135 264 487,77.

11.3 Resumen comparativo de análisis económico

Tabla 40. Comparación de las propuestas del análisis económico.

	Préstamo con ahorro	Préstamo sin ahorro
Valor del Proyecto	₪ 146 390 272,00	₪ 146 390 272,00
Porcentaje de ahorro del flujo neto de efectivo	5.00%	0,00
Interés del ahorro	3,05%	0,00
Años del ahorro (2023 a 2035)	13	0.00
Total del ahorro a Valor Futuro	₪ 90 020 926,37	0.00
Desembolso real sin intereses	₪ 73 749 969,47	0.00
Ganancia por intereses	₪ 16 270 956,89	0.00
Monto del préstamo a solicitar	₪ 56 369 345,63	₪ 146 390 272,00
Interés del préstamo	11,75%	11,75%
Plazos del préstamo en años	10	15
Cuota por mes	₪ 800 610,77	₪ 1 733 453,12
Total a pagar del prestamos más intereses	₪ 96 073 292,14	₪ 305 087 749,39
Desembolso total para pagar	₪ 169 823 261,61	₪ 305 087 749,39

Fuente: Elaboración propia (2022).

12 Herramienta de EPANET

Sistema computacional para el modelado de distribución de agua potable. Permite comprender el movimiento de agua dentro de las líneas del sistema, y permite desarrollar análisis gracias a sus distintas herramientas y aplicaciones en sistemas de agua potable. Permite representar, igualmente, el comportamiento del sistema de distribución de agua potable de la ASADA de Aguas Zarcas.

El sistema requiere de datos de ubicación, altura, longitud de tuberías y consumo de agua por sector o por previstas; con esta herramienta se logra simular el comportamiento del agua potable en el sistema.

Para realizar la simulación del suministro de agua de la ASADA de Aguas Zarcas, se divide en tres circuitos, según corresponda, a los sectores que proporciona agua cada nacimiento con que se cuenta.

Tras realizar varias pruebas en el programa, no se logra ejecutar una simulación adecuada del suministro de agua potable. Por lo tanto, no se realiza la comparativa entre el caudal real de la ASADA vs. el del programa EPANET.

En la siguiente imagen se muestra la distribución de las tuberías, los nodos y los lugares a los que la nacimiento Estrada suministra agua potable, con la cota de cada nodo y el caudal requerido por los nodos.

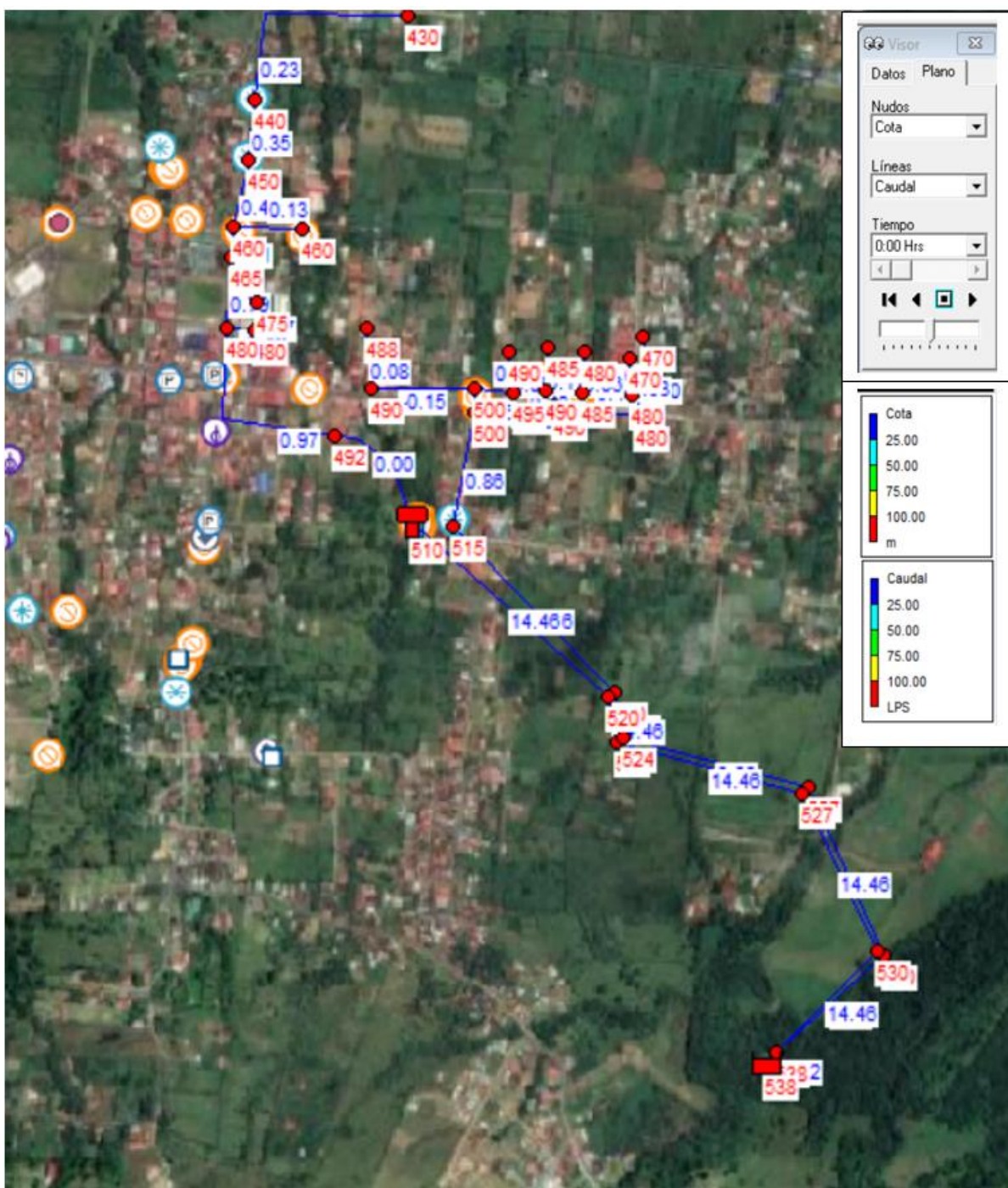


Ilustración 10. Distribución de agua potable con la Naciente Estrada
Fuente: Elaboración propia (2022).

En la subsiguiente imagen se muestra la distribución de las tuberías, nodos y las zonas a los que la naciente Bejarano abastece de agua potable; cada nodo tiene su respectiva cota de elección y su referente caudal de consumo.

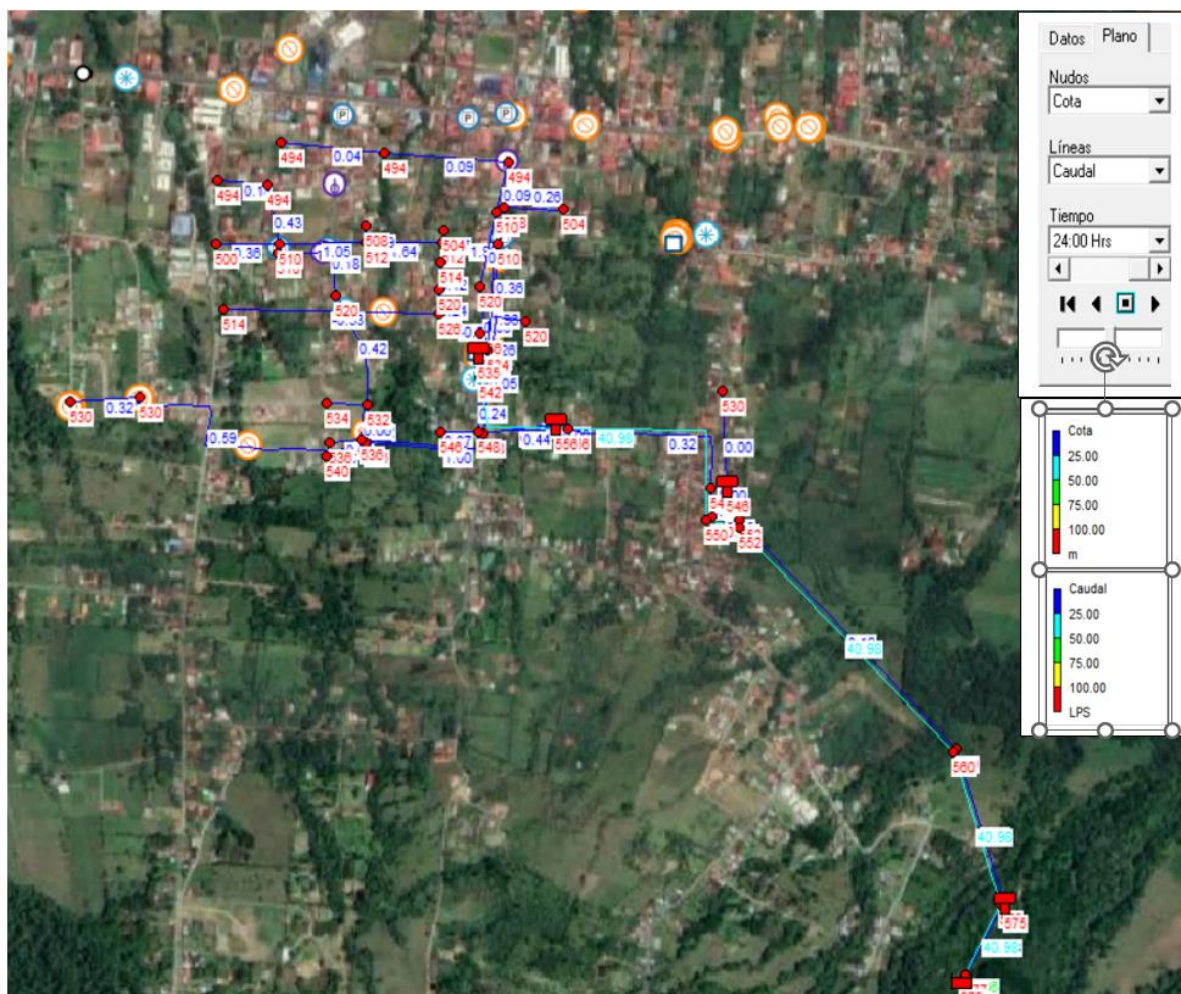


Ilustración 11. Distribución de agua potable con la Naciente Bejarano
Fuente: Elaboración propia (2022).

