



**FACULTAD DE
CIENCIA Y
TECNOLOGÍA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO PARA LA
COMUNIDAD DE LA LOMA LENTAG - PARROQUIA LA ASUNCIÓN,
CANTÓN GIRÓN, PROVINCIA DE AZUAY”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Andrés Gutiérrez

Edwin Jarrín Valverde

DIRECTOR:

Ing. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster

CUENCA – ECUADOR

2026

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico, en primer lugar, a Dios, por guiarme a lo largo de mi formación académica y profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional, esfuerzo y sacrificio, quienes han sido el pilar fundamental para culminar esta importante etapa de mi vida.

A mis hermanos, por ser una fuente permanente de motivación en los momentos desafiantes e impulsarme siempre a seguir adelante.

A mis abuelos Carlos y Elena, quienes fueron un ejemplo de esfuerzo y dedicación a lo largo de sus vidas.

A mis abuelos Gustavo y Zara, por su compañía, cariño y confianza.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron con su apoyo y confianza para alcanzar esta meta profesional.

Jarrin Valverde Edwin

El presente trabajo se lo dedico en especial a mis padres por ser un pilar importante en mi vida, por su amor incondicional, por sus sacrificios y por acompañarme en cada paso de este camino, dándome la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta. A mis abuelos, en especial a Guillermina y Andrés por su apoyo incondicional y por haber estado conmigo desde siempre. A mis hermanos Agustín y Jeremías y a mis primos por los buenos momentos compartidos. A mis compañeros quienes han hecho que incluso los momentos más difíciles los han hecho fáciles gracias a su apoyo y disposición para ayudar en cualquier momento. Por último, a mis amistades y mi pareja quienes me brindaron apoyo, compañía y motivación durante este proceso

Juan Andrés Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestras familias, por el apoyo y confianza durante este proceso de formación universitaria.

A la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay, por contribuir a nuestra formación académica, profesional y humana.

De manera especial, extendemos nuestro agradecimiento al Ing. Javier Fernández de Córdova, director de tesis, y al Ing. Josué Larriva, por su orientación, dedicación y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y acompañamiento fueron fundamentales.

Asimismo, agradecemos a la Dirección de Riego de la Prefectura del Azuay, en especial al Ing. Daniel Tenelanda y al Ing. Mauricio Ávila, por su colaboración, recomendaciones técnicas y apoyo brindado.

Finalmente, a nuestros amigos y a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE DE CONTENIDOS.....	4
INDICE FIGURAS	7
INDICE TABLAS	8
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN.....	10
ANTECEDENTES.....	11
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
CAPÍTULO 1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL PROYECTO	14
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.....	14
1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	15
1.4. CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS	16
1.5. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS.....	18
1.6. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA.....	19
1.7. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	20
1.7.1. <i>Textura del suelo</i>	22
1.7.2. <i>Porosidad</i>	23
1.7.3. <i>Contenido de agua en el suelo</i>	23
1.7.4. <i>Niveles de agua en el suelo</i>	24

CAPÍTULO 2. CRITERIOS DE DISEÑO	25
2.1. DISEÑO AGRONÓMICO	25
2.1.1. <i>Precipitaciones</i>	25
2.1.2. <i>Evapotranspiración</i>	28
2.1.3. <i>Necesidades de riego</i>	35
2.1.4. <i>Parámetros de riego</i>	35
2.1.5. <i>Caudal necesario</i>	38
2.1.6. <i>Riego por aspersión</i>	39
2.2. DISEÑO HIDRÁULICO	45
2.2.1. <i>Definiciones generales</i>	45
2.2.2. <i>Hidrostática</i>	46
2.2.3. <i>Hidrodinámica</i>	47
2.2.4. <i>Parámetros de la línea de conducción</i>	49
2.2.5. <i>Estructuras complementarias</i>	55
2.2.6. <i>Elementos especiales de una instalación</i>	57
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO.....	68
3.1. DISEÑO AGRONÓMICO	68
3.1.2. <i>Delimitación del Área de estudio</i>	68
3.1.3. <i>Criterios de taxonomía del suelo</i>	69
3.1.4. <i>Características climáticas</i>	70
3.1.5. <i>Evapotranspiración potencial</i>	74
3.1.6. <i>Características de cultivo</i>	75
3.1.7. <i>Evapotranspiración de cultivo</i>	77
3.1.8. <i>Necesidades netas de riego</i>	79
3.1.9. <i>Parámetros de riego</i>	83
3.1.10. <i>Caudal necesario</i>	86
3.2. DISEÑO HIDRÁULICO	88

3.2.1. Topografía	88
3.2.1.1. Equipos de medición.....	88
3.2.2. Diseño hidráulico de la red de distribución.....	89
3.2.4. Análisis hidráulico de la conducción (Hojas de cálculo).....	91
3.2.3. Datos de ingreso y resultados del modelo hidráulico en WaterCAD.....	94
CAPÍTULO 4. VALORACIÓN DEL PROYECTO.....	99
4.1. CANTIDADES DE OBRA.....	99
4.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	100
4.3. PRESUPUESTO.....	101
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES	103

INDICE FIGURAS

FIGURA 1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PARROQUIA LA ASUNCIÓN EN LA PROVINCIA DEL AZUAY.....	15
FIGURA 1.2. MAPA DE ISOYETAS DE LA PARROQUIA LA ASUNCIÓN.....	18
TABLA 1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	21
FIGURA 2.1 TUBERÍAS DE FIBROCEMENTO.....	58
FIGURA 2.2 TUBERÍAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC).....	60
FIGURA 2.3. TUBERÍAS DE POLIETILENO (PE).....	61
FIGURA 2.4 PRINCIPALES TIPOS DE VÁLVULAS DE RETENCIÓN UTILIZADOS EN SISTEMAS HIDRÁULICOS.....	64
FIGURA 2.5. VÁLVULA DE PIE.....	64
FIGURA 2.6. TIPOS DE VÁLVULAS.....	65
FIGURA 2.7. VÁLVULAS AUTOMÁTICAS DE CONTROL.....	66
FIGURA 3.1. TAXONOMÍA DE SUELOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	69
FIGURA 3.2. CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) PARA CAÑA DE AZÚCAR GENERADA EN EL SOFTWARE CROPWAT 8.0.....	78
FIGURA 3.3. CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) PARA ARBOLES CÍTRICOS GENERADA EN EL SOFTWARE CROPWAT 8.0.....	79
FIGURA 3.4. CURVA DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) PARA PASTO GENERADA EN EL SOFTWARE CROPWAT 8.....	79
FIGURA 3.10. PERFIL HIDRÁULICO LONGITUDINAL DESDE LA CAPTACIÓN HASTA EL INICIO DE LA BIFURCACIÓN.....	97
FIGURA 3.11. PERFIL HIDRÁULICO LONGITUDINAL DESDE LA BIFURCACIÓN HASTA EL FINAL DE LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL.....	98

FIGURA 3.12. PERFIL HIDRÁULICO LONGITUDINAL DESDE LA BIFURCACIÓN HASTA EL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SECUNDARIA.	98
---	----

INDICE TABLAS

TABLA 1.1. POBLACIÓN SEGÚN PROVINCIA, CANTÓN Y PARROQUIA.....	14
TABLA 1.2. LÍMITES MÁXIMOS ADMISIBLES DE CALIDAD DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA	19
TABLA 2.1. EFICIENCIAS DE RIEGO ESTIMADAS EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE RIEGO.....	37
TABLA 2.2. COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS (C).....	52
TABLA 2.3. VELOCIDADES MÁXIMAS PERMISIBLES Y COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	55
TABLA 2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE FIBROCEMENTO	58
TABLA 2.5. ESPESOR DE LA PARED DE LAS TUBERÍAS DE FIBROCEMENTO	58
TABLA 2.6. ESPESOR DE TUBERÍAS DE PVC	60
TABLA 2.7. ESPESOR DE TUBERÍAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LPDE)	62
TABLA 2.8. ESPESOR DE TUBERÍAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)	62
TABLA 3.1. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO	71
TABLA 3.2. PRECIPITACIÓN PROBABLE MENSUAL AL 75%.....	72
TABLA 3.3. PRECIPITACIÓN EFECTIVA MENSUAL	73
TABLA 3.4. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS MEDIAS MENSUALES – AÑO 2018	74
TABLA 3.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA MENSUAL (ET ₀)	74
TABLA 3.6. DURACIÓN DE CULTIVOS PREDOMINANTES	76
TABLA 3.7. PROFUNDIDAD RADICULAR DE CULTIVOS	76
TABLA 3.8. COEFICIENTES DE CULTIVO (KC)	77

TABLA 3.9. BALANCE HÍDRICO Y NECESIDADES NETAS DE RIEGO DEL CULTIVO DE PASTO ELEFANTE.....	80
TABLA 3.10. BALANCE HÍDRICO Y NECESIDADES NETAS DE RIEGO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	81
TABLA 3.11. BALANCE HÍDRICO Y NECESIDADES NETAS DE RIEGO DEL CULTIVO DE ARBOLES FRUTALES CÍTRICOS.....	82
TABLA 3.12. PARÁMETROS DE RIEGO.....	86
TABLA 3.13. RESUMEN DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA CONDUCCIÓN PRINCIPAL.	92
TABLA 3.14. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA LÍNEA SECUNDARIA DEL SISTEMA DE RIEGO..	94
TABLA 3.15. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS VÁLVULAS ROMPE-PRESIÓN (VRP)	95
TABLA 3.16. RESUMEN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA RED DE CONDUCCIÓN (PVC, C = 150).....	96

RESUMEN

En la parroquia La Asunción, cantón Girón, provincia del Azuay, se llevó a cabo un estudio en la comunidad de la Loma de Lentag con el objetivo de optimizar el uso del agua. El estudio abarcó un área regable de aproximadamente 158 hectáreas, determinada mediante análisis espacial. Con base en el diseño agronómico, se calcularon las necesidades hídricas de los cultivos, resultando en una demanda de riego de alrededor de 4,75 milímetros por día. Esta información fue fundamental para determinar el caudal necesario para el sistema de riego. Con base en estos resultados, se desarrolló el diseño hidráulico a nivel general de la conducción principal, considerando las condiciones topográficas del terreno. Finalmente se realizó la valoración del presupuesto de prefactibilidad, analizando las cantidades del proyecto y usando precios unitarios que maneja la prefectura del Azuay.

Palabras clave: riego presurizado, área regable, diseño agronómico, caudal de diseño, diseño hidráulico.

ABSTRACT

A study with the objective of optimizing water use was conducted at the community of Loma de Lentag in the parish of La Asunción, in Girón, a canton of the province of Azuay. The study covered an irrigable area of approximately 158 hectares, determined through spatial analysis. Based on the agronomic design, the water requirements of the crops were calculated, resulting in an irrigation demand of approximately 4.75 millimeters per day. This information was fundamental in determining the flow rate required for the irrigation system. Based on these results, the general hydraulic design of the main pipeline was developed, taking into account the topographic conditions of the land. Finally, a pre-feasibility budget was evaluated, analyzing the quantities for the project and using unit prices established by Prefectura del Azuay.

Keywords: pressurized irrigation, irrigable area, agronomic design, design flow rate, hydraulic design.

INTRODUCCIÓN

La comunidad de La Loma de Lentag, en la parroquia La Asunción del cantón Girón, ha reconocido la urgente necesidad de mejorar su sistema de riego actual. El objetivo es optimizar el uso del agua y fortalecer la producción agrícola.

El sistema existente tiene fallas en la conducción y distribución del agua, lo que provoca pérdidas importantes y baja eficiencia en el riego. Esto afecta directamente el rendimiento de los cultivos y la economía de las familias agrícolas, sobre todo durante los periodos de sequía, impactando principalmente a los usuarios de los tramos finales del sistema.

Para abordar este problema, se propone diseñar un sistema de riego presurizado. Este sistema mejorará la eficiencia hidráulica, garantizará una distribución equitativa del agua y contribuirá al desarrollo productivo de la comunidad.

