

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



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

EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA
PARA RIEGO DEL PROYECTO EL RODEO, UBICADO EN TIERRA BLANCA DE CARTAGO.

DAVID ANDRÉS ARAYA SANABRIA

CARTAGO, COSTA RICA

2023

EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA
PARA RIEGO DEL PROYECTO EL RODEO, UBICADO EN TIERRA BLANCA DE CARTAGO.

DAVID ANDRÉS ARAYA SANABRIA

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

FERNANDO WATSON HERNÁNDEZ

Asesor
Ingeniería Agrícola

ISABEL GUZMÁN ARIAS

Director Escuela

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2023

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

A las 9:30 horas del día 21 del mes de Junio del año 2023 el estudiante:
David Andrés Araya Sanabria
presenta y defiende su trabajo de graduación titulado:

Evaluación y rediseño del sistema de conducción y distribución de agua para riego del proyecto El Rodeo, ubicado en Tierra Blanca de Cartago.

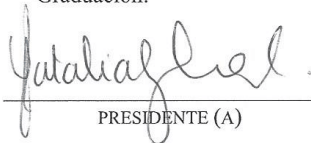
ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

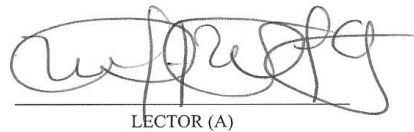
Presidente (a): Dra. Natalia Gómez Calderón

Miembro Tribunal: M.Sc. Milton Solírzano Quintana

Asesor (a) Externo (a): Edgar Mairena Navarro

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


PRESIDENTE (A)


LECTOR (A)


ASESOR (A) EXTERNO (A)


ESTUDIANTE

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro en especial y únicamente a mi familia, por siempre apoyarme y ayudarme en todo lo que he necesitado a lo largo de este trayecto, y en especial, a mis padres, por acompañarme en todo este proceso de aprendizaje y formación desde el día 1.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, por hacer que nunca me hiciera falta nada para cumplir mi formación académica, así como el siempre apoyarme en las decisiones que he tomado a lo largo de esta; a mis hermanos, por siempre demostrarme que están ahí para apoyarme en cualquier situación y en lo que sea que necesite.

A Dimas y Guido; gracias por escucharme y aconsejarme en los días de incertidumbre, por ser un hermano más para mí, por reír juntos y apoyarme en lo que fuera y estar cuando más lo necesité.

A Kevin; gracias por haberme dado el regalo de la amistad, por estar conmigo en las buenas y en malas, por ser mi mejor amigo y nunca haberme dejado atrás.

A Valeria y Alfredo; gracias por ser más que compañeros, gracias por haberme acompañado en todo momento y haber hecho todo este proceso más bonito.

A los profesores Kerin Romero, Natalia Gómez y Fernando Watson; gracias por guiarme de la mejor forma, por aconsejarme de una manera ética y profesionalmente e instruirme a ser mejor cada día.

También quiero expresar mi agradecimiento al SENARA por las facilidades brindadas, y en particular, a Lic. Ing. Edgar Mairena, por su apoyo constante y por impartirme valiosas enseñanzas a lo largo de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivo Específicos	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Región.....	5
2.2 Sociedad de usuarios de agua	5
2.3 Módulos de riego.....	6
2.4 Redes de distribución.....	6
2.4.1 Componentes de una red	7
2.4.1.1 Captación.....	8
2.4.1.2 Tubería.....	10
2.4.1.3 Válvulas.....	11
2.4.1.4 Tanques de distribución y quiebra gradiente.....	16
2.4.1.5 Reservorio.....	16
2.4.1.6 Toma domiciliaria.....	16
2.4.2 Tipos de proyectos de redes	17
2.4.3 Forma de distribución.....	17
2.5 Parámetros Hidrológicos.....	17
2.5.1 Precipitación.....	17

2.5.2	Temperatura	18
2.5.3	Evapotranspiración.....	18
2.5.4	Humedad relativa	18
2.6	Principales tipos de Riego	19
2.6.1	Riego a presión.....	19
2.6.1.1	Riego por aspersión	19
2.6.1.2	Riego por microaspersión.....	20
2.6.1.3	Riego por goteo	20
2.7	Problemática inherente a las redes de distribución.....	20
2.8	Modelación numérica mediante Softwares Asistidos	21
3	METODOLOGÍA.....	24
3.1	Visita al proyecto El Rodeo, Tierra Blanca, Cartago.....	25
3.2	Aspectos climáticos	25
3.3	Cálculo de los parámetros de riego	27
3.4	Cálculo de los parámetros de entrega de agua.....	29
3.5	Capacidad de almacenamientos de los reservorios.....	32
3.6	Calendario de entrega de agua	33
3.7	Diseño hidráulico	34
3.8	Detalles constructivos	37
3.9	Modelación hidráulica con EPANET.....	38
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1	Sociedad de Usuarios de Agua.....	41
4.2	Calendario de riego.....	41
4.3	Características de los reservorios	44
4.4	Parámetros obtenidos	45

4.4.1	Cálculo de la lámina bruta y lámina neta	45
4.4.2	Datos de la demanda de agua	45
4.5	Análisis hidráulico de la red de abastecimiento.	47
4.5.1	Modelación de Epanet.....	50
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1	Conclusiones	62
5.2	Recomendaciones	62
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7	ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema general de un sistema de acueducto. (Fuente: Gutierrez, 2018)	8
Figura 2.	Diámetros internos/externos disponibles comercialmente. (Fuente: DURMAN by Aliaxis, 2021).....	10
Figura 3.	Paso del fluido a través de válvulas. (Fuente: Quirós, 2021)	11
Figura 4.	Diagrama de una válvula de compuerta. (Fuente: Marcano, 2018)	12
Figura 5.	Diagrama de una válvula de mariposa. (Fuente: NTGD, n.d.).....	13
Figura 6.	Diagrama de una válvula de alivio de palanca compuesta. (Fuente: VALVE AND MANUFACTURING CORP, 2019).....	14
Figura 7.	Diagrama de una válvula controladora de presión. (Fuente: Automatización Industrial, 2010).....	15
Figura 8.	Diagrama de una válvula de bola. (Fuente: GRUPO HIDRAULICA, 2022) ...	15
Figura 9.	Plano de un tanque quiebra gradiente. (Fuente: Área de Aguas Subterráneas SENARA, 2005)	16
Figura 10.	Parámetros hidráulicos fijos del software EPANET.	23
Figura 11.	Tomas de entrega de agua de la Sociedad de Usuarios de Agua del distrito de Tierra Blanca.....	25
Figura 12.	Comando de los controles de la tubería para su apertura.	39

Figura 13. Calendario de riego actual.	42
Figura 14. Calendario de riego propuesto.	43
Figura 15. Gráfico de demanda y oferta de agua de los tanques 1 y 2.	51
Figura 16. Gráfico del nivel del agua del tanque 1.	52
Figura 17. Gráfico del nivel del agua del tanque 2.	52
Figura 18. Modelación en EPANET del lunes a las 2 p.m. de la red de conducción principal.	Error! Bookmark not defined.
Figura 19. Modelación en EPANET del lunes a las 2 p.m.	Error! Bookmark not defined.
Figura 20. Modelación en EPANET del lunes a las 2am. .	Error! Bookmark not defined.
Figura 21. Modelación en EPANET del martes a las 2 p.m.	Error! Bookmark not defined.
Figura 22. Modelación en EPANET del miércoles a las 2 p.m.	Error! Bookmark not defined.
Figura 23. Modelación en EPANET del domingo a las 2pm.	Error! Bookmark not defined.
Figura 24. Gráfico del comportamiento de la presión en el tiempo de los puntos de entrega de agua más críticos.	60

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de una captación de agua. (Fuente: Stauffer & Spuhler, 2020)	9
Cuadro 2. Coeficientes de Hazen-Williams para varios materiales de tuberías. (Fuente: Rossman, n.d.).....	22
Cuadro 3. Información climática para los sectores de riego Tierra Blanca-Llano Grande. (Fuente: Área de Aguas Subterráneas SENARA, 2005)	26
Cuadro 4. Valores de kc según el cultivo. Fuente: Diario oficial La Gaceta, 20 de mayo (2004).	26
Cuadro 5. Parámetros para utilizar de acuerdo con su cultivo. (Fuente: Área de Aguas Subterráneas SENARA, 2005).	28

Cuadro 6. Calendario de entrega de agua base.	34
<i>Cuadro 7. Medidas de los reservorios principales.</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 8. Volumen y tiempo de llenado de los reservorios principales</i>	<i>45</i>
<i>Cuadro 9. Parámetros obtenidos de acuerdo con las características del cultivo.</i>	<i>45</i>
<i>Cuadro 10. Datos de la demanda de agua para los cultivos seleccionados.</i>	<i>46</i>
<i>Cuadro 11. Datos obtenidos para el cálculo del calendario de entrega de agua</i>	<i>46</i>
Cuadro 12. Características hidráulicas de la tubería.	47
Cuadro 13. Cambios por realizar en la red de tuberías actual.	49
Cuadro 14. Características de la válvula de bola.	55

ANEXOS

Anexo 1. Socios de la Sociedad de Usuarios de Agua	71
Anexo 2. Coordenadas de las tomas, reservorios e inicios de ramal del proyecto.	72
Anexo 3. Calendario de entrega de agua actual de los asociados en los lunes-jueves	72
Anexo 4. Calendario de entrega de agua actual de los asociados en los martes-viernes. ...	73
Anexo 5. Calendario de entrega de agua actual de los asociados en los miércoles-sábados.	73
Anexo 6. Calendario de entrega de agua propuesto para los asociados en los lunes-jueves	74
Anexo 7. Calendario de entrega de agua propuesto para los asociados en los martes-viernes.	74
Anexo 8. Calendario de entrega de agua propuesto para los asociados en los miércoles- sábados.	75
Anexo 9. Vista horario del calendario de entrega de agua en m ³ en la semana.	75
Anexo 10. Etc para el cultivo de la papa.	76
Anexo 11. Etc para el cultivo de la cebolla	76
Anexo 12. Etc para el cultivo de la zanahoria.	77
Anexo 13. Diseño estático del rol de la tubería principal.	78
Anexo 14. Diseño estático del rol del ramal 1.	79
Anexo 15. Diseño estático del rol del tanque 1.	79

Anexo 16. Diseño estático del rol del tanque 2.	80
Anexo 17. Diseño estático del rol del ramal 2.	80
Anexo 18. Diseño estático del rol del ramal 2.1.	80
Anexo 19. Diseño estático del rol del ramal 3.	80
Anexo 20. Diseño de la red de conducción del Proyecto El Rodeo de la estación principal 0+000 a la 2+388.	81
Anexo 21. Diseño de la red de conducción del Proyecto El Rodeo de la estación 2+388 de la principal hasta el ramal 2.1.	82
Anexo 22. Plano perfil de la conducción principal de la estación 0+000 a la 1+600.	83
Anexo 23. Plano perfil de la conducción principal de la estación 1+600 a la 3+200.	84
Anexo 24. Plano perfil de la conducción del tanque 1 de la estación 0+000 a la 0+800.	85
Anexo 25. Plano perfil de la conducción del tanque 2 de la estación 0+000 a la 0+800.	86
Anexo 26. Plano perfil de la conducción del tanque 2 de la estación 0+600 a la 1+000.	87
Anexo 27. Plano perfil de la conducción del ramal 1 de la estación 0+000 a la 0+800. ..	88
Anexo 28. Plano perfil de la conducción del ramal 2 de la estación 0+000 a la 0+300 y del ramal 2.1 de la estación 0+000 a la 0+150.	89
Anexo 29. Modelación en EPANET del jueves a las 2pm.	90
Anexo 30. Modelación en EPANET del viernes a las 2pm.	91
<i>Anexo 31. Modelación en EPANET del sábado a las 2pm.</i>	<i>92</i>
Anexo 32. Captación de agua en el Río Reventado.	93

RESUMEN

Costa Rica ha presentado problemas importantes referentes al tema del funcionamiento de sistemas de abastecimiento de agua potable, esto se debe a la falta de inversión en infraestructura pública, mantenimiento y mejoras por parte de las instituciones responsables. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue diseñar un sistema de conducción, distribución y almacenamiento de agua en el proyecto El Rodeo mediante el cálculo de parámetros de diseño para proponer mejoras a la red hidráulica, con el fin de ayudar a los pequeños y medianos productores a obtener un mayor beneficio del uso de agua, así como un mejor control de los recursos a utilizar.

Mediante visitas realizadas a la zona de estudio se comprobó que la Sociedad de Usuario de Agua cuenta con 47 asociados, con un total de 41 ha en las cuales se siembra papa, cebolla y en menor cantidad, zanahoria. Se determinó que la red de distribución utilizada actualmente no cuenta con un diseño acorde a las necesidades que se tienen hoy en día debido a la deterioración de este mismo por el pasar de los años, causando problemas en la conducción, así como un mal manejo de la fuente hídrica.

Se propone un calendario de riego el cual presenta una distribución equitativa de la entrega de agua por día, así como un mejor almacenamiento del recurso hídrico, debido a que el calendario de riego actual desaprovecha 631,94 m³ cada semana, lo que provocaría que semanalmente se desperdicie un 7,32% de la concesión otorgada. Así mismo, se evaluó el diseño por medio de la modelación en EPANET 2.2 indicando el correcto funcionamiento del sistema.

Palabras clave: Red de distribución, agua, reservorio, válvula, conducción, presión.

ABSTRACT

Costa Rica has presented important problems regarding the issue of the operation of drinking water supply systems, this is due to the lack of investment in infrastructure, maintenance, and improvements by the responsible institutions. Therefore, the objective of this project was to design a water conduction, distribution, and storage system by calculating design parameters to propose improvements to the hydraulic network in the El Rodeo project, to help small and medium producers to obtain a greater benefit from the use of water, as well as a better control of the resources to be used.

Through the visit made to the study area, it was verified that the Water User Society has 47 associates, with a total of 41 ha in which potatoes, onions and, to a lesser extent, carrots are planted. It is determined that the distribution network currently used does not have a design according to the needs of today due to its deterioration over the years, causing driving problems, as well as poor handling of the water source.

An irrigation calendar is proposed which presents an equitable distribution of the delivery of water per day, as well as a better storage of the water resource, because the current irrigation calendar wastes 631,94 m³ each week, which would cause it to be wasted weekly 7,32% of the concession granted. Likewise, the design was evaluated through modeling in EPANET 2.2 indicating the correct functioning of the system.

Key words: Distribution network, water, tank, valve, conduction, pressure.

1 INTRODUCCIÓN

Costa Rica ha presentado problemas importantes referentes al tema del funcionamiento de sistemas de abastecimiento de agua potable, debido principalmente a la falta de inversión en infraestructura, mantenimiento y mejoras por parte de las instituciones responsables (Bejarano, 2013, como se citó en (Corella, 2020)). El uso intensivo del suelo, la aplicación incorrecta de técnicas de cultivo como las eras y los surcos, el desconocimiento o no aplicación de técnicas de conservación de suelos y manejo inadecuado del agua están provocando grandes problemas en la zona, los cuales se agudizarán en un futuro próximo.

El proyecto de riego El Rodeo, se construyó en el año 2005 y se ubica en la comunidad de Tierra Blanca, del cantón de Cartago, provincia de Cartago. El área de riego es de 41 ha divididas en 47 familias. La Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) tiene vigente una concesión de agua de 14,28 l/s que se utiliza a la producción de papa, cebolla, zanahoria y en menor escala remolacha, zapallo, ayote y lechuga con el fin de mejorar la condición social de la comunidad con empleo e ingresos para los hogares de los productores. Este proyecto cuenta con un registro de la topografía de la red, el sistema de conducción y distribución, el equipo original implementado en el 2005, año en que el proyecto inició su funcionamiento, así como 2 reservorios principales.

El problema actual de la red de distribución de agua del proyecto El Rodeo radica en que es un sistema de distribución y conducción desactualizado debido a la variación de condiciones por el paso de los años, no apto para los requerimientos mínimos que deben cumplir. Por otro lado, se presenta un incumplimiento de la concesión impuesta debido a que se está extrayendo más agua del río de lo concesionado, produciendo que el caudal de este disminuya considerablemente.

El cambio climático de la zona ha sido un factor para tomar en cuenta debido a la incidencia que este tiene en la disponibilidad hídrica del sector, así como al entorno de la red la cual se ve afectada considerablemente por movimientos de tierra que deja caer árboles y piedras que la dañan, por lo que se ve necesario el mejorar la eficiencia en la conducción, distribución y aplicación del agua. En Centroamérica, el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C por década desde el año 1900, mientras que en las noches y días fríos han disminuidos -2,2% a -2,4% promedio anual (Ruiz 2017). Por otro lado, según Meteoblue (2021), en el año 1993 en Cartago, se obtuvo una media de precipitación de 3063 mm, mientras que para el año 2022 se

presentó una media de 2837,9 mm, mostrando una disminución de la precipitación en 30 años, afectando a la producción agrícola.

Por lo tanto, en el presente proyecto, se realizará un diseño del sistema de conducción, distribución y almacenamiento de agua mediante el cálculo de parámetros de diseño para proponer mejoras a la red hidráulica en el proyecto El Rodeo, con el fin de ayudar a los pequeños y medianos productores a obtener un mayor beneficio del uso de agua, así como un mejor control de los recursos a utilizar.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de conducción, distribución y almacenamiento de agua mediante el cálculo de parámetros de diseño que permitan una correcta distribución del recurso entre los socios de la SUA del proyecto El Rodeo, Tierra Blanca, Cartago.

1.1.2 Objetivo Específicos

OE1: Crear un calendario de riego contemplando la totalidad del área regada por socio, el mando, el cultivo y la concesión que comprende el proyecto mediante el cálculo de parámetros de riego para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos.

OE2: Rediseñar la red hidráulica del proyecto bajo propuestas de mejora mediante el cálculo de parámetros de diseño para aumentar la eficiencia y el aprovechamiento del recurso hídrico.

OE3: Evaluar la red de distribución propuesta mediante la modelación en el software EPANET para validar el comportamiento de la red y verificar su funcionamiento.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Región

La cuenca del río Reventado se localiza en la zona norte de Cartago y aporta a la economía nacional el 80% de la producción de hortalizas. Según Ramírez., et al (2008), esta cuenca es tributaria del río Reventazón y al ser parte de su área de drenaje representa para el país una relevancia económica y social, debido al potencial que posee en el campo de los recursos naturales y generación de energía. Por otro lado, el clima y los suelos de la región son excelentes para la producción de hortalizas; se produce el 90% de la papa que consume el país, mientras que la cebolla representa el 80% del ingreso de los agricultores, ocupando el principal lugar de área de siembra. (Ramírez et al., 2008)

Según Cortés & Oconitrillo (1993), los cultivos predominantes del área potencialmente regable son la papa, cebolla, zanahoria y en menor escala remolacha, zapallo, ayote y lechuga. De acuerdo con González (2015), la agricultura convencional de la zona abastece un 80% la producción de cebolla, 40 % de papa y un 30 % de zanahoria, que se consume en el país, mientras que la producción orgánica en la zona es de 0,02%.

2.2 Sociedad de usuarios de agua

Según Garita & Morales (2015), las Sociedades de Usuarios fueron establecidas por la Ley de Aguas No.276, emitida el 27 de agosto de 1942. En el artículo 131 de esta Ley original se definían como: “organizaciones de usuarios, (aquellas) que se constituyan con el propósito de poseer, explotar, o ejecutar y administrar obras para el aprovechamientos de aguas”. Las sociedades de usuarios con fines de riego deberán inscribirse en el Registro Público y anotarse en el Servicio Nacional de Electricidad en el libro que se llevará con tal fin. Las Sociedades de Usuarios de Aguas tiene diversas funciones, las cuales son las siguientes:

- I. Obtener concesiones para el aprovechamiento de aguas
- II. Construir obras de riego y fuerza motriz
- III. Obtener los fondos necesarios para construir las obras que se proyectan
- IV. Adquirir los bienes inmuebles necesarios para los fines de la Sociedad

Un modelo de trabajo establecido por el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), institución pública creada para desarrollar todo lo relativo a riego y drenaje en Costa Rica, consiste en el diseño y puesta en operación de sistemas de riego (y drenaje), cofinanciados por el Estado, en el cual los miembros de las sociedades de usuarios aportan la parte reembolsable a SENARA por la construcción del proyecto, pero todos los costos administrativos en que incurra el SENARA asociados a los estudios preliminares, diseño y factibilidad del proyecto, supervisión de la construcción y el acompañamiento y apoyo técnico en la fase inicial de operación, se asumen como gastos institucionales y no son trasladados a los beneficiarios, asumiéndolos la institución como tal, como un aporte del Estado. (Garita & Morales, 2015)

2.3 Módulos de riego.

La función de los Módulos de Riego es dar el servicio de riego de la mejor manera posible optimizando el recurso agua para maximizar la producción y el valor de la producción agrícola. Los módulos de riego son subdivisiones de los distritos de riego y el resultado de la transferencia o entrega parcial de la administración a los regantes (Palerm Viqueira, 2020). La distribución del agua por hectárea, de tal manera que la cantidad de agua que puede recibir el regante varía por hectárea y no por cultivo en este caso.

En la distribución del agua común por plan de cultivo y riego, el volumen de agua entregado por hectárea varía para adaptarse al cultivo. La calendarización del riego se define como el procedimiento para determinar la cantidad y fecha de aplicación del riego a un cultivo a lo largo de su desarrollo con el fin de mantener al cultivo bajo condiciones hídricas óptimas. (Flores & Ojeda, 2016)

2.4 Redes de distribución

Una red de distribución es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial,

industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendios (Jimenez, 2013, como se citó en (Corella, 2020)).

Según la normativa del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2020), la red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada de acuerdo con el trabajo que se va a realizar. Este grado de satisfacción tiene un elevadísimo número de componentes, unos medibles y otros no, y entre los que podemos destacar la calidad, el caudal, la presión, la continuidad del suministro y el precio.

Naturalmente componentes como la captación, tubería, válvulas, bombeo y el almacenamiento tienen unos antecedentes a la red de distribución, por lo que los parámetros iniciales vienen prefijados, por tanto, debemos crear una red de distribución que altere lo menos posible las características de los componentes, minimizando la variación de satisfacción de las necesidades de los clientes. (Moliá, 2007)

2.4.1 Componentes de una red

La configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas en la que se compone de instalaciones para la captación, almacenamiento, conducción, bombeo, tratamiento y distribución. En la Figura 1 se muestra los componentes de un sistema de abastecimiento de agua.

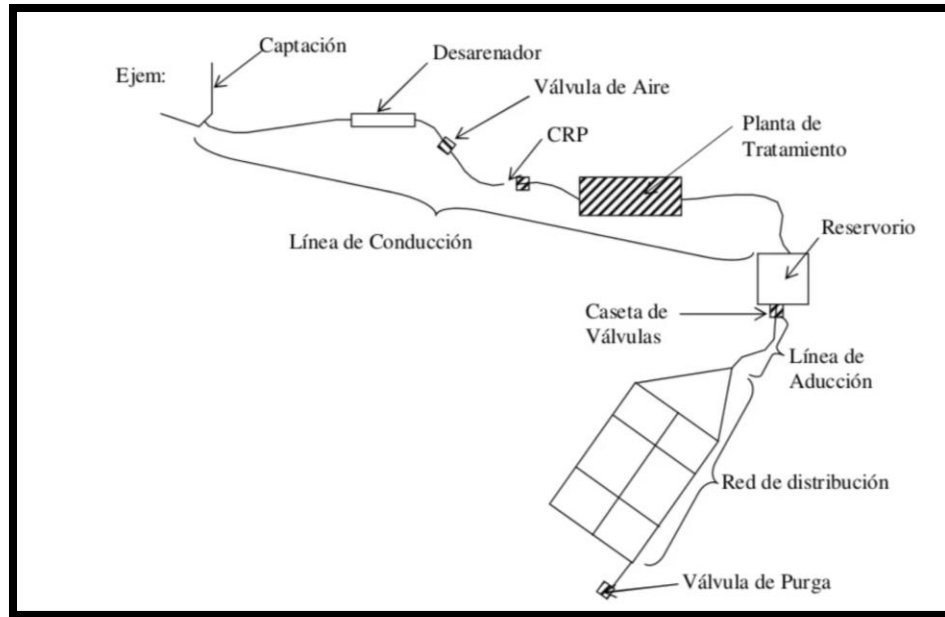


Figura 1. Esquema general de un sistema de acueducto. (Fuente: Gutierrez, 2018)

2.4.1.1 Captación

La captación de cuerpos de aguas superficiales como ríos, riachuelos, lagos y embalses son estructuras que sirven para captar agua y suministrarla de forma continua a una comunidad. El sistema puede hacerse tanto por gravedad, cuando la fuente escogida se encuentra por encima del lugar o a una altitud mayor que el punto de aprovechamiento del agua, como por bombeo, cuando la fuente se encuentre por debajo del nivel donde se encuentran los usuarios. (Barrios et al., 2009). En el cuadro 1 se presenta las ventajas y desventajas de una captación de agua.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de una captación de agua. (Fuente: Stauffer & Spuhler, 2020)

Ventajas	Desventajas
La captación de flujos de agua contribuye al control de las inundaciones e incluso desbordes.	Se deben identificar los posibles puntos de contaminación generados por las actividades que se realicen en los alrededores de la zona de captación.
Es una forma fácil y rápida de hacer uso del agua, ya sea por efecto de bombas o por gravedad.	La cantidad y calidad de las aguas captadas de ríos va a depender de las estaciones y escorrentías.
De haber agua limpia y fresca entonces se necesitaría sólo un tratamiento adicional.	Pueden generarse conflictos de usuarios sobre todo en zonas áridas.
	Se necesita un operador con conocimiento práctico para realizar los controles operativos de caudal y turbiedad, así como los del sistema de bombeo.
La limpieza y/o mantenimiento del sistema de captación puede realizarse por cualquier miembro de la comunidad.	Las medidas de prevención de riesgos de contaminación deben ser consideradas desde el diseño de la obra de captación hasta el proceso de la operación, resultando en altos costos de mantenimiento o prevención de riesgos de contaminación.

Según SISS (2016), las obras de captación de aguas superficiales pueden extraer las aguas desde una corriente de agua o desde una laguna. Los requisitos con que debe cumplir una adecuada captación superficial son los siguientes:

- Facilidad de operación.
- Que su ubicación garantice cierta calidad mínima del agua.
- Impida la entrada de materiales flotantes, peces y sedimento grueso como ripio y arena.
- Construcción debe ser económica.