En la consecutiva imagen se muestra el repartimiento de las tuberías, nodos, en los terrenos a los que la Naciente Carvajal provee agua potable; cada nodo cuenta con su cota de elevación y se respectivo caudal de consumo.

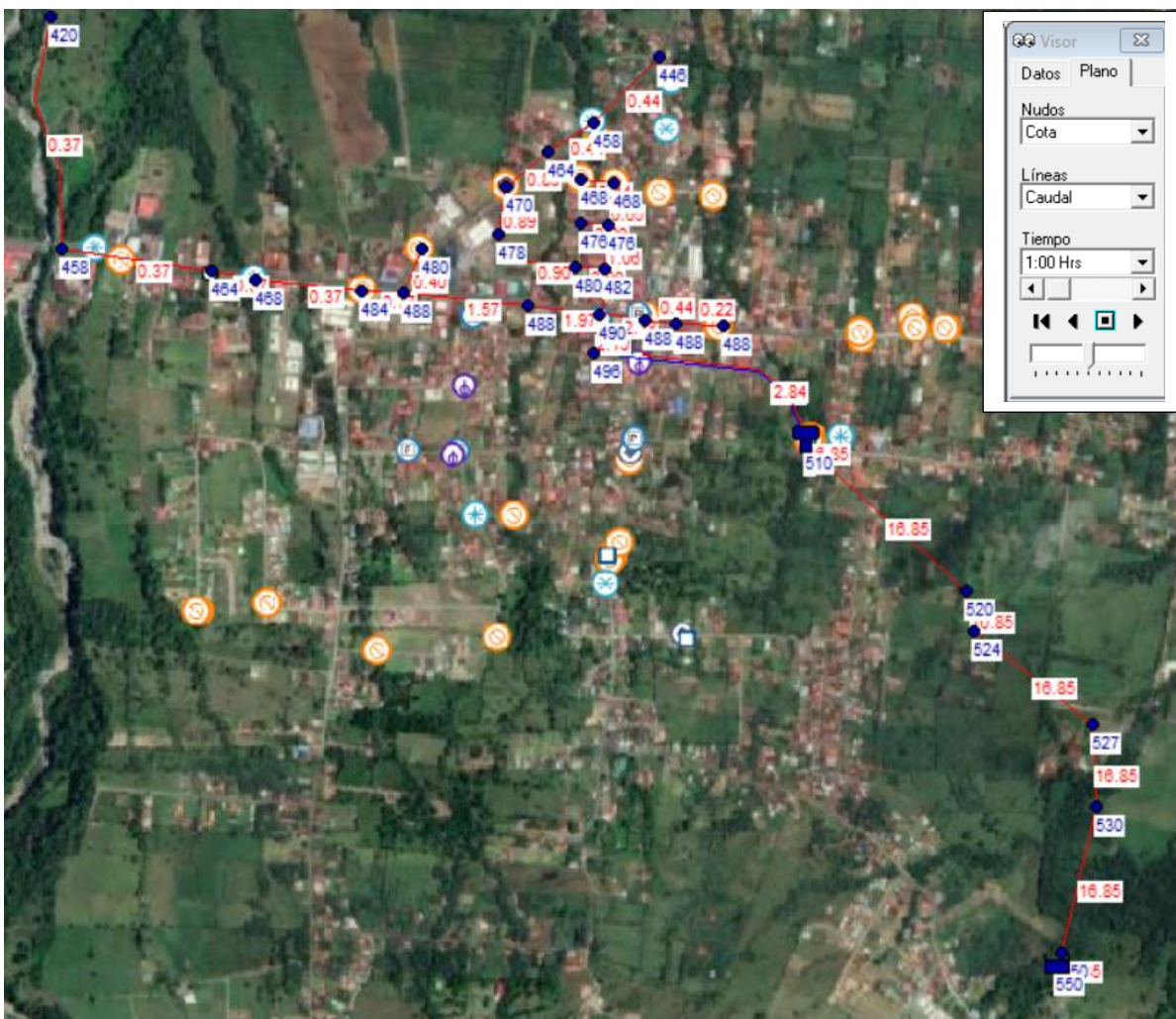


Ilustración 12. Distribución de agua potable con la Naciente Carvajal

Fuente: Elaboración propia (2022).

En la próxima imagen se muestra el repartimiento del total de las tuberías y el total de sectores a los que la ASADA de Aguas Zarcas provee agua potable.

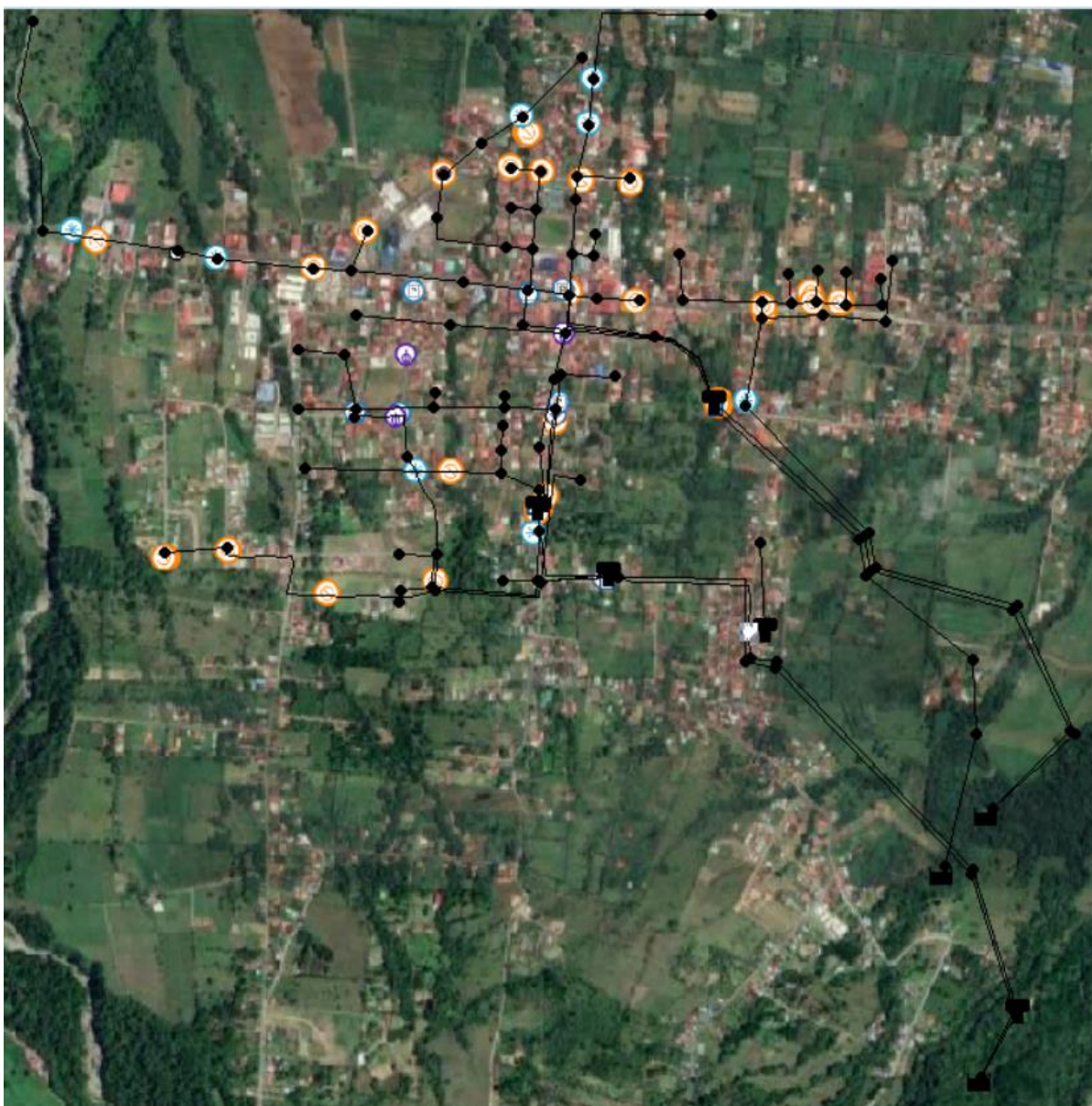


Ilustración 13. Distribución total del sistema hidráulico de la ASADA de Aguas Zarcas

Fuente: Elaboración propia (2022).

13 Conclusiones

Se analizó el caudal disponible de los cuatro panoramas planteados, y se determinó que las nacientes Estrada y Carvajal sí tienen cada una la capacidad de proporcionar el caudal demandado por las nuevas previstas entre los años 2036 y 2056, esto para el Sector de Arriba, y se establece que después de realizarse la perforación del pozo P#1, se tiene que determinar el caudal real que proporcionará el pozo. Por otro lado, las nacientes Morera #1 y Morera #2 no tienen la capacidad de proporcionar el caudal demandado por el Sector de Arriba para el año 2056.

Se calculó que, para realizar el bombeo desde la naciente Carvajal al tanque Bejarano, se requiere de un subproyecto llamado “Caudal por gravedad del tanque Estrada al tanque Botas”, el cual consiste en que la naciente Estrada dote por sí sola de agua potable a los usuarios actuales y a los proyectados del Sector de Abajo, con una demanda total de 40,83 l/s para el año 2056.

Se evaluaron, por medio de cálculos ingenieriles y herramientas informáticas, los costos de implementación de cada alternativa, y se determinó que el proyecto “Sistema de bombeo desde la naciente Estrada al Tanque Bejarano” cumple con los criterios de selección, y es el más adecuado para desarrollarlo. Se estimó la cantidad de ₡ 146 390 273,00 para el desarrollo del proyecto, Se realizó el análisis económico, donde el VAN es positivo y el TIR es de 16.28%, y el proyecto es factible para construir, ya que todos los valores son positivos; además, el proyecto tendrá una ganancia de 88,48%, en el transcurso de 20 años.

Se modela la distribución del sistema de agua potable de la ASADA de Aguas Zarcas con la herramienta EPANET, pero no se logra realizar una simulación adecuada del suministro real vs. el suministro del programa EPANET.

14 Recomendaciones

Se recomienda ya no realizar las captaciones de las nacientes Morera #1 y Morera #2, porque el caudal proporcionado en época seca es muy bajo y no abastecerá a la población de agua potable en el periodo que indica la ley. Al no realizarse la captación de estos lugares, se ahorran tiempo y recursos.

Se recomienda elaborar el estudio hidrogeológico que determine la capacidad real de explotación de la naciente Estrada, con el fin de analizar si se reduce la capacidad del suministro de agua potable actual de la fuente.