El estudio actual analiza las condiciones agroclimáticas, topográficas y edáficas del sector, así como las necesidades hídricas de los cultivos. También incluye el diseño hidráulico correspondiente. El objetivo es proponer una solución técnica viable, sostenible y adecuada a las características del territorio.

ANTECEDENTES

La comunidad de La Loma de Lentag se caracteriza por desarrollar actividades agrícolas y ganaderas a pequeña escala, constituyendo estas su principal fuente de sustento económico. Históricamente, el riego en la zona se ha realizado mediante sistemas tradicionales de canales abiertos y riego por gravedad, los cuales presentan bajos niveles de eficiencia, debido al deterioro de sus canales y por su topografía que es muy montañosa e irregular.

Durante la época de estiaje, la disponibilidad de agua disminuye considerablemente, generando conflictos en la distribución del recurso, afectando el desarrollo de los cultivos y generando pérdidas económicas en las familias agricultoras. La falta de tecnificación del sistema limita la posibilidad de diversificar la producción agrícola y mejorar los rendimientos.

A nivel provincial, el fortalecimiento y modernización de los sistemas de riego ha sido identificado como una prioridad dentro del Plan Provincial de Riego y Drenaje del Azuay 2025–2039, el cual promueve la tecnificación del riego en comunidades rurales para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico y mejorar la productividad agrícola.

En este contexto, la propuesta de diseñar un sistema de riego presurizado para la comunidad responde tanto a una necesidad local como a los lineamientos establecidos en los planes de desarrollo territorial.

JUSTIFICACIÓN

La comunidad de La Loma de Lentag, ubicada en la parroquia La Asunción del cantón Girón, provincia del Azuay, depende principalmente de la agricultura y la ganadería como actividades económicas de subsistencia y comercialización local. Sin embargo, estas actividades enfrentan limitaciones debido a la insuficiencia y deficiente distribución del recurso hídrico, situación que se intensifica durante los meses de estiaje.

Actualmente, el riego se realiza mediante métodos tradicionales que presentan pérdidas por infiltración, evaporación y escorrentía, además de una distribución desigual entre los usuarios. limita la estabilidad de los ingresos y reduce la productividad agrícola anual.

El diseño de un sistema de riego presurizado constituye una alternativa técnica que permitirá mejorar significativamente la eficiencia de aplicación del agua, alcanzando niveles de aprovechamiento cercanos al 85–90%. Esto contribuirá a:

- Garantizar una distribución uniforme del recurso hídrico.
- Reducir pérdidas en conducción y aplicación.
- Incrementar el rendimiento de los cultivos.
- Mejorar los ingresos de las familias agricultoras.
- Promover la sostenibilidad ambiental.

Desde el punto de vista social y económico, la implementación del sistema fortalecerá la seguridad alimentaria, permitirá la diversificación de cultivos y aumentará la competitividad de la producción local.

Además, el proyecto se encuentra alineado con las políticas de desarrollo provincial y nacional orientadas a la gestión eficiente del agua y la adaptación al cambio climático. Por lo tanto,

el presente estudio no solo responde a una necesidad técnica, sino que también contribuye al desarrollo sostenible de la comunidad.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de riego presurizado para la comunidad de La Loma de Lentag, parroquia La Asunción, cantón Girón, provincia del Azuay, que permita optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la productividad agrícola.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar y analizar la información necesaria para el diseño, correspondiente a las condiciones agroclimáticas, topográficas, disponibilidad de agua y características del suelo.
- Obtener las necesidades hídricas de los cultivos a través de un diseño agronómico.
- Desarrollar el diseño hidráulico del sistema de riego presurizado.

Capítulo 1. Recopilación y análisis de la información del proyecto

1.1. Descripción de la zona

El proyecto del diseño de un sistema de riego presurizado para la comunidad de la loma de Lentag está ubicado en la parroquia La Asunción, del cantón Girón localizado en la provincia del Azuay al sur del Ecuador. La parroquia La Asunción se encuentra a 64 km de la ciudad de Cuenca y se encuentra entre los 2400 a 3000 msnm (GAD parroquial La Asunción, 2022).

Según los datos obtenidos en el último censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de estadísticas y censos (INEC) en el año 2010 la población del cantón Girón fue de 12.607 habitantes y específicamente de la parroquia La Asunción 3.051 habitantes siendo este el 24.2% de la población total del cantón.

Tabla 1.1. Población según provincia, cantón y parroquia.

GIRON		URBANO	RURAL	Total
	ASUNCION	-	3,051	3,051
	GIRON	4,016	4,421	8,437
	SAN GERARDO	-	1,119	1,119
	Total	4,016	8,591	12,607

Fuente: INEC 2010 – Censo de población y vivienda.

Según los datos de la Población Económicamente Activa (PEA) de la parroquia La Asunción, el 53,09% de la población se dedica a actividades de agricultura, ganadería y pesca (GAD Parroquial La Asunción, 2020). Esto demuestra que la economía local depende principalmente del sector agropecuario, el cual requiere disponibilidad constante de agua para su desarrollo. Para mejorar la eficiencia del uso del agua, es necesario actualizar el sistema de riego actual a uno presurizado.

La red hidrográfica del proyecto está conformada principalmente por el río Rircay y diversas quebradas de régimen estacional, que contribuyen a la recarga hídrica local. Estas quebradas, junto con drenajes de menor tamaño, alimentan los canales utilizados para la producción agrícola.

1.2. Ubicación Geográfica

La comunidad de la Loma de Lentag se encuentra situada en la parroquia La Asunción, cantón Girón, provincia del Azuay, al sur del Ecuador. Esta zona forma parte del sector rural del cantón y se caracteriza por su entorno predominantemente agrícola. Su ubicación territorial dentro de la provincia se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Ubicación geográfica de la parroquia La Asunción en la provincia del Azuay.

Fuente: Google Earth (2026).

1.3. Tipo de Sistema de Riego Actual

El sector de La Loma de Lentag actualmente es maneja un sistema de riego tradicional por gravedad, el cual permite la conducción del agua desde la fuente de captación hasta las parcelas agrícolas mediante canales abiertos y, en ciertos tramos, tuberías instaladas de manera parcial. Este sistema ha sido utilizado durante varios años como mecanismo principal de abastecimiento hídrico para la producción agrícola de la zona.

El riego por gravedad transporta el agua aprovechando la pendiente natural del terreno, sin necesidad de presión adicional. Sin embargo, este sistema tiene limitaciones técnicas importantes, como pérdidas por infiltración en canales no revestidos, evaporación, dificultades para controlar los caudales y distribución desigual entre los usuarios. Estas condiciones reducen la eficiencia del sistema y generan déficit hídrico en algunas parcelas, sobre todo en épocas de sequía.

Las condiciones topográficas del área de estudio, con pendientes variables, afectan la distribución no uniforme del agua. En zonas con mayor inclinación, el agua fluye más rápido, lo que puede causar erosión superficial y arrastre de sedimentos. En cambio, en áreas con menor pendiente, se pueden formar estancamientos y pérdidas por infiltración.

Para solucionar estos problemas, el proyecto propone diseñar un sistema de conducción principal presurizado. Esto mejorará la eficiencia hidráulica y garantizará una distribución más equitativa del agua. Los sistemas presurizados se caracterizan por transportar el agua a través de tuberías cerradas bajo presión controlada, reduciendo significativamente las pérdidas y permitiendo una regulación más precisa del caudal entregado a cada usuario.

1.4. Condiciones Agroclimáticas

La zona del proyecto que pertenece a la zona baja hacia el sur de la parroquia La Asunción corresponde al piso bioclimático xérico, el cual se caracteriza por la escasez de lluvias con largas sequías o meses con precipitaciones escasas a diferencia de las partes altas de la parroquia que tienen un bioclima pluvioestacional, cuenta con una temperatura media entre los 14 y 20 grados Celsius. Este rango de temperatura media templada es el que permite la agricultura y pastoreo en estas zonas de análisis.

El clima predominante en la zona corresponde a los tipos Ecuatorial Mesotérmico Húmedo y Ecuatorial Mesotérmico Seco, presentando una marcada estacionalidad en la distribución de las precipitaciones. La época lluviosa se concentra principalmente entre los meses de enero a abril, con máximos en febrero y marzo, donde se registran valores cercanos a los 80 mm/mes. Por otro lado, la época seca se extiende entre los meses de mayo a diciembre, presentando los valores más bajos entre junio y septiembre, con precipitaciones que pueden descender hasta aproximadamente 20 mm/mes, configurando un periodo seco prolongado que puede durar entre 6 y 10 meses.

De acuerdo con el Mapa 12 (Isoyetas de la parroquia La Asunción), se identifican dos rangos principales de precipitación anual: 250–500 mm y 500–750 mm. La mayor parte del territorio parroquial se encuentra dentro del rango de 500–750 mm, mientras que el sector sur, donde se localiza el área específica del proyecto, se ubica predominantemente dentro del rango de 250–500 mm/año, lo que confirma la limitada disponibilidad hídrica en esta zona.

En cuanto al déficit hídrico, la parte sur de la parroquia presenta condiciones climáticas xerofíticas lo cual indica disminución en las precipitaciones y menores regímenes de humedad del suelo por lo cual esta zona tendrá una mayor evapotranspiración. Limitando la disponibilidad de agua en el suelo la mayor parte del año, por lo cual es necesario mejorar el sistema actual por uno

presurizado, que reduzca las pérdidas de agua y asegure el suministro para los cultivos a lo largo del año.

Mapa 12. Isoyetas de la Parroquia Asunción

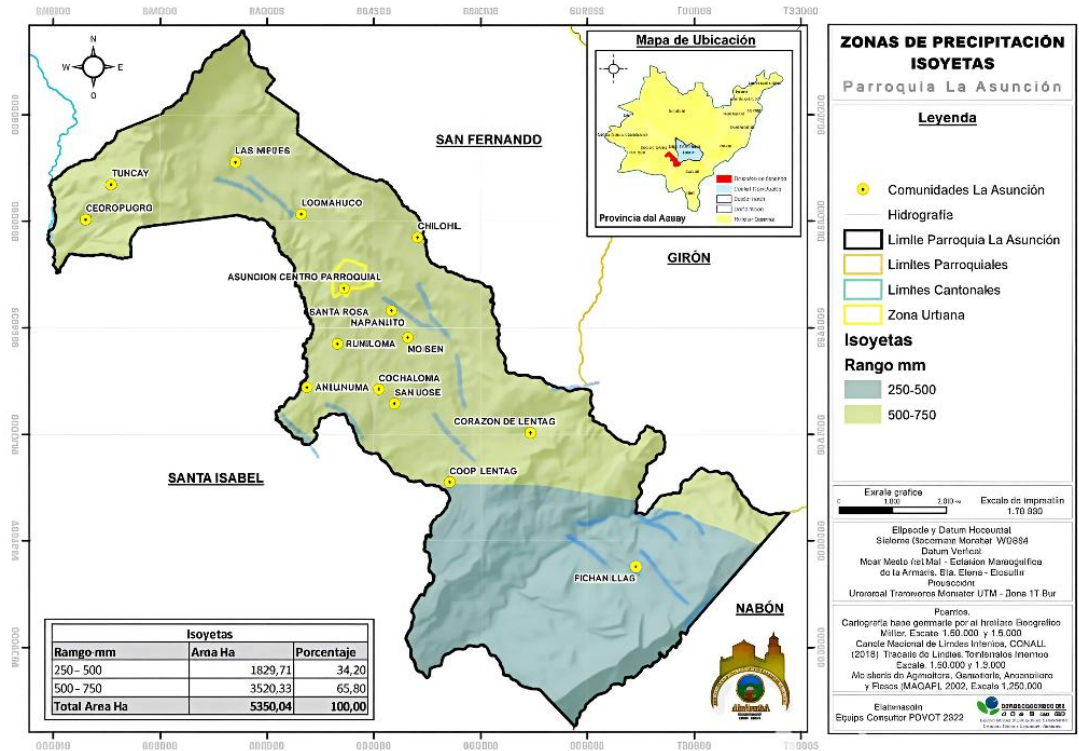


Figura 1.2. Mapa de isoyetas de la Parroquia La Asunción.