2.4.1.2 Tubería

Se le llama así al conjunto formado por los tubos (conductos de sección circular) y su sistema de unión o ensamble. Según Moliá (2007), las tuberías es el elemento de transporte de fluidos por excelencia, las cuales vienen definidas por su diámetro, material de constitución y tipo de junta. Estos mismos pueden contar con diferentes tipos de SDR, así como de diversos diámetros como se muestra en la Figura 2.

Pulg	mm	SDR 13.5 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 17 (250 psi) (ASTM2241)	SDR 26 (160 psi) (ASTM 2241)	SDR 32.5 (125 psi) (ASTM2241)	SDR 41 (drenaje)	SDR 50 (drenaje)	*SCH 40 (ASTM1785)	PVC SCH80 ASTM 1785	CPVC FlowGuard Gold NSF SE 8225 CTS SDR 13.5
1/2"	12	18.2/21.3	...	...	...	...	...	15.8/21.3	13,8/21,3	13,1/15,9
3/4"	18	...	23.5/26.7	...	...	...	...	20.9/26.7	18,9/26,7	22,2/18,9
1"	25	...	29.5/33.4	30.4/33.4	...	...	...	26.6/33.4	24,3/33,4	24,4/28,6
1 1/4"	31	...	37.2/42.2	38.9/42.2	39.1/42.2	39.8/42.2	...	35.0/42.2	32,5/42,2	29,7/34,9
1 1/2"	38	...	42.6/48.3	44.6/48.3	45.3/48.3	45.9/48.3	...	40.9/48.3	38,1/48,3	35,2/41,3
2"	50	...	53.2/60.3	55.3/60.3	56.6/60.3	57.4/60.3	57.9/60.3	52.5/60.3	49,2/60,3	46,0/54,0
2 1/2"	62	...	64.4/73.0	67.4/73.0	68.5/73.0	69.5/73.0	...	62.7/73.0	59,0/73,0	
3"	75	...	78.4/88.9	82.0/88.9	83.4/88.9	84.6/88.9	83.3/88.9	77.9/88.9	73,7/88,9	
4"	100	...	100.8/114.3	105.5/114.3	107.3/114.3	108.7/114.3	109.7/114.3	102.3/114.3	97,2/114,3	
6"	150	...	148.5/168.3	155.3/168.3	157.9/168.3	160.1/168.3	...	154.1/168.3	146,4/168,3	
8"	200	...	193.3/219.1	202.2/219.1	205.6/219.1	208.4/219.1	...	...	193,7/219,1	
10"	250	...	240.9/273.1	252.1/273.1	256.2/273.1	259.8/273.0	...	...	243,0/273,1	
12"	300	...	285.8/323.8	299.0/323.8	303.9/323.8	308.1/323.8	...	...	288,9/323,8	
15"	375	...	...	358.7/388.6	364.7/388.6	369.7/388.6	...	...
18"	450	...	...	422.0/457.2	429.1/457.2	434.9/457.2	...	...

Figura 2. Diámetros internos/externos disponibles comercialmente. (Fuente: DURMAN by Aliaxis, 2021)

2.4.1.3 Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en conductos a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos o semiautomáticos. Así, existen accionadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, los cuales se usan en plantas de tratamiento o en instalaciones donde se requiere operar frecuentemente las válvulas. En redes de distribución son más usuales las válvulas que se operan manualmente mediante palancas, volantes y engranes, debido a que los cierres y aperturas son ocasionales. (CONAGUA, 2016)

Las válvulas permiten el aislamiento de determinados tramos de tubería para realizar labores de mantenimiento, para evitar el flujo o cambiarlo de dirección. También permiten drenar o vaciar una línea, regular los niveles en los tanques de almacenamiento, controlar el gasto, evitar o disminuir los efectos del golpe de ariete, es decir cambiar puntos de presión que pueden colapsar la tubería, la salida o entrada de aire, así como para evitar contraflujos, o sea prevenir el flujo en dirección contraria a la de diseño. En la Figura 3 se muestra el paso de un fluido a través de una válvula.

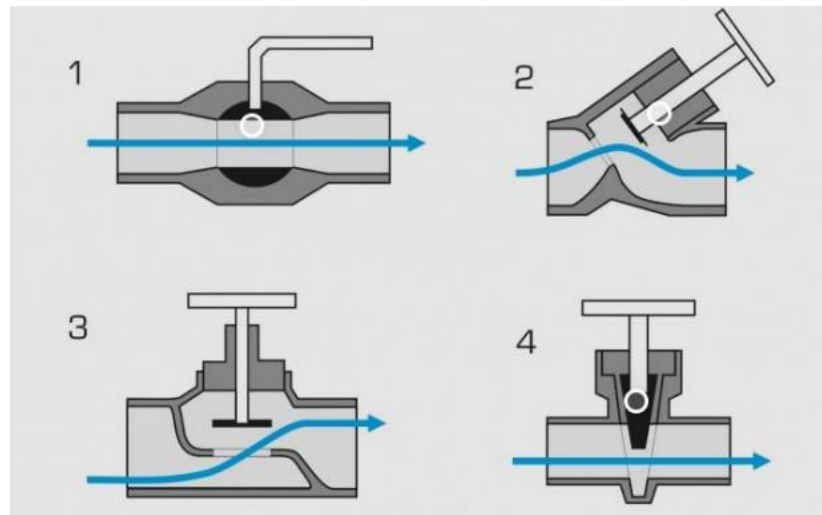


Figura 3. Paso del fluido a través de válvulas. (Fuente: Quirós, 2021)

2.4.1.3.1 Tipos de válvulas

Según CONAGUA (2016), existen diversos tipos de válvulas como lo son las de compuerta, mariposa, bola, controladoras de presión, para admisión y expulsión de aire, entre otras.

Las válvulas de limpieza permiten la función de los sistemas auto limpiantes y que controlan el drenaje de agua. (LAMA, n.d.)

Las válvulas de compuerta funcionan con una placa que se mueve verticalmente a través del cuerpo de la válvula en forma perpendicular al flujo, con la ventaja de que el operador puede saber con facilidad si la válvula está abierta o cerrada. Es importante señalar que la válvula de compuerta está destinada propiamente para ser operada cuando se requiera un cierre o apertura total (CONAGUA, 2016). En la Figura 4 se puede observar un diagrama de una válvula de compuerta.

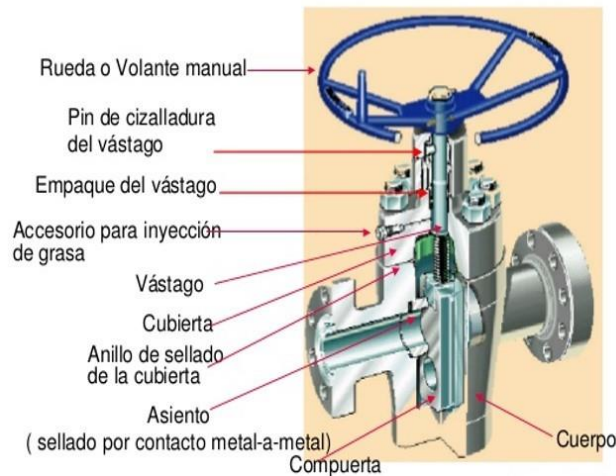


Figura 4. Diagrama de una válvula de compuerta. (Fuente: Marcano, 2018)

Las válvulas de mariposa operan por medio de una flecha que acciona un disco y lo hace girar centrado en el cuerpo de la válvula, comúnmente son utilizadas sólo para aplicaciones de agua. (Valdivieso, 2018). Las válvulas de mariposa tienen muchas ventajas sobre otros tipos de válvulas, como un diseño económico que está construido con menos piezas, lo que hace que sea fácil de mantener y reparar (NTGD, n.d.). En la Figura 5, se muestra un diagrama de una válvula de mariposa.

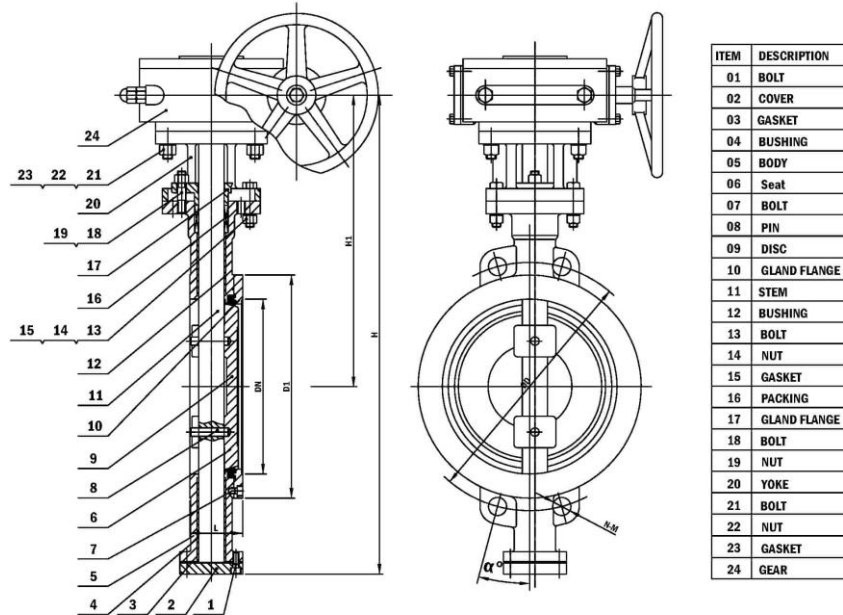


Figura 5. Diagrama de una válvula de mariposa. (Fuente: NTGD, n.d.)

Las válvulas para admisión y expulsión de aire se instalan para permitir la entrada o salida de aire a la línea, a su vez también evitan la formación de vacíos parciales en la línea durante su vaciado, que pudieran causar el colapso o aplastamiento de la tubería. Son más empleadas en líneas de conducción y de alimentación ya que se colocan en los puntos altos, y tienen la función de extraer burbujas de aire en el sistema. (Valdivieso, 2018). En la Figura 6 se observa el diagrama de una válvula de alivio de palanca compuesta.

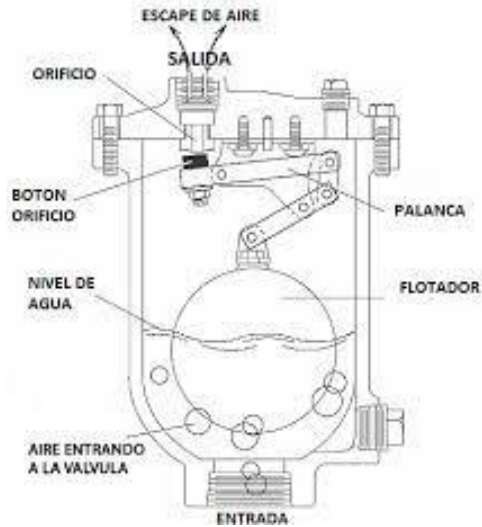


Figura 6. Diagrama de una válvula de alivio de palanca compuesta. (Fuente: VALVE AND MANUFACTURING CORP, 2019)

La válvula reductora de presión es una válvula de control hidráulico cuya consigna es reducir una elevada presión aguas arriba de la válvula a un valor menor constante aguas abajo de la misma, independientemente de las variaciones de presión aguas arriba y de las variaciones del flujo o de la demanda en la línea. (Ingeniería de Fluidos, 2022). La válvula sostenedora de presión controla la presión mínima de bombeo para evitar sobrecarga de motores y cavitación por excesivo flujo (TECVAL, n.d.). En la Figura 7 se muestra el diagrama de una válvula controladora de presión.

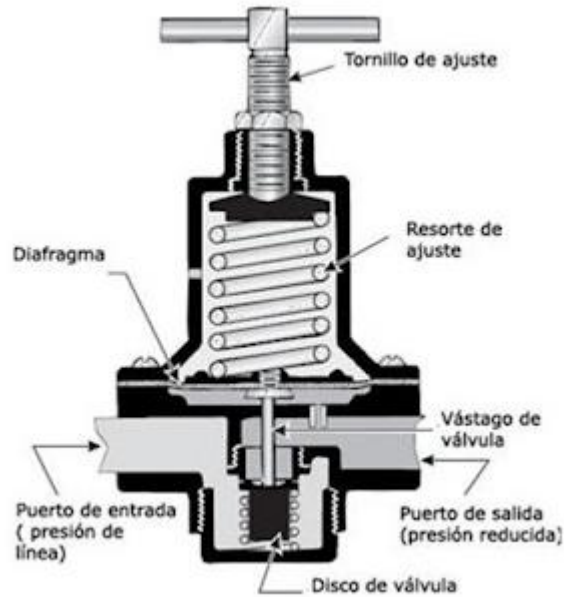


Figura 7. Diagrama de una válvula controladora de presión. (Fuente: Automatización Industrial, 2010)

Una válvula de bola es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza por que el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. (GRUPO HIDRAULICA, 2022)



Figura 8. Diagrama de una válvula de bola. (Fuente: GRUPO HIDRAULICA, 2022)

2.4.1.4 Tanques de distribución y quiebra gradiente

Un tanque quiebra gradiente es un depósito para el agua sin sellar y de un volumen no muy grande que cumple la función de eliminar la presión acumulada en el sistema y aportar una carga mínima para no afectar el flujo posterior, siendo conveniente para reducir costos al tener menos presión y poder elegir una tubería con espesor menor. (Quirós, 2021) En la Figura 9, se puede observar un plano de un tanque quiebra gradiente con sus componentes.

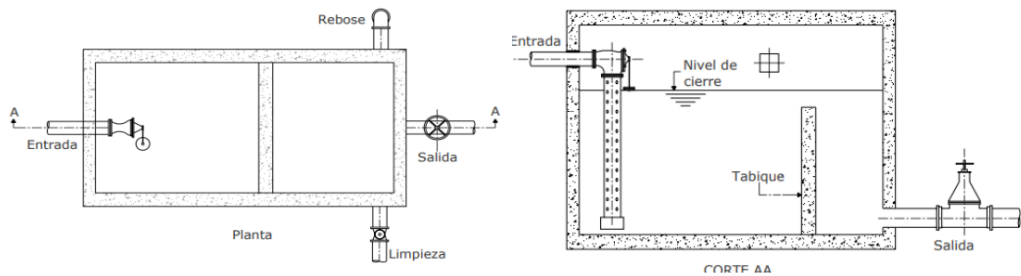


Figura 9. Plano de un tanque quiebra gradiente. (Fuente: Área de Aguas Subterráneas SENARA, 2005)

2.4.1.5 Reservorio

Estos también son llamados embalses, vasos de almacenamiento o presas de almacenamiento. El almacenamiento de agua en reservorios permite tener, al productor agropecuario, un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno. Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia. (Salinas Acosta, Rodríguez Quirós, & Morales Hidalgo, 2010, como se citó en Varela, 2013)

2.4.1.6 Toma domiciliaria

Las tomas domiciliarias tienen la función de proporcionar el agua de la red de distribución hasta la instalación hidráulica domiciliar. Una toma domiciliaria está integrada por un tubo

alimentador que se conecta por un extremo a la red de distribución y por el otro, a una o varias llaves. (Guerrero, 2002, como se citó en Corella, 2020)

2.4.2 Tipos de proyectos de redes

Los proyectos de rehabilitación se hacen cuando se debe modificar una parte de la red para mejorar su funcionamiento hidráulico, o bien, cuando cambios en el uso del suelo o ampliaciones en la zona de servicio obligan a incrementar la capacidad de la red de distribución. Los proyectos nuevos se requieren cuando se debe dar servicio por primera vez a una zona o cuando es necesario hacer una ampliación a una red existente, la cual, por su magnitud en proyecto, ya no puede catalogarse como una rehabilitación. (CONAGUA, 2016)

2.4.3 Forma de distribución

Según el SISS (2016), en sistemas donde ríos y riachuelos son la fuente de agua, la captación se hace gracias a estructuras a nivel del terreno que permiten extraer el agua para ser distribuida por gravedad o por bombeo, dependiendo del nivel en que se encuentra la fuente (es decir, arriba o abajo) en relación a los usuarios.

Bombeo directo a la red, con excedencias a tanques de regulación, es una forma de distribución, el tanque se ubica después de la red en un punto opuesto a la entrada del agua por bombeo y la tubería principal se conecta directamente con la tubería que une las bombas con el tanque. El exceso de agua bombeada a la red durante periodos de bajo consumo se almacena en el tanque y durante periodos de alto consumo, el agua del tanque se envía hacia la red, para complementar la distribuida por bombeo. (CONAGUA, 2016)

2.5 Parámetros Hidrológicos

2.5.1 Precipitación

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. (Chow, Maidment & Mays, 1994, como se citó en Varela, 2013)

Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. (Chow, Maidment & Mays, 1994, como se citó en Varela, 2013)

2.5.2 Temperatura

La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco. (FAO, 2006)

2.5.3 Evapotranspiración

Según la FAO (2006), se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos, esta se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo.

2.5.4 Humedad relativa

La humedad relativa es la relación entre la presión actual (e_r) del vapor del agua y la presión del vapor saturado (e_s), a la temperatura del bulbo seco. La humedad relativa se incrementa cuando el aire se enfría o cuando se agrega vapor de agua al aire. (CENICAFE, s.f)

2.6 Principales tipos de Riego

Para poder identificar las necesidades de un proyecto basado en diseños de sistemas de riego, es necesario conocer cada tipo de riego que existe y con ello entender el funcionamiento y las características que poseen, como se muestra a continuación.

2.6.1 Riego a presión

Este se caracteriza por la utilización de tubería a presión para la distribución de agua en el cultivo, por lo que depende de una red de conductos, teniendo de mayor complejidad en cuanto a su diseño, funcionamiento y mantenimiento. Además de requerir materiales y equipo, elevando costos en la construcción, pero a su vez, logrando cuidar el recurso hídrico al establecer los requerimientos exactos del cultivo y a su vez proporcionarlo de manera más eficiente y con mayor frecuencia (Rivera, 2011). En este caso, se detallan los diferentes métodos de aplicación que presenta este tipo de riego.

2.6.1.1 Riego por aspersión

Este método es el más similar a la lluvia, con las características de que se puede controlar su intensidad y tiempo. Utilizándose aspersores de diferentes materiales, tamaños de boquillas y forma de giro (Salazar, 2019).

Según Tarjuelo (2005), las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con sus hidrantes, los ramales o laterales de riego y los propios emisores, en donde estos últimos pueden ser: tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores.

Trabajando la mayoría de ellos con presiones entre los 2.5 y 3 bares. Utilizado en zonas con temperatura y humedad inestables, aplicado en cultivos como hortalizas, árboles frutales y forrajes (Villalobos, 2019). Por otro lado según Garcia (2011), la eficiencia de aplicación del riego por aspersión es de un 60% en clima seco y cálido, 70% en clima moderado y un 80% en clima frío y húmedo.

2.6.1.2 Riego por microaspersión

El riego por microaspersión se refiere a la utilización de emisores de tamaño pequeño (microaspersores o micro jets), que lanzan caudales mucho menores que los aspersores comunes y que operan a presiones muy bajas, con gran economía de agua y eficiencia de operación muy alta. (Calvo, 2005, como se citó en Murillo, 2018)

La microaspersión se diferencia de la aspersión tradicional en que generan gotas de menor tamaño, teniendo menores caudales y radios de alcance. Aplicado principalmente para enraizado, enfriamiento, cultivo hortícola y frutales (Manejo inteligente de agua, 2015).

2.6.1.3 Riego por goteo

El riego por goteo se logra a través de goteros o emisores, que se encuentran a lo largo de tubería de diámetro pequeño, estos emisores distribuyen solo en la zona cercana a las raíces del cultivo, logrando una infiltración localizada y lográndose una distribución vertical y horizontal en el perfil del suelo.

Además de que existen tipos de goteros, según el uso que se le quiera dar, como la fertirrigación, donde se aplicarían los goteros auto limpiantes. Teniendo como ventaja que, para este caso, se ahorra agua, mano de obra y no genera erosión por abarcar poca área y con caudales bajos. Y es recomendable para topografías quebradas (Liotta, 2015).

Según (Liotta, 2015) unas de las grandes ventajas de este sistema es que la eficiencia de riego es muy alta (90-95% en goteo y 85% en microaspersión). Como desventajas, presenta que no se puede trasladar, no es versátil y es uno de los sistemas con mayor costo inicial, así como que sus tuberías por tener diámetros pequeños son dañadas por roedores (Rivera, 2011).

2.7 Problemática inherente a las redes de distribución

En redes de distribuciones donde el agua captada es de un río, en una zona montañosa, rodeado de árboles, piedras, arena, tierra y animales silvestres, suelen tener cierto impacto en la

calidad y vida útil del sistema. Debido a un fenómeno natural como lo es un terremoto, o fuertes lluvias, pueden ocasionar movimientos de suelo provocando caídas de árboles, tierra, piedras y demás.

Esto afecta considerablemente la tubería de la red de distribución ocasionándole severos golpes, rupturas, quiebres y perforaciones, provocando un paro total en toda la red como tal hasta su reparación. Por eso, según Cabrera & Abreu (2005) analizar una red en todos sus ámbitos (desde componentes hasta la entrega de agua) tiene un enorme interés pues es la única posibilidad para conocer de antemano si la respuesta obtenida es la deseada o si, por el contrario, conviene introducir en el sistema modificaciones que permitan alcanzar la respuesta que conviene.

2.8 Modelación numérica mediante Softwares Asistidos

Las operaciones matemáticas son necesarias para el diseño y funcionamiento de la red la cuales se calculan mediante la hoja de cálculo de Excel, se es necesario obtener primeramente el punto de toma, coordenadas, longitud del tramo, estación, caudal requerido, diámetro de la tubería, la velocidad, pérdidas totales para cada punto, nivel piezométrico, carga dinámica, carga estática y por último la distancia horizontal.

En el Cuadro 2 se tienen los valores de los coeficientes utilizados en la fórmula de Hazen-Williams según el material.

Cuadro 2. Coeficientes de Hazen-Williams para varios materiales de tuberías. (Fuente: Rossman, n.d.)

Material	Hanze -Williams C (adimensional)	Manning's n (adimensional)
Hierro Colado	130 - 140	0,012 - 0,015
Hormigón o Revestido de Hormigón	120 - 140	0,012 - 0,017
Hierro galvanizado	120	0,015 - 0,017
Plástico	140 - 150	0,011 - 0,015
Acero	140 - 150	0,015 - 0,017
Arcilla Vitrificada	110	0,013 - 0,015

El software de EPANET proporciona la posibilidad de realizar simulaciones de manera sencilla, permitiendo realizar cálculo en casi cualquier tipo de red hidráulica. Se pueden ingresar una gran cantidad de datos de entrada que corresponden a los diseños propuesto y con base esa esa información obtener resultados sobre presiones, caudales, sentidos de flujo, pérdidas de carga y demás variables que se deseen conocer con la modelación (Rondán, 2016).

EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo del periodo de simulación discretizado en múltiples intervalos de tiempo. De acuerdo con Rondán (2016), el simulador hidráulico ofrece las siguientes utilidades:

- Se puede modelar cualquier red sin importar su tamaño.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante la fórmula de Hazen-Williams, la cual presenta la pérdida de carga en m, caudal en m^3/s , longitud y diámetro interno de la tubería en m. Otras fórmulas son las de Darcy Weisbach o de Chezy-Manning.
- Contempla pérdidas menores.
- Admite distintos tipos de sistemas de bombeo y considera varios tipos de válvulas.
- Determina el consumo energético y sus costes.
- Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos.
- Permite modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión.

A continuación, en la Figura 10, se presentan los parámetros hidráulicos utilizados por el software EPANET, teniendo en cuenta una rugosidad de tubería de 150 debido al material empleado, que es PVC.

Property	Value
Flow Units	LPS
Headloss Formula	H-W
Specific Gravity	1
Relative Viscosity	1
Maximum Trials	10000
Accuracy	0.001

Figura 10. Parámetros hidráulicos fijos del software EPANET.

3 METODOLOGÍA

3.1 Visita al proyecto El Rodeo, Tierra Blanca, Cartago

Se realizó una inspección al proyecto en fecha 09/08/2022 con el Ing. Edgar Mairena Navarro. Se efectuó un levantamiento de las tomas de entrega de agua, válvulas, reservorios y ramales mediante un navegador GPS, donde también se pudo observar parte del acueducto, las parcelas de los asociados, válvulas, así como las zonas de riesgo de este proyecto, únicamente con el objetivo de tener un panorama más claro acerca del mismo. En la Figura 11, se muestra un mapa de la zona de estudio realizado mediante el software QGIS.

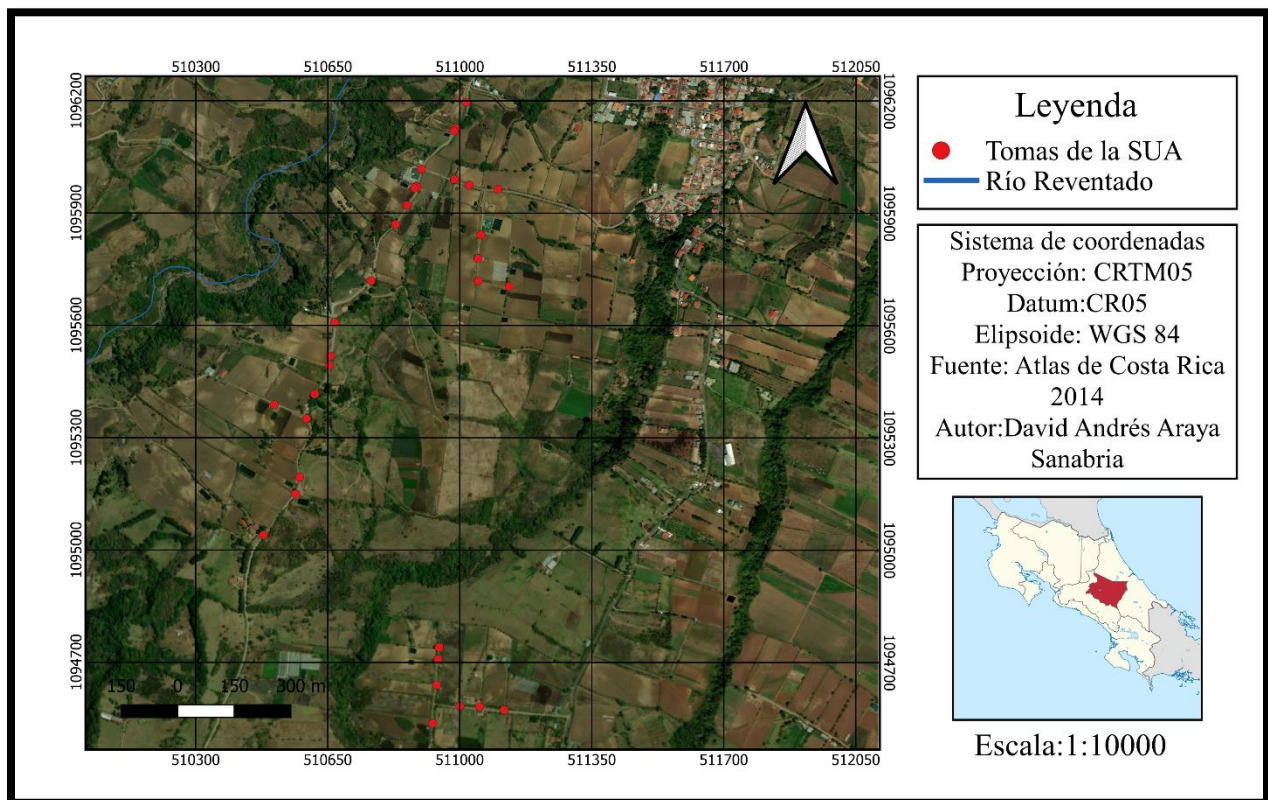


Figura 11. Tomas de entrega de agua de la Sociedad de Usuarios de Agua del distrito de Tierra Blanca.