15 Referencias bibliográficas

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (s.f.). *EPANET un software libre que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico.*

<https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/en/news/epanet-un-software-libre-simulaciones-del-comportamiento-hidraulico-y-de-la-calidad-del-agua-en-rede>

Asesores Técnicos de Acueductos S.A. (2018). *Estudio de evaluación del acueducto Aguas Zarcas de San Carlos de Alajuela.* Asesores Técnicos de Acueductos S.A., Naranjo. s.d.

Banco Central de Costa Rica. (2022). *Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América.*
<https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>

Becerra, J. y Salas, I. (2016). El derecho humano al acceso al agua potable: aspectos filosóficos y constitucionales de su configuración y garantía en Latinoamérica. *Revista Prolegómenos-Derechos y Valores*, 125-146.

Blank, L. y Tarquin, A. (2012). *Ingeniería económica* (Séptima edición). México. McGraw-Hill.

Chavarría Villalobos, María (2019). *Evaluación y propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de la ASADA Paquera de Puntarenas.*

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11163/evaluacion_propuesta_mejora_sistema_abastecimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Coopelesca. (29 de setiembre de 2021). *Nuevas tarifas eléctricas de Coopelesca beneficiarán a sus asociados*. Obtenido de Nuevas tarifas eléctricas de Coopelesca beneficiarán a sus asociados: <https://www.coopelesca.com/nuevas-tarifas-electricas-de-coopelesca-beneficiaran-a-sus-asociados/#:~:text=Servicio%20residencial,-Los%20recibos%20de&text=Pero%2C%20gracias%20a%20la%20modernizaci%C3%B3n,9%2C317%2C%20por%20esos%20140%20kWh.>

González, E. P. (2017). *El molinete, importancias, fundamentos y buenas prácticas*. México: Gema Alín Martínez Ocampo. Obtenido de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/molinete/files/assets/common/downloads/publication.pdf

Google. (2022). *Google Earth ofrece datos geoespaciales disponibles de manera pública e incluye imágenes de alta resolución*. <https://andro4all.com/google-maps/google-earth-guia-completa-que-es-como-usarlo-y-4-cosas-geniales-que-puedes-hacer-2021-03-08#quees>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. La Gaceta N° 180, del viernes 22 de setiembre del 2017. Obtenido de

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2020). *Reglamento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales*. La Uruca: Decreto Ejecutivo No. 37169-S-MINAET de 20 de abril del 2012. Alcance No. 77 a La Gaceta No.115 de 14 de junio del 2012.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011). *Censos 2011. Cuadro 3, Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo*. Obtenido de: <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011). *Censos 2011. Cuadro 37, Indicador de tenencia, estado y hacinamiento de la vivienda, según provincia, cantón y distrito*. Obtenido de : <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>.

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala. Obtenido de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía. (2021). *Reglamento a la Ley N° 9590 "Ley para autorizar el aprovechamiento de agua para consumo humano y construcción de obras conexas en el Patrimonio Natural del Estado"*. Obtenido de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC¶m2=1&nValor1=1&nValor2=92327&nValor3=122200&strTipM=TC&IResultado=1&nValor4=1&strSelect=sel

Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones e Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. Obtenido de http://www.infoagro.go.cr/CambioClimatico/observatorio/docs/EscenariosClimaticosRegionalizadosCR_2012.pdf

Ministerio de Hacienda. (2009). *Activa para el desarrollo económico y social CN-001-2009*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=70928&nValor3=85922&strTipM=TC

Ministerio de Hacienda. (2021). *Marco fiscal de mediano plazo 2021-2025*. San José. Obtenido de https://www.hacienda.go.cr/docs/MFMP2021_2025.pdf

Nickisch, M. B. (2008). *Curso de aforadores de corrientes de agua*. Santiago. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_curso_aforadores_de_agua.pdf

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua*. Lima, Perú. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b%20Guia%20dise%C3%B1o%20de%20bombeo.pdf

Vividea Castro, Enderson. (2018). *Propuesta de mejora del sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad indígena de Amubri del*

Cantón de Talamanca-Costa Rica. Cartago. Obtenido de
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9691>

UEN de Gestión de ASADAS del AyA. (2019). *Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1, 2019. s.d.*

15.1 Consultor

Brandon Esquivel Pérez, estudiante de la carrera de Ingeniería en Manejo del Recurso Hídrico, de la Universidad Técnica Nacional; cursa el grado de Bachillerato Universitario.

16 Apéndices

Apéndice 1. Principales consumidores, de la ASADA de Aguas Zarcas

# de medidor	Sector	Consumo	N. Naciente
546	Calle Colegio (Bejarano)	1809	Bejarano
1283	Calle Del Río (Carvajal)	435	Carvajal
662	Río Centro (Carvajal)	359	Carvajal
735	Centro (Carvajal)	310	Carvajal
1792	Río Centro (Carvajal)	281	Carvajal
1134	Calle Pilarte (Estrada)	221	Estrada
277	Génesis (Bejarano)	213	Bejarano
817	San Gerardo Abajo (Bejarano)	210	Bejarano
1278	La Cuesta (Estrada)	181	Estrada
499	Desvío (Carvajal)	173	Carvajal
503	Pital (Estrada)	165	Estrada
1172	Clínica (Carvajal)	153	Carvajal
529	Río Centro (Carvajal)	139	Carvajal
628	Desvío (Carvajal)	138	Carvajal
940	Pital (Estrada)	131	Estrada
136	Desvío (Carvajal)	126	Carvajal
111	Río Centro (Carvajal)	123	Carvajal
1250	San Gerardo Arriba (Bejarano)	120	Bejarano
1661	Calle Colegio (Bejarano)	117	Bejarano
789	Río Centro (Carvajal)	117	Carvajal

Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 2. Proyección de consumo de la Naciente Bejarano (Sector de Arriba)

Años	Crecimiento poblacional, sectores que alimenta la naciente Bejarano	Número de previs-tas	Caudal Promedio Consumo N. Bejarano (l/s)	Disminución anual del caudal N. Bejarano (l/s)	Caudal Máxi-mo Diario (l/s)	Caudal faltante l/s
2021	3732,3	1006,0	11,8	19,9	14,2	5,8
2022	3804,4	1025,4	12,0	19,9	14,4	5,4
2023	3877,9	1045,2	12,3	19,8	14,7	5,1
2024	3952,8	1065,4	12,5	19,8	15,0	4,8
2025	4029,1	1086,0	12,7	19,7	15,3	4,4
2026	4107,0	1107,0	13,0	19,7	15,6	4,1
2027	4186,3	1128,4	13,2	19,6	15,9	3,7
2028	4267,2	1150,2	13,5	19,6	16,2	3,4
2029	4349,6	1172,4	13,8	19,5	16,5	3,0
2030	4433,7	1195,1	14,0	19,5	16,8	2,6
2031	4519,3	1218,2	14,3	19,4	17,1	2,3
2032	4606,6	1241,7	14,6	19,4	17,5	1,9
2033	4695,6	1265,7	14,8	19,3	17,8	1,5
2034	4786,4	1290,1	15,1	19,2	18,2	1,1
2035	4878,8	1315,0	15,4	19,2	18,5	0,7
2036	4973,1	1340,5	15,7	19,1	18,9	0,3
2037	5069,2	1366,4	16,0	19,1	19,2	-0,1
2038	5167,1	1392,7	16,3	19,0	19,6	-0,6
2039	5266,9	1419,7	16,7	19,0	20,0	-1,0
2040	5368,7	1447,1	17,0	18,9	20,4	-1,4
2041	5472,4	1475,0	17,3	18,9	20,8	-1,9
2042	5578,1	1503,5	17,6	18,8	21,2	-2,3
2043	5685,9	1532,6	18,0	18,8	21,6	-2,8
2044	5795,7	1562,2	18,3	18,7	22,0	-3,2
2045	5907,7	1592,4	18,7	18,7	22,4	-3,7
2046	6021,8	1623,1	19,0	18,6	22,8	-4,2
2047	6138,2	1654,5	19,4	18,6	23,3	-4,7
2048	6256,8	1686,5	19,8	18,5	23,7	-5,2
2049	6377,6	1719,0	20,2	18,5	24,2	-5,7
2050	6500,9	1752,3	20,6	18,4	24,7	-6,2
2051	6626,4	1786,1	20,9	18,4	25,1	-6,7
2052	6754,5	1820,6	21,4	18,3	25,6	-7,3
2053	6885,0	1855,8	21,8	18,3	26,1	-7,8
2054	7018,0	1891,6	22,2	18,2	26,6	-8,4
2055	7153,6	1928,2	22,6	18,2	27,1	-8,9
2056	7291,8	1965,4	23,1	18,1	27,7	-9,5

Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 3. Proyección de consumo según Calculadora de Balance Hídrico para ASADAS, Versión 1

Años	Disminución anual del caudal N. Bejarano (l/s)	Proyección directa del Manual AyA, consumo l/s	Proyección directa, caudal máximo diario	Proyección caudal faltante l/s
2021	19,9	12,9	15,5	4,4
2022	19,9	13,2	15,8	4,1
2023	19,8	13,4	16,1	3,7
2024	19,8	13,7	16,4	3,3
2025	19,7	14,0	16,7	3,0
2026	19,7	14,2	17,1	2,6
2027	19,6	14,5	17,4	2,2
2028	19,6	14,8	17,7	1,8
2029	19,5	15,1	18,1	1,4
2030	19,5	15,4	18,4	1,0
2031	19,4	15,6	18,8	0,6
2032	19,4	16,0	19,1	0,2
2033	19,3	16,3	19,5	-0,2
2034	19,2	16,6	19,9	-0,6
2035	19,2	16,9	20,3	-1,1
2036	19,1	17,2	20,7	-1,5
2037	19,1	17,6	21,1	-2,0
2038	19,0	17,9	21,5	-2,4
2039	19,0	18,2	21,9	-2,9
2040	18,9	18,6	22,3	-3,4
2041	18,9	19,0	22,7	-3,9
2042	18,8	19,3	23,2	-4,3
2043	18,8	19,7	23,6	-4,8
2044	18,7	20,1	24,1	-5,3
2045	18,7	20,5	24,5	-5,9
2046	18,6	20,9	25,0	-6,4
2047	18,6	21,3	25,5	-6,9
2048	18,5	21,7	26,0	-7,5
2049	18,5	22,1	26,5	-8,0
2050	18,4	22,5	27,0	-8,6
2051	18,4	22,9	27,5	-9,1
2052	18,3	23,4	28,1	-9,7
2053	18,3	23,8	28,6	-10,3
2054	18,2	24,3	29,2	-10,9
2055	18,2	24,8	29,7	-11,5
2056	18,1	25,3	30,3	-12,2

Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de información del Excel “Calculadora de balance hídrico para ASADAS, Versión 1”.