Fuente: PDOT 2020 (MAGAP 2002).

1.5. Características Topográficas

La parroquia La Asunción se encuentra en la región de la Sierra correspondiente a la cordillera de los Andes, a lo cual se debe su topografía irregular con relieves montañosos hasta los 3200 msnm y bajando hasta los 1200 msnm. Lo que genera un terreno con pendientes muy altas debido a su irregularidad.

Los tipos de pendiente que encontramos son: Escarpada con pendientes del 100 al 150%, Muy fuerte de 70 a 100%, Fuerte de 40 a 70%, Media a fuerte de 25 a 40%, Media de 12 a 25% y Suave del 5 a 12%. Nuestra zona de estudio se ubica en los tipos de pendiente de media la cual ocupa el 43% de la parroquia siendo esta predominante, ya que estos son suelos recomendados para el cultivo, el cual representa el principal ingreso económico del cantón, aunque se ha observado un mal uso del suelo, con suelos desnudos y erosionados.

1.6. Criterios de Calidad de agua

Los criterios de calidad del agua para uso agrícola o de riego establecen los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que garantizan la protección del suelo, los cultivos y la salud humana. Entre los principales parámetros regulados se encuentran metales pesados (como arsénico, cadmio, plomo y mercurio), sales, nutrientes, coliformes fecales y el potencial de hidrógeno (pH), cuyos valores deben mantenerse dentro de rangos específicos para evitar efectos adversos en la productividad agrícola y en el ambiente. En el Ecuador, estos criterios se encuentran establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI – Anexo 1, donde se determinan los valores máximos admisibles para aguas destinadas a riego agrícola, conforme se detalla en la Tabla 3 del presente documento (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).

Tabla 1.2. Límites máximos admisibles de calidad de agua para uso agrícola

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Película visible	—	Ausencia
Aluminio	Al	mg/L	5
Arsénico	As	mg/L	0,1
Berilio	Be	mg/L	0,1
Boro	B	mg/L	0,75

Cadmio	Cd	mg/L	0,05
Cinc	Zn	mg/L	2
Cobalto	Co	mg/L	0,01
Cobre	Cu	mg/L	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 mL	1000
Cromo (VI)	Cr	mg/L	0,1
Flúor	F	mg/L	1
Hierro	Fe	mg/L	5
Huevos de parásitos	—	—	Ausencia
Litio	Li	mg/L	2,5
Materia flotante	Visible	—	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/L	0,001
Manganeso	Mn	mg/L	0,2
Molibdeno	Mo	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/L	0,5
Oxígeno disuelto	OD	mg/L	3
pH	pH	—	6–9
Plomo	Pb	mg/L	5
Selenio	Se	mg/L	0,02
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	250
Vanadio	V	mg/L	0,1

Fuente: *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente – TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2015).*

1.7. Características del suelo

Los suelos de la comunidad de La Loma de Lentag presentan características típicas de zonas agrícolas andinas, con texturas que varían entre franco, franco-arenoso y franco-limoso. Estos suelos poseen una capacidad de infiltración media, lo cual resulta favorable para la implementación de sistemas de riego presurizado, siempre que se diseñen adecuadamente las láminas y frecuencias de riego.

La profundidad efectiva del suelo es variable y, en algunos sectores, se ve limitada por la presencia de material rocoso, lo que condiciona el desarrollo radicular de los cultivos. Asimismo, el contenido de materia orgánica es moderado, siendo necesario un manejo adecuado del riego para evitar procesos de erosión y lixiviación de nutrientes.

Tabla 1.3. Características generales del suelo en la zona de estudio

Textura predominante	Franco a franco-arenoso
Capacidad de infiltración	Media
Profundidad efectiva	Media
Drenaje	Bueno
Uso agrícola	<i>Cultivos y pastos</i>

Fuente: *Elaboración propia con base en MAG (2015) y FAO (1998).*

La caracterización física del suelo en la comunidad de La Loma – Lentag constituye un elemento fundamental para el diseño del sistema de riego presurizado, debido a que las propiedades edáficas determinan la infiltración, retención, almacenamiento y disponibilidad del agua en la zona radicular de los cultivos. En zonas interandinas de la provincia del Azuay predominan suelos derivados de materiales volcánicos y sedimentarios, con aptitud agrícola y pendientes moderadas, lo que condiciona el comportamiento hidráulico del perfil (MAG, 2015).

El conocimiento de estas propiedades permite definir criterios técnicos para la determinación de la lámina neta de riego, la frecuencia de aplicación y la intensidad admisible del sistema presurizado (Allen et al., 1998).

1.7.1. Textura del suelo

En la zona de La Loma - Lentag predominan suelos de textura franco a franco-arcillosa, característicos de regiones altoandinas con actividad agrícola. La textura está determinada por la proporción relativa de arena, limo y arcilla, y constituye uno de los factores más influyentes en el movimiento del agua en el suelo (Hillel, 2004).

Los suelos francos presentan una infiltración moderada y una adecuada capacidad de retención de humedad, lo que permite un equilibrio entre drenaje y almacenamiento. Esta condición es favorable para la implementación de sistemas de riego presurizado, ya que reduce pérdidas por escorrentía superficial y minimiza la percolación profunda (FAO, 2012).

Desde el punto de vista del diseño, una textura franco-arcillosa implica:

- Velocidades de infiltración medias.
- Frecuencias de riego moderadas.
- Buena capacidad de almacenamiento de agua en la zona radicular.
- Estructura del suelo

La estructura del suelo en la zona de estudio se caracteriza principalmente por agregados de tipo granular en los horizontes superficiales, asociados a contenido de materia orgánica y actividad biológica. Esta estructura favorece la infiltración, la aireación y el desarrollo radicular.

Según Brady y Weil (2016), una estructura estable mejora la conductividad hidráulica y optimiza la distribución del agua aplicada por riego. En el sistema presurizado propuesto, una estructura granular facilita la formación del bulbo húmedo y distribuye el agua uniformemente en el perfil del suelo.

Sin embargo, en sectores con tránsito frecuente de maquinaria o sobrepastoreo, puede presentarse compactación superficial, lo que reduce la infiltración y debe considerarse en la programación del riego.

1.7.2. Porosidad

La porosidad del suelo en La Loma – Lentag, asociada a texturas francas y franco-arcillosas, se estima en un rango aproximado de 45 % a 60 %, valores típicos para este tipo de suelos (Brady & Weil, 2016).

La distribución equilibrada entre macroporos y microporos permite:

- Adecuado drenaje del exceso de agua.
- Retención de humedad disponible para las plantas.
- Correcta oxigenación del sistema radicular.

Esta condición es determinante para evitar problemas de saturación y garantizar una eficiencia adecuada del sistema de riego presurizado.

1.7.3. Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo se evalúa mediante parámetros hidrofísicos como la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). La capacidad de campo representa la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener después del drenaje gravitacional, mientras que el punto de marchitez permanente corresponde al nivel de humedad a partir del cual las plantas no pueden extraer agua (Allen et al., 1998).

Para suelos francos, la capacidad de campo puede variar entre 25 % y 35 %, mientras que el punto de marchitez permanente se ubica entre 10 % y 15 %, lo que genera un rango de agua disponible aproximado de 100 a 180 mm por metro de profundidad efectiva (FAO, 2012). Estos

valores son fundamentales para determinar la lámina neta de riego y la frecuencia de aplicación en el sistema propuesto.

1.7.4. Niveles de agua en el suelo

En la comunidad de La Loma – Lentag, el nivel freático generalmente se encuentra a profundidades mayores a 2 m, debido a las condiciones topográficas y al drenaje natural propio de zonas con pendiente moderada. Esto implica que los cultivos dependen principalmente del suministro hídrico proporcionado por el sistema de riego, sin influencia directa del ascenso capilar desde el nivel freático.

De acuerdo con Hillel (2004), niveles freáticos profundos reducen el riesgo de anegamiento, pero incrementan la necesidad de una adecuada programación del riego para garantizar la disponibilidad continua de agua en la zona radicular.

En consecuencia, las características edáficas de La Loma – Lentag permiten la implementación de un sistema de riego presurizado eficiente, siempre que la intensidad de aplicación no supere la velocidad básica de infiltración del suelo y que la programación de riego se base en el agua disponible y la profundidad efectiva de raíces del cultivo.

Capítulo 2. CRITERIOS DE DISEÑO

En este capítulo se abordan los principios fundamentales y los parámetros técnicos a considerar para el diseño eficiente de un sistema de riego presurizado. Se presentarán los conceptos clave, factores de diseño, y criterios técnicos que aseguran un funcionamiento óptimo y sostenible del sistema.

2.1. Diseño agronómico

El diseño agronómico es el proceso mediante el cual se determinan las necesidades hídricas de los cultivos, considerando factores como el tipo de suelo, el clima, el ciclo vegetativo y las características de las plantas. Un correcto diseño agronómico permite maximizar la eficiencia en el uso del agua y asegurar el desarrollo óptimo de los cultivos. Este proceso implica la determinación de la demanda de agua, la programación de los riegos y la selección de los métodos de aplicación más adecuados para cada situación (Allen et al., 1998; FAO, 2012).

2.1.1. Precipitaciones

La dinámica del ciclo del agua incluye procesos como la condensación del vapor atmosférico, que al enfriarse se transforma en gotas o partículas de hielo. Cuando estas alcanzan cierto tamaño y peso, caen a la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve o granizo (Grupo Latino, 2013). A través de este mecanismo, el agua regresa desde la atmósfera al suelo, lo que permite su aprovechamiento por la vegetación y los cuerpos de agua.

Las precipitaciones son un factor clave en la determinación de las necesidades de riego, ya que constituyen la principal fuente natural de agua para los cultivos. Es fundamental analizar la cantidad, distribución y estacionalidad de las lluvias en la zona de estudio, a fin de ajustar el

sistema de riego a las condiciones locales y evitar tanto el déficit como el exceso de agua (Doorenbos & Pruitt, 1977).

2.1.1.1. Precipitación probable.

Para el diseño de sistemas de riego en zonas con variabilidad climática, no es recomendable utilizar únicamente la precipitación promedio, ya que este valor no garantiza que ocurra con la frecuencia requerida durante la vida útil del proyecto. Por ello, se emplea la precipitación probable, que permite considerar un nivel de seguridad asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia (Allen et al., 1998; FAO, 2017).

La precipitación probable mensual se puede estimar mediante la expresión:

$$P_{pm} = I_p \times P_p \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P_{pm} = precipitación probable mensual (mm)

I_p = índice de precipitación

P_p = precipitación promedio anual (mm)

El índice de precipitación se obtiene mediante el análisis estadístico de una serie histórica de datos anuales, ordenados de mayor a menor. Para cada año, el índice se determina mediante la relación:

$$I_p = \frac{P}{P_p} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

P = precipitación anual registrada (mm)

P_p = precipitación promedio anual de la serie (mm)

Posteriormente, se calcula la probabilidad de ocurrencia de cada valor utilizando la siguiente ecuación:

$$P_r = \frac{2m - 1}{2N} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

Pr = probabilidad de ocurrencia (%)

m = número de orden del dato en la serie (siendo m = 1 para el dato mayor)

N = número total de años analizados

Según el nivel de riesgo aceptable del proyecto, se selecciona la probabilidad de diseño. Generalmente, para cultivos de alto valor económico se utilizan probabilidades del 80% al 90%, mientras que para cultivos de menor valor económico puede emplearse el 60% o el 75%, logrando así un equilibrio entre seguridad hídrica y eficiencia económica (Carrazón, 2007; FAO, 2017).

2.1.1.2. Precipitación efectiva.

No toda la precipitación registrada es aprovechada por los cultivos, ya que se producen pérdidas por escorrentía, evaporación e infiltración profunda. La precipitación efectiva es la fracción de la lluvia que realmente puede ser utilizada por las plantas. Su cálculo es esencial para determinar la cantidad de agua adicional que debe suministrarse mediante el sistema de riego presurizado (Allen et al., 1998).