3.2 Aspectos climáticos

Para estimar las necesidades de agua de los cultivos, se extrajeron los datos climáticos de la estación meteorológica CoopeTierra Blanca los cuales fueron procesados y analizados por el Área de Aguas Subterráneas SENARA en el 2005, con proyección CRTM05 ubicada en la latitud

norte 10661730,80, longitud oeste 498848,79, a una elevación de 2.100 msnm. Esta es la estación más cercana para la zona de estudio, con un período de registro de 18 años (1972 a 1990).

Los datos obtenidos de la estación meteorológica se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Información climática para los sectores de riego Tierra Blanca-Llano Grande. (Fuente: Área de Aguas Subterráneas SENARA, 2005)

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Precipitación Media (mm)	36,00	9,70	6,80	44,20	176,30	181,30	118,30	208,10	248,70	276,80	107,80	61,80
Precipitación Efectiva (mm)	26,04	9,81	11,82	32,98	111,74	114,28	77,78	131,17	154,98	171,31	68,64	40,87
Temperatura Media (°C)	14,40	14,60	15,20	15,70	16,10	16,10	16,10	15,90	15,70	15,60	15,30	14,30
RMM	13,22	14,21	15,30	15,70	15,29	15,29	15,29	15,50	15,30	14,70	13,61	12,92
Humedad Relativa (%)	88,00	89,00	88,00	89,00	90,00	90,00	88,00	89,00	88,00	89,00	90,00	89,00
Evapotranspiración (mm)	87,83	83,98	111,29	102,77	102,21	98,91	107,00	105,47	102,38	99,19	85,99	83,73

Los factores que determinan los coeficientes de cultivo son el tipo de cultivo, clima, evaporación del suelo, y el estado de crecimiento y desarrollo, por lo que en este caso se trabajó con los coeficientes de cultivo de la Dirección de Aguas publicados en La Gaceta como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valores de kc según el cultivo. Fuente: Diario oficial La Gaceta, 20 de mayo (2004).

CULTIVO	Kc	CULTIVO	Kc
Alfalfa	0,85	Melón-Sandía	0,7
Aguacate	0,53	Palma africana	0,6
Algodón	0,65	Papa	0,7
Arroz	1,05	Pastos	0,8
Banano	0,9	Hortalizas**	0,7
Cacao	0,73	Sorgo	0,7
Café	0,75	Tabaco	0,75
Caña de azúcar	0,85	Tomate	0,7
Cítricos	0,6	Uvas	0,6
Chayote	0,7	Campos deportivos	0,7
Flores*	0,7	Frutales***	1
Frijoles	0,65	Cebolla	0,9
Maíz	0,7	Tubérculos****	0,7

***Incluye:** Ornamentales, helechos, caña india.
****Incluye:** remolacha, culantro, apio, zanahoria, repollo, brócoli, coliflor, rábanos, otros

*****Incluye:** Piña, papaya, mango, carambola, maracuyá,
otros frutales de cubierta verde.

******Incluye:** Yuca, tiquizque, malanga, ñampí, camote, jengibre,
otros.

Con los datos de la evapotranspiración máxima del cultivo, se aplica la Ecuación 1 para obtener la evapotranspiración potencial por día.

$$ETP = \frac{ETo}{\# \text{ de días del mes}} \dots \text{Ecuación 1}$$

- ETP: evapotranspiración potencial (mm/día)
- ETo: evapotranspiración mensual.
- % de días del mes: cantidad de días de su respectivo mes

Para la obtención de la evapotranspiración del cultivo se toma los datos de ETP del mes crítico, en este caso marzo con 3,59 mm/día y se aplica la Ecuación 2 con el K_c obtenido previamente. En los Anexos 10, 11 y 12 se puede observar los datos empleados para escoger el valor máximo.

$$ETc = ETP * Kc \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- E_{t_c}: evapotranspiración del cultivo (mm/día)
- K_c: coeficiente del cultivo.
- ETP: evapotranspiración potencial (mm/día)

3.3 Cálculo de los parámetros de riego

Se identificaron los siguientes datos respectivos al suelo: Densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Además, es necesario conocer la profundidad efectiva de raíces. En el Cuadro 5 se muestran los parámetros a utilizar de acuerdo con su cultivo los cuales fueron procesados y analizados por el Área de Aguas Subterráneas SENARA en el 2005.

Cuadro 5. Parámetros para utilizar de acuerdo con su cultivo. (Fuente: Área de Aguas Subterráneas SENARA, 2005)

Cultivo	Papa	Cebolla	Zanahoria
Kc	0,7	0,9	0,7
Profundidad radicular	50 cm	24,75 cm	41,25 cm
Textura suelo	Franco	Franco	Franco
Capacidad de campo	31,24 %	31,24 %	31,24 %
Punto de marchites permanente	21,50 %	21,50 %	21,50 %
Densidad aparente	0,98 g/cm ³	0,98 g/cm ³	0,98 g/cm ³
Eficiencia de riego	80,00 %	80,00 %	80,00 %
Porcentaje de agotamiento	0,30 decimal	0,30 decimal	0,35 decimal
Frecuencia de riego	3,50 días	3,50 días	3,50 días

A continuación, se calculó el agua utilizable mediante la Ecuación 3:

$$Ln = (CC - PMP) * da * \frac{Pr}{10} * \%Ag \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- Ln: lámina neta (mm)
- CC: capacidad de campo
- PMP: punto de marchitez permanente
- da: densidad aparente (g/cm³)
- Pr: profundidad de raíces (mm)
- %Ag: Porcentaje de agotamiento

Luego, mediante la Ecuación 4, se calculó la lámina bruta de riego teniendo en cuenta que es necesario considerar un valor de eficiencia el cual está dado por el sistema de riego a implementar, el cual es de riego por aspersión.

$$Lb = Ln / \text{Eficiencia de riego} * 100 \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- L_b: lámina neta de riego (mm)

- Eficiencia de riego: eficiencia de riego (%)

Para facilitar la operación de todo el sistema de riego, se ajustará el intervalo de riego a 3,5 días, el cual resulta de la división de la lámina bruta entre la ETc. Para el cálculo de la lámina neta de riego ajustada se calculó mediante la Ecuación 5:

$$Lr = \frac{I}{Ef \text{ aplicación}} * ETc \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- L_r: lámina neta de riego ajustada (mm)
- I: frecuencia de riego ajustada
- Et_c: evapotranspiración del cultivo (mm/día)
- Eficiencia de riego: eficiencia de riego (%)

3.4 Cálculo de los parámetros de entrega de agua.

Debido a que las parcelas de la SUA son de un valor exacto de 1 ha o 0.5 ha, se considera un área de riego de 1 ha por lo que el volumen de agua a aplicar para esta área se obtiene mediante la Ecuación 6.

$$\text{Vol} = Lr \text{ (ajustada)} \times 10 \times 1 \text{ Ha} \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- Vol: volumen de agua por turno de riego (m³/tr)
- L_r: lámina neta de riego ajustada (mm)

Cabe destacar que para las parcelas de un área de 0,5 ha, el valor del volumen de agua por turno de riego se reduce a la mitad. Este valor de volumen se obtiene para los 3 cultivos, promediando el valor final de cada uno de esos valores con el fin de obtener un único dato general.

El caudal requerido para aplicar el volumen de agua que se necesita para regar 10.000 m² de papa, cebolla y zanahoria en una jornada de riego de 24 horas, promediando estos valores. En

la Ecuación 7 se muestra los parámetros a utilizar.

$$Q = \frac{\text{Vol}}{\text{Jornada de riego}} \dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- Q: caudal requerido (m³/h)
- Vol: volumen de agua por turno de riego (m³/tr)
- Jornada de riego: tiempo de recolección de agua

Una vez definidas las variables que intervienen, mediante la Ecuación 8, permite obtener el coeficiente unitario de riego (C.u.r.), el cual resulta del producto de la ETc propuesto, dividido por el producto de la eficiencia y la jornada de riego.

$$C. u. r. = \frac{Etp * Kc}{\text{jornada de riego} * Ef} * 2,7778 \dots \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- C.u.r: coeficiente unitario de riego (lps/ha)
- Jornada de riego: tiempo de recolección de agua
- K_c: coeficiente del cultivo.
- ETP: evapotranspiración potencial (mm/día)

Una vez calculado el C.u.r. y considerando el caudal a derivar en cada línea de conducción, se calcula el área regable por turno de riego. Con esto, permite obtener el área regable por turno de riego para cada cultivo para estimar un ponderado de los 3 que cumplan con los requerimientos; partiendo que el caudal disponible para la SUA de la zona de Tierra Blanca es de 14,28 lps permite aplicar la Ecuación 9.

$$Atr = \frac{q}{C.u.r.} \dots \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- q: caudal disponible (lps)
- C.u.r: coeficiente unitario de riego (lps/ha)
- Atr: área regable por turno de riego (ha)

Con este valor para los 3 cultivos escogidos, se obtiene el área neta regable por día en una hectárea al aplicar la Ecuación 10.

$$Aneta = \frac{q}{Q} \dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- Aneta: área neta permitida (ha)
- q: caudal disponible (lps)
- Q: caudal requerido (lps)

Para el cálculo del volumen semanal obtenido de la toma y el cual se tiene disponible para entregar, se utiliza la Ecuación 11.

$$Vol\ semanal = q * 3,6 * 24 * 7 \dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- *Vol semanal*: volumen de agua por semana (ha)
- q: caudal disponible (lps)

Cabe destacar que en la fórmula anterior se multiplica el caudal disponible por 3,6 debido a la conversión de litros por segundo (lps), donde también se multiplica por 24 debido al número de horas del día, y por 7 debido a la cantidad de días que se trabaja a la semana.

Una vez que se obtiene el volumen semanal a entregar, junto con el área máxima a regar por turno de riego y la cantidad total de hectáreas a regar, se lleva a cabo un ajuste de la cantidad de hectáreas permitidas, así como del agua entregada.

En primer lugar, se multiplica la cantidad total de hectáreas por 2 para obtener el valor de la mitad del área total de la SUA, logrando así una distribución equitativa. Para realizar el reajuste del área, se utiliza la Ecuación 12.

$$Vol\ agua/ha = \frac{Vol\ semanal}{\#\ de\ hectareas} \dots Ecuación\ 12$$

Donde:

- Vol agua/ha: área para recortar a una mitad de hectárea (ha)
- # de hectáreas: cantidad de hectáreas
- *Vol semanal*: volumen de agua por semana (ha)

Con base en ello, se obtiene el volumen de agua a entregar cada semana dividiendo el valor de volumen de agua por hectárea entre 2, lo cual corresponde al turno de riego.

Por último, para obtener la cantidad de área en hectáreas permitida de cada cultivo se ejecuta la Ecuación 13.

$$Ha\ permitida\ de\ cada\ cultivo = \frac{Vol\ necesaria\ por\ tr}{Vol\ a\ entregar\ por\ tr} \dots Ecuación\ 13$$

Donde:

- Ha permitida para cada cultivo: máxima área por hectárea permitida para cultivar
- Vol necesaria por tr: volumen de agua necesaria por turno de riego (m³/riego/ha)
- Vol a entregar por tr: volumen de agua entregar por turno de riego (m³/riego/ha)

3.5 Capacidad de almacenamientos de los reservorios

Para determinar la cantidad de agua almacenada en los reservorios principales, se llevó a cabo una visita a la ubicación de cada uno de ellos, tomando las medidas necesarias. Estas medidas se utilizaron posteriormente para aplicar la Ecuación 14, que corresponde a la ecuación de volumen para una pirámide truncada.

$$V = \frac{h}{3} * (a' + A' + \sqrt{a' * A'}) \dots \text{Ecuación 14}$$

Donde

A': área mayor (m²)

a': área menor (m²)

h: altura (m)

V: volumen (m³)

3.6 Calendario de entrega de agua

Una vez obtenido el volumen de agua a entregar por hectárea por turno de riego en cada toma, se procede a realizar la calendarización adecuada. Debido a que en dicho proceso se trabaja con un horario que va desde el lunes a las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., durante los 6 días de la semana, es decir, desde el lunes a las 6:00 a.m. hasta el sábado a las 6:00 p.m., existe un periodo de tiempo durante la semana en el cual el agua tomada del río no se suministra a ningún reservorio o parcela. Por lo tanto, se procede a obtener ese volumen no utilizado de la siguiente manera:

$$Vol\ suelto = Vol\ diario + \frac{Vol\ diario}{2} \dots \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- Vol. suelto: volumen actualmente no aprovechado (m³)
- Vol. diario: volumen suministrado por la toma diariamente (m³)

Este volumen suelto debe de ser aprovechado, por lo que en el tiempo de sábado 6:00 pm a lunes 6:00 am dicha agua tomada será suministrada a los reservorios principales de la zona, así como el restante a reservorios propios de ciertos asociados.

Para iniciar con la calendarización de entrega, se utilizó el Cuadro 6, el cual divide el día en 4 intervalos de 6 horas cada uno, con el objetivo de comprender de manera más precisa el funcionamiento del sistema.

Cuadro 6. Calendario de entrega de agua base.

Hora/Día	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
12:00 a. m.	-		308.448m ³					
6:00 a. m.								
6:00 a. m.	-							
12:00 p. m.		1233.792m ³						
12:00 p. m.	-							
6:00 p. m.								
6:00 p. m.	308.448m ³							
12:00 a. m.								
Total	308.448m ³	1542.24 m ³	1850.69m ³	0	0	0	0	0

El calendario de entrega de agua se implementó distribuyendo equitativamente entre los usuarios, en función del volumen a entregar, el cual está vinculado al área de cada uno. Además, se consideró la cantidad de agua diaria obtenida del río.

3.7 Diseño hidráulico

En primer lugar, se tomó la decisión de evaluar el proyecto desde una perspectiva estática. Para la elaboración del proyecto, se utilizaron como datos iniciales las coordenadas de 359 puntos, los cuales fueron obtenidos a través de un levantamiento topográfico del Proyecto El Rodeo. Este levantamiento incluye las coordenadas de latitud y longitud, así como la información de elevación (ver Anexo 1). Con la ayuda de la Ecuación 16, se utilizaron estos datos iniciales para calcular la longitud de cada tramo.

$$L = \sqrt{\Delta Lat^2 + \Delta Lon^2 + \Delta Elev^2} \dots \text{Ecuación 16}$$

Donde:

- L: longitud del tramo (m)
- ΔLat : diferencia de latitud entre puntos consecutivos
- ΔLon : diferencia de longitud entre puntos consecutivos
- $\Delta Elev$: diferencia de elevación entre puntos consecutivos

Al obtener estas longitudes, se calcularon las estaciones, estas corresponden a un acumulado de las longitudes anteriores para finalmente tener la longitud total de todo el proyecto y conocer a qué longitud se encuentra cada punto.

$$E = L_n + L_{n-1} \dots \text{Ecuación 17}$$

Donde:

- E: estación (m)
- L_n : longitud del tramo actual (m)
- L_{n-1} : longitud del tramo anterior (m)

Al obtener las estaciones se realizó un análisis del caudal por entregar en cada toma, considerando la población que se busca abastecer y sus requerimientos. Al definir este caudal se buscó un diámetro interno con ayuda de la Figura 2. Este valor de diámetro se buscó en sus presentaciones comerciales para variar las cédulas (SDR) disponibles según las necesidades hidráulicas de la red.

Una vez establecido el diámetro, se llevó a cabo una verificación del valor de la velocidad para garantizar que no excediera el límite máximo establecido, que en este caso es de 2,5 m/s. Cabe mencionar que las tuberías utilizadas para este proyecto fueron fabricadas con PVC. Para lograr esta comprobación, se empleó la Ecuación 18, la cual se muestra a continuación.

$$V = \frac{1273,24 \cdot Q}{D^2} \dots \text{Ecuación 18}$$

Donde:

- V: velocidad (m/s)
- Q: caudal (L/s)
- D: diámetro interno (mm)

Después de esta verificación, se calcularon las pérdidas totales para cada punto con ayuda de la ecuación de Hazen Williams presentada a continuación.

$$h_f = 1.21 \times 10^{10} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \dots \text{Ecuación 19}$$

Donde:

- h_f : pérdidas totales (m.c.a)
- Q: caudal (L/s)
- C: coeficiente de HW
- L: longitud del tramo (m)
- D: diámetro interno (mm)

Cabe destacar que el coeficiente de HW es de 150 debido a que el material a utilizar es PVC.

Prosiguiendo, se realizó el cálculo del nivel piezométrico utilizando la Ecuación 20, que representa la altura a la que se eleva una columna de agua en un tubo. Asimismo, se determinó la carga dinámica, que corresponde a las pérdidas de presión que se producen debido a la fricción y las turbulencias cuando el fluido se desplaza a través de la tubería. Esta carga dinámica se calculó mediante la aplicación de la Ecuación 21.

$$NP = NP_{n-1} - h_f \dots \text{Ecuación 20}$$

Donde:

- NP: nivel piezométrico (m)
- NP_{n-1} : nivel piezométrico en el punto anterior (m)
- h_f : pérdidas totales para cada punto (m.c.a)

$$CD = NP - Elev \dots \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- CD: carga dinámica (m.c.a)
- NP: nivel piezométrico para cada punto (m)
- Elev: elevación para cada punto (msnm)

Además, se calculó la carga estática, que representa la presión ejercida por el agua en una tubería cuando el flujo se interrumpe bruscamente. Esta carga estática se obtiene mediante la

aplicación de la Ecuación 22 y es importante tener en cuenta las pérdidas máximas a las que puede estar sometida la tubería en estas condiciones.

$$CE = NP_i - Elev \dots \text{Ecuación 22}$$

Donde:

- CE: carga estática (m.c.a)
- NP_i : nivel piezométrico inicial (m)
- Elev: elevación para cada punto (msnm)

Finalmente, se calculó la distancia horizontal para cada punto con ayuda de la Ecuación 23.

$$DH = E - h_f \dots \text{Ecuación 23}$$

Donde:

- DH: distancia horizontal (m)
- E: estación (m)
- h_f : pérdidas totales (m.c.a)

3.8 Detalles constructivos

Mediante la visita al lugar de estudio se procede a examinar, apoyado en los planos, el equipo implementado originalmente en la red para visualizar las zonas críticas. Por otro lado, se verifica las medidas de los reservorios principales del proyecto, así como su debido funcionamiento y llenado.

Este proceso involucró un análisis de los valores tanto de carga estática como de carga dinámica, con el objetivo de garantizar presiones adecuadas en cada tramo. Además, se realizó la selección de las cédulas de tubería PVC apropiadas. Asimismo, se utilizó el perfil del proyecto para evaluar los puntos críticos, tanto aquellos con elevaciones significativas como los que presentaban descensos pronunciados. De esta manera, se lograron identificar los diferentes

accesorios recomendados para asegurar un funcionamiento óptimo de la red.

3.9 Modelación hidráulica con EPANET

Una vez obtenido el calendario de la red de entrega de agua, se procedió a exportar las tuberías principales al programa EPANET, esto con ayuda del programa EpaCAD, para convertir el fichero proveniente a un archivo ejecutable en EPANET.

Después de realizar la exportación, se incorporó la imagen aérea de la zona de estudio con el fin de obtener una perspectiva más completa del área. Luego, se asignó el caudal correspondiente a cada bloque y se determinó el patrón de riego respectivo, siguiendo el calendario de riego creado para cada día. Además, se asignaron los diámetros de las tuberías y se configuró el programa de manera general para permitir la ejecución del modelado de la red.

Se creó 1 reservorio para simular nuestra fuente de agua y desde este se conectó mediante la red a 2 tanques los cuales simulan los reservorios originales del lugar. Para lograr simular el proceso de riego, se ingresó en horas la respectiva frecuencia de riego y el tiempo de riego que corresponde a la duración de los patrones.

Además, se fijó como 2,5 m/s, la velocidad máxima en las tuberías. Se analizaron los puntos críticos (puntos más alejados de la estación de bombeo, en cada bloque) con la finalidad de verificar la adecuada presión y velocidad en las tuberías. Al tener todos estos aspectos establecidos, se debe ejecutar la modelación en cada tiempo establecido para ver el comportamiento de la tubería y concretar los cambios que sean necesarios y permisibles hasta lograr obtener los resultados más convenientes.

Con el propósito de lograr una modelación precisa y acorde a la realidad, se llevaron a cabo ajustes en los controles de la tubería "Pipe_P15". Específicamente, se configuraron comandos para abrir dicha tubería en un horario específico, desde las 12 a.m. hasta las 6 a.m. Estos detalles se encuentran detallados en la Figura 12. El objetivo principal de estas acciones fue garantizar que la simulación se asemeje de manera fiel a las condiciones existentes en el campo.

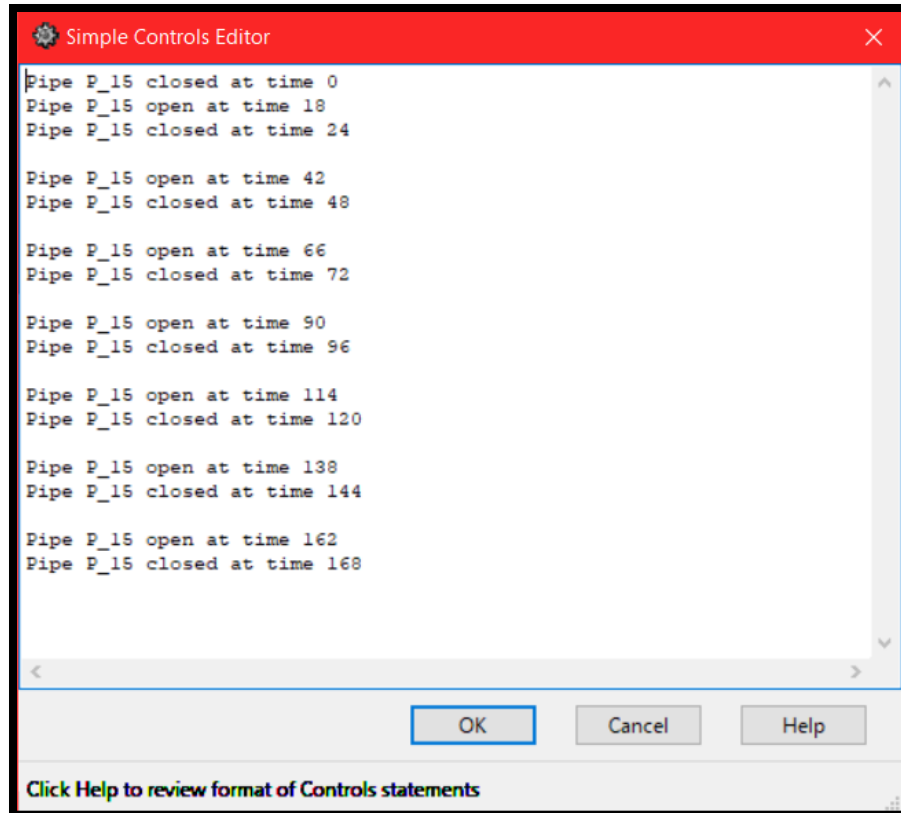


Figura 12. Comando de los controles de la tubería para su apertura.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Sociedad de Usuarios de Agua

Mediante las visitas realizadas a la zona de estudio, se comprobó que la Sociedad de Usuario de Agua cuenta con 47 asociados, con un total de 41 ha en las cuales se siembra papa, cebolla y en menor cantidad, zanahoria. En el Anexo 1 se muestran los socios inscritos en la SUA con sus respectivas áreas, así como el cultivo por ciclo que siembran en el año. Como se observa en el Anexo 2, se tiene un total de 36 tomas a parcelas, las cuales los puntos 14, 19, 30, 32 y 36 cuentan con 2 tomas o más.

4.2 Calendario de riego

El calendario actual presenta un problema en la red de distribución los martes – viernes. Durante estos días, se entrega agua a una superficie de 10 hectáreas, con un total de 1053,24 m³ diarios. Sin embargo, los lunes – jueves y los miércoles – sábados se entrega agua a áreas de 15 y 16 hectáreas respectivamente, completando las entregas diarias con volúmenes de 1579,86 m³ y 1685,18 m³. Esta discrepancia ha generado la necesidad de utilizar tuberías y equipos de mayor capacidad durante los días más críticos. Se requiere una presión mayor en las tuberías los martes – viernes para asegurar que el agua llegue al reservorio de la toma solicitada.

Por otro lado, la entrega de agua de los miércoles – sábado tiene un sobre carga de entrega de agua en el ramal 1, lo que provoca que el caudal de entrega de ese día sea mayor al resto, por ende, los demás días requerirán una mayor presión para lograr abastecer las tomas requeridas para esos días.

La Figura 13 muestra el calendario de riego actual utilizado en el Proyecto El Rodeo, el cual es administrado por la Sociedad de Usuarios de Agua en la zona de Tierra Blanca. En esta Figura 13, se utiliza el color celeste para representar los días en los que se riegan las mismas tomas, es decir, los lunes – jueves. El color verde se utiliza para representar los días de riego los martes – viernes, y el color amarillo para los días de riego los miércoles – sábados. Además, los números indican el número de toma al que se está realizando la entrega de agua.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
00:00:00							
01:00:00							
02:00:00							
03:00:00							
04:00:00							
05:00:00							
06:00:00							
07:00:00	15 30 35 16	14 30 32 32	1 10 7 11 30	15 30 35 16	14 30 32 32	1 10 7 11 30	
08:00:00							
09:00:00							
10:00:00	25 4 18 29	14 9 23	12 21 36 20 13	25 4 18 29	14 9 23	12 21 36 20 13	
11:00:00							
12:00:00							
13:00:00	32 19 18 5	30 26 31	22 6 34 36 36	32 19 18 5	30 26 31	22 6 34 36 36	
14:00:00							
15:00:00							
16:00:00	17 19 33 19	14 30 27	2 3 22 8	17 19 33 19	14 30 27	2 3 22 8	
17:00:00							
18:00:00							
19:00:00							
20:00:00							
21:00:00							
22:00:00							
23:00:00							

Figura 13. Calendario de riego actual.