Apéndice 4. Memoria de cálculo del sistema de bombeo, desde la Naciente Estrada al Tanque Bejarano

Caudal de bombeo Naciente Estrada al Tanque Bejarano, 2037 a 2056.

Caudal máximo diario	9,5
Número de horas de bombeo	9
Caudal de bombeo	25,4

Puntos	msnm		z delta (m)	L de punto A punto B (m)	Q (l/s)	Q (m³/s)	v1 teórica (m/s)	D Calcu (m)	D calcu (mm)	D comer (m)	v real (m/s)	Williams PVC		Pérdidas por fricción		ha (m)	Presión (psi)	Potencia (W)	Potencia de flujo hp	Potencia de la bomba
	z1(m)	z2 (m)										C	K	HL (m)	hL (m)					
A-B	550	569	19	607	25,38	0,0254	3	0,1038	103,79	0,106	2,90	130	44987	49,92	6,7	75,67	107,60	18842	25	29,7
B-C	569	576	5	8	25,38	0,0254	3	0,1038	103,79	0,106	2,90	130	593	0,658	0,0	5,66	8,046	1409	2	2,2
Total			24	615										50,581	6,7	81,33	115,6		27	31,9

A-B	De la N. Estrada al tan. Bejarano	607
B-C	Altura del Tanque Bejarano	8

Peso específico 15 °C	9810 N m/s
-----------------------	------------

1	hp	=	745,7	W
---	----	---	-------	---

Fp bomba	0,85
----------	------

Tramo A-B				
Pérdidas por accesorios		k	ha	
Llave de dola		2	10	2,96
Medidor de flujo		1	0	0,00
Válvula de retención abierta		2	2,5	0,74
Adaptadores machos		6	0	0,00
Adaptadores hembras		3	0	0,00
Codos 90		10	1,8	2,66
Filtro sen		1	2	0,30
Llave compuerta	3/4,	0	24	0,00
	1/2,	0	56	0,00
	1/4,	0	1,15	0,00
con cierre de:	Abierta	3	0,19	0,08
Total			6,7	

Caudal l/min	1523,0
Caudal l/s	25,4
hp	32
Altura (m)	89,37
Voltaje	240 o 480
fp	0,85
Pie	267
Caudal g/min	402

Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 5. Memoria de cálculo del sistema de bombeo, desde la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano

Caudal de bombeo Naciente Carvajal al Tanque Bejarano, 2037 al 2056.

Caudal máximo diario requerido (l/s)	9,5
Número de horas de bombeo	20
Caudal de bombeo	11,4

msnm			Tubo		Williams		Pérdidas por fricción													
Tramo	z1(m)	z2 (m)	Delta z (m)	Q (l/s)	Q (m³/s)	v1 teórica (m/s)	D Calcu (m)	D calcu (mm)	D comer (m)	v real (m/s)	C	K	HL (m)	hL (m)2	ha (m)	Presión (psi)	Potencia (W)	Potencia requerida de flujo hp	Potencia de la bomba (hp)	L entre puntos (m)
A-B	560	569	9	11,42	0,0114	3	0,0696	69,63	0,067	3,20	130	268714	67,96	6,2	83,19	118,30	9322	13	25	409
B-C	569	573	5	11,42	0,0114	3	0,0696	69,63	0,067	3,20	130	4599	1,163	0,0	6,16	8,764	691	1	2	7
Total			14												89,35	115,644		13	27	

A-B	De la N. Carvajal a tan. Bejarano (m)	409
B-C	Altura del tanque Bejarano (m)	7
		416

Tramo A-B				
Pérdidas por accesorios			k	hl
Llave de dola		2	10	3,26
Medidor de flujo		1	0	0,00
Válvula de retención Abierta		2	2,5	0,82
Adaptadores machos		6	0	0,00
Adaptadores hembras		3	0	0,00
Codos 90		6	1,8	1,76
Filtro sen		1	2	0,33
Llave compuerta con cierre de:	3/4,	0	24	0,00
	1/2,	0	56	0,00
	1/4,	0	1,15	0,00
	Abierta	2	0,19	0,06
Total				6,2

Peso específico 15 °c	9810	N m/s
-----------------------	------	-------

1	hp	=	745,7	W
---	----	---	-------	---

Fp bomba	0,85
----------	------

Caudal l/min	685
Caudal l/s	11,4
hp	27
Altura (m)	89,4
Voltaje	220 o 440
fp	0,85
Pie	293,2
Caudal g/min	181,0

Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 6. Memoria de cálculo del sistema de bombeo, desde la Perforación P#1 al Tanque Bejarano

Cálculos de bomba del Pozo P#1

Profundidad Pozo (m)	30	A-B
Lsoder el terreno (m)	254	B-C

Caudal máximo diario	9,5
Número de horas de bombeo	9
Caudal de bombeo	25,4

Tramo	msnm		Z	Longitud entre puntos (m)	Q (l/s)	Q (m³/s)	v1 teórica (m/s)	D Calcu (m)	D calcu (mm)	D comer (m)	v real (m/s)	C	K	Pérdidas por fricción		ha (m)	Presión (psi)	potencia (w)	Potencia de flujo (hp)	Potencia final del sistema (t)
	z1(m)	z2 (m)	Delta z (m)											HL (m)	hL (m)2					
A-B	525	555	28	30	25,4	0,0254	2,5	0,114	113,70	0,106	2,90	130	2223	2,47	6,8	37	53	9288	12,46	19,16
B-C	555	569	14	254,00	25,4	0,0254	2,5	0,114	113,70	0,106	2,90	130	18825	20,89	0,0	35	50	8688	11,65	17,92
C-D	569	574	4	6	25,4	0,0254	2,5	0,114	113,70	0,106	2,90	130	445	0,493	0,0	4	6	1119	1,50	2,31
Total			46	290												77	109			39,40

msnm A (m)	525
msnm B (m)	555
msnm C (m)	569
msnm D (m)	574

Pérdidas por accesorios		k	hl
Llave de dola	2	10	2,96
Medidor de flujo	1	0	0,00
Válvula de retención Abierta	2	2,5	0,74
Adaptadores machos	6	0	0,00
Adaptadores hembras	3	0	0,00
Codos 90	6	1,8	1,60
Filtro sen	1	10	1,48
Llave 3/4,	0	24	0,00
compuerta 1/2,	0	56	0,00
con cierre 1/4,	0	1,15	0,00
de: Abierta	2	0,19	0,06
Total			6,8

Caudal l/min	1523,0
Caudal l/s	25,4
hp	39,396
Altura (m)	77
Voltaje	220 o 440
pf	0,85
Pie	251,6
Caudal g/min	402,3

Peso específico 15 °c	9810 N m/s
-----------------------	------------

1	hp	=	745,7	W
---	----	---	-------	---

Fp bomba	0,65
----------	------

Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 7. Memoria de cálculo del sistema por gravedad, desde las Nacientes Morera #1 y #2 al Tanque Bejarano

Caudal por gravedad Naciente Moreras #1 y #2 al Tanque Bejarano, 2037 al 2045

Caudal total de las Nacientes Moreras en época seca.

Lectura	Caudal
15/4/2021	3,7

Periodo de crecimiento poblacional que puede abastecer las Nacientes Moreras, del 2037 al 2045.

	msnm									2" SDR 26		Williams	Pérdidas por fricción					
Tramo	z2 (m)	z1(m)	Delta z (m)	Longitud entre puntos (m)	Q (l/s)	Q (m^3/s)	v1 teórica (m/s)	D Calcu (m)	D calcu (mm)	D comer (m)	v real (m/-)	PVC	C	K	HL (m)	hL (m)2	ha (m)	Presión (PSI)
A-B	567	710	-143	1700	3,67	0,00367	1,5	0,056	55,81	0,055	1,52	130	2909667	89,87	2,4	-50,71	72,11	
B-C	710	818	-108	900,00	3,67	0,00367	1,5	0,056	55,81	0,055	1,52	130	1540412	47,58	2,9	-57,53	81,81	
	Total															-108,24	153,92	

	Puntos A-B	Puntos B-C	L total A-C
L entre puntos	1700	900,00	2600,00

Puntos	Nombre	msnm	Tramo A-B				
			Pérdidas por accesorios		k	ha	
A	Tanque Bejarano	567	Llave de dola	2	10	1,6	
B	Quebra gradiente 1	710	Medidor de flujo	1	0	0,0	
C	Nacientes Morera 1 y 2	818	Adaptadores machos	6	0	0,0	
			Adaptadores hembras	3	0	0,0	
			Codos 90	6	1,8	0,8	
			Filtro sen	1	0	0,0	
			Llave compuerta con cierre de:	3/4,	0	24	0,0
				1/2,	0	56	0,0
				1/4,	0	1,15	0,0
				Abierta	2	0,19	0,0
			Total	2,4			

Tramo B-C y C-D				
Pérdidas por accesorios		k	ha	
Llave de dola	2	10	1,6	
Medidor de flujo	0	0	0,0	
Adaptadores machos	6	0	0,0	
Adaptadores hembra	3	0	0,0	
Codos 90	4	1,8	0,6	
Filtro sen	1	10	0,8	
Llave compuerta con cierre de:	3/4,	0	24	0,0
	1/2,	0	56	0,0
	1/4,	0	1,15	0,0
	Abierta	0	0,19	0,0
		Total	2,9	

Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 8. Memoria de cálculo del Análisis económico del proyecto seleccionado