Existen diferentes métodos para estimar la precipitación efectiva, según la información disponible y las características del suelo, del cultivo y del clima. Los métodos más utilizados son los empíricos y los basados en el balance de agua.

- Método FAO empírico:

Para $P < 250$ mm (precipitación total mensual menor a 250 mm):

$$P_e = P \times \frac{125 - 0.2 \times P}{125} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Para $P > 250$ mm (precipitación total mensual mayor a 250 mm):

$$P_e = 125 + 0.1 \times P \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

Pe = precipitación efectiva (mm)

P = precipitación total mensual (mm)

- Método del porcentaje fijo:

En ausencia de datos detallados, es común asumir que un porcentaje de la precipitación total es efectiva:

$$Pe = P \times f \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

Pe = precipitación efectiva (mm)

P = precipitación total (mm)

f = fracción o porcentaje estimado (usualmente entre 0.6 y 0.8 para lluvias moderadas)

Método del balance hídrico:

Si se dispone de información sobre pérdidas específicas:

$$Pe = P - Es - Ep \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

Pe = precipitación efectiva (mm)

P = precipitación total (mm)

Es = pérdidas por escorrentía superficial (mm)

Ep = pérdidas por percolación profunda (mm)

2.1.2. Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso combinado mediante el cual el agua es transferida desde la superficie del suelo y las plantas hacia la atmósfera, a través de la evaporación del agua

del suelo y la transpiración de las plantas. Este parámetro es fundamental en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos y constituye la base para el cálculo del riego (Allen et al., 1998).

2.1.2.1. Evapotranspiración potencial.

La evapotranspiración potencial es un parámetro climático que refleja la capacidad evaporativa de la atmósfera (Allen et al., 2006). Se define la velocidad con la que un clima determinado evapora el agua presente en el sistema. Este parámetro es fundamental para el diseño de sistemas de riego, ya que permite estimar la demanda hídrica de los cultivos.

Para determinarla, se utiliza el método de Penman-Monteith propuesto por la FAO, el cual considera distintos parámetros climáticos que se describen a continuación:

• Calor latente de vaporización:

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \cdot T \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

λ = calor latente de vaporización (MJ kg⁻¹)

T = temperatura del aire (°C)

• Pendiente de la curva de presión de vapor:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_a}{(T+237.3)^2} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)

e_a = presión de vapor de saturación (kPa)

T = temperatura del aire (°C)

• Constante psicrométrica:

$$\gamma = 0.00163 \cdot \frac{P}{\lambda} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

P = presión atmosférica (kPa)

λ = calor latente de vaporización (MJ kg⁻¹)

• **Presión atmosférica:**

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

P = presión atmosférica (kPa)

z = altitud (m)

• **Densidad atmosférica:**

$$\rho = 3.486 \cdot \frac{P}{T_{kv}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

ρ = densidad del aire (kg m⁻³)

P = presión atmosférica (kPa)

T_{kv} = temperatura virtual (K)

• **Temperatura virtual:**

$$T_{kv} = T_k \left(1 - 0.378 \cdot \frac{e_d}{P} \right)^{-1} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

T_{kv} = temperatura virtual (K)

T_k = temperatura absoluta (K)

e_d = presión de vapor actual (kPa)

P = presión atmosférica (kPa)

• **Presión de vapor de saturación:**

$$e_a = 0.611 \cdot \exp \left(\frac{17.27T}{T+237.3} \right) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

e_a = presión de vapor de saturación (kPa)

T = temperatura (°C)

• **Presión de vapor actual:**

$$e_d = \frac{e(T_{min}) + e(T_{max})}{2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

e_d = presión de vapor actual (kPa)

T_{min} = temperatura mínima (°C)

T_{max} = temperatura máxima (°C)

• **Radiación extraterrestre:**

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

R_a = radiación extraterrestre (MJ m⁻² día⁻¹)

G_{sc} = constante solar

d_r = distancia relativa Tierra-Sol

ω_s = ángulo horario al ocaso (rad)

φ = latitud (rad)

δ = declinación solar (rad)

• **Horas de luz:**

$$N = \frac{24}{\pi} \cdot \omega_s \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

N = horas de luz (h)

ω_s = ángulo horario al ocaso (rad)

• **Resistencia aerodinámica:**

$$r_a = \frac{208}{U_2} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

r_a = resistencia aerodinámica ($s\ m^{-1}$)

U_2 = velocidad del viento a 2 m ($m\ s^{-1}$)

• **Flujo térmico del suelo:**

$$G = c_s \cdot d_s \cdot \frac{T_n - T_{n-1}}{\Delta t} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

G = flujo de calor del suelo ($MJ\ m^{-2}\ día^{-1}$)

c_s = calor específico del suelo

d_s = profundidad del suelo (m)

T_n = temperatura del periodo actual ($°C$)

T_{n-1} = temperatura del periodo anterior ($°C$)

Δt = intervalo de tiempo (días)

Finalmente, la evapotranspiración potencial se determina mediante la ecuación de Penman-Monteith:

$$\lambda ET_o = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p \frac{(e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n = radiación neta

G = flujo de calor del suelo

ρ = densidad del aire

C_p = calor específico del aire

$e_a - e_d$ = déficit de presión de vapor

r_a = resistencia aerodinámica

r_c = resistencia del cultivo

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor

γ = constante psicrométrica

2.1.2.2. Evapotranspiración de cultivo.

La evapotranspiración de cultivo (ET_c) es la cantidad real de agua que un cultivo específico requiere para desarrollarse adecuadamente en condiciones estándar. Se calcula multiplicando la evapotranspiración potencial por el coeficiente de cultivo correspondiente al periodo fenológico de la planta (FAO, 2012).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

- ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día o mm/periodo)
- ET_o = Evapotranspiración potencial o de referencia (mm/día o mm/periodo)
- K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional), varía según el estado fenológico de la planta.

2.1.2.2.1. Coeficiente de cultivo.

El coeficiente de cultivo (K_c) es un factor adimensional que representa la relación entre la evapotranspiración de un cultivo específico y la evapotranspiración de referencia. Su valor varía según el tipo de cultivo y la etapa de desarrollo, y es fundamental para ajustar el cálculo del riego a las necesidades reales de cada especie vegetal (Allen et al., 1998).

2.1.2.2.2 Curva del coeficiente de cultivo

Para estimar los valores de K_c en las diferentes temporadas de crecimiento, es preciso definir la duración de cada una de las fases de cultivo: inicial, desarrollo, media y final, y para cada una de ellas los coeficientes de cultivo correspondientes que se encuentran en tablas, pero que pueden ser ajustados en función de los datos del lugar del proyecto, (Allen et al., 2006).

La construcción de la curva del coeficiente de cultivo para un cultivo anual se realiza siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:

- El ciclo del cultivo se divide en cuatro fases claramente definidas: fase inicial, fase de desarrollo, fase media y fase final.
- Se determinan los valores característicos del coeficiente de cultivo: $Kc_{inicial}$, Kc_{medio} y Kc_{final} , los cuales representan el comportamiento del cultivo en cada etapa.
- Una vez establecidas las duraciones de las fases y los valores de Kc, se procede a la elaboración de la curva. En la fase inicial y en la fase media, el coeficiente de cultivo se representa mediante líneas horizontales, correspondientes a $Kc_{inicial}$ y Kc_{medio} , respectivamente. Durante la fase de desarrollo, se traza una línea ascendente que conecta $Kc_{inicial}$ con Kc_{medio} , reflejando el incremento progresivo del cultivo. Finalmente, en la fase final, se representa una línea descendente desde Kc_{medio} hasta Kc_{final} , indicando la disminución de la actividad del cultivo.
- Cuando las fases del cultivo se subdividen en intervalos de tiempo más cortos (por ejemplo, periodos de 10 días) con el fin de obtener una mayor precisión, los valores intermedios de Kc pueden determinarse mediante interpolación gráfica a partir de la curva generada (Carrazón, 2018).

En consecuencia, la curva del coeficiente de cultivo permite representar de manera continua la variación del Kc a lo largo del ciclo agrícola, facilitando así una estimación más precisa de la evapotranspiración del cultivo y, por ende, de sus requerimientos hídricos.

2.1.3. Necesidades de riego

Las necesidades de riego representan la cantidad de agua que debe suministrarse al cultivo para suplir el déficit hídrico que no está cubierto por la precipitación efectiva. Se determina a partir de la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva (Pe):

$$N = ETc - Pe \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

N = Necesidad neta de riego (mm)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm)

Pe = Precipitación efectiva (mm)

2.1.4. Parámetros de riego

VARIABLES TÉCNICAS QUE PERMITEN DIMENSIONAR Y OPERAR EL SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO DE MANERA EFICIENTE. ENTRE LOS PRINCIPALES SE ENCUENTRAN EL AGUA UTILIZABLE, LA DOSIS NETA DE RIEGO Y EL INTERVALO MÁXIMO ENTRE RIEGOS (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

2.1.4.1. Agua utilizable.

El agua utilizable (AU) es la fracción de agua almacenada en el suelo que puede ser absorbida por las raíces del cultivo sin causar estrés hídrico. Se determina como la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), multiplicada por la profundidad efectiva de las raíces (Z):

$$AU = 10 * (CC - PMP) * da * pr \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

AU = Agua utilizable (mm)

CC = Capacidad de campo (% volumen)

PMP = Punto de marchitez permanente (% volumen)

da = Densidad aparente (g/cm³)

pr = Profundidad radicular efectiva de los cultivos (m)

2.1.4.2. Dosis neta de riego.

La dosis neta de riego (Dn) es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada evento de riego para reponer el agua utilizable consumida por el cultivo. Se calcula generalmente como:

$$Dn = \frac{DPM * AU}{100} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

Dn = Dosis neta de riego (mm)

AU = Agua utilizable (mm)

DPM = Déficit permisible de manejo (%)

2.1.4.3. Intervalo máximo entre riegos.

El intervalo máximo entre riegos (I) es el tiempo máximo que puede transcurrir entre dos aplicaciones de agua sin que el cultivo sufra estrés hídrico. Se determina dividiendo la dosis neta de riego por la evapotranspiración diaria del cultivo:

$$I_M = \frac{Dn}{N_n} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

I_M = Intervalo máximo entre riegos (días)

Dn = Dosis neta de riego (mm)

N_n = Necesidades netas de riego (mm/día)

2.1.4.4. Dosis neta ajustada.

La dosis neta ajustada es la lámina de agua que debe aplicarse en el riego, considerando el coeficiente de uniformidad del sistema, para asegurar que la mayor parte del área reciba la cantidad adecuada. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_{n a j} = I * Nn \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

$Dn aj$ = Dosis neta ajustada (mm)

I = Intervalo entre riegos

Nn = Necesidades netas de riego (mm/día)

2.1.4.5. Dosis bruta de riego.

La dosis bruta de riego es la lámina total de agua que debe aplicarse, considerando las pérdidas del sistema durante la aplicación. Su cálculo es:

$$Db = \frac{100 * Dnaj}{Ea} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde:

Db = dosis bruta de riego (mm)

$Dnaj$ = Dosis neta ajustada (mm)

Ea = Eficiencia del sistema de aplicación (%)

Tabla 2.1. Eficiencias de riego estimadas en función del método de riego

Método de riego	Eficiencia (%)
Gravedad	45 – 65
Aspersión	75 – 80
Goteo	85 – 90

Fuente: Valverde (1998)

2.1.4.6. Tiempo mínimo de aplicación.

El tiempo mínimo de aplicación es el intervalo requerido para suministrar la dosis bruta de riego, en función del caudal disponible y el área a regar. Se determina así:

$$t_{min} = \frac{100 * Db}{Ib * fp} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

t_{min} = Tiempo mínimo de aplicación (h)

Db = Dosis bruta de riego (mm)

Ib = Tasa de infiltración básica del suelo (mm/h)

fp = Factor de reducción por pendiente (%)

2.1.4.7. Necesidades brutas de riego.

Las necesidades brutas de riego corresponden al volumen total de agua requerido para cubrir el área bajo riego, considerando la eficiencia del sistema y el área a regar:

$$Nb = \frac{100 * Nn}{Ea} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

Nb = Necesidades brutas de riego (mm/día)

Nn = Necesidades netas de riego (mm/día)

Ea = Eficiencia del sistema de aplicación (%)

2.1.5. Caudal necesario

El caudal necesario es el flujo de agua requerido para cubrir las necesidades de riego en el tiempo disponible. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{Nb * S}{3600 * tos} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

Q_m = Caudal mínimo (l/s)

Nb = Necesidades brutas de riego (mm/día)

S = Superficie regable (m²)

tos = Tiempo de operación del sistema (h)

2.1.6. Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método que consiste en aplicar el agua al cultivo en forma de gotas, simulando la lluvia, a través de dispositivos presurizados. Este sistema se adapta a diferentes cultivos, tipos de suelo y pendientes, y permite una distribución uniforme del agua cuando se diseña y opera correctamente. El diseño debe contemplar la selección de aspersores, su espaciamiento, la presión de trabajo y el caudal, para garantizar eficiencia y uniformidad en la aplicación (ASAE, 2001; FAO, 2001).