Debido a la frecuencia de riego establecida, se emparejó los lunes – jueves, martes – viernes y miércoles – sábado con el fin de realizar una mejor distribución de entrega de agua. Como se muestra en la Figura 13 y según los Anexos 3, 4 y 5 se obtiene que en los lunes y jueves se entrega 1579,86 m³ por día para un total de 3159.71 m³ contemplando ambos turnos de riego, los martes y viernes 1053,24 m³ con un total aproximado de 2106,47 m³ a la semana, y los miércoles y sábados se entrega a los usuarios correspondientes 1685,18m³ diariamente para un total de 3370,36 m³ a la semana. Los martes y viernes son los días que perciben menos entrega de agua, esto se debe a que dichos días se utilizan para recargar el reservorio 2 el cual abastece 15 tomas.

Realizando un reajuste de los parámetros involucrados, se propone un nuevo calendario de riego propuesto en la Figura 14. Este consiste en establecer una mejor distribución de la entrega de agua, así como un adecuado recorrido de este mismo con el fin de equilibrar las cargas y presiones del sistema para que todos los días sean similares y evitar un sobre dimensionamiento. De esta manera se optimiza el recurso agua para maximizar la producción agrícola y el valor de esta misma, así como evitar un desgaste temprano de los componentes de la red, disminuyendo futuros gastos y accidentes.

El calendario propuesto presenta una distribución más equilibrada en la entrega de agua por hectárea, lo que mejora el rendimiento y la eficiencia de la red de distribución. Durante los lunes – jueves, se entrega agua a 14 hectáreas. Asimismo, tanto los martes – viernes como los

miércoles – sábados se distribuye agua a un total de 13,5 hectáreas cada día. En cuanto al domingo, se concede agua únicamente a 3 hectáreas, pero esta cantidad corresponde a la entrega semanal, es decir, incluye los dos turnos de riego al mismo tiempo.

Es importante resaltar que las letras L, K y M junto a algunas tomas indican los días de entrega correspondientes, siendo L para los lunes, K para los martes y M para los miércoles. Esto se debe a que algunas tomas abastecen múltiples parcelas en diferentes días.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
00:00:00							
01:00:00							
02:00:00							
03:00:00							
04:00:00							
05:00:00							
06:00:00							
07:00:00	1 9 17 27 30L	2 14K 20 32K	3 16 22M 34	1 9 17 27 30L	2 14K 20 32K	3 16 22M 34	18
08:00:00							
09:00:00							
10:00:00	4 10 23 28 32L	6 18 22K 36K	11 19M 26 35	4 10 23 28 32L	6 18 22K 36K	11 19M 26 35	28
11:00:00							
12:00:00							
13:00:00	5 12 24 30L 33	7 19K 29	14M 19M 30M 36L	5 12 24 30L 33	7 19K 29	14M 19M 30M 36L	30
14:00:00							
15:00:00							
16:00:00	8 13 25 30L 36L	14K 19K 30K	15 21 31	8 13 25 30L 36L	14K 19K 30K	15 21 31	
17:00:00							
18:00:00							
19:00:00							
20:00:00							
21:00:00							
22:00:00							
23:00:00							

Figura 14. *Calendario de riego propuesto.*

En la Figura 14 se puede apreciar claramente que el calendario propuesto muestra una distribución de riego en la que se emparejan seis días: lunes – jueves, martes – viernes y miércoles – sábado. El séptimo día corresponde al domingo, el color morado, en el cual se realiza la entrega del agua de los dos turnos de riego en un solo día a tres tomas específicas. Esto se debe a que, en el calendario actual, hay 631,94 m³ de agua de los 8636,544 m³ que se obtienen semanalmente que no es aprovechada, ya que una vez llenados los reservorios, no existe un destinatario de entrega, por lo que el agua no se deposita en ningún reservorio o tanque.

Por otro lado, como se observa en los Anexos 6,7 y 8 se obtiene que en los lunes y jueves se entrega 1474,53 m³ por día para un total de 2949,00 m³ contemplando ambos turnos de riego; los martes y jueves, así como los miércoles y sábados se entrega 1421,87 m³ con un total de aproximadamente 2843,74 m³ a la semana. En comparación con el calendario de riego actual, se

puede apreciar una distribución de entrega de agua más balanceada por día, así como una mejor administración del recurso hídrico, logrando un importante ahorro en el agua, minimizando el estrés hídrico, maximizando el rendimiento y disminuyendo costo de mantenimiento.

En el Anexo 9 se muestra el funcionamiento del sistema en cuanto a agua recolectada del río, que viene siendo 24 horas al día, 7 días a la semana, y el agua entregada a los usuarios se representa en color rojo y el color celeste indica el agua recolectada mientras el sistema está entregando agua a las tomas, con el fin de verificar su correcta distribución y funcionamiento.

4.3 Características de los reservorios

Por otro lado, las medidas de los 2 reservorios que abastecen a las tomas se pueden observar en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Medidas de los reservorios principales.

Parámetro	Reservorio 1	Reservorio 2	Unidades
A	9,4	16,2	m
a	6,5	12	m
B	21,6	29,5	m
b	17,5	26	m
A´	203,04	477,9	m ²
a´	113,75	312	m ²
H	2,1	2,3	m

Una vez que estas medidas son tomadas, mediante la Ecuación 14 se obtuvo el volumen que dicho reservorio puede almacenar, a su vez, se puede determinar el tiempo necesario para su llenado completo. Como se puede apreciar en el Cuadro 8, el reservorio 1 cuenta con una capacidad de 328,13 m³ en donde este abastece por día máximo a 3 tomas de 1 ha, por otro lado, el reservorio 2 tiene un volumen de 901,63 m³, en donde la máxima entrega de agua que presenta por día es de 421,29 m³. Cabe destacar que una vez llenado el reservorio 1, el reservorio 2 se empieza a llenar por la excedencia del reservorio 1.

Cuadro 8. Volumen y tiempo de llenado de los reservorios principales

Reservorio	1	2	Unidades
Volumen	328,1341167	901,631362	m ³
Tiempo llenado	6,379883139	17,52522777	h

4.4 Parámetros obtenidos

4.4.1 Cálculo de la lámina bruta y lámina neta

Con los parámetros dados en el Cuadro 5, se procede a realizar el cálculo de la lámina neta y se obtienen los valores de lámina bruta para cada uno de los cultivos empleados, como se observa en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Parámetros obtenidos de acuerdo con las características del cultivo.

Cultivo	Papa	Cebolla	Zanahoria
Lámina neta	14,32 mm	7,09 mm	13,78 mm
Lámina bruta	17,90 mm	8,86 mm	17,23 mm

4.4.2 Datos de la demanda de agua

Debido a que se requiere extraer el agua del Río Reventado las 24 h respetando la concesión asignada de 14,28 lps, se establece una jornada de 24 horas. Por otro lado, se obtiene la lámina de riego ajustada con el fin de obtener el volumen de agua por turno de riego, el cual nos indica cuánta entrega de agua necesita el cultivo por hectárea por cada turno de riego. Esta información se puede observar en el siguiente cuadro. Por otro lado, se calcula la lámina de riego ajustada para determinar la cantidad de agua necesaria por turno de riego. Este volumen nos indica la cantidad de agua que el cultivo requiere por hectárea en cada turno de riego. Los detalles de esta información se encuentran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Datos de la demanda de agua para los cultivos seleccionados.

Cultivo	Papa	Cebolla	Zanahoria	Unidades
Jornada	24,00	24,00	24,00	h
Lámina de riego ajustada	10,99	14,14	10,99	mm
Volumen de agua por turno de riego	109,94	141,36	109,94	m ³ /tr
Caudal requerido	4,58	5,89	4,58	m ³ /hr
	1,27	1,64	1,27	lps
C. U. R	0,36	0,47	0,36	lps/ha
Caudal disponible	14,28	14,28	14,28	lps
Área regable por turno de riego	39,28	30,55	39,28	ha

El Cuadro 10 muestra que el cultivo más exigente en términos de demanda hídrica es la cebolla, lo que limita su área máxima de riego por turno a 30,55 hectáreas. Por otro lado, tanto la papa como la zanahoria presentan requisitos similares, lo que les permite tener un área máxima de riego por turno de 39,28 hectáreas. En términos porcentuales, esto implica que la papa y la zanahoria pueden cultivarse en un 95,80% de las hectáreas disponibles, mientras que la cebolla se limita al 74,51% de dicha área, tal como se muestra en el Cuadro 11. Esto indica un recorte de área de 420,22 m² para el cultivo de la papa y la zanahoria, y 2549,05 m² para la cebolla.

Esta reducción significativa en el área de cultivo se debe a que la concesión de agua asignada no es suficiente para cubrir todas las hectáreas que requieren riego, especialmente considerando los aumentos en los requerimientos de agua a medida que pasan los años debido al cambio climático y el desgaste del suelo.

Cuadro 11. Datos obtenidos para el cálculo del calendario de entrega de agua

Cultivo	Papa		Cebolla		Zanahoria	
Área neta permitida	95,80%		74,51%		95,80%	
	0,9580	ha	0,7451	ha	0,9580	ha
Área por recortar por ha	420,2188	m ²	2549,0590	m ²	420,2188	m ²
Volumen semanal	8636,5440				m ³ /semana	
Vol agua/ha	210,6474				m ³ /semana	
Vol agua/tr	105,3237				m ³ /riego/ha	

De acuerdo con la Ecuación 11 y como se muestra en el cuadro anterior, se obtiene el volumen semanal, el cual da un valor de 8636,54 m³/semana, en donde al repartirse por la cantidad de hectáreas totales de la SUA, se obtiene un resultado de 210,65 m³/semana, en el cual por turno de riego sería un valor máximo de 105,33 m³/riego/ha.

4.5 Análisis hidráulico de la red de abastecimiento.

A continuación, en el Cuadro 12 se presenta un resumen de las características hidráulicas de la tubería el cual se obtuvo por medio de un análisis y diseño estático de la red de distribución.

Cuadro 12. Características hidráulicas de la tubería.

Características hidráulicas de la tubería				
Tubería PVC				
Estación	L (m)	Caudal (l/s)	Diámetro nominal (mm)	SDR
Principal				
0+000 A 0 0+177	177	14,28	150	41
0+177 A 0+959,5	782,5	14,28	100	41
0+959,5 A 1+030,6	71,1	14,28	100	32,5
1+030,6 A 1+217,5	186,9	14,28	100	26
1+217,5 A 1+456,8	239,3	14,28	100	17
1+456,8 A 1+547,2	90,4	14,28	100	26
1+547,2 A 1+896,4	349,2	14,28	100	32,5
1+896,4 A 2+024,3	127,9	14,28	100	26
2+024,3 A 2+207,6	183,3	14,28	100	32,5
2+207,6 A 2+238,9	31,3	14,28	100	26
2+238,9 A 2+624,2	385,3	14,28	100	17
2+624,2 A 2+824,5	200,3	11,85	75	17
2+824,5 A 2+892,5	68	6,99	50	17
2+892,5 A 3+026,9	134,4	4,56	50	17
3+026,9 A 3+172,7	145,8	2,43	50	17
Ramal 1				
0+000 A 0+136,7	136,7	8,54	75	17
0+136,7 A 0+343,6	206,9	6,11	62	17
0+343,6 A 0+502,2	158,6	4,89	50	17
0+502,2 A 0+578,9	76,7	2,43	50	17
Tanque 1				
0+000 A 0+052,1	52,1	9,75	100	41
0+052,1 A 0+453	453	9,75	75	41
0+453 A 0+607,0	154	7,32	62	41

Estación	L (m)	Caudal (l/s)	Diámetro nominal (mm)	SDR
0+607,0 A 0+664,1	57,1	4,89	62	41
0+664,1 A 0+917,9	253,8	2,43	50	32,5
Tanque 2				
0+000 A 0+235,5	235,5	9,72	75	41
0+235,5 A 0+289,9	54,4	9,72	75	32,5
0+289,9 A 0+358,8	68,9	9,72	75	26
0+358,8 A 0+414,1	55,6	9,72	75	32,5
0+414,1 A 0+439,4	25	9,72	75	41
Ramal 2				
0+000 A 0+047,8	47,8	9,72	75	41
0+047,8 A 0+172,1	124,3	9,72	75	32,5
0+172,1 A 0+231,7	59,6	7,29	62	26
0+231,7 A 0+327,2	95,5	2,43	50	26
Ramal 2,1				
0+000 A 0+051,1	51,1	7,29	62	26
0+051,1 A 0+073,8	22,7	4,86	50	32,5
0+073,8 A 0+160	86,2	2,43	38	41
Ramal 3				
0+000 A 0+173,8	173,8	2,43	50	32,5

La conducción del proyecto se llevó a cabo utilizando tuberías de PVC. Se puede observar que la tubería principal tiene diámetros que varían de 150mm a 50mm, dependiendo de la estación por la que atraviesa. Este recorrido presenta velocidades que van desde 0,7 m/s hasta 2,5 m/s, lo cual se considera válido según la literatura consultada. Además, se utilizan tuberías con clasificación SDR 41, 32,5, 26 y 17 para que la tubería soporte la presión en los puntos de mayor demanda del sistema.

En cuanto al ramal 1, este cuenta con velocidades desde los 1,1 m/s hasta los 2,2 m/s, también presenta diámetros de 75mm hasta 50mm, así como tubería SDR 17 en todo su tramo. Para el tramo del tanque 1 se obtuvieron diámetros desde 75mm hasta 50mm, con velocidades entre 0.9 m/s hasta los 1,9 m/s, así como tubería SDR 41 en 664 m y SDR 32,5 en 253,8 m.

Siendo el tramo del tanque 2 el que suministra 15 tomas, este presenta velocidades de 1,5 m/s a 1,8 m/s, así como diámetros de 75mm en todo su trayecto, por otro lado, se tiene una tubería SDR de 41, 32,5 y 26 según la presión en ciertos puntos del trayecto. Para el ramal 2 y ramal 2,1 ubicado en el tanque 2 se obtienen diámetros de 75mm hasta 50mm, así como velocidades desde

1 m/s a 2 m/s, contando con tuberías SDR de 41, 32,5 y 26. Cabe destacar que en el ramal 2,1 presenta una sección de tubería SDR 41 con un diámetro de 38mm de una longitud de 86,2 m en su tramo final de entrega.

La elección adecuada de la tubería es crucial para mejorar la eficiencia en el transporte del agua, lo que se traduce en una reducción de las pérdidas por fricción y en costos más bajos. Además, esta elección puede prolongar la vida útil de la red de conducción, lo que a su vez reduce la necesidad de reemplazo y los costos asociados. Esta medida garantiza la seguridad y confiabilidad del sistema al disminuir el riesgo de fallas o roturas que puedan ocasionar interrupciones en el suministro de agua.

En el Cuadro 13 se detallan los cambios necesarios en la red de tuberías actual, incluyendo el diámetro y el cambio correspondiente en el SDR. Estos cambios permitirán mejorar el rendimiento y la capacidad de la red de tuberías, asegurando un flujo más eficiente y una capacidad adecuada de transporte de agua.

Cuadro 13. Cambios por realizar en la red de tuberías actual.

De la estación	A la estación	L (m)	Diámetro nominal (mm)	A (mm)	SDR	A
Principal						
0+959,5	0+983	23,5	100	100	41	32,5
1+030,6	1+103	72,4	100	100	32,5	26
1+217,5	1+250	32,5	100	100	26	17
1+388	1+456,8	68,8	100	100	26	17
1+389	1+456,9	68,8	100	100	26	17
1+666	1+742	79	100	100	41	32,5
1+896,4	2+024,3	127,9	100	100	32,5	26
2+207,6	2+238,9	31,3	100	100	32,5	26
2+238	2+353	115	100	100	26	17
Ramal 1						
0+000	0+136,7	136,7	62	75	17	17
0+502,2	0+578,9	76,7	38	50	17	17
Tanque 1						
0+000	0+052,1	52,1	75	100	41	41
Tanque 2						
0+235,5	0+289,9	54,4	150	75	41	32,5

De la estación	A la estación	L (m)	Diámetro nominal (mm)	A (mm)	SDR	A
Ramal 2						
0+172,1	0+202	29,9	75	62	32,5	26
Ramal 2.1						
0+000	0+051,1	51,1	50	62	32,5	26
Ramal 3						
0+000	0+173,8	173,8	62	62	32,5	32,5

El diseño estático completo realizado mediante el programa Excel se encuentra detallado en los Anexos 13 al 19. Este diseño abarca las condiciones críticas de los lunes - jueves, martes - viernes y miércoles - sábado. Además, con base en este diseño, se elaboraron los planos de planta y perfil longitudinal de toda la red de conducción. Estos planos se pueden encontrar en los Anexos 20 al 28. Los planos proporcionan una representación visual detallada de la disposición y la elevación de la red de conducción, ofreciendo información precisa sobre la ubicación y características de las tuberías.

4.5.1 Modelación de Epanet

El análisis de la red de tuberías del sistema de acueducto se llevó a cabo mediante una modelación hidráulica utilizando el programa EPANET 2.2. Se realizó un análisis dinámico, considerando la situación más crítica de acuerdo con el calendario de riego propuesto. Se implementó una red que abastece a todo el proyecto, simulando las condiciones reales. El sistema funciona durante 12 horas al día, entregando agua a las tomas correspondientes. Durante las otras 12 horas restantes, se dedica a llenar los reservorios para garantizar su correcto funcionamiento en el siguiente turno de riego. Es importante mencionar que desde las 6 p.m. hasta las 12 a.m., el reservorio 1 se llena por completo, y desde las 12 a.m. hasta las 6 a.m., se suministra agua al reservorio 2 hasta que las válvulas de las tomas se abran para su entrega respectiva.

En el proceso de modelación, se incluye un reservorio que simula la fuente principal de agua, así como dos tanques que representan los dos reservorios reales en el proyecto en campo. En la Figura 15 se muestra un gráfico de la demanda de agua de estos tanques, siendo el tanque 1 representado por la línea roja y el tanque 2 por la línea verde.

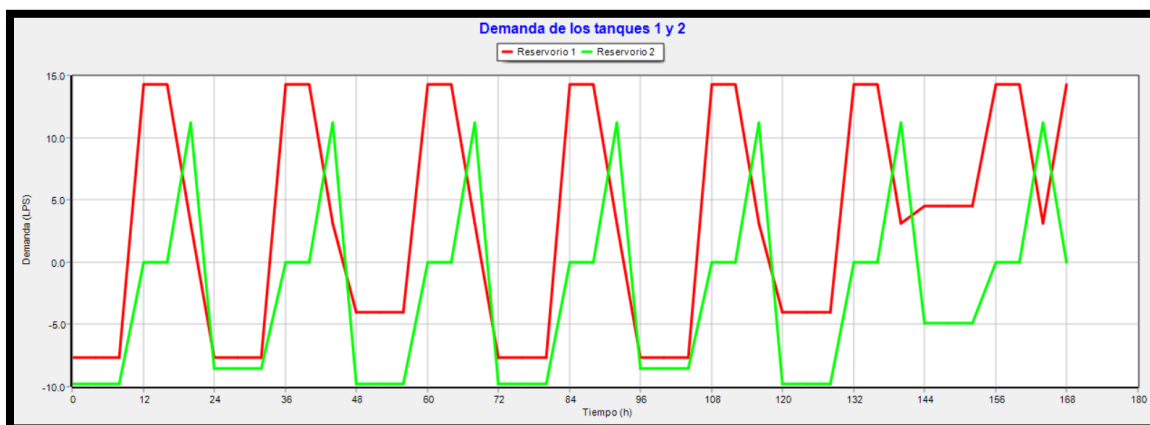


Figura 15. Gráfico de demanda y oferta de agua de los tanques 1 y 2.

Como se muestra, la demanda del tanque 1 presenta un comportamiento igual los lunes y martes, en donde dicho tanque empieza a entregar agua a las tomas a las 2 p.m., es decir, 8 h después de haber iniciado la distribución de agua. A las 12 horas de haber iniciado, este comienza su llenado hasta las 18 h, donde las otras 6 h restantes, este abastece el tanque 2 mediante la excedencia. Para el miércoles sucede un comportamiento similar, sin embargo, el tanque no se vacía del todo. Para el domingo, una vez acabada la entrega de agua del sábado, el tanque procede a llenarse.

En el caso del tanque 2, sigue el mismo patrón de horas de funcionamiento que el tanque 1, excepto que después de 12 horas de iniciada la entrega, no recibe demanda durante las siguientes 6 horas debido a que durante ese tiempo se está llenando el reservorio 1. Sin embargo, una vez pasadas las 18 horas hasta las 24 horas, el tanque 2 comienza a recibir agua para su almacenamiento. Este tanque muestra un comportamiento similar todos los días.

En la Figura 16 se presenta un gráfico donde se puede ver el comportamiento del nivel del agua del tanque 1, donde las primeras 12 h este se vacía, es decir, hace entrega de agua a las tomas requeridas, las próximas 6 h este procede a llenarse hasta que son las 18 h, donde este se encuentra lleno, y procede a enviarle el agua excedente al tanque 2. Este proceso se repite todos los días. Cabe destacar que, para el domingo en la madrugada, este tanque se encontrará lleno.

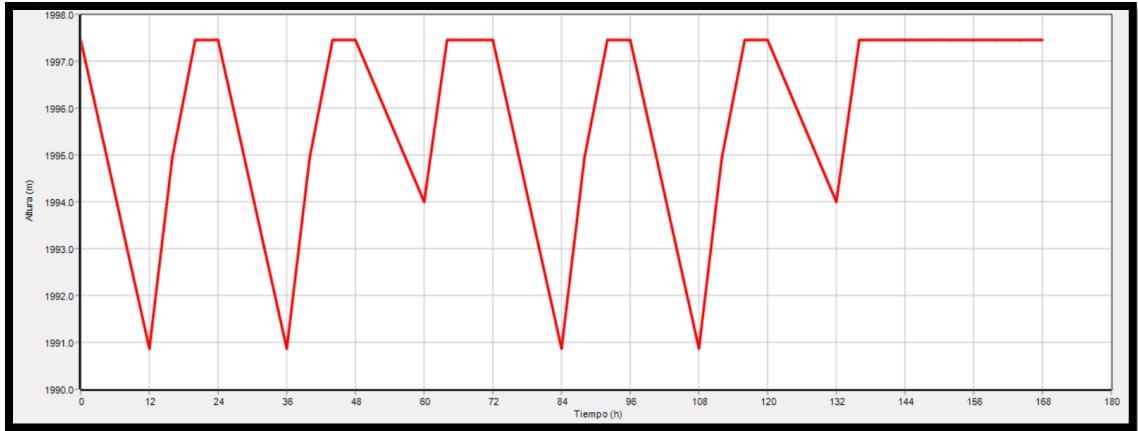


Figura 16. Gráfico del nivel del agua del tanque 1.

El comportamiento del tanque 2 difiere del tanque 1, ya que después de iniciar el día 1, no se llena por completo nuevamente hasta finalizar el día 7. Esto se debe a que las 6 horas durante las cuales recibe agua por excedencia durante la madrugada no son suficientes para llenar completamente el reservorio. Sin embargo, esto no representa un problema debido a la alta capacidad de almacenamiento con la que cuenta el tanque 2. Como se muestra en la Figura 17, el tanque 2 abastece en su totalidad todas las entregas de agua diarias.

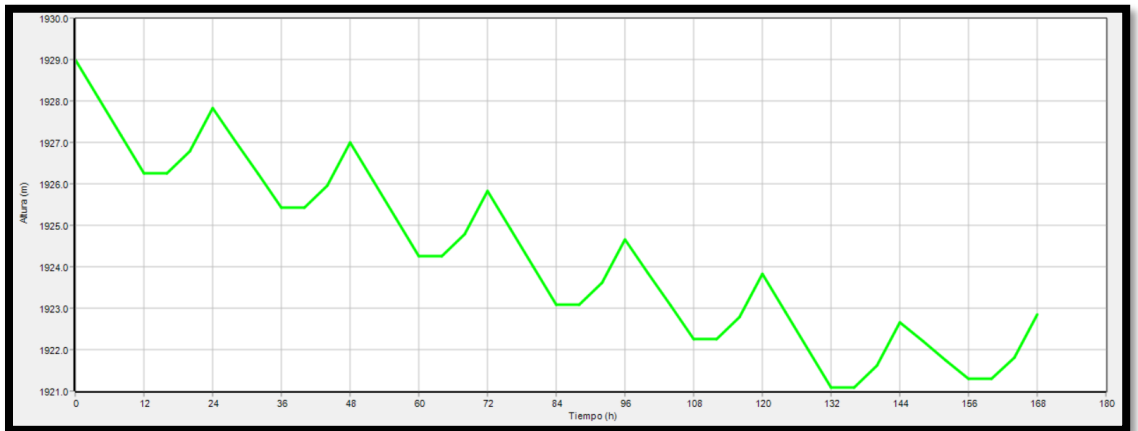


Figura 17. Gráfico del nivel del agua del tanque 2.

Por otro lado, en la Figura 17 se puede observar cómo el nivel disminuye de manera similar todos los días. Además, se puede apreciar que el reservorio se llena diariamente en el período de 12:00 a.m. a 6:00 a.m., tal como se muestra en las últimas 6 horas de cada día en la gráfica. Es

importante destacar que los domingos a las 12:00 a.m., el reservorio se llena por completo debido a un exceso de agua, alcanzando así su capacidad máxima.

En la Figura 18 se presenta la modelación en EPANET de la red de conducción principal a las 2 p.m. del lunes. Este comportamiento y las condiciones se mantienen consistentes a lo largo de todos los días de la semana debido a que siempre transporta 14,28 lps, esto implica que las presiones y velocidades en la red a las 2 p.m. son las mismas tanto el martes, miércoles, y así sucesivamente para el resto de los días, cumpliendo con las presiones requeridas. Es importante destacar que la disminución de presión a la mitad del tramo se debe tanto a la topografía del proyecto como a la presencia de una válvula reguladora de caudal al final de la conducción principal. Es relevante mencionar que esta válvula se incluyó en el programa de EPANET 2.2 y no representa ningún riesgo.