ASOCIACIÓN ADMINISTRATIVA ACUEDUCTO DE AGUAS ZARCAS

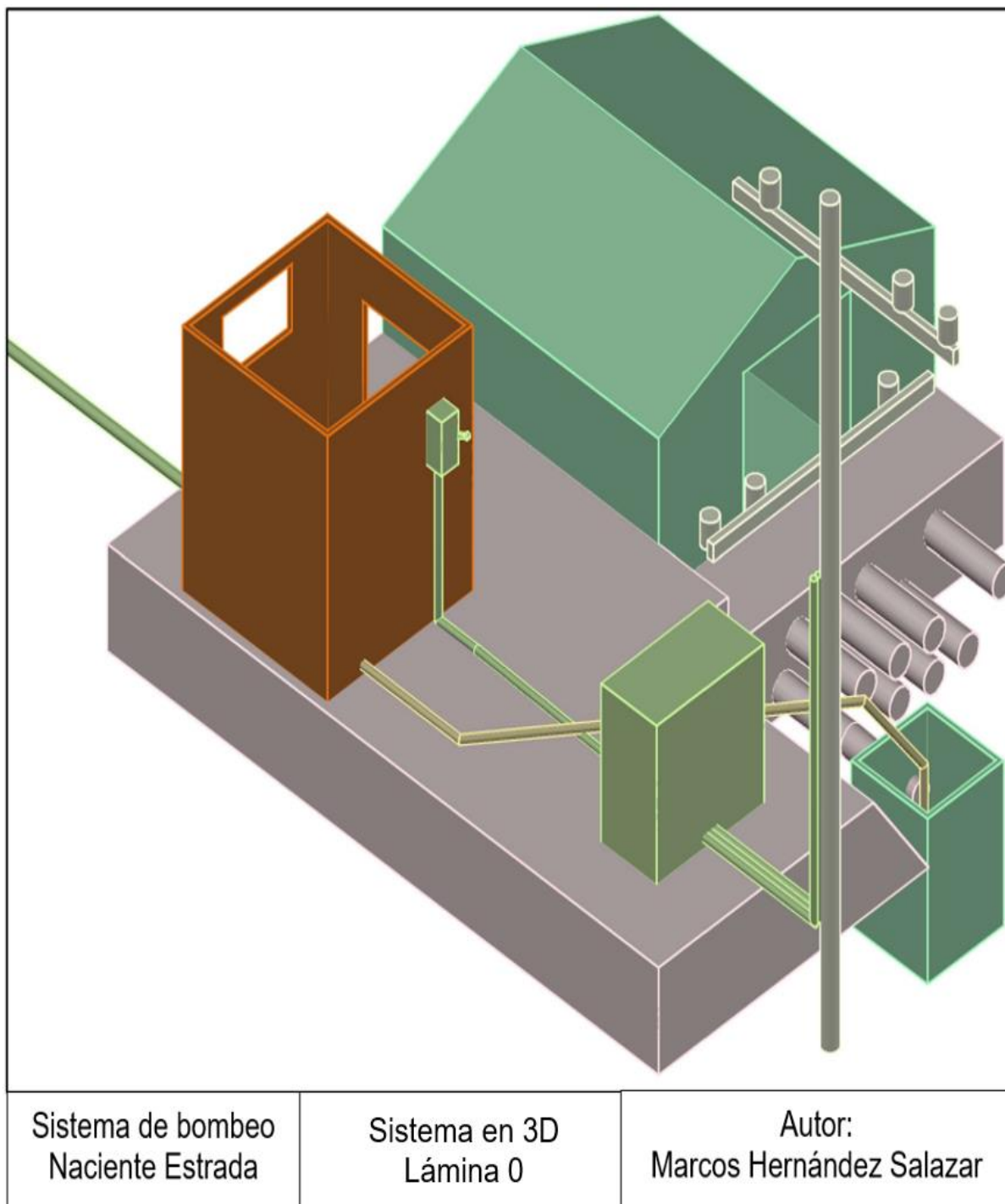
FLUJO DE CAJA PROYECTADO SENSIBILIZADO

DETALLE	Año 2036	Año 2037	Año 2038	Año 2039	Año 2040	Año 2041	Año 2042	Año 2043	Año 2044	Año 2045	Año 2046	Año 2047	Año 2048
Años del Proyecto ▾	0 ▾	1 ▾	2 ▾	3 ▾	4 ▾	5 ▾	6 ▾	7 ▾	8 ▾	9 ▾	10 ▾	11 ▾	12 ▾
Nuevas Previstas	0	26	53	80	107	135	164	193	222	252	283	314	346
TOTAL INGRESOS	₡ 193 806	₡ 203 496	₡ 213 671	₡ 224 354	₡ 235 572	₡ 247 351	₡ 259 718	₡ 272 704	₡ 286 339	₡ 300 656	₡ 315 689	₡ 331 474	₡ 348 047
TOTAL EGRESOS	₡ 50 925	₡ 52 453	₡ 54 026	₡ 55 647	₡ 57 317	₡ 59 036	₡ 60 807	₡ 62 631	₡ 64 510	₡ 66 446	₡ 68 439	₡ 70 492	₡ 72 607
SALDO por prevista al año	₡ 142 881	₡ 151 043	₡ 159 644	₡ 168 707	₡ 178 255	₡ 188 315	₡ 198 911	₡ 210 073	₡ 221 829	₡ 234 211	₡ 247 250	₡ 260 981	₡ 275 440
SALDO por incremento de previstas al año	₡ -	₡ 3 980 314	₡ 8 421 126	₡ 13 438 598	₡ 19 088 178	₡ 25 430 010	₡ 32 529 302	₡ 40 456 726	₡ 49 288 848	₡ 59 108 592	₡ 70 005 733	₡ 82 077 439	₡ 95 428 836
Préstamo	₡ 146 390 272	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 10 630 277	₡ -	₡ -
Inversión	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -
Amortización nueva deuda	₡ -	₡ 3 800 957	₡ 4 272 424	₡ 4 802 372	₡ 4 923 718	₡ 6 067 622	₡ 6 820 244	₡ 7 666 221	₡ 8 617 131	₡ 9 685 992	₡ 10 887 433	₡ 12 237 899	₡ 13 755 876
Carga Financiera nueva deuda	₡ -	₡ 17 000 480	₡ 16 529 013	₡ 15 999 066	₡ 15 403 384	₡ 14 733 815	₡ 13 981 193	₡ 13 135 217	₡ 12 184 306	₡ 11 115 446	₡ 9 914 005	₡ 8 563 538	₡ 7 045 561
Amortización de cambio de bomba	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 851 622	₡ 957 256
Carga Financiera cambio de Bomba	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 1 204 162	₡ 1 098 528
Flujo neta efectivo después de amortización	-₡ 146 390 272	-₡ 16 821 123	-₡ 12 380 311	-₡ 7 362 840	-₡ 1 238 925	₡ 4 628 573	₡ 11 727 864	₡ 19 655 288	₡ 28 487 410	₡ 38 307 154	₡ 59 834 573	₡ 59 220 217	₡ 72 571 614
Flujo neto acumulado	₡ -	-₡ 16 821 123	₡ 4 440 812	-₡ 11 803 652	₡ 10 564 727	-₡ 5 936 154	₡ 17 664 019	₡ 1 991 269	₡ 26 496 141	₡ 11 811 013	₡ 48 023 560	₡ 11 196 658	₡ 61 374 957
Flujo neto valor presente	₡ -	-₡ 15 052 459	-₡ 9 913 717	-₡ 5 275 975	-₡ 794 428	₡ 2 655 886	₡ 6 021 903	₡ 9 031 226	₡ 11 713 123	₡ 14 094 579	₡ 19 700 483	₡ 17 448 060	₡ 19 133 587
	₡ -	-₡ 15 052 459	-₡ 24 966 176	-₡ 30 242 151	-₡ 31 036 580	-₡ 28 380 694	-₡ 22 358 791	-₡ 13 327 565	-₡ 1 614 442	₡ 12 480 137	₡ 32 180 620	₡ 49 628 680	₡ 68 762 267
SENSIBILIZACIONES													
Incremento en Ingresos Operativos	5,00%												
Incremento en Costos de Operación	3,00%												
Incremento Gastos Administración	3,00%												

K Banco	11,75%
VNA	₡ 275 923 559,62
VAN	₡ 129 533 287,62
TIR	16,28%
PR	16
% Ganancia	88,48%
ID	1,88

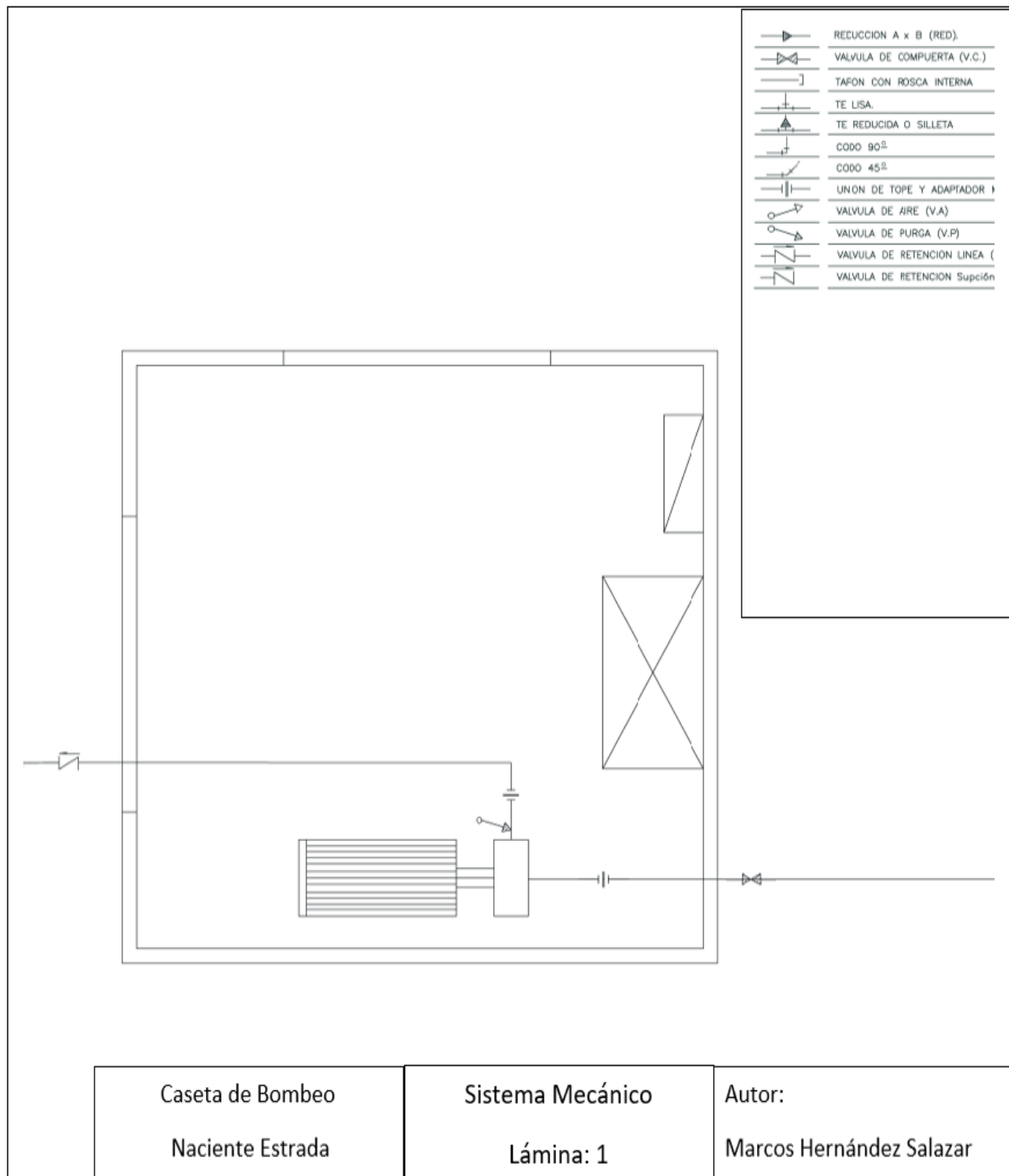
Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 9. Plano 3D de la distribución del sistema de bombeo desde la
naciente Estrada al tanque Bejarano