El uso de este método de riego resulta recomendable en terrenos con pendientes pronunciadas, debido a su capacidad de adaptación a condiciones topográficas variables. Entre sus principales ventajas se destacan las siguientes:

- Permite un uso eficiente del recurso hídrico, alcanzando eficiencias de aplicación entre el 85 % y el 90 %.
- Reduce significativamente el riesgo de erosión del suelo.
- Minimiza las pérdidas por conducción, ya que no requiere la implementación de canales de riego.
- Garantiza una alta uniformidad en la distribución del agua.
- Su diseño puede adaptarse a la disponibilidad hídrica existente en la zona.
- Requiere una menor cantidad de mano de obra para su operación.

- La tasa de infiltración del suelo suele ser superior a la tasa de aplicación del agua, lo que evita pérdidas por escorrentía superficial (Carrazón, 2018).

2.1.6.1. Componentes de un sistema.

Un sistema de riego por aspersión está compuesto por diferentes elementos que permiten captar, conducir, presurizar y distribuir el agua de manera uniforme sobre el área cultivada. Los componentes principales son:

- Fuente de agua (pozo, canal, reservorio o red)
- Sistema de bombeo (bomba y motor)
- Red de tuberías principales, secundarias y laterales
- Emisores (aspersores)
- Válvulas de control y accesorios (manómetros, filtros, acoples)
- Sistema de filtrado (según calidad del agua)
- Accesorios de protección y automatización (programadores, sensores)

2.1.6.2. Clasificación de los sistemas de aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión se clasifican según el grado de movilidad de sus componentes y la forma de operación. Las categorías principales son:

- Sistemas fijos: Las tuberías y aspersores permanecen en una posición permanente durante todo el ciclo de riego.
- Sistemas semifijos: Solo una parte del sistema, generalmente las laterales, se mueve mientras que las principales son fijas.

- Sistemas portátiles o móviles: Tanto las tuberías como los aspersores se trasladan manual o mecánicamente entre posiciones.
- Sistemas autopulsados: Incluyen pivotes centrales, sistemas de avance frontal y cañones de riego (rollos, enrolladores).
- La selección depende de las condiciones del terreno, el tipo de cultivo y los recursos disponibles (ASAE, 2001; FAO, 2001).

2.1.6.3. Selección del aspersor.

La elección del aspersor es determinante para la uniformidad y eficiencia del sistema. Se deben considerar el caudal, el alcance, el tamaño de gota, la presión de operación y la resistencia al viento. Los parámetros fundamentales para su selección son:

- Caudal nominal del aspersor (q)
- Radio de alcance (R)
- Presión de trabajo (P)
- Uniformidad de aplicación

El aspersor debe seleccionarse de acuerdo a las necesidades del cultivo, las características del suelo y las condiciones climáticas de la zona (Doorenbos & Pruitt, 1977).

2.1.6.3.1. Procedimiento de selección.

a) Selección de aspersores

Se deben identificar y seleccionar las marcas de aspersores disponibles en el mercado, considerando sus características técnicas, tales como caudal, presión de operación y diámetro de cobertura.

b) Verificación de la presión del sistema

Es necesario comprobar que la presión disponible en el sistema sea suficiente para garantizar el correcto funcionamiento de los aspersores seleccionados.

c) Determinación del número de aspersores

El número de aspersores que operan simultáneamente debe ajustarse al caudal disponible en el sistema, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$n_{asp} = \frac{Q}{q_{asp}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

n_{asp} = número de aspersores

Q = caudal disponible (l/s)

q_{asp} = caudal de funcionamiento del aspersor (l/s)

Además, se debe verificar que el déficit de caudal no sea inferior al 5 %, mediante:

$$\text{Déficit}(\%) = \frac{(n_{asp} \cdot q_{asp}) - Q}{Q} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 32})$$

d) Separación entre aspersores

Para garantizar una adecuada uniformidad en la aplicación del agua, los aspersores deben traslaparse. La separación máxima entre ellos se determina mediante:

$$S \leq 0.6 \cdot D_h \quad (\text{Ecuación 33})$$

Donde:

S = separación entre aspersores (m)

D_h = diámetro húmedo del aspersor (m)

e) Pluviometría del aspersor

La pluviometría corresponde a la intensidad de precipitación generada por el aspersor y se calcula como:

$$Pluv_{asp} = \frac{q_{asp} \cdot 3600}{S^2} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

$Pluv_{asp}$ = pluviometría del aspersor (mm/h)

q_{asp} = caudal del aspersor (l/s)

S = separación entre aspersores (m)

La pluviometría del aspersor no debe exceder la pluviometría máxima permitida, definida como:

$$Pluv_{max} = \frac{I_b \cdot f_p}{100} \quad (\text{Ecuación 35})$$

Donde:

$Pluv_{max}$ = pluviometría máxima (mm/h)

I_b = infiltración básica del suelo (mm/h)

f_p = factor de reducción por pendiente (%)

2.1.6.3.2 Tiempo de aplicación

El tiempo de aplicación no debe superar el tiempo de operación del sistema. Se determina mediante:

$$t_a = \frac{D_b}{Pluv_{asp}} \quad (\text{Ecuación 36})$$

Donde:

t_a = tiempo de aplicación (h)

D_b = dosis bruta (mm)

$Pluv_{asp}$ = pluviometría del aspersor (mm/h)

2.1.6.3.3 Superficie regada por postura

Corresponde al área que puede regarse cuando todos los aspersores operan simultáneamente:

$$S_{post} = n_{asp} \cdot S^2 \quad (Ecuación 37)$$

Donde:

S_{post} = superficie regada por postura (m²)

n_{asp} = número de aspersores

S = separación entre aspersores (m)

2.1.6.3.4 Número de posiciones por día

$$n_{post} = \frac{t_{os}}{t_a} \quad (Ecuación 38)$$

Donde:

n_{post} = número de posiciones por día

t_{os} = tiempo de operación del sistema (h)

t_a = tiempo de aplicación (h)

2.1.6.3.5 Superficie regada por día

$$S_d = S_{post} \cdot n_{post} \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde:

S_d = superficie regada por día (m²)

S_{post} = superficie regada por postura (m²)

n_{post} = número de posiciones por día

2.2. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico constituye una de las fases más críticas en la planificación y ejecución de sistemas de riego presurizado, ya que determina la capacidad del sistema para transportar y distribuir el agua de manera eficiente y segura desde la fuente hasta las áreas de cultivo. Este proceso implica la aplicación de los principios fundamentales de la hidráulica para seleccionar y dimensionar adecuadamente los componentes del sistema, tales como tuberías, válvulas, accesorios y estructuras complementarias, garantizando así un funcionamiento óptimo bajo las condiciones específicas del proyecto (Pizarro, 2014; FAO, 2012).

2.2.1. Definiciones generales

Captación: Corresponde al proceso mediante el cual se recolecta el agua proveniente de una fuente natural, constituyendo el punto de inicio del sistema de abastecimiento hídrico.

Líneas de conducción: Conjunto de tuberías que operan bajo presión y que se disponen de acuerdo con las condiciones topográficas del terreno, con el fin de transportar el agua hacia las diferentes unidades del sistema.

Tubería primaria: Tramo principal que se extiende desde la captación hasta los distintos módulos que conforman el sistema de riego.

Tubería secundaria: Conducto que se deriva de la tubería primaria y cuya función es transportar el caudal hacia un módulo específico del sistema.

Tubería terciaria: Sección de tuberías que conecta las tuberías secundarias con los laterales de riego.

Laterales de riego: Tramos finales de la red de tuberías, en los cuales se instalan los dispositivos emisores encargados de la aplicación del agua.

Emisor de riego: Elemento fundamental del sistema que permite disipar la presión del agua dentro de la tubería y distribuirla hacia el cultivo con un caudal controlado (Ruiz & Molina, 2010).

2.2.2. Hidrostática

La hidrostática es la rama de la mecánica de fluidos que estudia el comportamiento de los líquidos en reposo y las fuerzas que estos ejercen sobre las superficies con las que están en contacto.

En los sistemas de riego presurizado, la hidrostática es fundamental para evaluar las condiciones de almacenamiento y distribución del agua, especialmente en elementos como

reservorios, tanques y puntos elevados de la red. Asimismo, permite determinar la presión estática en diferentes puntos del sistema, la cual depende de la densidad del fluido, la aceleración de la gravedad y la altura de la columna de agua sobre el punto de interés (Bos, 1989; Pizarro, 2014).

La **presión estática** se define como la fuerza que ejerce un fluido en reposo sobre una superficie, y su magnitud está directamente relacionada con la profundidad o altura respecto a la superficie libre del líquido (Afif, 2004). En ingeniería de riego, esta presión suele expresarse en términos de altura de columna de agua (m.c.a.), lo que facilita su interpretación dentro del análisis hidráulico.

Para el diseño de sistemas de riego, es importante considerar los siguientes criterios:

- La presión del sistema determina el tipo de material y el espesor de las tuberías, garantizando su resistencia estructural.
- El nivel estático permanece constante en condiciones de equilibrio, siempre que el sistema no esté expuesto a la atmósfera o a variaciones externas (Carrazón, 2018).
- Un adecuado análisis de la presión permite evitar fallas en el sistema, tales como roturas de tuberías, pérdidas de energía o funcionamiento ineficiente de los emisores.

En consecuencia, el estudio de la hidrostática resulta esencial para asegurar el correcto dimensionamiento y funcionamiento de los sistemas de riego presurizado.

2.2.3. Hidrodinámica

La hidrodinámica analiza el comportamiento de los fluidos en movimiento y es esencial para determinar el caudal, la velocidad y las pérdidas de energía en sistemas de riego. Su aplicación

se basa en los principios de continuidad y la ecuación de Bernoulli, que permiten el adecuado dimensionamiento de las conducciones (Chow, 1959; FAO, 2012).

Presión dinámica: La presión dinámica se asocia al movimiento del agua dentro de las tuberías y representa la diferencia entre la presión total disponible y las pérdidas de carga generadas por fricción y accesorios.

Línea piezométrica o gradiente hidráulico: Se define como la línea teórica, resulta de unir los niveles hasta los cuales el agua ascendería en piezómetros instalados a lo largo de una conducción. Esta línea permite visualizar la variación de la energía del fluido a lo largo del sistema y está influenciada por factores como el diámetro de la tubería, las pérdidas de carga y las condiciones de flujo.

Cota geométrica: Generalmente obtenida mediante levantamientos topográficos, y se representa como la coordenada z.

Cota piezométrica: Es la suma de la cota geométrica y la altura equivalente a la presión del fluido (Carrazón, 2018).

Gradiente hidráulico (i): El gradiente hidráulico expresa la variación de la carga hidráulica por unidad de longitud en una conducción y se determina mediante la siguiente relación:

$$i = \frac{C_i - C_f}{D} \quad (\text{Ecuación 40})$$

Donde:

i = gradiente hidráulico

C_i = cota inicial del tramo (m s.n.m.)