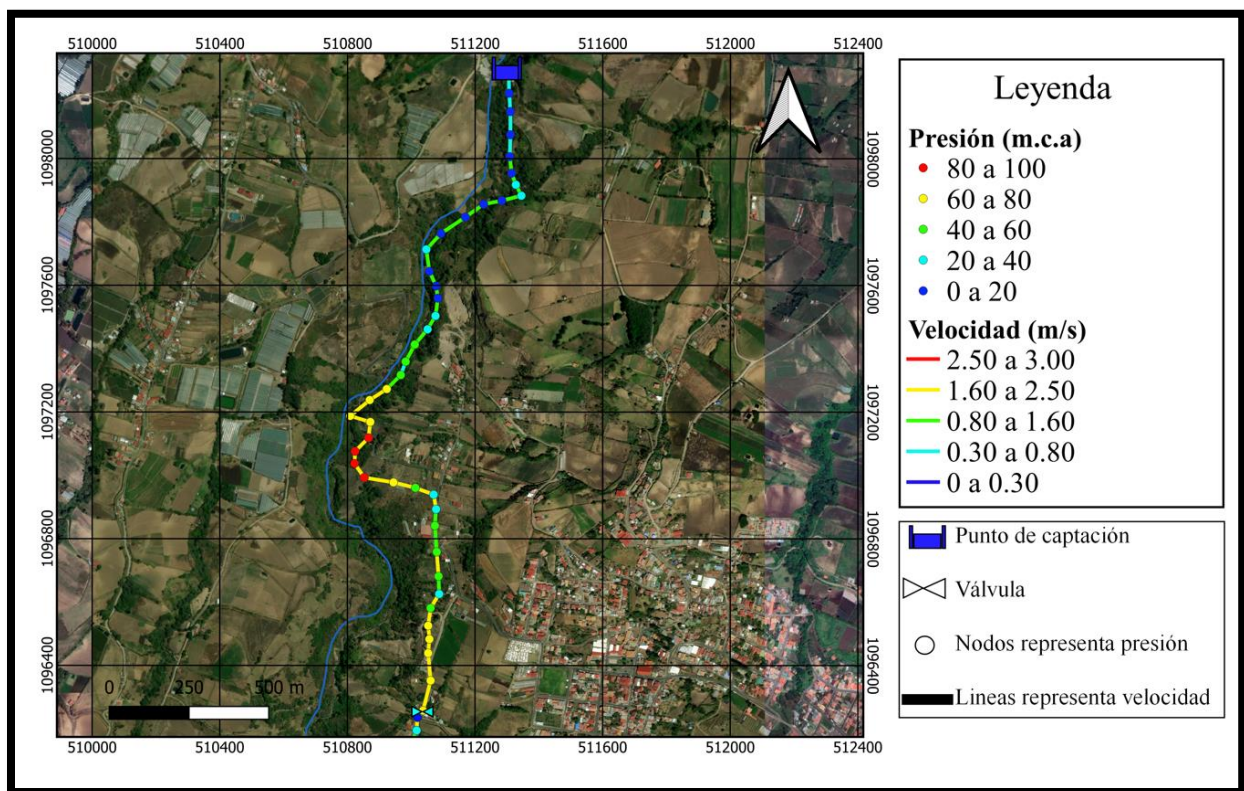


Figura 18. Modelación en EPANET del lunes a las 2 p.m. de la red de conducción principal.

En la Figura 19 se puede observar la red de conducción de las tomas, reservorios y ramales. En esta configuración, se han instalado dos válvulas sostenedoras de presión, una con un diámetro de 75 mm y otra de 100 mm, ambas ajustadas a una presión de 40 m.c.a. Estas válvulas se encargan de mantener la presión adecuada en el sistema, asegurando que se encuentre dentro del rango de 60 a 40 m.c.a en ciertos puntos del tramo. Además, se ha incluido una válvula reguladora de caudal con un diámetro de 150 mm, donde esta válvula tiene como objetivo limitar el flujo de agua a 14,28 lps y trabaja a una presión de 40 m.c.a. En la modelación, esta válvula simula únicamente el paso de la concesión otorgada, controlando el caudal de agua que ingresa al sistema.

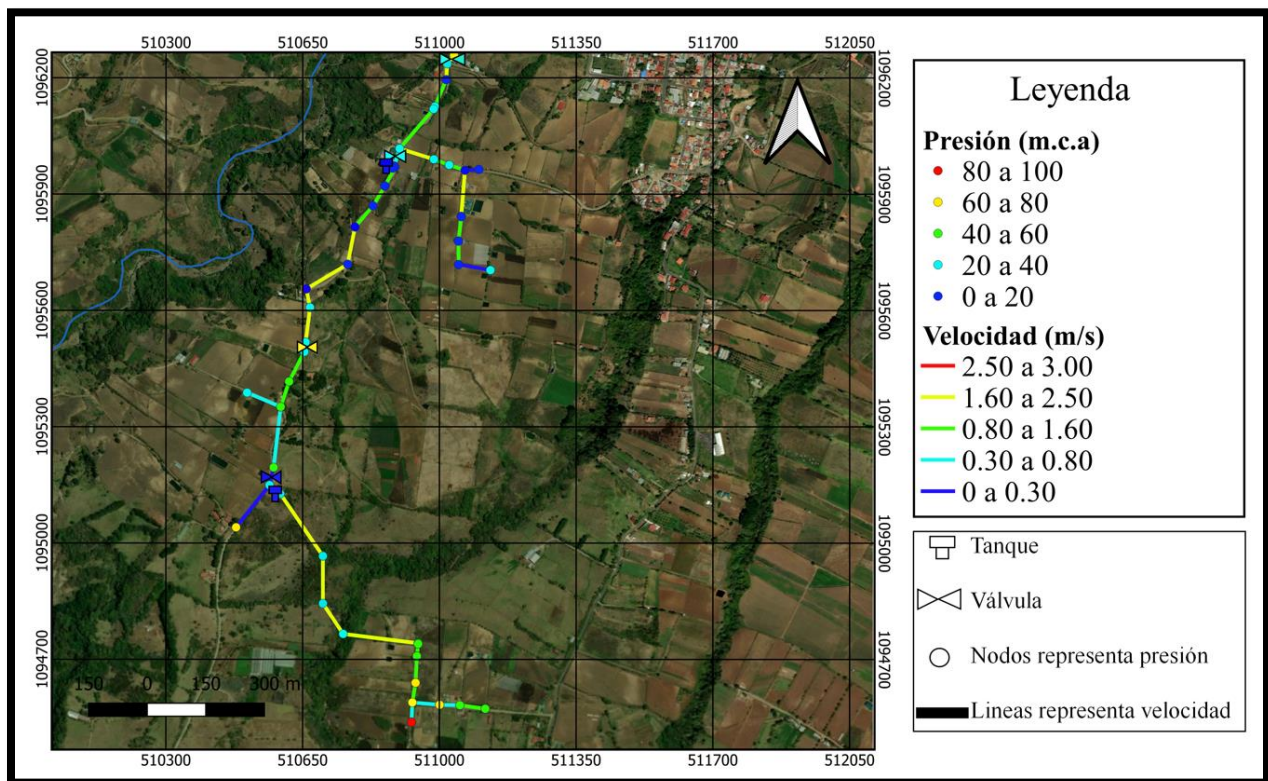


Figura 19. Modelación en EPANET del lunes a las 2 p.m.

Para la apertura y cierre de las tomas de las parcelas, se cuenta con válvulas de bola, en el Cuadro 14 se muestran sus respectivos diámetros y presiones a trabajar.

Cuadro 14. Características de la válvula de bola.

Válvula	Presión (mca)	Diámetro (mm)	Cantidad
De bola	80	100	10
		75	13
		62	3
		50	6
	120	75	9
		62	3
		50	3

En la Figura 19 se muestra el comportamiento de la red de conducción a las 2 p.m. del lunes. En este análisis, se observa que las velocidades en la red de conducción no superan los 1,87 m/s, y las presiones máximas registradas son de 80 m.c.a. En el caso de la red de conducción del reservorio, se ha seleccionado una tubería SDR 32,5 que permite trabajar con presiones de hasta 87,88 m.c.a. Esto indica que la red de distribución está operando dentro del rango de presiones permitido gracias al funcionamiento adecuado de las válvulas mencionadas anteriormente. Es importante destacar que el jueves presenta un comportamiento similar al del lunes, por lo que el resultado de la modelación de dicho día se encuentra detallado en el Anexo 29.

Debido a que se requiere llenar el reservorio 2 de 12 a.m. a 6 a.m. en la Figura 20 se muestra su funcionamiento en el horario nocturno, el cual se repite todos los días.

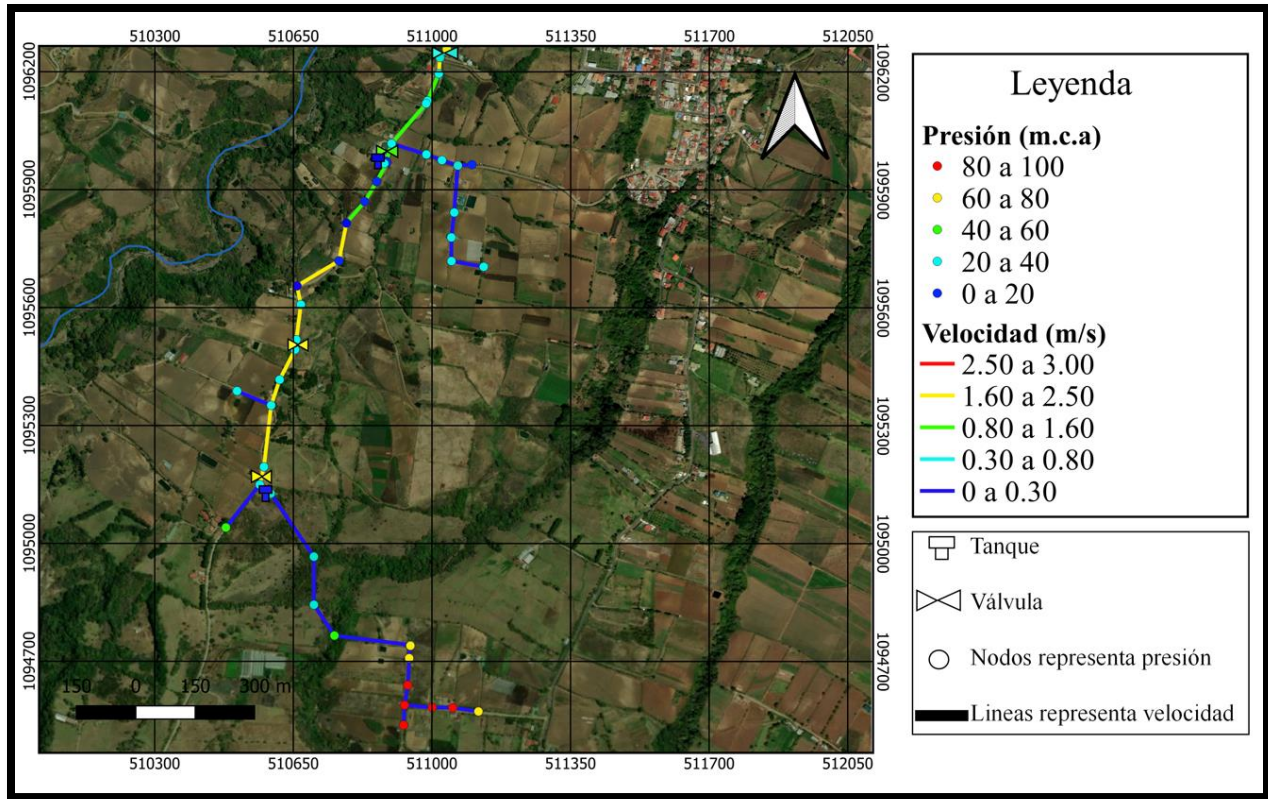


Figura 20. Modelación en EPANET del lunes a las 2am.

En la Figura 20 se representa el recorrido del agua desde la toma hasta el tanque 2 a través de la tubería principal y la tubería del tanque 1. Durante este proceso, se observa que las velocidades del agua se mantienen por debajo de los 2,32 m/s, lo cual está dentro de los límites aceptables según la literatura consultada. Además, las presiones en el sistema de tuberías no superan los 36,63 m.c.a, lo que indica que no se presentan problemas relacionados con la presión en el sistema.

Según los resultados de la modelación realizada el martes a las 2 p.m., se observa que este día presenta presiones más bajas en la tubería principal y en la tubería del tanque 1. La presión máxima registrada es de 35,92 m.c.a y las velocidades del agua no superan los 2,20 m/s. En el tramo correspondiente al tanque 2, se registran presiones que varían entre 30,19 m.c.a y 78,09 m.c.a. Para la primera parte de este trayecto se planea utilizar tuberías SDR 41, mientras que para

las presiones entre 70 m.c.a y 80 m.c.a se recomienda utilizar tuberías SDR 32,5. Estos resultados se visualizan en la Figura 21 de la modelación.

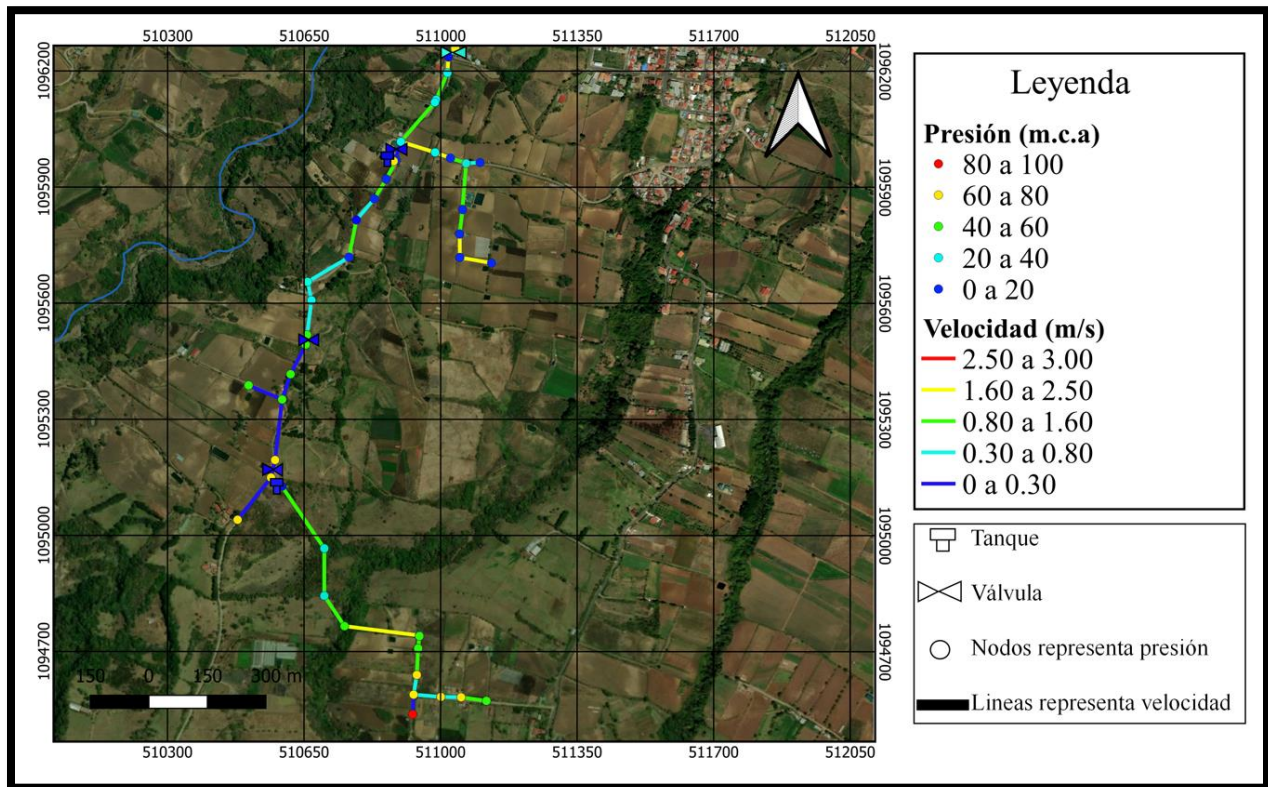


Figura 21. Modelación en EPANET del martes a las 2 p.m.

Es importante resaltar que el comportamiento de la red los martes es el mismo que el de los viernes, por lo que dicha modelación del viernes se puede observar en el Anexo 30.

El miércoles, durante la modelación a las 2 p.m., se obtuvieron velocidades adecuadas en las diferentes secciones de la red. En el ramal 1, la velocidad no superó los 0,75 m/s, mientras que en la tubería principal y la del tanque 1 se registraron velocidades de 1,26 m/s. En el tramo correspondiente al tanque 2, las velocidades oscilaron entre 1,37 m/s y 2,05 m/s a lo largo de todo su recorrido. En términos de presión, las válvulas sostenedoras de presión contribuyeron a mantener la estabilidad del sistema. La mayor presión registrada en el tanque 1 fue de 54,56 m.c.a, mientras que en el tanque 2 se alcanzó una presión máxima de 62,31 m.c.a en uno de los puntos. La Figura 22 presenta la modelación del miércoles con mayor detalle.

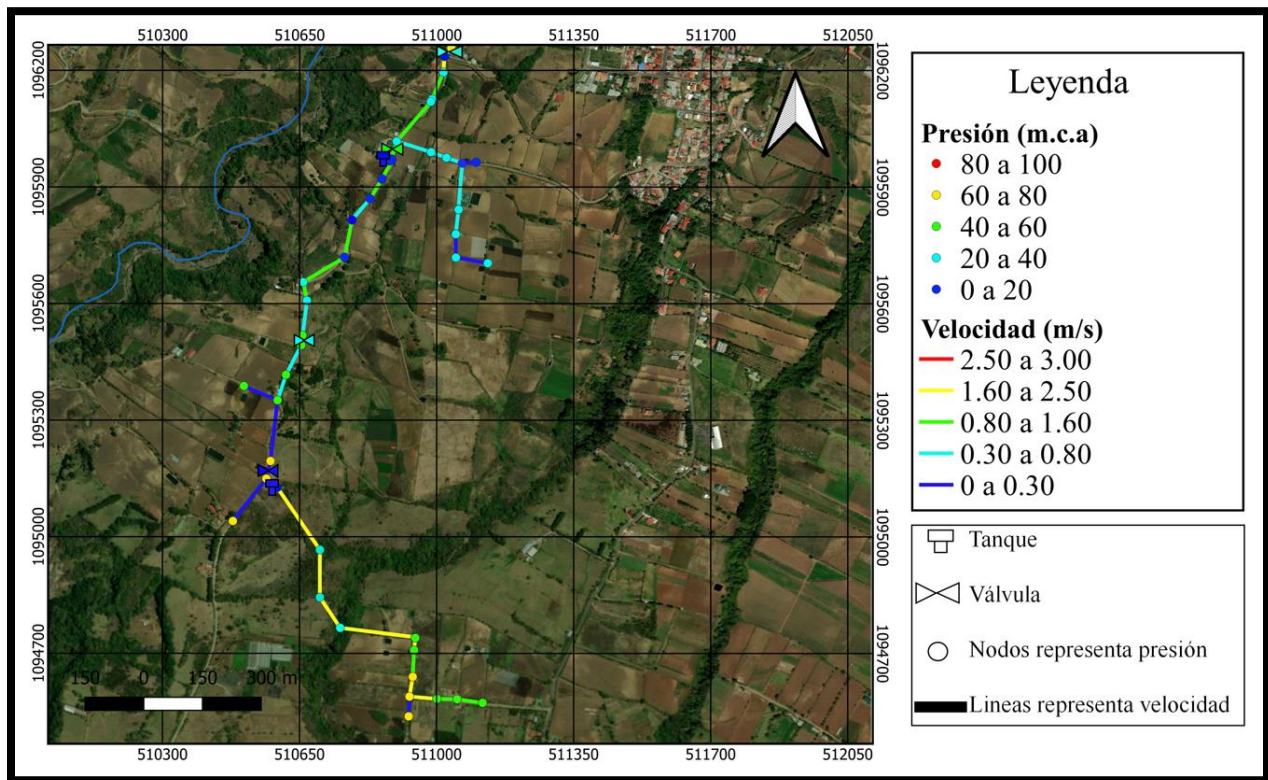


Figura 22. Modelación en EPANET del miércoles a las 2 p.m.

La modelación del sábado se presenta en el Anexo 31, el cual presenta el mismo comportamiento que el miércoles.

Con el objetivo de aprovechar al máximo el agua extraída del río y optimizar la eficiencia de la red, se propone suministrar a las tomas 18, 28 y 30 el agua correspondiente a dos turnos de riego durante el día 7, es decir, el domingo. Esta medida permitirá utilizar los 631,94 m³ de agua no aprovechada en el sistema actual y aliviará la presión ejercida en los otros días de la semana. De esta manera, se busca maximizar el uso de los recursos hídricos disponibles y mejorar la gestión del sistema de distribución de agua.

En la Figura 23 se muestra la modelación en EPANET del domingo a las 2pm.

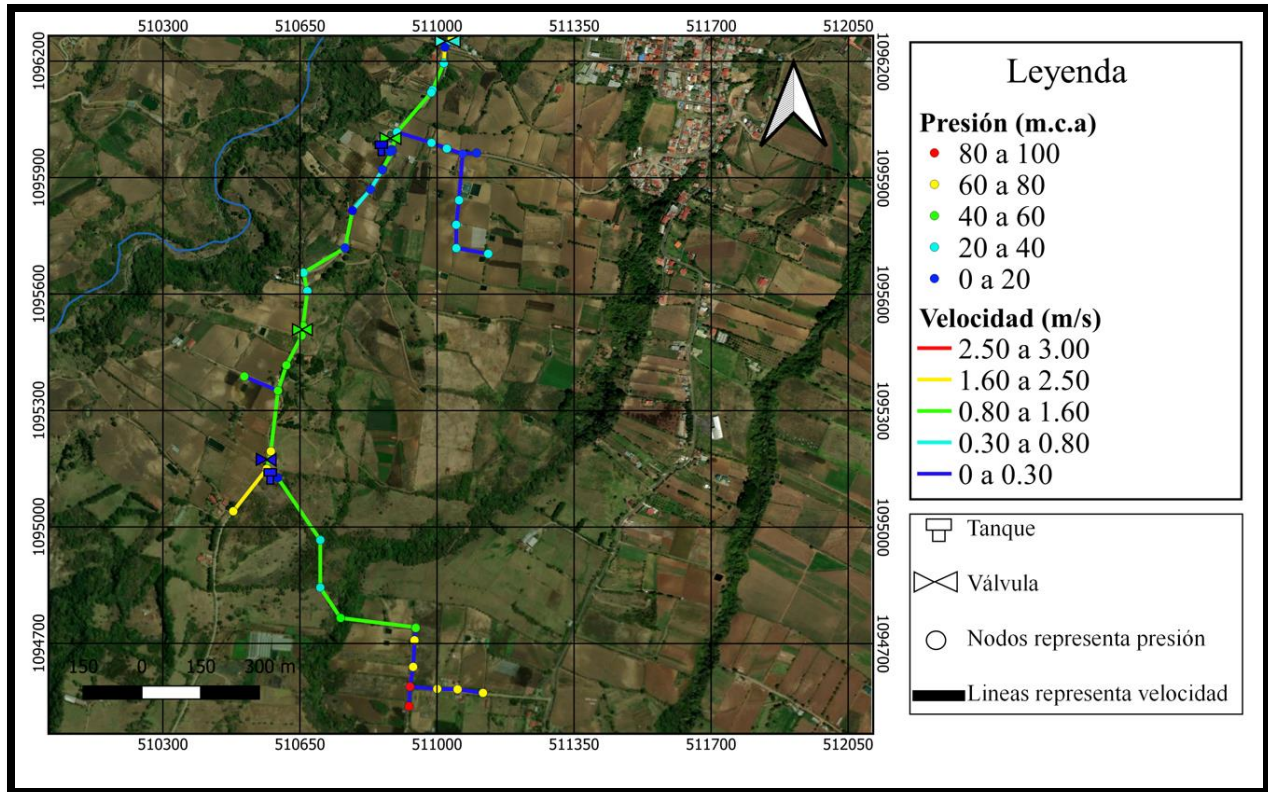


Figura 23. Modelación en EPANET del domingo a las 2pm.

Una vez analizadas las entregas de aguas diarias según el calendario de riego, se puede observar que los días presentan velocidades y presiones similares en sus nodos/tomas. Sin embargo, en ciertos puntos estas pueden disminuir o aumentar debido a la entrega de agua requerida en ese punto, pero no representa un problema para el sistema propuesto.

Se graficó el comportamiento de la presión en el tiempo de los puntos de entrega de agua más críticos, en este caso se tomó en cuenta las tomas 7, 25, 28, 33, 34. Esto debido a que dichas tomas son las que cuentan con la mayor presión visible en la modelación o bien, con la menor presión en su entrega de agua. Como se puede observar en la Figura 24, la toma 7 perteneciente al ramal 1 presenta presiones bajas, esto debido a que existe una elevación de altura de 5 metros de este punto con respecto al anterior, provocando que la presión sea baja en este tramo de la red, sin embargo, no representa problemas a la hora de realizar la entrega de agua. La toma 25 presenta un rango de presiones de entre 30 a 55 m.c.a, el cual no presenta problemas para la red en ningún día.

Las tomas 28 y 34 muestran un comportamiento similar en términos generales, sin embargo, se observan diferencias en las presiones registradas. En el caso de la toma 28, el domingo, cuando está cerrada y no se realiza entrega de agua, se registra una presión estática máxima de 82 m.c.a. En los días de entrega de agua, la presión dinámica máxima alcanza los 68 m.c.a. Es importante destacar que el valor de presión estática de 82 m.c.a no se tiene en cuenta, ya que no hay entrega de agua en esos días. El mismo patrón se presenta en la toma 34, donde la presión dinámica máxima durante los días de entrega es de 71 m.c.a, mientras que la presión estática máxima llega a 87 m.c.a en horas en las que no se realiza entrega de agua.