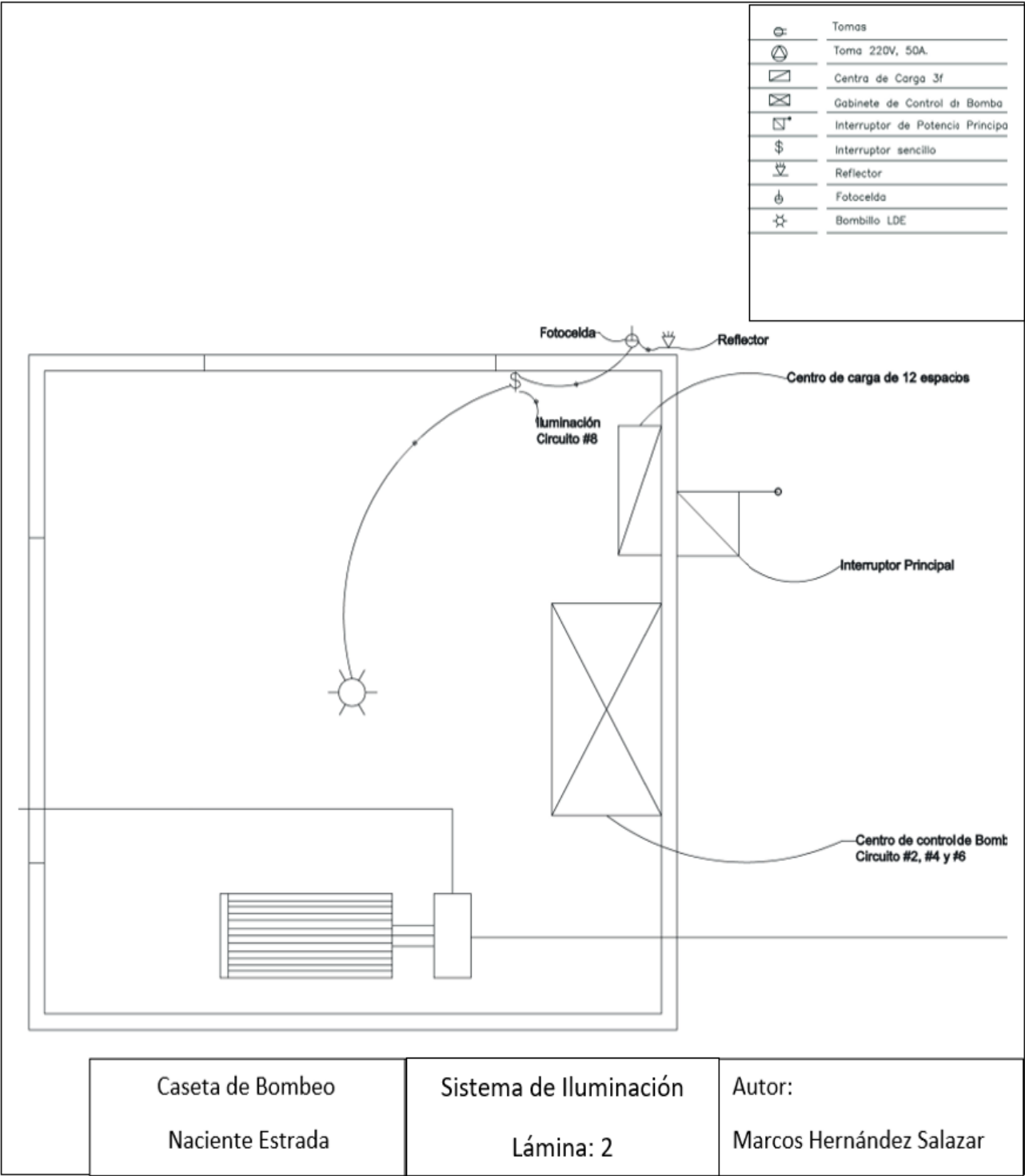
Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 10. Plano del sistema mecánico del bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano



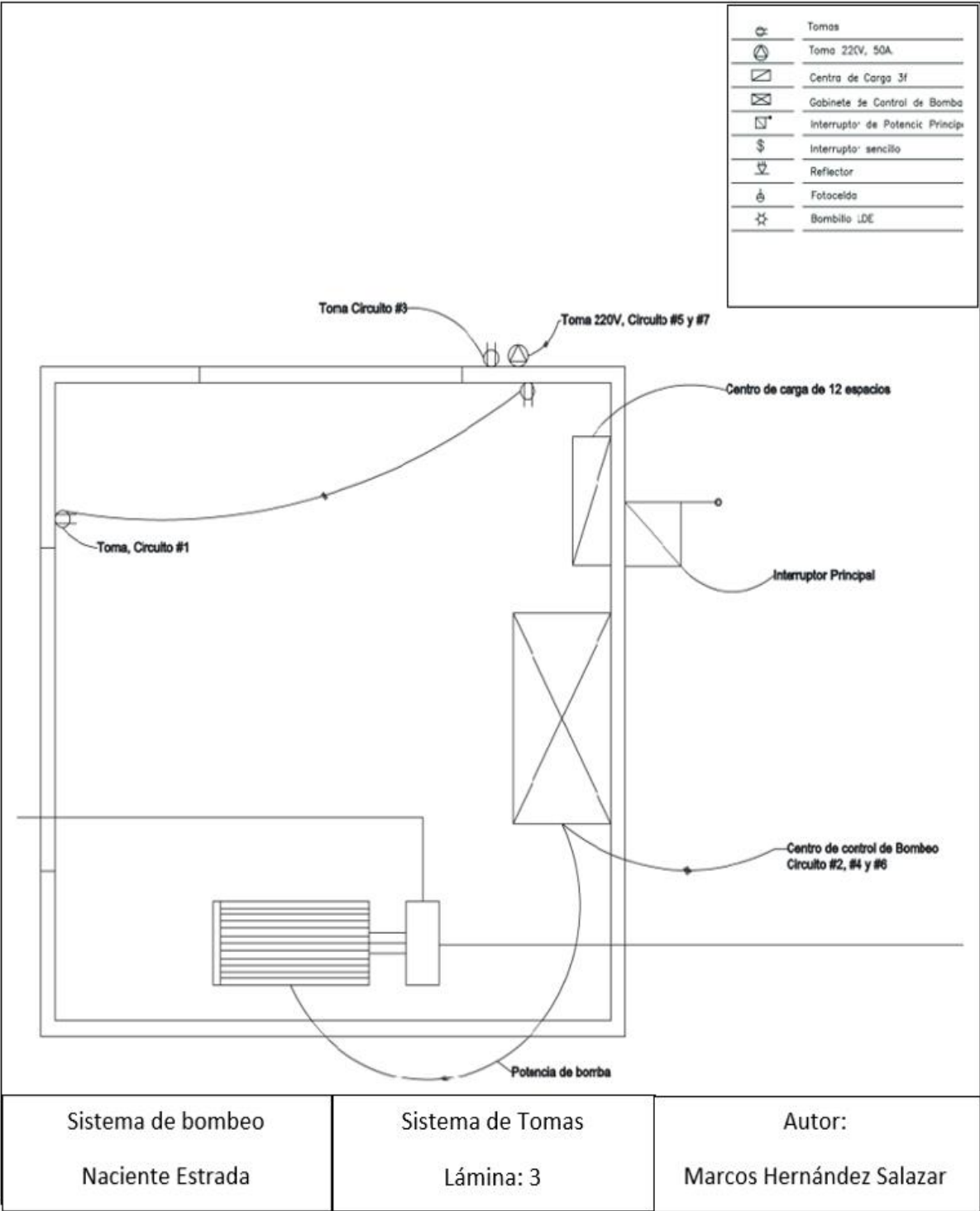
Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 11. Plano del sistema de iluminación de la caseta del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano



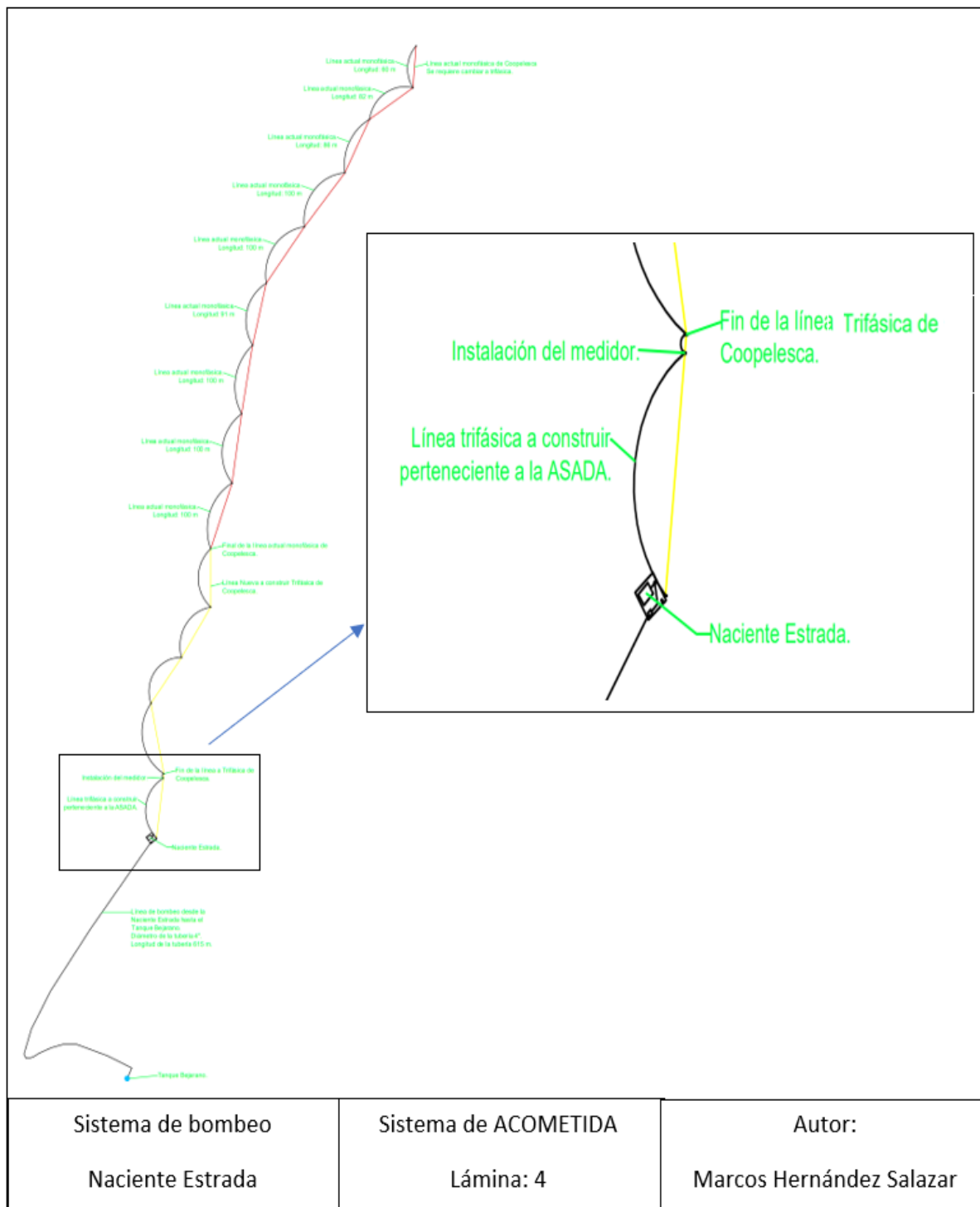
Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 12. Plano del sistema de tomacorrientes de la caseta del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano



Fuente: Elaboración propia (2022).

Apéndice 13. Plano de la acometida eléctrica del sistema de bombeo desde la naciente Estrada al tanque Bejarano



Fuente: Elaboración propia (2022).

17 Anexos

Anexo 1. Cálculo de servicio equivalente 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) *
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,	Metro cuadrado de área de parcela o predio	Un servicio Equivalente por cada 200 Unidad de Cálculo

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017).

Anexo 2. Normas técnicas para tubos utilizados en sistemas de abastecimiento de agua potable

Código	Correspondencia	Emisor	Material ^a	Nombre ^b	Diámetro	Accesorios/ Uniones
INTE 16-01-01	Es idéntica a ASTM D2241	INTECO	PVC	Plásticos — Tubos de poli(cloruro de vinilo) (PVC) clasificados según la presión de trabajo (Serie SDR)	Nominal: De 3 mm a 900 mm Interno: No indica Externo: De 10,29 (±0,10) mm a 914,40 (±1,27) mm	-Juntas utilizadas a presión usando empaque de hule
ANSI/AWWA C900 ^c	N.A	ANSI	PVC	Polyvinyl Chloride (PVC) Pressure Pipe and Fabricated Fittings, 4 In. Through 60 In. (100 mm Through 1,500 mm)	Nominal: De 100 mm a 1500 mm. Interno: No indica Externo: 121,9 (±0,23) mm a 1564,9 (± 2,31) mm	Requisitos de material y configuración para accesorios -Tees de diversos diámetros en su sección perpendicular. -Cruces con diámetros diferentes en sus secciones. -Curvas en ángulos de 11,25°, 22,5°, 45° y 90°. -Acoples a diámetros similares a los de la tubería. -Reducciones de diámetro. -Adaptadores y configuraciones cónicas. Juntas unidas mediante el proceso de fusión por calor a tope.
INTE 16-01-04	Es idéntica a ASTM D1785	INTECO	PVC	Tubería plástica de Poli (Cloruro de vinilo) (PVC) cédula 40, 80 y 120	Nominal: De 3 mm a 600 mm Interno: No indica Externo: De 10,29 mm a 609,60 mm	-Accesorios moldeados -Junta tipo campana con empaque elastomérico
INTE 16-13-03	Es parcialmente equivalente a ASTM D3517	INTECO	Fibra de vidrio	Tubos de fibra de vidrio (resina termoestable reforzada con fibra de vidrio) para uso en sistemas a presión	Interno nominal: De 200 mm a 4000 mm. Externo: No indica	Juntas no restringidas: -Juntas de acople -Junta a tope -Junta bridada Juntas restringidas: -Junta a tope -Campana y espiga -Junta bridada -Acople mecánico
ISO 2531	N.A	ISO	HD	Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water applications	Nominal: De 40 mm a 2600 mm Interno: No indica Externo: De 56 mm a 2702 mm	-Requisitos de longitud, espesor, recubrimiento y de acabado para accesorios -Bridas -Juntas flexibles -Juntas restringidas
ISO 10803	N.A	ISO	HD	Design method for ductile iron pipes	Según la norma ISO 2531	Según la norma ISO 2531

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017).

Anexo 3. Coeficiente “C” máximo de Hazen y Williams

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

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017).

Anexo 4. Gráfica de bomba seleccionada para el bombeo desde la Naciente Estrada al Tanque Bejarano

11BF1R9F0

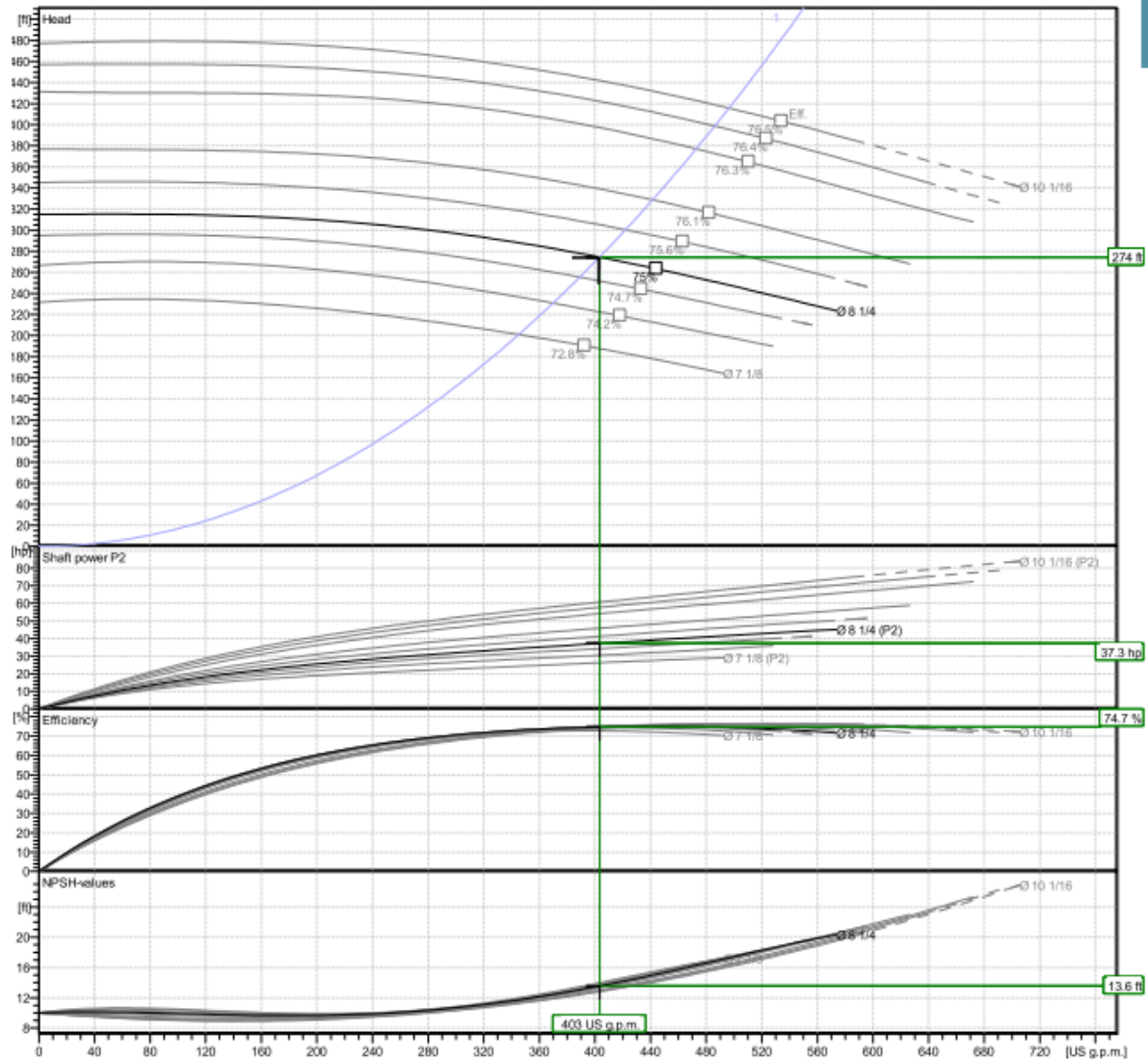
Hydraulic Data

Operating Data Specification		Hydraulic data (duty point)		Impeller design	
Flow	403 US g.p.m.	Flow	403 US g.p.m.	Impeller R	8 1/4 inch
Head	274 ft	Head	274 ft	Frequency	60 Hz
Static head	0 ft			Speed	3600 rpm

Power data referred to:

Water [100%] ; 39.2°F; 62.4lb/ft³; 1.69E-5ft²/s

Performance according to ISO 9906:2012 – Grade 3B



Fuente: Proveedor: ZEBOL S.A. (2022).