C_f = cota final del tramo (m s.n.m.)

D = longitud del tramo de tubería (m)

Este parámetro es fundamental en el análisis hidráulico, ya que permite evaluar las pérdidas de energía a lo largo de la conducción y verificar el correcto funcionamiento del sistema.

2.2.4. Parámetros de la línea de conducción.

2.2.4.1. Caudal.

El caudal, que se define como el volumen de agua que fluye a través de una sección de tubería en un intervalo de tiempo específico, es un parámetro crucial en el diseño de sistemas de riego presurizado.

Permite dimensionar adecuadamente las conducciones y asegurar el suministro de agua necesario. Su estimación se basa en el diseño agronómico, considerando factores como la superficie a regar, las necesidades hídricas de los cultivos y el tiempo de operación del sistema. Un dimensionamiento adecuado del caudal garantiza una distribución eficiente del agua, evitando deficiencias en la irrigación.

2.2.4.2. Pérdidas de carga.

Las pérdidas de carga representan la disminución de energía que experimenta el agua durante su circulación a través de las tuberías, debido tanto a la fricción como a la presencia de accesorios y elementos hidráulicos.

2.2.4.2.1. Pérdidas de carga singulares debido a las estructuras.

Las pérdidas de carga singulares se originan en puntos específicos del sistema, como válvulas, codos, cambios de sección y estructuras hidráulicas, donde el flujo sufre alteraciones locales (Brière, 2005).

En tramos donde la longitud de la tubería es considerablemente mayor que su diámetro (superior a 1000 veces), estas pérdidas pueden considerarse despreciables frente a las pérdidas por fricción (Carrazón, 2018).

2.2.4.2.2. Pérdidas de carga por fricción.

Las pérdidas por fricción se producen debido a la resistencia que ofrece la superficie interna de las tuberías al paso del agua. Este fenómeno es uno de los factores más importantes en el diseño hidráulico, ya que influye directamente en la selección del diámetro de las conducciones y en el comportamiento del flujo dentro del sistema (Brière, 2005).

- **Número de Reynolds**

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que permite identificar el régimen de flujo dentro de una tubería, clasificándolo como laminar o turbulento. Este depende de factores como la velocidad del fluido, el diámetro de la conducción y la viscosidad del agua.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4Q}{\pi Dv} \quad (\text{Ecuación 41})$$

Donde:

Re = número de Reynolds (adimensional)

Q = caudal (m^3/s)

D = diámetro interior de la tubería (m)

ν = viscosidad cinemática del agua (m²/s)

Valores bajos indican flujo laminar, mientras que valores altos corresponden a flujo turbulento (Mott & Untener, 2015).

- **Fórmula de Darcy-Weisbach**

La ecuación de Darcy-Weisbach permite calcular las pérdidas de carga por fricción en tuberías:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Donde:

h_f = pérdida de carga (m)

f = factor de fricción (adimensional)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro de la tubería (m)

V = velocidad del flujo (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Esta ecuación es aplicable tanto para flujo laminar como turbulento (Mott & Untener, 2015).

- **Fórmula de Hazen-Williams**

La ecuación de Hazen-Williams se utiliza para estimar las pérdidas de carga en tuberías que transportan agua:

$$h_f = 10.67 \cdot \frac{L \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}} \quad (\text{Ecuación 43})$$

Donde:

h_f = pérdida de carga (m)

L = longitud de la tubería (m)

Q = caudal (m³/s)

C = coeficiente de Hazen-Williams

D = diámetro interior de la tubería (m)

Este método es ampliamente utilizado en sistemas de riego debido a su simplicidad.

Los valores del coeficiente de Hazen-Williams dependen del material de la tubería y su estado superficial, influyendo directamente en las pérdidas de carga del sistema.

Tabla 2.2. Coeficiente de Hazen-Williams (C)

Material	Coeficiente de Hazen-Williams (C)
Asbesto - cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido (nuevo)	130
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
PVC y PE	140

Fuente: Caiza & Paredes (2020)

- **Ecuación de Bernoulli**

La ecuación de Bernoulli expresa la conservación de la energía en un fluido en movimiento:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (\text{Ecuación 44})$$

Donde:

Z = cota geométrica (m)

P = presión (Pa)

γ = peso específico del fluido (N/m³)

V = velocidad del flujo (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

h_f = pérdidas de carga (m)

Esta ecuación permite analizar la distribución de energía en el sistema hidráulico (Cabrera, 2016).

2.2.4.3. Velocidad.

La velocidad del flujo es un parámetro fundamental en el diseño hidráulico de sistemas de riego, ya que permite controlar el comportamiento del agua dentro de las tuberías y evitar problemas como pérdidas excesivas de energía o daños en la conducción.

Para su determinación, se emplea la ecuación de Manning, la cual relaciona la velocidad del flujo con las características hidráulicas de la tubería (Cabrera, 2016):

$$V = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \quad (\text{Ecuación 45})$$

(Ecuación 45)

Donde:

V = velocidad del flujo (m/s)

n = coeficiente de rugosidad de Manning

R = radio hidráulico (m)

S_0 = pendiente de la línea de energía o pendiente hidráulica (m/m)

El radio hidráulico se determina como:

$$R = \frac{D}{4} \quad (\text{Ecuación 46})$$

Donde:

D = diámetro interior de la tubería (m)

Por su parte, la pendiente hidráulica se calcula mediante:

$$S_0 = \frac{h_f}{L} \quad (\text{Ecuación 47})$$

Donde:

h_f = pérdida de carga por fricción (m)

L = longitud de la tubería (m)

El coeficiente de rugosidad de Manning depende del material y estado de la tubería, influyendo directamente en la velocidad del flujo. En la Tabla 2.3. se presentan valores recomendados de velocidades máximas y coeficientes de rugosidad para distintos materiales.

Tabla 2.3. Velocidades máximas permisibles y coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de tubería	Velocidad máxima permisible (m/s)	Coeficiente de rugosidad de Manning (n)
Concreto simple (diámetro ≤ 0.4 m)	3	0.011
Concreto reforzado (diámetro ≥ 0.6 m)	3	0.011
Fibrocemento	5	0.010
Acero galvanizado	5	0.014
Acero sin revestimiento	5	0.014
Acero con revestimiento	5	0.011
Polietileno de alta densidad (PEAD)	5	0.009
PVC (policloruro de vinilo)	5	0.009

Fuente: Cabrera (2016)

2.2.5. Estructuras complementarias.

Las estructuras complementarias en los sistemas de riego presurizado incluyen dispositivos como cámaras de aire, válvulas de purga, ventosas y desagües. Estas estructuras contribuyen a la protección y operación eficiente del sistema, facilitando la evacuación de aire, el drenaje de la red y la prevención de sobrepresiones. Su inclusión es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad del sistema de conducción (Pizarro, 2014; FAO, 2012).

Cámaras rompe-presión

Las cámaras rompe-presión son estructuras utilizadas en sistemas de conducción para disipar la energía del flujo y reducir la presión cuando existen desniveles pronunciados. Su implementación permite proteger las tuberías, evitando fallas estructurales por sobrepresión (Quesquén Bances, 2016).

La altura de la cámara húmeda se determina en función de la carga de agua requerida, mediante la siguiente expresión:

$$H = 1.65 \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 48})$$

Donde:

H = carga de agua (m)

V = velocidad del flujo (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

La velocidad del flujo puede estimarse mediante:

$$V = 1.9735 \cdot \frac{Q}{D} \quad (\text{Ecuación 49})$$

Donde:

Q = caudal (L/s)

D = diámetro de la tubería (m)

La altura total de la cámara rompe-presión se calcula considerando los elementos constructivos adicionales:

$$H_T = H + A + B + L \quad (\text{Ecuación 50})$$

Donde:

H_T = altura total de la cámara (m)

H = carga de agua (m)

A = altura mínima de salida (≈ 0.10 m)

$B + L$ = resguardo o borde libre (≈ 0.40 m)

Para facilitar su construcción, se recomienda que las cámaras (secas y húmedas) tengan una sección interna aproximada de 0.60×0.60 m.

Finalmente, el diámetro de la tubería de desborde se determina mediante la siguiente relación:

$$D = 4.63 \cdot \frac{Q^{0.38}}{C^{0.38} \cdot S^{0.21}} \quad (\text{Ecuación 51})$$

Donde:

D = diámetro de la tubería de desborde (pulgadas)

Q = caudal (L/s)

C = coeficiente de rugosidad (≈ 150)

S = pendiente hidráulica o pérdida de carga unitaria (≈ 0.010 m/m)

2.2.6. Elementos especiales de una instalación

2.2.6.1. Tubería.

2.2.6.1.1. Tuberías de fibrocemento.

Las tuberías de fibrocemento están compuestas por una mezcla de cemento, asbesto y agua. Se caracterizan por su resistencia a la corrosión, bajo coeficiente de rugosidad y buena durabilidad en condiciones normales de operación. Sin embargo, presentan limitaciones ante golpes mecánicos y no deben emplearse en sistemas con altas presiones o con riesgo de golpes de ariete. Su uso ha disminuido debido a preocupaciones ambientales y de salud relacionadas con el asbesto (Bos, 1989; FAO, 2012).



Figura 2.1 Tuberías de fibrocemento

Fuente: Pipemaster (s.f).

Tabla 2.4. Clasificación de las tuberías de fibrocemento

CLASE	PS (kg/cm ²) Presión de servicio	PN (kg/cm ²) Presión de prueba en Fabrica	PR (kg/cm ²) Presión de rotura
A		5	10
B	5	10	20
C	7.5	15	30
D	10	20	40
E	12.5	25	50
F	15	30	60
PN/PS = 2		PR/PN = 2	

Fuente: (Martínez, 1993)

El espesor de las tuberías de fibrocemento varía en función del diámetro y la clase de presión para la cual han sido diseñadas. En la Tabla 2.5 se presentan los valores de espesor correspondientes a diferentes diámetros y clases de tubería.

Tabla 2.5. Espesor de la pared de las tuberías de fibrocemento

D (mm)	A	B	C	D	E	F
50	-	8	8	8	8	8
60	-	8	8	8	8	8

70	-	8	8	8	9	9
80	-	9	9	9	10	10
100	8	9	9	11	12	12
125	9	9	10	12	15	15
150	10	10	12	14	18	18
175	10	11	14	16	21	21
200	11	12	16	18	24	24
250	11	15	17	21	25	30
300	12	17	20	25	30	36
350	14	19	24	29	35	42
400	16	21	27	34	40	48
450	18	23	30	38	45	54
500	20	25	34	42	50	60
600	22	30	40	50	60	72
700	24	35	-	-	-	-
800	26	40	-	-	-	-
900	28	45	-	-	-	-
1000	30	50	-	-	-	-

Fuente: (Martínez, 1993)

2.2.6.1.2. Tuberías de policloruro de vinilo (PVC).

Las tuberías de PVC son ampliamente utilizadas en sistemas de riego presurizado debido a su bajo peso, facilidad de instalación, resistencia química y a la corrosión, y su bajo costo relativo. Además, presentan una superficie interna lisa, lo que reduce las pérdidas de carga por fricción. No obstante, su resistencia mecánica y a altas temperaturas es menor comparada con otros materiales (Pizarro, 2014; FAO, 2012).



Figura 2.2 Tuberías de policloruro de vinilo (PVC).

Fuente: EALCA (s.f). Tubería PVC (plástica).

En función del diámetro y de la presión, las tuberías de PVC presentan una variación en el espesor de sus paredes. Este parámetro es fundamental para garantizar la resistencia estructural frente a las presiones del sistema. En la Tabla 2.6 se muestran los espesores correspondientes para diferentes diámetros y presiones nominales.