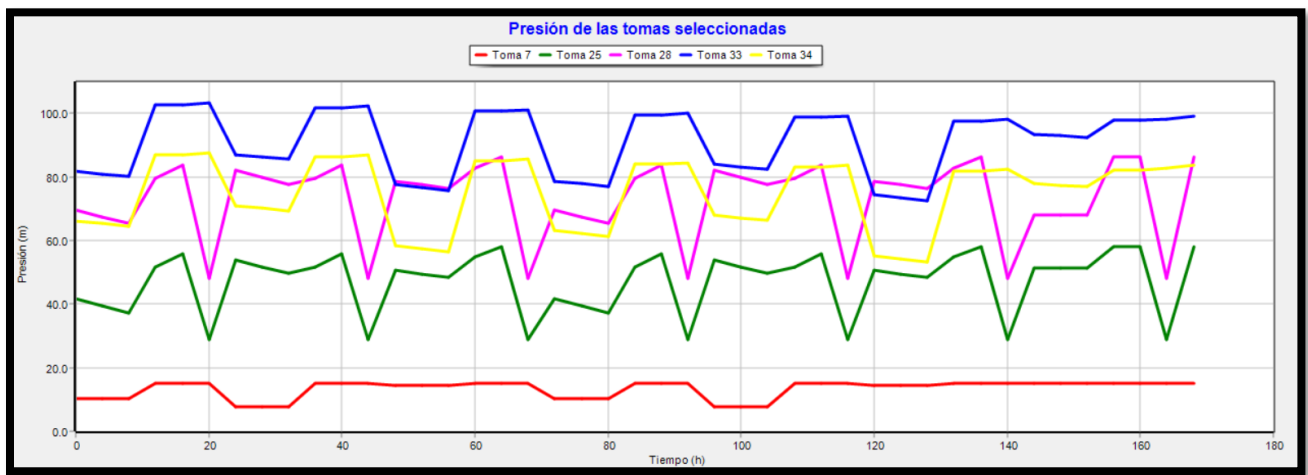


Figura 24. Gráfico del comportamiento de la presión en el tiempo de los puntos de entrega de agua más críticos.

Por último, la toma 33 es una de las más alejadas de la red de distribución, y esta presenta presiones dinámicas altas, con un valor de 81 m.c.a aproximadamente los días que le toca entrega de agua, siendo esta una de las tomas más críticas del sistema por lo cual es necesario instalar tubería SDR 32.5 con el fin de soportar dicha presión, Por otro lado, la toma también cuenta con una presión estática de 103 m.c.a, la cual se presenta cuando la válvula no está encendida, por lo que no genera ningún inconveniente para el sistema.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El calendario de riego propuesto presenta una distribución equitativa de la entrega de agua por día, así como un mejor almacenamiento del recurso hídrico, debido a que el calendario de riego actual desaprovecha 631,94 m³ cada semana, lo que provocaría que semanalmente se desperdicie un 7,32% de la concesión otorgada.
- Se determina que el caudal disponible no es suficiente para cubrir las necesidades hídricas de todos los cultivos, por lo que es necesario reducir el área por hectárea según el cultivo. La papa y la zanahoria experimentan una reducción del 4,20% (equivalente a 420,22 m²) por hectárea, mientras que la cebolla se ve limitada al 25,49% de la misma área (correspondiente a 2549,05 m²).
- Se ha verificado, tanto en un diseño estático como dinámico, que la red de distribución funciona correctamente a partir del calendario de riego propuesto. Asimismo, al evaluar el diseño por medio de la modelación en EPANET 2.2 se concluye que las presiones y velocidades se encuentran en el rango aceptable para el correcto funcionamiento del sistema permitiendo el diseño de los planos de planta y perfil longitudinal de toda la red de conducción.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere la instalación de válvulas de cierre lento o la adopción de tecnologías avanzadas para detectar y reparar fugas.
- Se recomienda la implementación de un tercer reservorio entre la estación 2+024.3 a 2+207.6 de aproximadamente 450 m³ con el fin almacenar el agua no aprovechada que se excede cuando el sistema no está entregando agua y los reservorios 1 y 2 están totalmente llenos; se recomienda también ampliar el almacenamiento del reservorio 1 en aproximadamente 200 m³.

- Se sugiere abrir las tomas en sentido de aguas arriba hacia aguas abajo, con el fin de que la presión estática ejercida en la madrugada en las tomas 32, 33, 34 y 35 no genere un alto impacto en la tubería.
- Solicitar ante la Dirección de Aguas (DA) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) una ampliación de la concesión de agua otorgada para aumentar el área de cultivo y brindar mayor cobertura hídrica, así como para cumplir con los requerimientos de cultivo con el fin de satisfacer las necesidades de población.
- Se recomienda hacer un análisis económico detallado en donde se estimen los costos de operación y mantenimiento para el funcionamiento del proyecto.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Automatización Industrial. (2010). *Válvulas de Presión*. <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/09/valvulas-de-presion.html>
- Barrios, C., Torres, R., Lampoglia, T., & Agüero, R. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. 7(1), 37–72. https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Bejarano, E. (2013). *Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil Diagnóstico del acueducto de Santa Cruz y propuestas de mejora Proyecto Final de Graduación*. 385. [https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Diagnostico del acueducto de Santa Cruz y propuesta de mejora Esteban Bejarano SP.pdf](https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Diagnostico%20del%20acueducto%20de%20Santa%20Cruz%20y%20propuesta%20de%20mejora%20Esteban%20Bejarano%20SP.pdf)
- Cabrera, E., & Abreu, J. (2005). *Análisis, diseño, operación y gestión de redes de agua con EPANET*. [http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb2496339__Sadobe construccion__P0%2C22__Orightresult__X1__T?lang=spe&suite=cobalt](http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb2496339__Sadobe%20construccion__P0%2C22__Orightresult__X1__T?lang=spe&suite=cobalt)
- CENICAFE. (n.d.). 7. *Humedad aire.pdf*. [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/9/7.Humedad aire.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/9/7.Humedad%20aire.pdf)
- CONAGUA. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable. In *Comisión Nacional del Agua*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA s.f.a. Diseño de redes de distribución de agua potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf)
- Corella, L. (2020). *Elaboración de un estudio técnico de diseño para la creación de un nuevo tramo de acueducto y análisis de la situación actual del sistema con el objetivo de realizar propuestas de mejoras para el acueducto ubicado en Pénjamo de Florencia*.
- Cortés, V., & Oconitrillo, G. (1993). FACTORES SOCIOCULTURALES ASOCIADOS A LA EROSION HIDRICA EN UN SISTEMA HORTICOLA : EL CASO DE COT. *Anuario de Estudios Centroamericanos, Universidad de Costa Rica*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/2664>
- DURMAN by Aliaxis. (2021). *LISTA DE PRECIOS*. file:///C:/Users/david/Downloads/La Lista Predial Costa Rica Dic 2021 .pdf
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Guías Para La Determinación de Los

Requerimientos de Agua de Los Cultivos.

- García, M. (2011). Eficiencia del Riego. *Facultad De Agronomía Universidad De La República*, 46.
- Garita, J., & Morales, F. (2015). *SOCIEDADES DE USUARIOS DE AGUA: PERSPECTIVAS EN EL MARCO DE LA NUEVA LEY PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN COSTA RICA*. 1–9.
- González, J. (2015). *Región de Desarrollo Central Oriental Agencia de extensión Tierra Blanca*.
<https://drco-mag.yolasite.com/Tierra-Blanca.php>
- GRUPO HIDRAULICA. (2022). *¿Qué es una Válvula de Bola?: características, funciones y tipos*.
<https://grupohidraulica.com/noticias/2022/11/16/valvula-de-bola-caracteristicas-funciones-tipos/#:~:text=La válvula de bola tiene,para todo tipo de industria.>
- Gutierrez, M. (2018). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*.
<https://es.slideshare.net/mirkogutierrezquiroz/abastecimientos-de-agua>
- Ingeniería de Fluidos. (2022). *VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DESCRIPCION DE FUNCIONAMIENTO Y USOS*. <https://www.ingenieriadefluidos.com>
- J.Flores, W. O. (2016). *Calendarización del riego : teoría y práctica* (Issue August).
- Junta Directiva AyA. (2020). *Reglamento para la prestación de los servicios del AyA*. 1–109.
[https://www.aya.go.cr/ASADAS/Leyes y reglamentos/REGLAMENTO PRESTACION DE SERVICIOS DEL AYA 2021\(RIGE15 MARZO 2021\).pdf](https://www.aya.go.cr/ASADAS/Leyes y reglamentos/REGLAMENTO PRESTACION DE SERVICIOS DEL AYA 2021(RIGE15 MARZO 2021).pdf)
- LAMA. (n.d.). *Valvulas De Limpieza*. <https://www.lamastore.es/es/7-valvulas-de-limpieza>
- Liotta, M. (2015). Riego por Goteo. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 22,23.
- Manejo inteligente de agua. (2015). *Microaspersores*.
- Marcano, A. (2018). *Válvulas de compuerta*. <https://www.linkedin.com/pulse/válvulas-de-compuerta-andres-jose-marcano-lopez/?originalSubdomain=es>
- Meteoblue. (2021). *Cambio climático Cartago*. https://www.meteoblue.com/es/climate-change/cartago_costa-rica_3624370
- Moliá, R. (2007). *Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua Módulo: Abastecimiento y saneamiento urbanosMateria: Redes de distribución*. 1–21.
- Murillo, J. (2018). DISEÑO Y SELECCIÓN DE DOS SISTEMAS DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN Y GOTEO PARA RAMBUTÁN (*Nephelium Lappaceum L.*) EN LA ZONA DE QUEPOS. *Tecnológico de Costa Rica*, 1–141.

- NTGD. (n.d.). *VÁLVULA DE MARIPOSA*. <https://www.ntgdvalve.com/es/valvula-de-mariposa/>
- Palerm Viqueira, J. (2020). Caracterización de los módulos de los distritos de riego y presencia de organizaciones locales. *Región Y Sociedad*, 32, e1335. <https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1335>
- Quiros, I. (2021). *Aplicación que agilice los cálculos, análisis y modelación en la confección de un diseño hidráulico a partir del mejoramiento del sistema ya empleado por SENARA, con la finalidad de ser utilizado en la dirección regional Pacífico Central de esta entidad e.*
- Ramirez, L., McHugh, A., & Alvarado, A. (2008). Evolución Histórica Y Caracterización Socioeconómica De La Cuenca Media Del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(2), 53–72.
- Rivera, A. (2011). *Rediseño de la tubería principal para un sector con ocho invernaderos de la finca innovaplant ,sarchí, alajuela*. Tecnológico de Costa Rica.
- Rondán, E. (2016). Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. Modelado de fugas con Epanet. In *Escuela Técnica Superior de Ingeniería*. Universidad de Sevilla.
- Rossmann, L. (n.d.). EPANET 2. Manual de usuario. *Media*, 806, 1–92. <http://epanet.info/manuales/epanet-2-manual-de-usuario-espanol/>
- Ruiz, I. (2017). *Variabilidad climática en las regiones norte, central y caribe y su asociación con variables productivas en fincas lecheras costarricenses*. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2242E/A2242E.PDF>
- Salazar, R. (2019). *Diseño de un sistema de riego por aspersión aplicado al modelo productivo de Agrícola Industrial Suka*. Tecnológico de Costa Rica.
- SENARA. (2005). *Área de Aguas Subterráneas*.
- SISS. (2016). CAPTACIÓN EN RÍO. *Syria Studies*, 7(1), 37–72. https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civilwars_12December2010.pdf%0Ahttps://think-asia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625
- Stauffer, B; Spuhler, D. (2020). *Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios)*.
- Tarjuelo Martín-Benito, J. M. . (2005). *El riego por aspersión.pdf*.
- TECVAL. (n.d.). *Válvulas de Control Hidráulico*. https://tecvalonline.com/pdf/productos/ficha_tecnica_Valvula_sostenedora_de_presion_VSP.pdf

Valdivieso, M. (2018). *Válvulas Y Bombas*. <https://es.scribd.com/document/382159875/Valvulas-Y-Bombas>

VALVE AND MANUFACTURING CORP. (2019). Válvula de Alivio de Aire. *Val-Matic Valve y Mfg Corp*, 50(630), 0–5.

Varela, E. (2013). *REDISEÑO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS Y MAXIMIZACIÓN DE LA COSECHA DE AGUAS, EN LA EMPRESA PLANTAS Y FLORES ORNAMENTALES C.A.B.H S.A, LLANO GRANDE, CARTAGO.*

Villalobos, M. (2019). *Riego por aspersión.*

7 ANEXOS

Usuario	Área (ha)	Cultivo	
Adolfo Gómez G	1	Papa	Cebolla
Adriana Gómez R	1	Papa	Cebolla
Agustín Leitón R	1	Papa	Cebolla
Aída Quirós R	1	Papa	Cebolla
Alexis Gómez C	1	Papa	Cebolla
Benjamín Núñez V.	1	Papa	Zanahoria
Carlos Gómez C	0.5	Papa	Cebolla
Carlos Viquez Q	1	Papa	Cebolla
Mercades Quirós	1	Papa	Cebolla
Cristóbal Madriz M	0.5	Papa	Cebolla
Danilo Soto A	0.5	Papa	Cebolla
Diego Leitón C	1	Papa	Cebolla
Francisco Gómez C	0.5	Papa	Cebolla
Francisco Gómez G	1	Papa	Cebolla
Genoveva Viquez	0.5	Papa	Cebolla
Guiselle Asenjo R	0.5	Papa	Cebolla
Héctor Rivera G	3	Zanahoria	Cebolla
Israel Rojas G	1	Papa	Cebolla
Ivan Gómez V	0.5	Papa	Cebolla
Jeison Soto R	1	Papa	Cebolla
Jorge Gómez G	1	Papa	Cebolla
Jorge Viquez S	1	Papa	Cebolla
José Garita Q	1	Papa	Cebolla
Sonia Rivera C	0.5	Papa	Cebolla
José Luis Loria G	1	Hortalizas	Hortalizas
José Araya V	1	Papa	Cebolla
Julio Meneses J	1	Papa	Cebolla
Mario Rojas G	1	Papa	Cebolla
Mario Viquez G	1	Papa	Cebolla
Miguel Garita	0.5	Papa	Cebolla
Miguel Monge	1	Papa	Cebolla
Miguel Viquez G	1	Papa	Cebolla
Oscar Soto V	1	Papa	Cebolla
Randall Rojas M	1	Papa	Cebolla
Reinaldo Gómez C	0.5	Papa	Cebolla
Ronaldo Granados S	1	Papa	Cebolla
Sandra Zuñiga M	0.5	Papa	Cebolla

Vera Cespedes	1	Papa	Cebolla
Esteban Gómez V	0.5	Papa	Cebolla
Luz María Viquez C	1	Papa	Cebolla
Carlos Soto Viquez	1	Papa	Cebolla
Alejandro Viquez Q	0.5	Papa	Cebolla
Eloy Jiménez Brenes	1	Papa	Cebolla
Rolando Fernández V	1	Papa	Cebolla
Alexis Gómez C	0.5	Papa	Cebolla
Andrey Viquez G	0.5	Papa	Cebolla
José Gómez G	0.5	Papa	Cebolla
Total	41		

Anexo 1. Socios de la Sociedad de Usuarios de Agua

Punto	X	Y	Z	Descripción
1	-83.8995	9.9136	2010.2159	1 toma
2	-83.8998	9.9130	1998.9883	1 toma
3	-83.8998	9.9130	1997.9933	1 toma
37	-83.9006	9.9120	1992.1997	Cruce ramal
4	-83.8998	9.9118	1998.3860	1 toma
5	-83.8998	9.9118	1999.4736	1 toma
6	-83.8995	9.9117	2006.4105	1 toma
7	-83.8988	9.9116	2017.9143	1 toma
8	-83.8992	9.9105	2009.5762	1 toma
9	-83.8992	9.9105	2009.5834	1 toma
10	-83.8992	9.9099	2008.5439	1 toma
11	-83.8992	9.9099	2008.5206	1 toma
12	-83.8992	9.9093	2000.9438	1 toma
13	-83.8992	9.9093	2000.9470	1 toma
14	-83.8985	9.9092	1998.1906	3 tomas
15	-83.9007	9.9116	1989.9827	1 toma
16	-83.9007	9.9116	1989.9587	1 toma
17	-83.9010	9.9112	1987.6710	1 toma
18	-83.9010	9.9112	1987.6605	1 toma
19	-83.9012	9.9107	1987.6410	1 toma
20	-83.9018	9.9093	1974.9368	2 tomas
21	-83.9027	9.9083	1955.4717	1 toma
22	-83.9028	9.9075	1944.3354	1 toma
23	-83.9028	9.9073	1939.5791	1 toma
24	-83.9032	9.9066	1933.2035	1 toma

25	-83.9042	9.9063	1939.3029	1 toma
26	-83.9034	9.9060	1934.5776	1 toma
27	-83.9036	9.9046	1927.2448	1 toma
38	-83.9037	9.9042	1919.5590	Reservorio 2
28	-83.9044	9.9032	1911.1741	1 toma
29	-83.9002	9.9005	1857.7328	1 toma
30	-83.9002	9.9005	1857.7092	5 tomas
31	-83.9002	9.9002	1851.5132	1 toma
32	-83.9002	9.8996	1839.9906	2 toma
33	-83.9003	9.8987	1823.6299	1 toma
34	-83.8997	9.8991	1839.1989	1 toma
35	-83.8992	9.8991	1845.1168	1 toma
36	-83.8986	9.8990	1848.6127	3 toma
39	-83.9008	9.9116	1990.4617	Reservorio 1

Anexo 2. Coordenadas de las tomas, reservorios e inicios de ramal del proyecto.

Usuario	Área (ha)	Cultivo Ciclo	Agua obtenida			Toma	Día
			Área neta permitida	Concesión lha	Agua		
Aída Quirós R	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	15	L-J
Alexis Gómez C	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	25	
Benjamín Núñez V.	1	Zanahoria	0.9580	105.32	105.32	32	
Carlos Viquez Q	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	17	
Mercedes Quirós	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	30	
Guiselle Asenjo R	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	4	
José Luis Loria G	1	Hortalizas	0.9580	105.32	105.32	35	
Miguel Viquez G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	18	
Oscar Soto V	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	28	
Randall Rojas M	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	33	
Ronaldo Granados S	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	16	
Rolando Fernández V	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	29	
Alexis Gómez V	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	5	
Andrey Viquez G	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	19	
Alejandro Viquez Q	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	19	
Héctor Rivera G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	19	
Héctor Rivera G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	19	
Total	15	Total	11.6022	1579.86	1579.86		

Anexo 3. Calendario de entrega de agua actual de los asociados en los lunes-jueves

Usuario	Área (ha)	Cultivo	Agua obtenida			Toma	Día
		Ciclo	Área neta permitida	Concesión lha	Agua entregada		
Adolfo Gómez G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	14	K-V
Adriana Gómez R	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	14	
Cristóbal Madriz M	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	30	
Francisco Gómez G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	14	
Genoveva Viquez	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	30	
Ivan Gómez V	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	9	
Jeison Soto R	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	26	
Sonia Rivera C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	30	
Miguel Garita	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	24	
Vera Céspedes	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	23	
Luz María Viquez C	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	31	
Carlos Soto Viquez	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	27	
José Gómez G	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	32	
Total	10	Total	7.45	1053.24	1053.24		

Anexo 4. Calendario de entrega de agua actual de los asociados en los martes-viernes.

Usuario	Área (ha)	Cultivo	Agua obtenida			Toma	Día
		Ciclo	Área neta permitida	Concesión lha	Agua entregada		
Agustín Leitón R	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	1	M-S
Carlos Gómez C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	12	
Daniilo Soto A	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	22	
Diego Leitón C	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	2	
Francisco Gómez C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	10	
Héctor Rivera G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	19-21	
Israel Rojas G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	6	
Jorge Gómez G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	3	
Jorge Viquez S	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	7	
José Garita Q	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	36	
José Araya V	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	34	
Julio Meneses J	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	22	
Mario Rojas G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	11	
Mario Viquez G	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	20	
Miguel Monge	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	36	
Reinaldo Gómez C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	8	
Sandra Zuñiga M	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	30	
Esteban Gómez V	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	52.66	13	
Eloy Jiménez Brenes	1	Cebolla	0.7451	105.32	105.32	36	
Total	16	Total	11.922	1685.18	1685.18		

Anexo 5. Calendario de entrega de agua actual de los asociados en los miércoles-sábados.

Usuario	Área (ha)	Cultivo	Agua obtenida		Toma reservorio 1	Toma reservorio 2	Toma directa	Día	Toma	Día nuevo
			Área neta permitida (ha)	Agua entregada (m³)						
Agustín Leitón R	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	1	L-J
Guiselle Asenjo R	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	L-J	4	
Alexis Gómez V	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	L-J	5	
Reinaldo Gómez C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	M-S	8	
Ivan Gómez V	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	K-V	9	
Francisco Gómez C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	M-S	10	
Carlos Gómez C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	M-S	12	
Esteban Gómez V	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	M-S	13	
Carlos Viquez Q	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	L-J	17	
Vera Céspedes	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			K-V	23	
Miguel Garita	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	K-V	24	
Alexis Gómez C	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			L-J	25	
Carlos Soto Viquez	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			K-V	27	
Oscar Soto V	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	L-J	28	L-J
Sandra Zuñiga M	0.5	Cebolla	0.3725	52.66		X		M-S	30	L-J
Sonia Rivera C	0.5	Cebolla	0.3725	52.66		X		K-V	30	
Cristóbal Madriz M	0.5	Cebolla	0.3725	52.66		X		K-V	30	
José Gómez G	0.5	Cebolla	0.3725	52.66		X		K-V	32	
Randall Rojas M	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		L-J	33	
José Garita Q	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		M-S	36	
Total	14	Total	10.43	1474.53	315.97	421.29	631.94			

Anexo 6. Calendario de entrega de agua propuesto para los asociados en los lunes-jueves

Usuario	Área (ha)	Cultivo	Agua obtenida		Toma reservorio 1	Toma reservorio 2	Toma directa	Día	Toma	Día nuevo
			Área neta permitida (ha)	Agua entregada (m³)						
Diego Leitón C	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	2	K-V
Israel Rojas G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	6	
Jorge Viquez S	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	7	
Francisco Gómez G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	K-V	14	
Adriana Gómez R	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	K-V	14	
Miguel Viquez G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	L-J	18	K-V
Héctor Rivera G	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			L-J	19	K-V
Héctor Rivera G	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			L-J	19	
Mario Viquez G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	20	
Julio Meneses J	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			M-S	22	
Rolando Fernández V	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		L-J	29	
Genoveva Viquez	0.5	Cebolla	0.3725	52.66		X		K-V	30	
Benjamín Núñez V.	1	Zanahoria	0.9580	105.32		X		L-J	32	
Eloy Jiménez Brenes	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		M-S	36	
Total	13.5	Total	10.27	1421.87	315.97	368.63	737.27			

Anexo 7. Calendario de entrega de agua propuesto para los asociados en los martes-viernes.

Usuario	Área (ha)	Cultivo	Agua obtenida		Toma reservorio 1	Toma reservorio 2	Toma directa	Día	Toma	Día nuevo
			Área neta permitida (ha)	Agua entregada (m³)						
Jorge Gómez G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	3	M-S
Mario Rojas G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	M-S	11	
Adolfo Gómez G	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	K-V	14	
Aída Quirós R	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	L-J	15	
Ronaldo Granados S	1	Cebolla	0.7451	105.32			X	L-J	16	
Andrey Viquez G	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	X			L-J	19	
Alejandro Viquez Q	0.5	Cebolla	0.3725	52.66	X			L-J	19	
Héctor Rivera G	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			M-S	21	
Danilo Soto A	0.5	Cebolla	0.3725	52.66			X	M-S	22	
Jeison Soto R	1	Cebolla	0.7451	105.32	X			K-V	26	
Mercedes Quirós	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		L-J	30	M-S
Luz María Viquez C	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		K-V	31	M-S
José Luis Loria G	1	Hortalizas	0.9580	105.32		X		L-J	35	
José Araya V	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		M-S	34	
Miguel Monge	1	Cebolla	0.7451	105.32		X		M-S	36	
Total	13.5	Total	10.27	1421.87	315.97	421.29	579.28			

Anexo 8. Calendario de entrega de agua propuesto para los asociados en los miércoles-sábados.

Hora/Día	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
12:00 a. m. 6:00 a. m.	-	1233.792	308.448	308.448	308.448	308.448	308.448	308.448
6:00 a. m. 12:00 p. m.	-		1474.53	1421.87	1421.87	1474.53	1421.87	1421.87
12:00 p. m. 6:00 p. m.	-		616.896	616.896	616.896	616.896	616.896	616.896
6:00 p. m. 12:00 a. m.	308.448		308.448	308.448	308.448	308.448	308.448	
Total	308.448	1542.24	1301.50	1113.42	925.34	684.60	496.53	0.00

Anexo 9. Vista horario del calendario de entrega de agua en m³ en la semana.

Mes	RMM	Tmean (°C)	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)
Jan	13.22	14.4	2.83	0.70	1.98
Feb	14.21	14.6	3.00	0.70	2.10
Mar	15.3	15.2	3.59	0.70	2.51
Apr	15.7	15.7	3.43	0.70	2.40
May	15.29	16.1	3.30	0.70	2.31
Jun	15.29	16.1	3.30	0.70	2.31
Jul	15.29	16.1	3.45	0.70	2.42
Aug	15.5	15.9	3.40	0.70	2.38
Sep	15.3	15.7	3.41	0.70	2.39
Oct	14.7	15.6	3.20	0.70	2.24
Nov	13.61	15.3	2.87	0.70	2.01
Dec	12.92	14.3	2.79	0.70	1.95
				Etc máx	2.51

Anexo 10. Etc para el cultivo de la papa.

Cebolla					
Mes	RMM	Tmean (°C)	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)
Jan	13.22	14.4	2.83	0.90	2.55
Feb	14.21	14.6	3.00	0.90	2.70
Mar	15.3	15.2	3.59	0.90	3.23
Apr	15.7	15.7	3.43	0.90	3.08
May	15.29	16.1	3.30	0.90	2.97
Jun	15.29	16.1	3.30	0.90	2.97
Jul	15.29	16.1	3.45	0.90	3.11
Aug	15.5	15.9	3.40	0.90	3.06
Sep	15.3	15.7	3.41	0.90	3.07
Oct	14.7	15.6	3.20	0.90	2.88
Nov	13.61	15.3	2.87	0.90	2.58
Dec	12.92	14.3	2.79	0.90	2.51
				Etc máx	3.23

Anexo 11. Etc para el cultivo de la cebolla

Zanahoria

Mes	RMM	Tmean (°C)	Eto (mm/día)	Kc	Etc (mm/día)
Jan	13.22	14.4	2.83	0.70	1.98
Feb	14.21	14.6	3.00	0.70	2.10
Mar	15.3	15.2	3.59	0.70	2.51
Apr	15.7	15.7	3.43	0.70	2.40
May	15.29	16.1	3.30	0.70	2.31
Jun	15.29	16.1	3.30	0.70	2.31
Jul	15.29	16.1	3.45	0.70	2.42
Aug	15.5	15.9	3.40	0.70	2.38
Sep	15.3	15.7	3.41	0.70	2.39
Oct	14.7	15.6	3.20	0.70	2.24
Nov	13.61	15.3	2.87	0.70	2.01
Dec	12.92	14.3	2.79	0.70	1.95
				Etc máx	2.51

Anexo 12. Etc para el cultivo de la zanahoria.