Anexo 5. Gráfica de bomba seleccionada para el bombeo desde la Naciente Carvajal al Tanque Bejarano

16BF1Q9D0

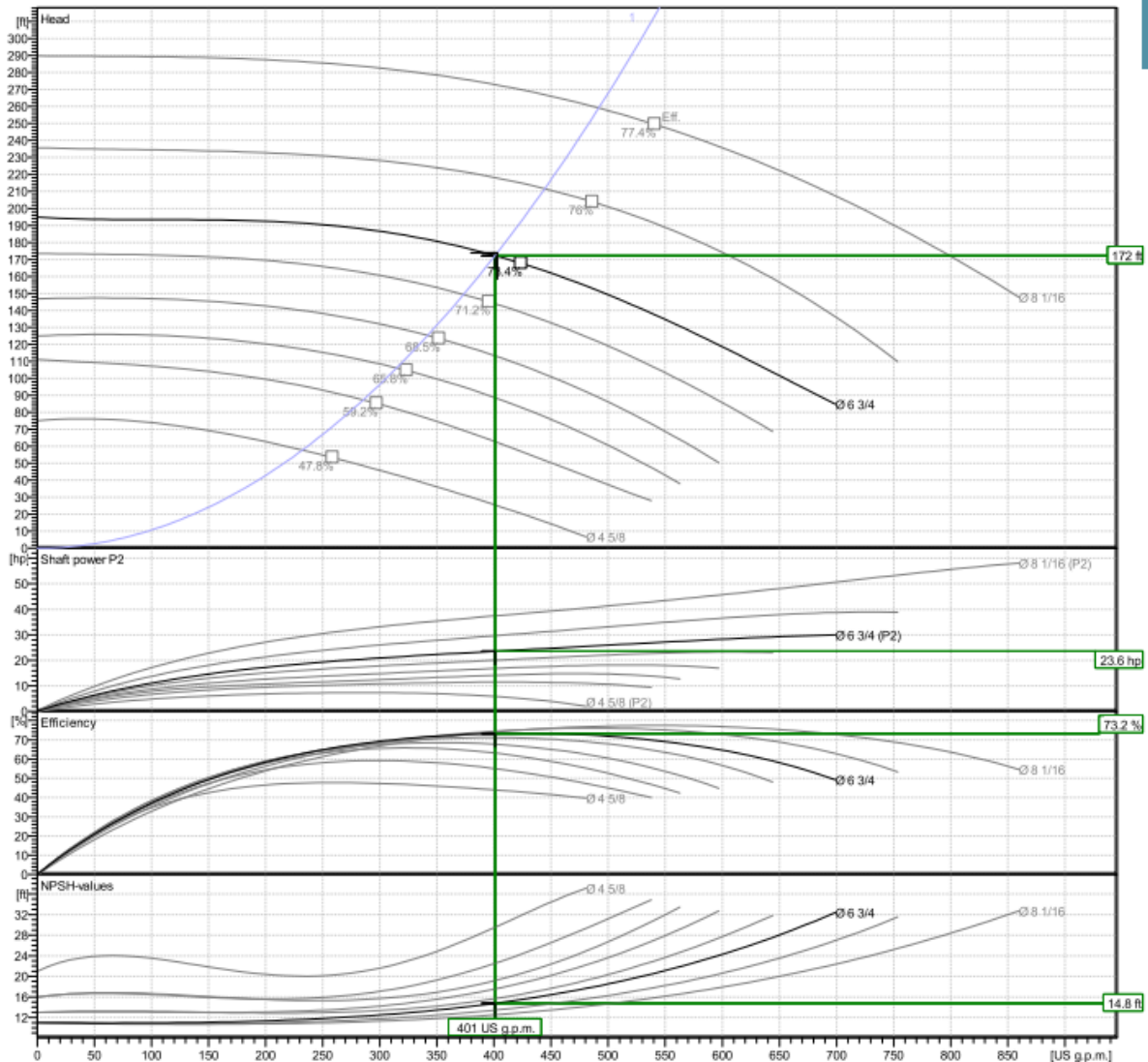
Hydraulic Data

Operating Data Specification		Hydraulic data (duty point)		Impeller design	
Flow	403 US g.p.m.	Flow	401 US g.p.m.	Impeller R	6 3/4 inch
Head	174 ft	Head	172 ft	Frequency	60 Hz
Static head	0 ft			Speed	3600 rpm

Power data referred to:

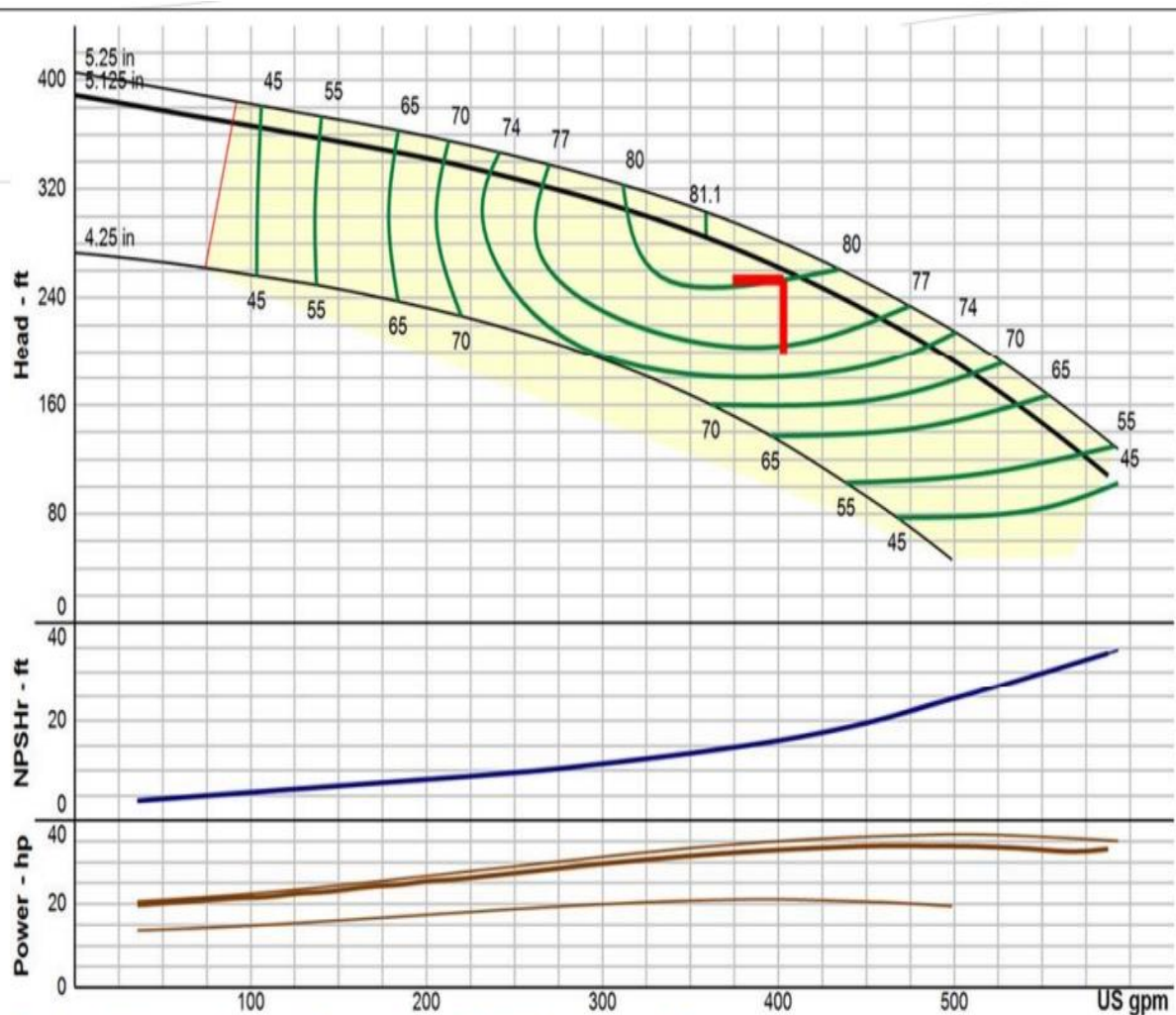
Water [100%] ; 39.2°F; 62.4lb/ft³; 1.69E-5ft²/s

Performance according to ISO 9906:2012 – Grade 3B



Fuente: Proveedor: ZEBOL S.A. (2022).

Anexo 6. Gráfica de bomba seleccionada para el bombeo desde la Perforación P#1 al Tanque Bejarano



Curve & hydraulic data presented is nominal performance based on ANSI/HI 14.6 acceptance grade 2B.
Design values are guaranteed within the following tolerances: Flow $\pm 8\%$, Head $\pm 5\%$, and optionally either Power $\pm 8\%$ or Efficiency $- 5\%$ at manufacturer's discretion.

Specified Flow	403,00 USgpm	Shut Off TDH (Disch Flange)	389,0 ft	Recommended Power	40,00 Hp
Specified TDH	253,00 ft	Shut Off Pressure (Bowl)	168,4 psi	Driver Size Criteria	NOL Power Across Design Curve
Rated Speed	3460 RPM	Shut Off Pressure (Disch Flange)	168,4 psi	Allow Service Factor	No
Atmospheric Pressure	14,70 psi	Run Out Flow	587,0 USgpm	kWh per 1000 gal	0.00000
NPSHa at Grade	34,0 ft	Run Out TDH (Bowl)	108,0 ft	NPSHr at Design	16,5 ft
NPSHa at 1st Impeller	36,1 ft	Run Out TDH (Disch Flange)	108,0 ft	NPSH Margin at Design	19,6 ft
Fluid	Water	Run Out Pressure (Bowl)	46,8 psi	Thrust K-Factor	3.5 lbpft
Fluid Temperature	68,0 °F	Run Out Pressure (Disch Flange)	46,8 psi	Thrust at Design	1048,6 lb
Specific Gravity	1.0000	Bowl Efficiency at Design	80,10 %	Thrust at Shut Off	1569,7 lb
Viscosity	1.0017 cP	Guaranteed Bowl Efficiency	76,10 %		

Fuente: Proveedor: ZEBOL S.A. (2022).

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS
FINALES**

DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

(Ciudad, Sarapiquí

Fecha. 05/09/2022

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Marcos Antonio Hernández Salazar portador (a) de la cédula de identidad número 206740079. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada: Análisis de capacidad para el abastecimiento de agua potable en la Zona Alta de Aguas Zarcas, San Carlos de Alajuela

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

☒ X Proyecto de Graduación

☐ Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 02/09/2022, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo

Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	✓
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	✓
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	✓
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	✓
Consulta electrónica con texto protegido	✓
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	✓
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	✓
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	✓

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante:  Cédula: 206740079

Día: 05/09/2022