Tabla 2.6. Espesor de tuberías de PVC

Dn (mm)	4	6	10	16	25
6	-	-	-	-	1.0
8	-	-	-	-	1.0
10	-	-	-	1.0	1.2
16	-	-	-	1.2	1.8
20	-	-	-	1.5	2.3
25	-	-	1.5	1.9	2.8
32	-	-	1.8	2.4	3.6
40	-	1.8	2.0	3.0	4.5
50	-	1.8	2.4	3.7	5.6
63	1.8	1.9	3.0	4.7	7.0
75	1.8	2.2	3.6	5.6	-
90	1.8	2.7	4.3	6.7	-
110	2.2	3.2	5.3	8.2	-

125	2.5	3.7	6.0	9.3	-
140	2.8	4.1	6.7	10.4	-
160	3.2	4.7	7.7	11.9	-
180	3.6	5.3	8.6	13.4	-
200	4.0	5.9	9.6	14.8	-
225	4.5	6.6	10.8	16.8	-
250	4.9	7.3	11.9	18.5	-
280	5.5	8.2	13.4	20.8	-
315	6.2	9.2	15.0	23.4	-
355	7.0	10.4	16.9	26.3	-
400	7.9	11.7	19.1	29.7	-
450	8.8	13.1	21.5	33.4	-
500	9.8	14.6	23.9	37.1	-

Fuente: Martínez Cañadas (1993)

2.2.6.1.3. Tuberías de polietileno (PE).

Las tuberías de polietileno son flexibles, ligeras y resistentes a la corrosión, lo que las hace adecuadas para líneas secundarias y laterales en riego presurizado. Se adaptan fácilmente a terrenos irregulares y permiten realizar curvas sin necesidad de accesorios adicionales. Su vida útil depende de la calidad del material y de la protección frente a la radiación solar (Bos, 1989; FAO, 2012).



Figura 2.3. Tuberías de polietileno (PE).

Fuente: Y.P.D Intergroup Co., Ltd. (s.f.).

El espesor de las tuberías de polietileno varía en función del diámetro nominal y la presión de operación, siendo este un factor clave para garantizar su resistencia y adecuado desempeño en el sistema. En las Tablas 2.7 y 2.8 se presentan los valores de espesor para tuberías de polietileno de baja densidad (LPDE) y alta densidad (HDPE), respectivamente.

Tabla 2.7. Espesor de tuberías de polietileno de baja densidad (LPDE)

Dn (mm)	4	6	10
10	-	-	2.0
12	-	-	2.0
16	-	2.0	2.2
20	-	2.0	2.8
25	2.0	2.3	3.5
32	2.0	2.9	4.4
40	2.4	3.7	5.5
50	3.0	4.6	6.9
63	3.8	5.8	8.6
75	4.5	6.8	10.3
90	5.4	8.2	12.3
110	6.6	10.0	15.1
125	7.4	11.4	17.1
140	8.3	12.7	19.2
160	9.5	14.6	21.9
180	10.7	16.4	24.6
200	11.9	18.2	27.3

Fuente: Martínez Cañadas (1993).

Tabla 2.8. Espesor de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE)

Dn (mm)	4	6	10
10	-	-	2.0
12	-	-	2.0
16	-	-	2.0
20	-	-	2.0
25	-	2.0	2.3
32	-	2.0	2.9
40	2.0	2.4	3.7
50	2.0	3.0	4.6
63	2.4	3.8	5.8
75	2.9	4.5	6.8

90	3.5	5.4	8.2
110	4.2	6.6	10.0
125	4.8	7.4	11.4
140	5.4	8.3	12.7
160	6.2	9.5	14.7
180	6.9	10.7	16.4
200	7.7	11.9	18.2

Fuente: *Martínez Cañadas (1993)*

Se observa que, para un mismo diámetro, el espesor de las tuberías aumenta conforme incrementa la presión, lo que permite garantizar una mayor resistencia estructural frente a las condiciones de operación del sistema.

2.2.6.2. Válvulas.

Las válvulas son elementos esenciales en los sistemas de riego presurizado, ya que permiten controlar, regular y aislar el flujo de agua en la red. Su adecuada selección y ubicación garantizan un funcionamiento eficiente del sistema, facilitando las labores de operación, mantenimiento y protección de las tuberías y equipos (Bos, 1989; FAO, 2012; Pizarro, 2014).

2.2.6.2.1. Válvulas check.

Las válvulas check, o válvulas de retención, permiten el flujo en un solo sentido, evitando el reflujos en la tubería. Su uso es fundamental para proteger equipos como bombas y prevenir el vaciado de la red, por lo que se instalan principalmente a la salida de estas y en puntos críticos del sistema (Bos, 1989; Pizarro, 2014).



Figura 2.4 Principales tipos de válvulas de retención utilizados en sistemas hidráulicos.

Fuente: Petroquimex (2019). Selección adecuada de válvulas de retención (check).

2.2.6.2.2. Válvulas de pie.

Las válvulas de pie se instalan en la entrada de la tubería de succión de la bomba, dentro de la fuente de agua. Están provistas de una rejilla o filtro para impedir la entrada de sólidos y de una válvula de retención que impide el vaciado de la tubería cuando la bomba se detiene. De esta manera, se facilita el cebado del sistema y se protege el equipo frente a daños ocasionados por operación en seco. Su presencia resulta esencial en sistemas de succión desde fuentes superficiales (Bos, 1989; FAO, 2012).



Figura 2.5. Válvula de pie.

Fuente: TrialSicol S.A.S. (s.f).

2.2.6.2.3. Válvulas de cierre.

Las válvulas de cierre cumplen con la función de abrir o cerrar completamente el paso del agua en tramos específicos de la red, permitiendo aislar sectores durante el mantenimiento, la reparación o la operación selectiva del sistema. Los modelos más utilizados en riego presurizado son la válvula de compuerta, la válvula de bola y la válvula mariposa, cuya selección se realiza en función del diámetro de la tubería, la presión de trabajo y la frecuencia de operación requerida (Pizarro, 2014; FAO, 2012).

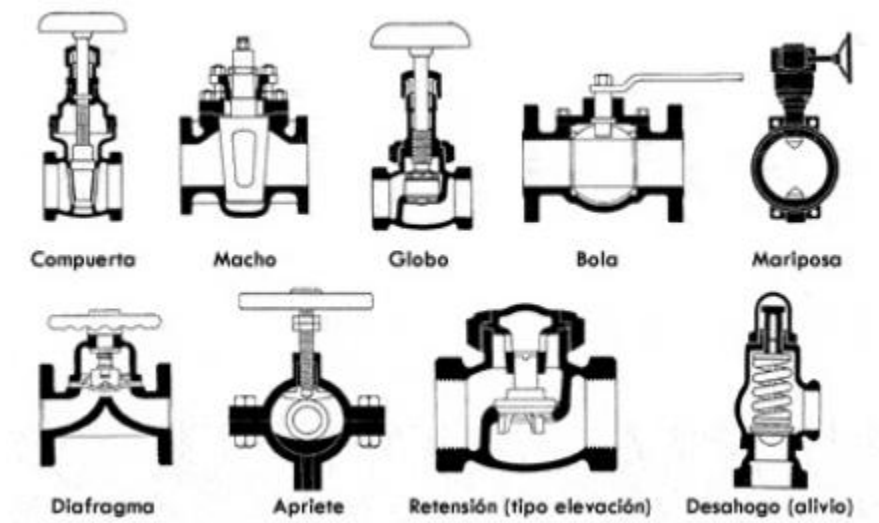


Figura 2.6. Tipos de válvulas.

Fuente: STH Expert (2020).

2.2.6.2.4. Válvulas de control.

Las válvulas de control permiten regular parámetros hidráulicos como presión y caudal en distintos puntos del sistema. Su accionamiento puede ser manual, hidráulico, eléctrico o electrónico, de acuerdo con los requerimientos de automatización y control del proyecto. Entre las más comunes destacan las válvulas reguladoras y reductoras de presión, así como las válvulas solenoides, cuya selección debe responder a los criterios de diseño y a la complejidad operativa planteada (Bos, 1989; Pizarro, 2014; FAO, 2012).

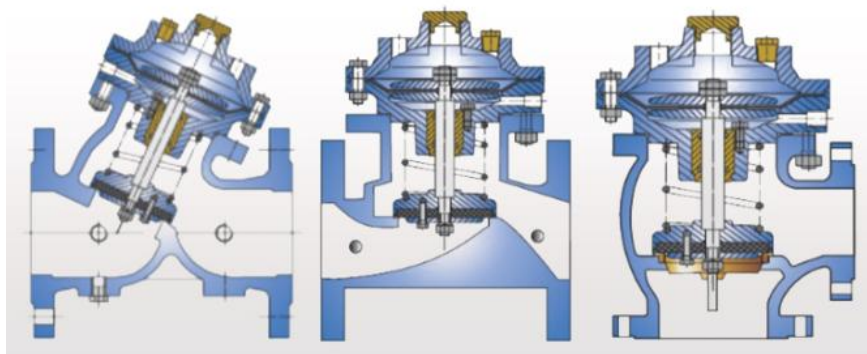


Figura 2.7. Válvulas automáticas de control.

Fuente: RUDMEX (s.f.).

2.2.6.3. Bombas.

Las bombas constituyen el componente activo de los sistemas de riego presurizado, encargadas de entregar el caudal y la presión necesarios para vencer las pérdidas de carga y abastecer eficientemente a toda la red. Para su selección y dimensionamiento, es indispensable considerar la demanda hídrica, la topografía, la longitud de las conducciones y las propiedades de la fuente de agua. Las bombas centrífugas son las más utilizadas en riego agrícola por su eficiencia y confiabilidad, aunque en aplicaciones particulares pueden emplearse bombas sumergibles o de desplazamiento positivo. Un dimensionamiento correcto permite evitar problemas como el sobredimensionamiento, la cavitación y la baja eficiencia energética (FAO, 2012; Pizarro, 2014).

2.2.6.4. Accesorios.

Los accesorios comprenden elementos tales como uniones, codos, tes, adaptadores, filtros, ventosas, purgas y manómetros. Estos componentes facilitan el montaje, la operación y el mantenimiento de la red, además de aportar protección frente a sobrepresiones, ingreso de aire o acumulación de sedimentos. Una selección y disposición adecuada de los accesorios incide directamente en la eficiencia hidráulica, la vida útil y la seguridad global del sistema (Bos, 1989; FAO, 2012; Pizarro, 2014).

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO

3.1. Diseño agronómico

3.1.2. Delimitación del Área de estudio.

La delimitación del área de estudio se realizó a partir de información catastral proporcionada por la Dirección de Riego de la Prefectura del Azuay, la cual contiene la distribución de los predios agrícolas dentro de la comunidad La Loma de Lentag.

Con base en esta información, se procedió a la discretización de las áreas potencialmente regables mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, específicamente el software QGIS. Este proceso permitió identificar y delimitar de manera precisa las unidades de riego, considerando tanto las áreas actualmente en producción como aquellas con potencial de incorporación al sistema.

Como resultado, se determinó una superficie potencialmente regable aproximada de **158 hectáreas**, la cual constituye un parámetro fundamental para el diseño agronómico, ya que permite estimar la demanda hídrica del sistema en función de los cultivos, condiciones climáticas y características del suelo.

La representación espacial de las áreas regables se presenta en el **Anexo 1**.

3.1.4. Características climáticas

De acuerdo con la información geográfica del Ministerio del Ambiente del Ecuador y la clasificación climática propuesta por Pierre Pourrut et al. (1995), el área de estudio presenta un clima **Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo**, característico de la región interandina.

Este tipo de clima se caracteriza por temperaturas medias anuales comprendidas entre 12 °C y 20 °C, con variaciones asociadas a la altitud y la exposición solar. Las temperaturas mínimas descienden ocasionalmente por debajo de 0 °C, mientras que las máximas no superan los 30 °C. La humedad relativa oscila entre 65 % y 85 %, y la insolación anual varía entre 1 000 y 2 000 horas.

Las precipitaciones anuales se sitúan entre 500 y 2 000 mm, con una distribución estacional definida por dos periodos lluviosos, de febrero a mayo y de octubre a noviembre, y una estación seca principal entre junio y septiembre. Adicionalmente, puede presentarse un periodo seco secundario hacia finales de diciembre, conocido como *veranillo del Niño*.