Punto	Toma	Lat	Long	Elev.	L	Est	Caudal	D	V	H	NP	CD	Cest	Ced	Observaciones	Distancia Horizontal
5		210680.047	547223.511	1978.4	0.0	0.0	8.54	78.4	1.8	0.0	2058.4	90.7	80.1	SDR - 17		0.0
6	Toma 9 - 10	210636.034	547352.909	1982	136.7	136.7	8.54	78.4	1.8	4.9	2053.6	71.6	76.4	SDR - 17	Guiselle Asenjo R - Alexis Gómez V	136.7
7	Toma 11	210609.608	547403.637	1993	58.2	195.0	7.29	64.4	2.2	4.0	2049.5	56.5	65.4	SDR - 17	Israel Rojas G	193.9
8		210609.608	547403.637	2003	10.0	205.0	6.11	64.4	1.9	0.5	2049.0	46.0	55.4	SDR - 17	Jorge Viquez S	193.9
164	Toma 13	210460.04	547397.262	2001	149.7	354.7	6.11	64.4	1.9	7.5	2041.6	40.6	57.4	SDR - 17	Reinaldo Gómez C	343.6
165		210301.467	547394.193	1999	158.6	513.3	4.86	53.2	2.2	13.1	2028.4	29.4	59.4	SDR - 17	Ivan Gómez V	502.2
167	Toma 16	210301.467	547394.193	1995	4.0	517.3	4.86	53.2	2.2	0.3	2028.1	33.1	63.4	SDR - 17	Francisco Gómez C- Mario Rojas G	502.2
168	Toma 21	210276.633	547466.728	1989	76.9	594.2	2.43	53.2	1.1	1.8	2026.4	37.4	69.4	SDR - 17	Gómez C - Esteban Gómez V - Francisco Gón	578.9

Anexo 14. Diseño estático del rol del ramal 1.

Punto	Toma	Lat	Long	Elev.	L	Est	Caudal	D	V	H	NP	CD	Cest	Ced	Observaciones	Distancia Horizontal
T27		210568.677	547183.501	1974.6	0.0	0.0	9.75	108.7	1.1	0.0	1975.6	1.0	1.0	SDR - 41		0.0
1+479		210543.467	547168.111	1974.3	29.5	29.5	9.75	108.7	1.1	0.3	1975.4	1.1	1.4	SDR - 41	Andrey Viquez G	29.5
Toma 7		210522.187	547160.631	1973.9	22.6	52.1	9.75	108.7	1.1	0.2	1975.2	1.3	1.8	SDR - 41	Hector Rivera x2	52.1
1+430		210503.407	547136.701	1973.1	30.4	82.5	9.75	84.6	1.7	1.0	1974.2	1.1	2.5	SDR - 41	Alejandro Viquez Q	82.5
1+416		210494.337	547128.081	1972.7	12.5	95.0	9.75	84.6	1.7	0.4	1973.8	1.1	3.0	SDR - 41		95.0
1+392		210476.157	547115.791	1972.4	21.9	117.0	9.75	84.6	1.7	0.7	1973.1	0.7	3.2	SDR - 41		117.0
1+377		210461.347	547111.141	1972.1	15.5	132.5	9.75	84.6	1.7	0.5	1972.6	0.5	3.5	SDR - 41		132.5
1+360		210444.737	547107.531	1971.7	17.0	149.5	9.75	84.6	1.7	0.5	1972.1	0.4	3.9	SDR - 41		149.5
1+319		210404.367	547105.071	1969.2	40.5	190.0	9.75	84.6	1.7	1.3	1970.8	1.6	6.4	SDR - 41		189.9
1+297		210382.047	547105.011	1965.4	22.6	212.7	9.75	84.6	1.7	0.7	1970.1	4.7	10.3	SDR - 41		212.3
Toma 8		210366.447	547101.151	1963.7	16.2	228.9	9.75	84.6	1.7	0.5	1969.6	5.9	12.0	SDR - 41		228.3
1+248		210345.777	547074.851	1960.1	33.6	262.5	9.75	84.6	1.7	1.1	1968.6	8.5	15.6	SDR - 41		261.8
1+209		210319.637	547046.751	1956.4	38.6	301.0	9.75	84.6	1.7	1.2	1967.3	10.9	19.2	SDR - 41		300.2
K30		210310.867	547031.621	1954.2	17.6	318.7	9.75	84.6	1.7	0.6	1966.8	12.6	21.5	SDR - 41		317.6
1+162		210302.457	547002.701	1949.2	30.5	349.2	9.75	84.6	1.7	1.0	1965.8	16.6	26.4	SDR - 41		347.8
Toma 9		210292.997	546996.271	1946.3	11.8	361.0	9.75	84.6	1.7	0.4	1965.5	19.2	29.3	SDR - 41		359.2
1+138		210266.547	547000.931	1941	27.4	388.4	9.75	84.6	1.7	0.9	1964.6	23.6	34.6	SDR - 41	Hector Rivera	386.1
1+114		210236.997	547004.471	1936.9	30.0	418.4	9.75	84.6	1.7	0.9	1963.7	26.8	38.7	SDR - 41	Daniilo Soto A - Julio	415.8
Toma 10	Toma 28	210199.857	547004.251	1932.7	37.4	455.8	9.75	84.6	1.7	1.2	1962.5	29.8	43.0	SDR - 41	Vera Céspedes	453.0
0+986		210106.057	546987.051	1920.9	96.1	551.9	7.32	69.5	1.9	4.6	1957.9	37.0	54.8	SDR - 41		548.3
0+927	Toma 29	210056.527	546953.871	1916.8	59.8	611.7	7.32	69.5	1.9	2.9	1955.0	38.2	58.9	SDR - 41	Miguel Garita	607.9
0+905		210037.397	546945.101	1916.6	21.0	632.7	4.89	69.5	1.3	0.5	1954.5	37.9	59.1	SDR - 41	Jeison Soto R	629.0
Toma 11	Toma 31	210002.497	546941.431	1916.6	35.1	667.8	4.89	69.5	1.3	0.8	1953.7	37.1	59.0	SDR - 41	Alexis Gómez C	664.1
0+831		209967.657	546952.291	1915.4	36.5	704.3	2.46	56.6	1.0	0.6	1953.1	37.7	60.3	SDR 32.5		700.6
0+822		209957.847	546953.021	1914.6	9.9	714.2	2.46	56.6	1.0	0.2	1952.9	38.3	61.0	SDR 32.5		710.4
0+810		209945.237	546949.461	1913.6	13.1	727.3	2.46	56.6	1.0	0.2	1952.7	39.1	62.0	SDR 32.5		723.5
0+771		209912.517	546929.151	1911.5	38.6	765.9	2.46	56.6	1.0	0.7	1952.0	40.5	64.1	SDR 32.5		762.0
0+748		209891.337	546919.271	1910.9	23.4	789.3	2.46	56.6	1.0	0.4	1951.6	40.7	64.7	SDR 32.5		785.4
0+732		209875.537	546916.381	1911.1	16.1	805.3	2.46	56.6	1.0	0.3	1951.3	40.2	64.6	SDR 32.5		801.5
Toma 12	Toma 32	209847.177	546921.671	1911.1	28.8	834.2	2.46	56.6	1.0	0.5	1950.8	39.8	64.6	SDR 32.5	Carlos Soto Viquez	830.3
0+682		209825.497	546926.061	1908.7	22.2	856.4	0	56.6	0.0	0.0	1950.8	42.1	66.9	SDR 32.5		852.4
0+665		209808.867	546921.961	1906.7	17.3	873.7	0	56.6	0.0	0.0	1950.8	44.2	69.0	SDR 32.5		869.5
0+646		209790.677	546913.041	1904	20.4	894.1	0	56.6	0.0	0.0	1950.8	46.8	71.6	SDR 32.5		889.8
Toma 13		209781.937	546905.591	1903.1	11.5	905.6	0	56.6	0.0	0.0	1950.8	47.7	72.6	SDR 32.5		901.3
K67		209774.557	546920.431	1901.4	16.7	922.3	0	56.6	0.0	0.0	1950.8	49.4	74.2	SDR 32.5	Reservorio 2	917.9
K66		209774.557	546920.431	1897.7	3.8	926.0	0	45.9	0.0	0.0	1950.8	53.2	78.0	SDR 26		917.9

Anexo 15. Diseño estático del rol del tanque 1.

Punto	Toma	Lat	Long	Elev.	L	Est	Caudal	D	V	H	NP	CD	Cest	Ced	Observaciones	Distancia Horizontal
K66	Reservorio 2	209774.557	546920.431	1897.7	0.0	0.0	9.752	84.6	1.7	0.0	1898.7	1.0	1.0	SDR - 41		0.0
K65		209774.617	546964.091	1880	47.1	47.1	9.752	84.6	1.7	1.5	1897.2	17.2	18.7	SDR - 41		43.7
K64		209705.247	546988.491	1866.7	74.7	121.8	9.752	84.6	1.7	2.3	1894.8	28.1	32.0	SDR - 41		117.2
K63		209649.957	547012.191	1858.6	60.7	182.5	9.752	84.6	1.7	1.9	1892.9	34.3	40.0	SDR - 41		177.4
K62		209618.607	547027.971	1857.5	35.1	217.6	9.752	84.6	1.7	1.1	1891.8	34.3	41.1	SDR - 41		212.4
K61		209598.547	547039.291	1856	23.1	240.7	9.752	84.6	1.7	0.7	1891.1	35.1	42.6	SDR - 41		235.5
K60		209576.317	547089.011	1829.7	60.5	301.2	9.752	83.4	1.8	2.0	1889.1	59.4	69.0	SDR - 32.5		289.9
K75		209555.407	547120.831	1819.6	39.4	340.6	9.752	82	1.8	1.4	1887.6	68.0	79.1	SDR - 26		328.0
K74		209539.197	547135.971	1816.3	22.4	363.0	9.752	82	1.8	0.8	1886.8	70.5	82.4	SDR - 26		350.2
K73		209538.507	547136.851	1815.8	1.2	364.3	9.752	82	1.8	0.0	1886.8	71.0	82.9	SDR - 26		351.3
K72		209535.397	547137.751	1817.5	3.7	368.0	9.752	82	1.8	0.1	1886.6	69.1	81.1	SDR - 26		354.6
K71		209532.687	547141.061	1819	4.5	372.5	9.752	82	1.8	0.2	1886.5	67.5	79.7	SDR - 26		358.8
K70		209532.237	547141.541	1829	10.0	382.5	9.752	83.4	1.8	0.3	1886.1	57.2	69.7	SDR - 32.5		359.5
K69		209482.457	547163.921	1832.4	54.7	437.2	9.752	83.4	1.8	1.8	1884.3	51.9	66.2	SDR - 32.5		414.1
Toma 14	ET2	209480.237	547189.161	1860.3	37.7	474.8	9.752	84.6	1.7	1.2	1883.1	22.8	38.4	SDR - 41	Inicio Ramal 2	439.4
Toma 15		209470.147	547304.851	1865.2	116.2	591.1	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	17.9	33.5	SDR - 41	Se le quita lo que se le entrega al Ramal 2	555.5
Toma 16		209464.787	547363.851	1866.4	59.3	650.3	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	16.7	32.3	SDR - 41		614.8
Toma 17		209455.137	547433.351	1869.7	70.2	720.6	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	13.4	29.0	SDR - 41		684.9
Toma 18		209458.247	547448.191	1869.5	15.2	735.7	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	13.6	29.2	SDR - 41		700.1
Toma 19		209446.327	547473.071	1866.9	27.7	763.4	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	16.2	31.8	SDR - 41		727.7
K77		209431.447	547501.041	1859.5	32.5	796.0	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	23.6	39.1	SDR - 41		759.4
K78		209411.907	547538.481	1856	42.4	838.3	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	27.1	42.6	SDR - 41		801.6
K81		209385.627	547592.281	1855.6	59.9	898.2	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	27.5	43.0	SDR - 41		861.5
K82		209345.247	547671.171	1852.9	88.7	986.9	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	30.2	45.7	SDR - 41		950.1
K83		209341.607	547679.151	1858.4	10.3	997.2	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	24.7	40.2	SDR - 41		958.9
Toma 20	Toma Final	209382.854	547699.214	1868.8	47.0	1044.2	0	84.6	0.0	0.0	1883.1	14.3	29.8	SDR - 41	Final de la red del R2	1004.8

Anexo 16. Diseño estático del rol del tanque 2.

Punto	Toma	Lat	Long	Elev.	L	Est	Caudal	D	V	H	NP	CD	Cest	Ced	Observaciones	Distancia Horizontal
T11		209470.147	547304.851	1860.3	0.0	0.0	9.72	84.6	1.7	0.0	1883.2	22.9	22.9	SDR - 41	Rolando Fernandez V	0.0
E4		209422.437	547302.171	1850.2	48.8	48.8	9.72	84.6	1.7	1.5	1881.7	31.4	33.0	SDR - 41	Sonia Rivera C - Cristobal Madriz M - Sandra Zuriaga M	47.8
Toma 21	Toma 38	209328.737	547295.531	1831.5	95.8	144.6	9.72	83.4	1.8	3.2	1878.5	46.9	51.7	SDR - 32.5	Genoveva Viquez- Mercedes Quirós	141.7
Toma 22	Toma 39	209298.407	547295.121	1827.4	30.6	175.2	9.72	83.4	1.8	1.0	1877.4	50.0	55.8	SDR - 32.5	Luz Maria Viquez C	172.1
Toma 23		209268.267	547293.531	1820.8	30.9	206.1	7.29	67.4	2.0	1.7	1875.7	55.0	62.4	SDR - 26	Benjamin Nuñez V - José Gómez G	202.2
K55		209238.907	547291.681	1814.6	30.1	236.2	7.29	67.4	2.0	1.7	1874.1	59.4	68.6	SDR - 26	Inicio Ramal 2.1	231.7
Toma 24		209209.727	547289.201	1810.1	29.6	265.8	2.45	55.37	1.0	0.6	1873.5	63.4	73.1	SDR - 26		260.9
Toma 25	Toma 42	209143.477	547287.791	1803	66.6	332.4	2.45	55.37	1.0	1.3	1872.2	69.2	80.2	SDR - 26	Randall Rojas M	327.2

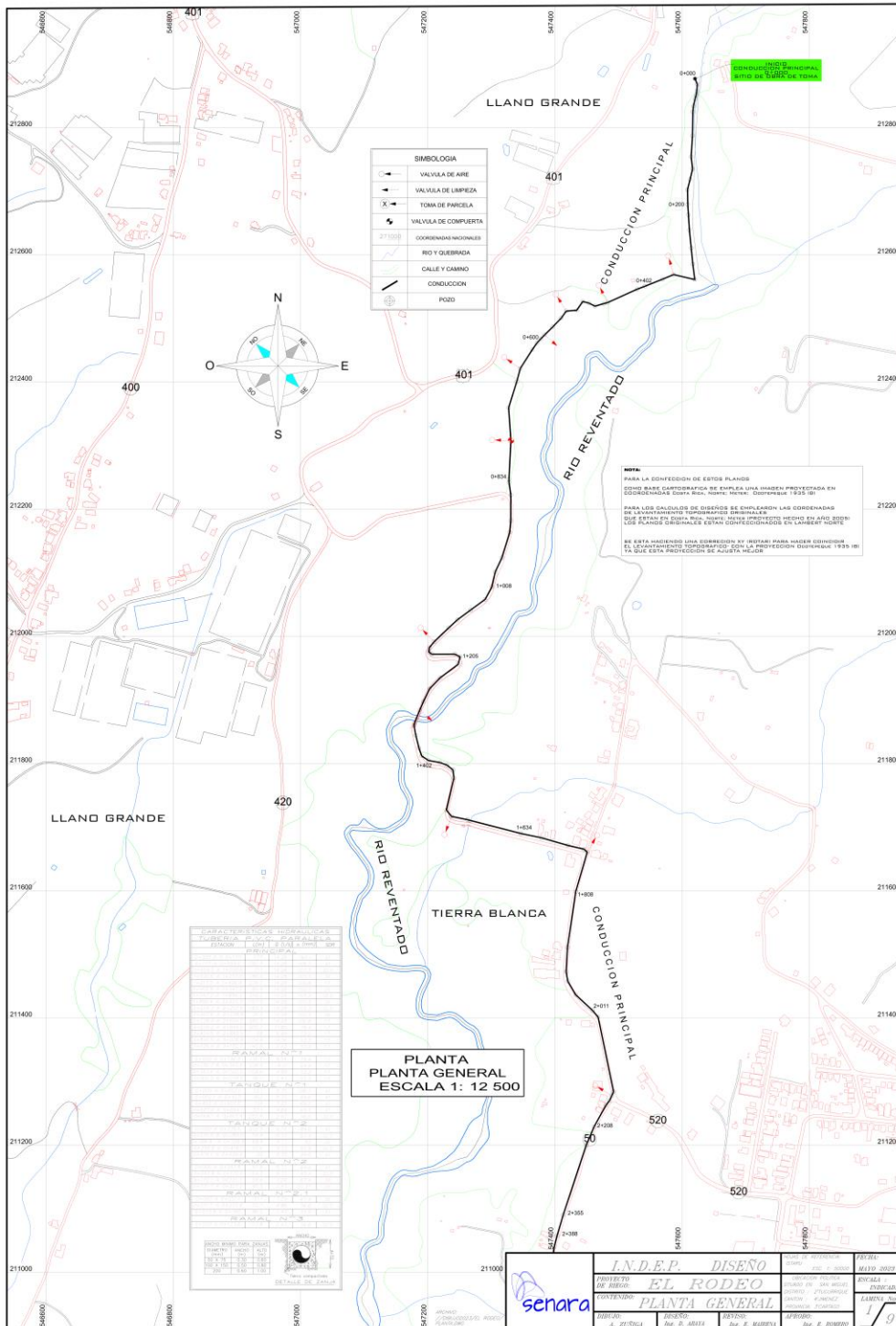
Anexo 17. Diseño estático del rol del ramal 2.

Punto	Toma	Lat	Long	Elev.	L	Est	Caudal	D	V	H	NP	CD	Cest	Ced	Observaciones	Distancia Horizontal
K55		209238.644	547291.677	1814.6	0.0	0.0	7.29	67.4	2.0	0.0	1874.1	59.4	59.4	SDR - 26		0.0
K56	Toma 43	209235.554	547342.697	1821.7	51.6	51.6	7.29	67.4	2.0	2.9	1871.2	49.5	52.3	SDR - 26	Jóse Araya V	51.1
Toma 26	Toma 44	209234.134	547365.317	1824.1	22.8	74.4	4.86	56.6	1.9	1.4	1869.8	45.7	50.0	SDR - 32.5	Jóse Luis Loria G	73.8
10	Toma 47	209226.444	547451.207	1857	92.3	166.7	2.43	56.6	1.0	1.6	1868.2	11.2	17.1	SDR - 41	Miguel Monge - Jóse Gari	160.0

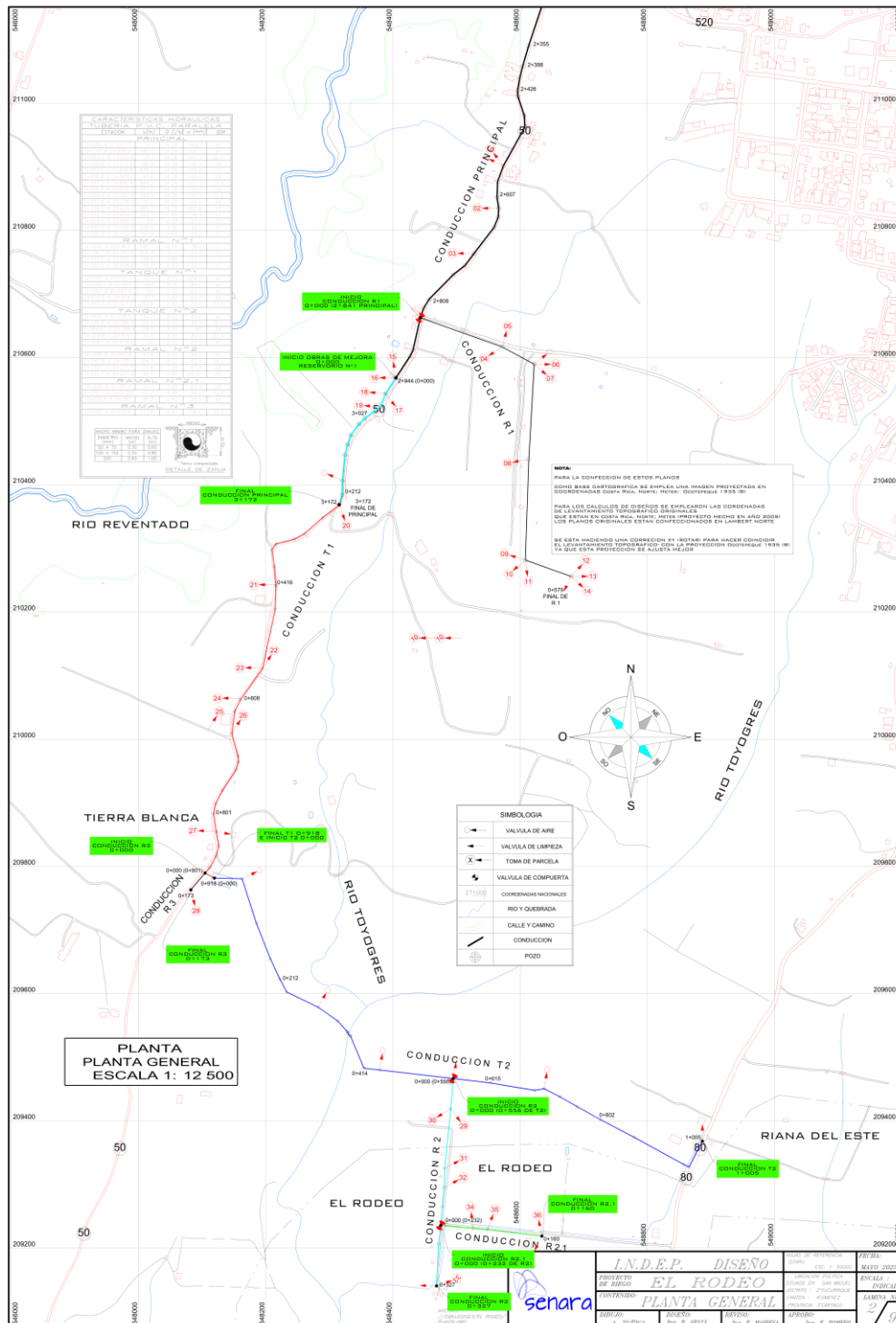
Anexo 18. Diseño estático del rol del ramal 2.1.

Punto	Lat	Long	Elev.	L	Est	Caudal	D	V	H	NP	CD	Cest	Ced	Observaciones	Distancia Horizontal
Toma 13	209781.937	546905.591	1903.1	0.0	0.0	2.43	56.6	1.0	0.0	1958.8	55.7	55.7	SDR - 32.5		0.0
Toma OS	209950	546950	1888	174.5	174.5	2.43	56.6	1.0	3.0	1955.8	67.8	70.8	SDR - 32.5	Toma Oscar Soto / No hay LAT, LONG, ELEV	173.8

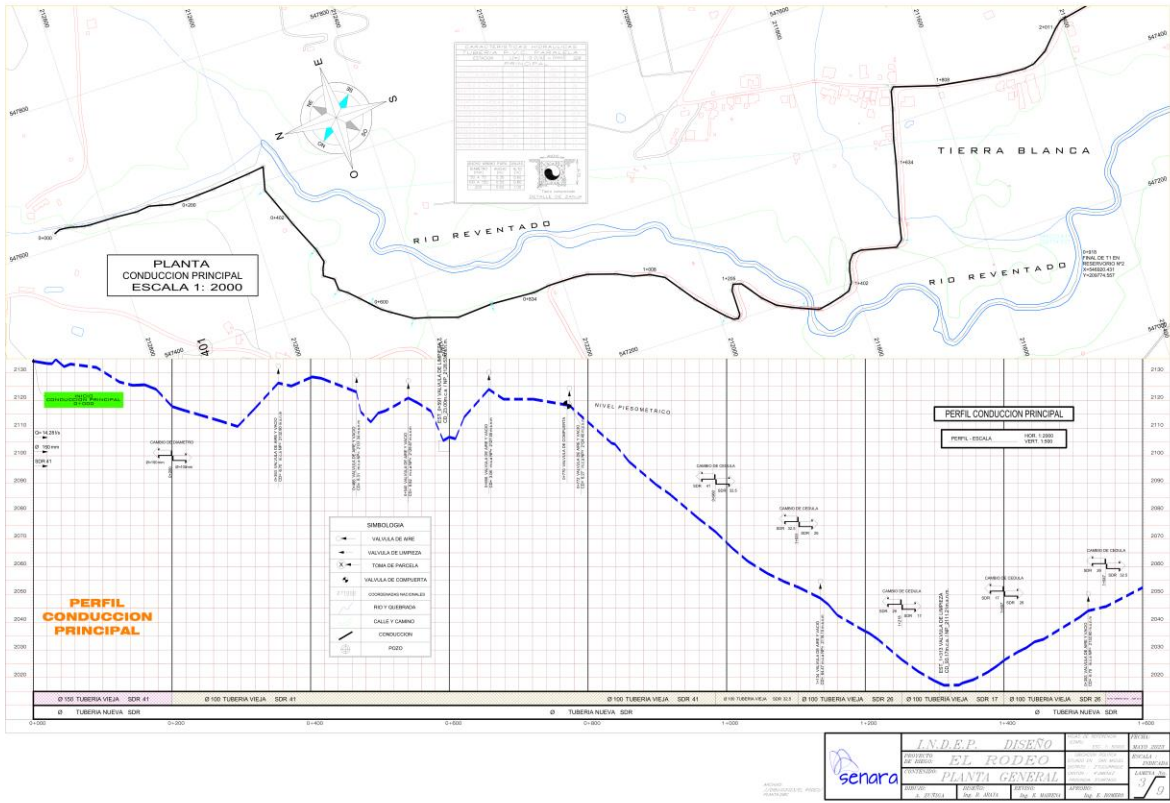
Anexo 19. Diseño estático del rol del ramal 3.



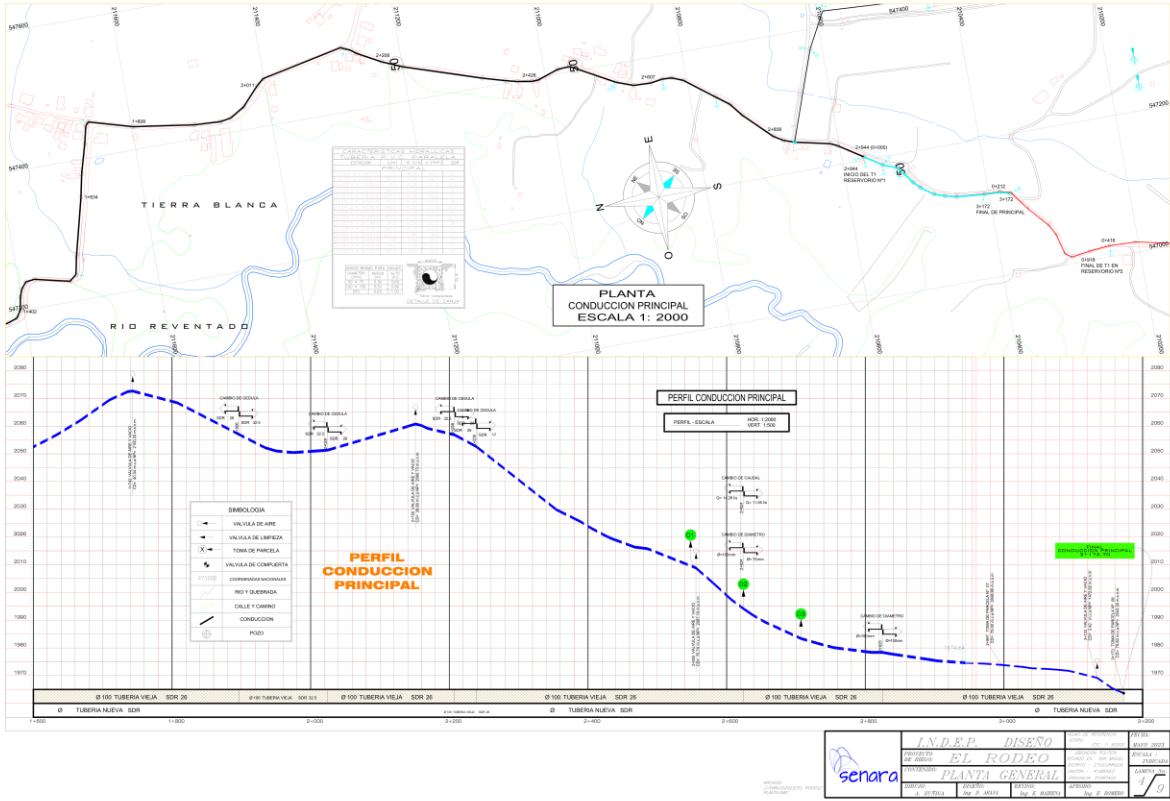
Anexo 20. Diseño de la red de conducción del Proyecto El Rodeo de la estación principal 0+000 a la 2+388.



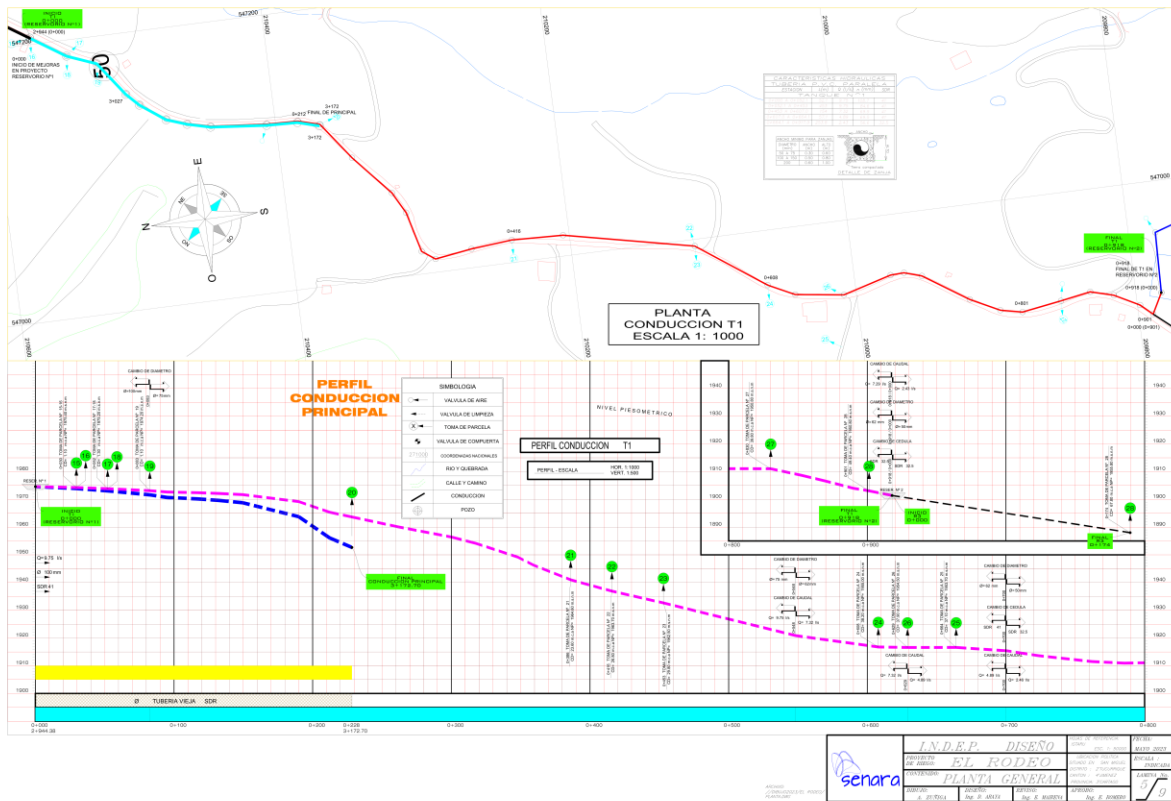
Anexo 21. Diseño de la red de conducción del Proyecto El Rodeo de la estación 2+388 de la principal hasta el ramal 2.1.



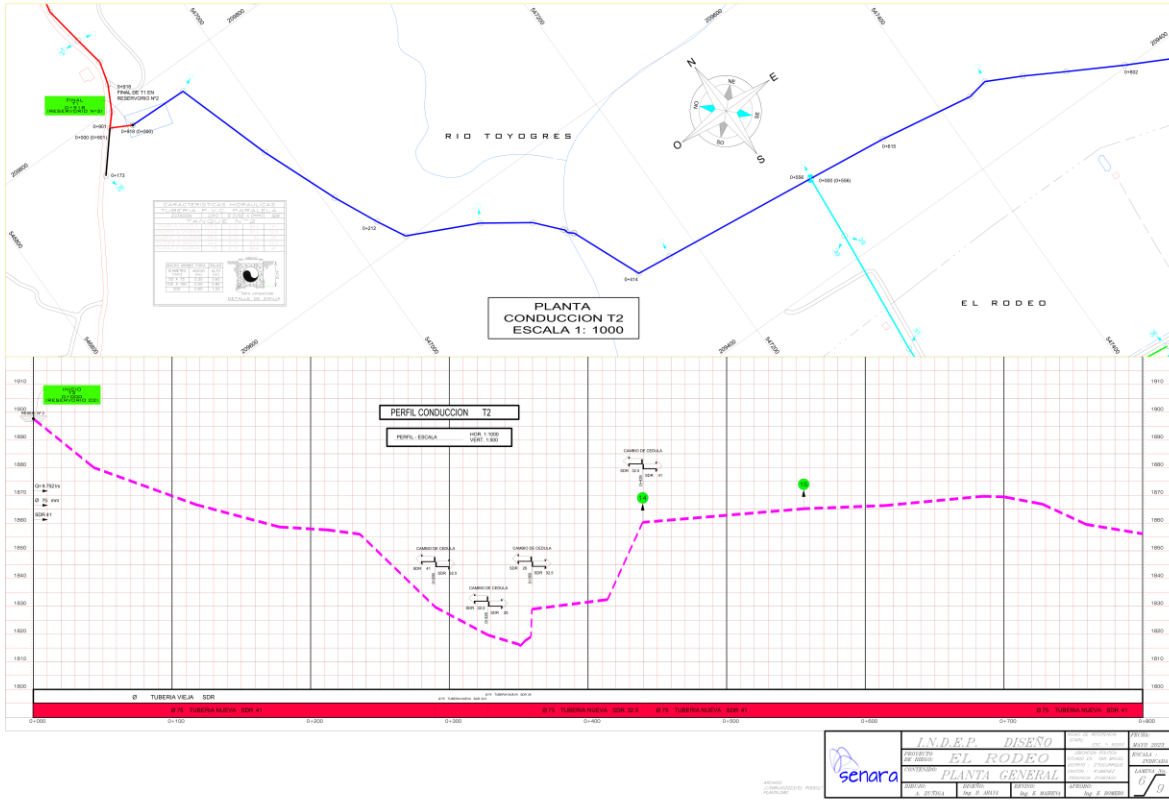
Anexo 22. Plano perfil de la conducción principal de la estación 0+000 a la 1+600.



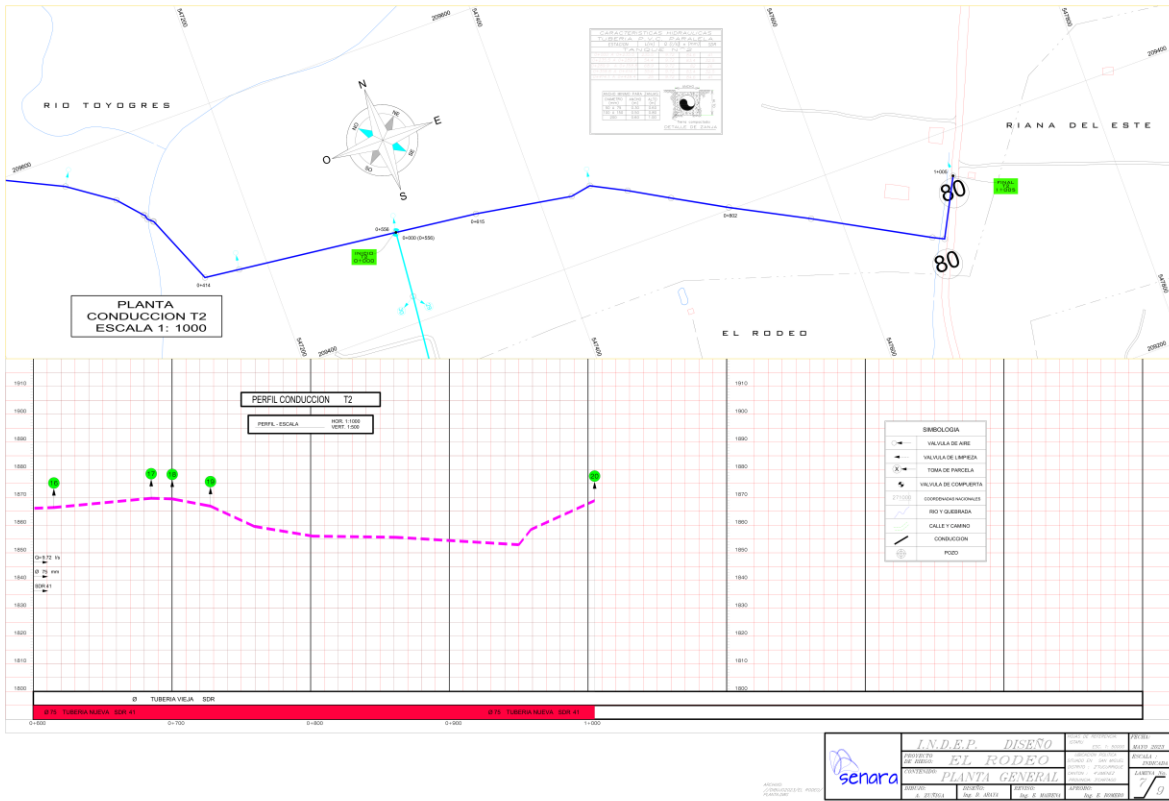
Anexo 23. Plano perfil de la conducción principal de la estación 1+600 a la 3+200



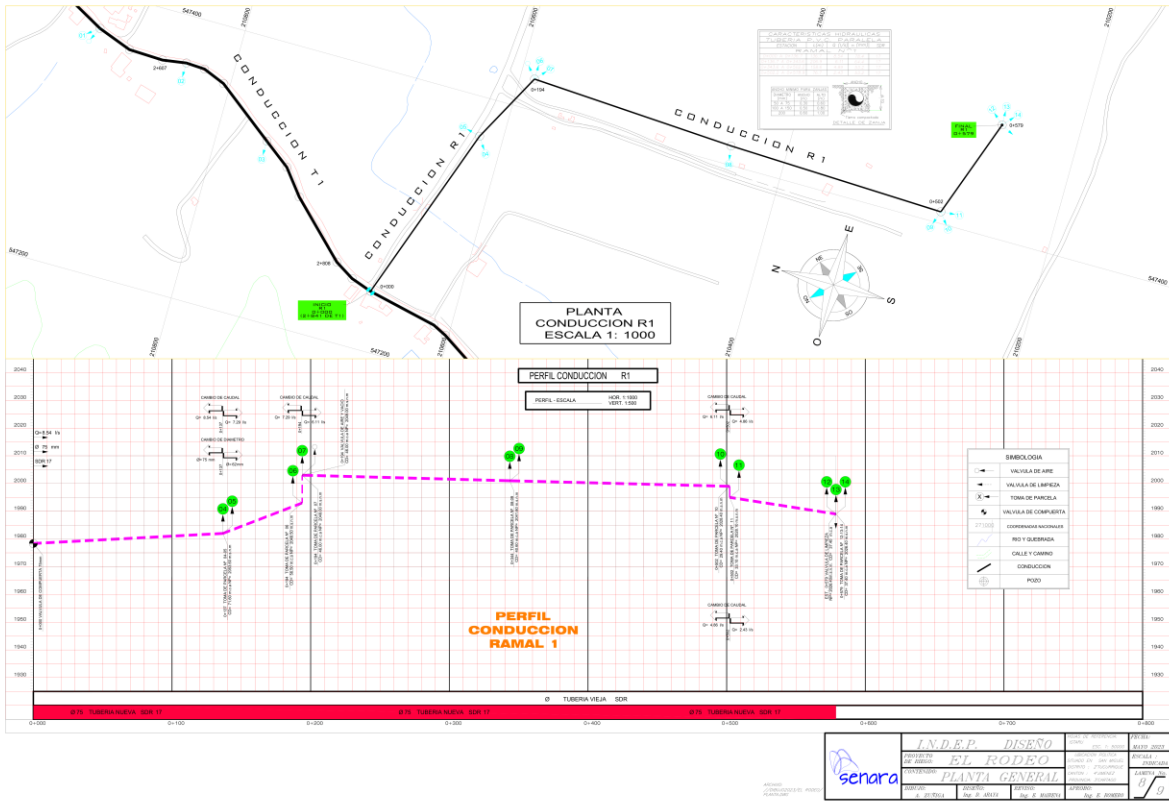
Anexo 24. Plano perfil de la conducción del tanque 1 de la estación 0+000 a la 0+800.



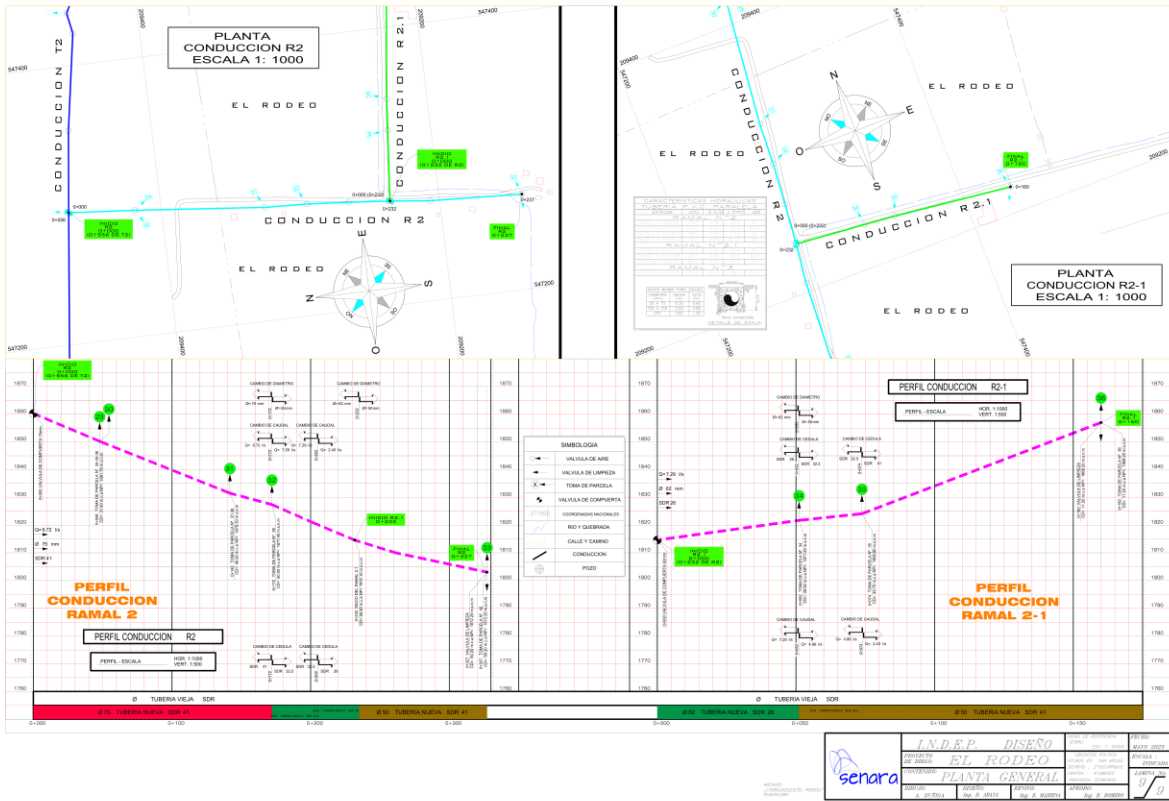
Anexo 25. Plano perfil de la conducción del tanque 2 de la estación 0+000 a la 0+800.



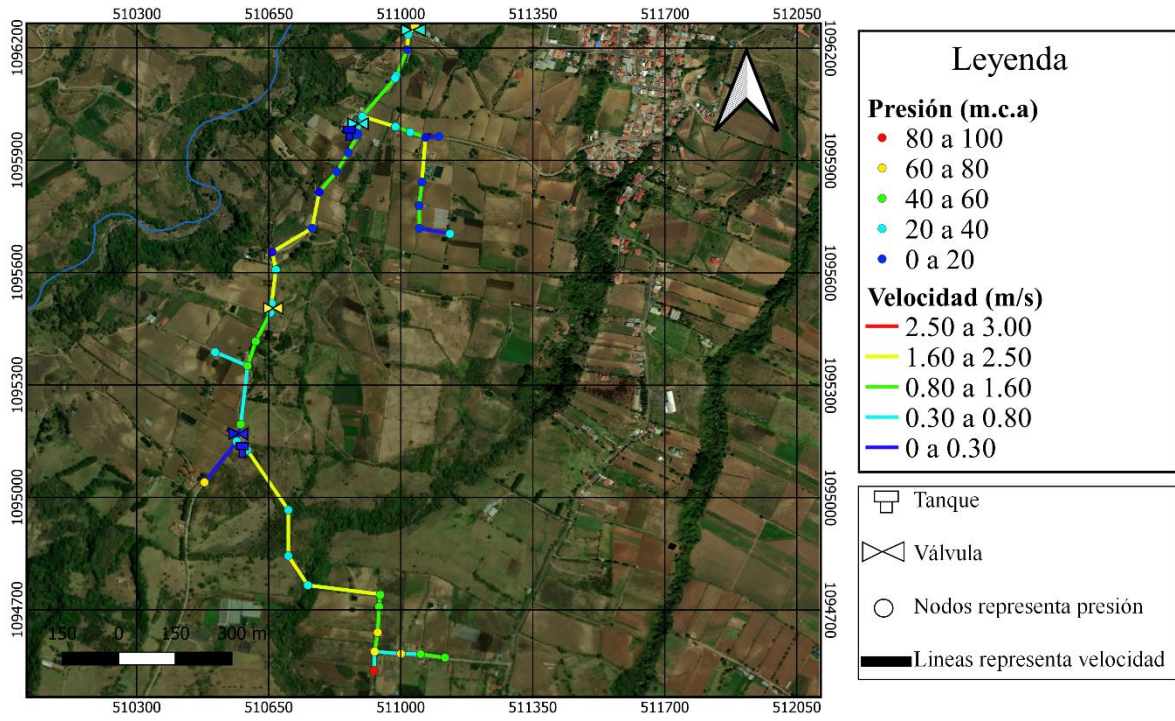
Anexo 26. Plano perfil de la conducción del tanque 2 de la estación 0+600 a la 1+000.



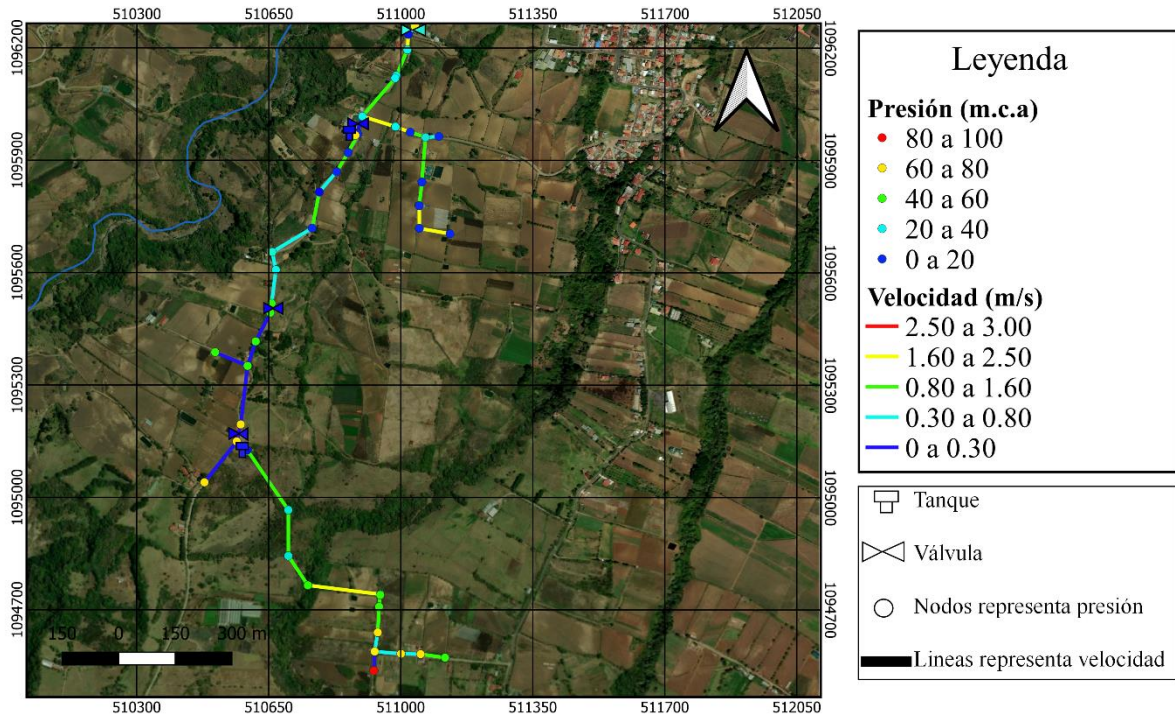
Anexo 27. Plano perfil de la conducción del ramal 1 de la estación 0+000 a la 0+800.



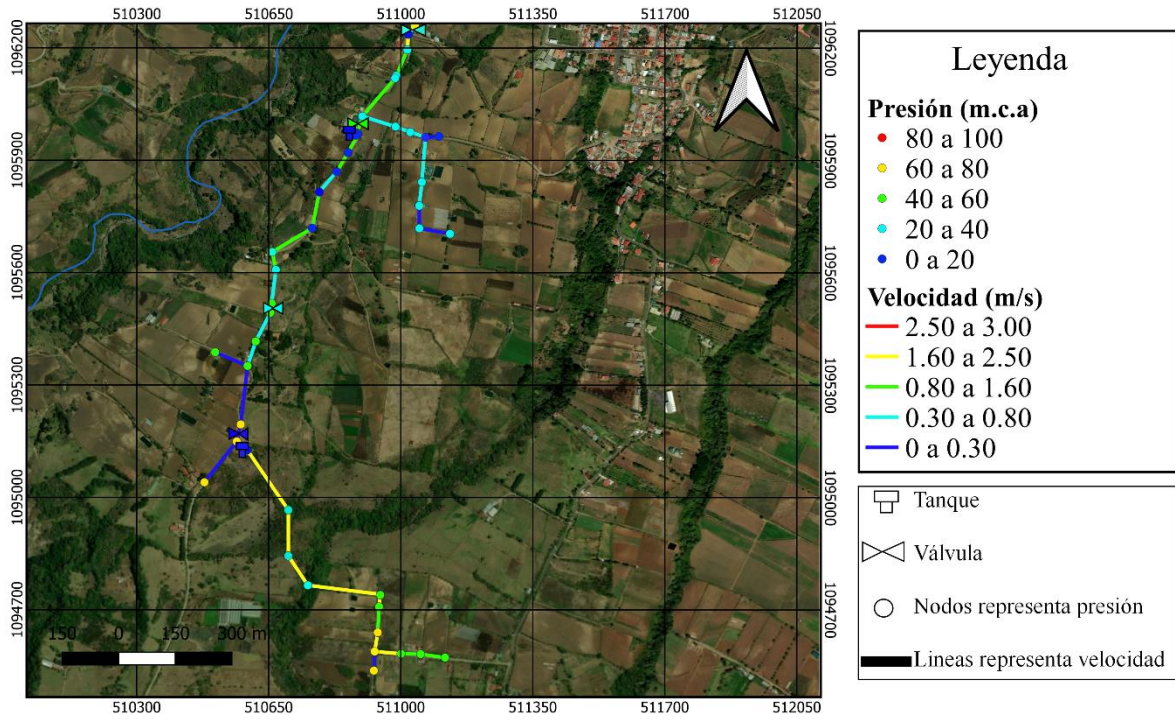
Anexo 28. Plano perfil de la conducción del ramal 2 de la estación 0+000 a la 0+300 y del ramal 2.1 de la estación 0+000 a la 0+150.



Anexo 29. Modelación en EPANET del jueves a las 2pm.



Anexo 30. Modelación en EPANET del viernes a las 2pm.



Anexo 31. Modelación en EPANET del sábado a las 2pm.



Anexo 32. Captación de agua en el Río Reventado