En el cantón Girón, este tipo de clima predomina en aproximadamente el 65 % del territorio, alcanzando el 74 % en la cabecera cantonal. En las parroquias Asunción y San Gerardo, su presencia corresponde al 40 % y 48 %, respectivamente.

3.1.4.1. Precipitación.

Para la zona de estudio, correspondiente a la comunidad de La Loma de Lentag, se analizaron los valores de precipitación promedio mensual obtenidos a partir de datos climáticos procesados y contrastados con información satelital proveniente de la base de datos NASA POWER. A partir de los valores de precipitación media diaria, se determinaron las precipitaciones mensuales considerando el número de días de cada mes.

Tabla 3.1. Distribución mensual de la precipitación en la zona de estudio

Mes	Precipitación (mm/día)	Días del mes	Precipitación mensual (mm/mes)	Precipitación mensual (directo nasa)
Enero	2,50	31	77,50	78,5
Febrero	3,90	28	109,20	112,3
Marzo	4,40	31	136,40	134,7
Abril	2,90	30	87,00	87,5
Mayo	1,60	31	49,60	50,8
Junio	1,10	30	33,00	33,5
Julio	0,70	31	21,70	22,2
Agosto	0,55	31	17,05	17,6
Septiembre	0,65	30	19,50	19,8
Octubre	1,20	31	37,20	39
Noviembre	1,40	30	42,00	43,7
Diciembre	1,55	31	48,05	50,3

TOTAL	678,2	689,9
--------------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de NASA POWER (2024).

El análisis estima que la precipitación total anual es de 678.2 mm, mientras que los datos de la plataforma NASA registran 689.9 mm, lo que indica una buena consistencia entre ambas fuentes. La distribución mensual muestra un patrón estacional claro, con más lluvia en febrero y marzo, y menos entre julio y septiembre, que es la época de sequía.

Este comportamiento demuestra que la lluvia natural no alcanza para cubrir las necesidades de agua de los cultivos todo el año. Por lo tanto, es necesario instalar un sistema de riego tecnificado para asegurar que haya agua disponible durante las temporadas secas.

3.1.4.2. Precipitación probable.

Para el presente proyecto, la precipitación probable mensual fue estimada a partir de la precipitación media mensual registrada, “aplicando un índice de precipitación ($I_p = 0,83$)”, correspondiente a un nivel de probabilidad de ocurrencia del 75 %, recomendado para el diseño de sistemas de riego agrícola en condiciones de variabilidad climática (Doorenbos & Kassam, 1979).

Los resultados obtenidos muestran que la precipitación probable anual es de 572,62 mm, valor inferior a la precipitación media anual de 689,9 mm, lo cual refleja un enfoque de diseño conservador. La distribución mensual mantiene el mismo comportamiento estacional de las precipitaciones medias, con mayores valores en los meses de febrero y marzo, y un periodo seco definido entre julio y septiembre, donde los registros de precipitación probable son inferiores a 20 mm/mes.

Tabla 3.2. Precipitación probable mensual al 75%

Ip a usar	0,83	
Mes	Precipitación mensual (mm/mes)	Precipitación Probable mensual
Enero	78,5	65,16
Febrero	112,3	93,21
Marzo	134,7	111,80
Abril	87,5	72,63
Mayo	50,8	42,16
Junio	33,5	27,81
Julio	22,2	18,43
Agosto	17,6	14,61
Septiembre	19,8	16,43
Octubre	39	32,37
Noviembre	43,7	36,27
Diciembre	50,3	41,75
	689,9	572,62

Fuente: Elaboración propia, basada en FAO (Doorenbos & Kassam, 1979).

Este comportamiento evidencia que el aporte hídrico natural no es suficiente para cubrir las necesidades de los cultivos durante todo el año, por lo que se justifica la implementación de un sistema de riego tecnificado que garantice la disponibilidad de agua en los periodos de menor precipitación.

3.1.4.2.2. Precipitación efectiva.

Para el cálculo de la precipitación efectiva se emplearon las ecuaciones recomendadas por la FAO para estudios de riego. Debido a que los valores de precipitación probable mensual en el área de estudio son menores a 250 mm, se aplicó la siguiente expresión:

$$P_e = \frac{(125 - 0.2P_m)P_m}{125}$$

Los resultados obtenidos, se presentan en la Tabla de Precipitación efectiva mensual, evidenciando las pérdidas naturales del sistema suelo-planta-atmósfera.

Tabla 3.3. Precipitación efectiva mensual

Mes	Precipitación mensual (mm/mes)	Precipitación efectiva (Pe)
Enero	78,5	58,36
Febrero	112,3	79,31
Marzo	134,7	91,80
Abril	87,5	64,19
Mayo	50,8	39,32
Junio	33,5	26,57
Julio	22,2	17,88
Agosto	17,6	14,27
Septiembre	19,8	16,00
Octubre	39	30,69
Noviembre	43,7	34,17
Diciembre	50,3	38,96
	689,9	511,52

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología FAO (Allen et al., 1998).

3.1.5.2. Temperatura

En la Tabla de Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales – Año 2018, se presentan las temperaturas máximas y mínimas medias registradas para el año 2018, observándose que las temperaturas máximas oscilan entre 18 °C y 20 °C, mientras que las temperaturas mínimas varían entre 7 °C y 9 °C.

Tabla 3.4. Temperaturas máximas y mínimas medias mensuales – Año 2018

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Enero	19	8
Febrero	19	8
Marzo	19	9
Abril	19	8
Mayo	20	9
Junio	18	8
Julio	18	7
Agosto	18	8
Septiembre	19	8
Octubre	20	8
Noviembre	20	7
Diciembre	20	8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WorldClim

3.1.5. Evapotranspiración potencial

Los valores de evapotranspiración de referencia (ET_0) fueron estimados mediante el software CROPWAT 8.0, a partir de información climática representativa de la estación Loma de Lentag. Los resultados muestran una evapotranspiración promedio anual de 3.41 mm/día, evidenciando una variación moderada a lo largo del año.

Los valores mensuales de evapotranspiración de referencia se presentan a continuación.

Tabla 3.5. Evapotranspiración de referencia mensual (ET_0)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
ET _o (mm/día)	3.52	3.58	3.44	3.39	3.27	2.87	2.99	3.06	3.46	3.77	3.84	3.69	3.41

Fuente: Elaboración propia mediante el software CROPWAT 8.0

3.1.6. Características de cultivo

3.1.6.1. Cultivos predominantes.

Los sistemas de cultivo predominantes en la parroquia Asunción, se estructuran en torno a tres componentes principales. En primer lugar, destaca el cultivo de **caña de azúcar**, que representa un rubro tradicional asociado a procesos agroindustriales artesanales como la producción de panela, agua ardiente y otros derivados. En segundo lugar, los **pastos cultivados** configuran un componente esencial del uso del suelo, al sustentar la actividad ganadera, especialmente la producción lechera, que complementa la economía rural.

Finalmente, cultivos de árboles frutales de naranja y limón.

3.1.6.2. Periodo vegetativo.

La duración del ciclo vegetativo de los cultivos predominantes en la zona de estudio fue establecida con base en los valores de referencia propuestos por la FAO, considerando las características fisiológicas de cada especie y las condiciones edafoclimáticas propias de la región interandina.

Tabla 3.6. Duración de cultivos predominantes

Cultivo	Duración mínima (días)	Duración máxima (días)	Tipo de cultivo
Caña de azúcar	270	365	Semiperenne
Cítricos (naranja/limón)	240	365	Perenne
Pastos cultivados	100	365	Perenne herbáceo

Fuente: *Elaboración propia con base en valores de referencia FAO (Allen et al., 1998; Doorenbos & Kassam, 1979).*

Se observa que la caña de azúcar presenta un ciclo vegetativo prolongado, característico de cultivos semiperennes, mientras que los cítricos y los pastos presentan ciclos productivos continuos. Desde el punto de vista del diseño del riego, estos cultivos se consideran dentro de un ciclo anual hidráulico, lo que permite establecer los coeficientes de cultivo y la programación de riego correspondiente.

3.1.6.3. Profundidad radicular.

La profundidad radicular efectiva de los cultivos predominantes fue determinada con base en valores de referencia propuestos por la FAO.

Tabla 3.7. Profundidad radicular de cultivos

Cultivo	Profundidad radicular mínima (m)	Profundidad radicular máxima (m)
Caña de azúcar	1.0	1.2
Cítricos (naranja/limón)	1.2	1.5
Pastos cultivados	0.6	1.0

Fuente: *Elaboración propia con base en valores de referencia FAO (Allen et al., 1998).*

Estos valores constituyen un parámetro fundamental para la determinación del agua útil del suelo, la lámina neta de riego y la programación del sistema de riego presurizado propuesto.

3.1.7. Evapotranspiración de cultivo

3.1.7.1. Coeficiente de cultivo (Kc).

Los coeficientes de cultivo fueron seleccionados con base en los valores recomendados por la FAO y en las condiciones agronómicas predominantes en la zona.

Tabla 3.8. Coeficientes de cultivo (Kc)

	kc inicial	kc medio	kc final
Caña de azúcar	0.40	1.25	0.75

	kc único
Limon/Naranja Cítricos	0.90
Pasto elefante	1

Fuente: *Elaboración propia con base en Allen et al. (1998) y FAO (2009).*

Los valores de evapotranspiración de cultivo fueron determinados para cada uno de los cultivos predominantes en el área de estudio, en función de sus coeficientes de cultivo y de la evapotranspiración de referencia.

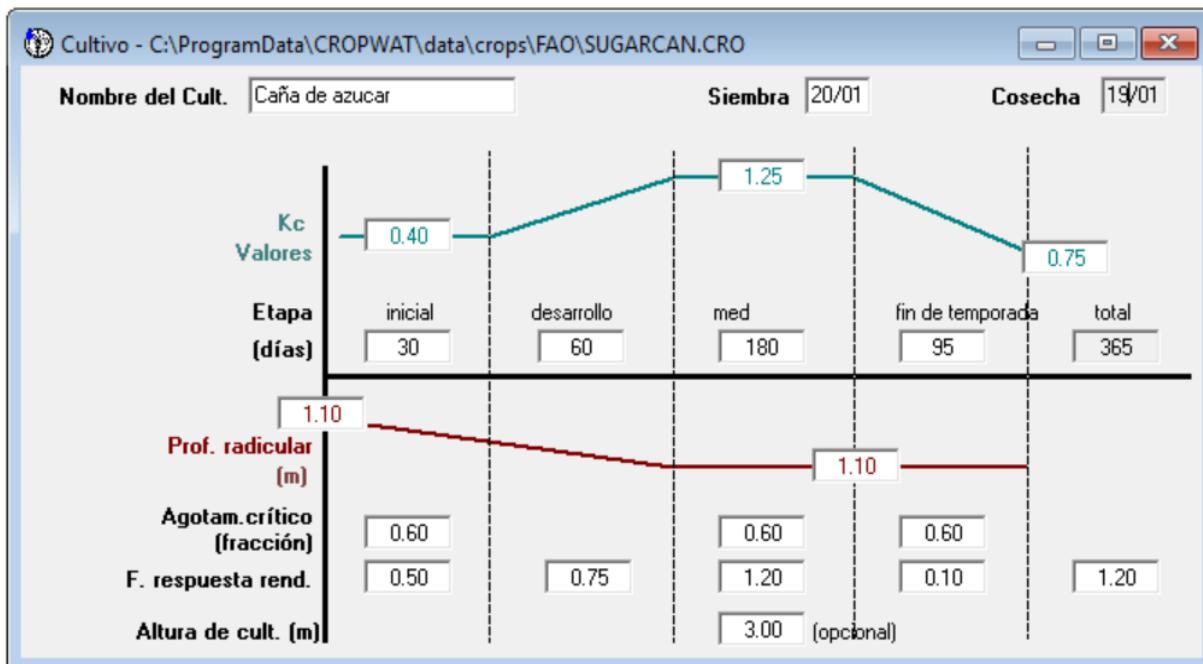


Figura 3.2. Curva del coeficiente de cultivo (K_c) para caña de azúcar generada en el software CROPWAT 8.0

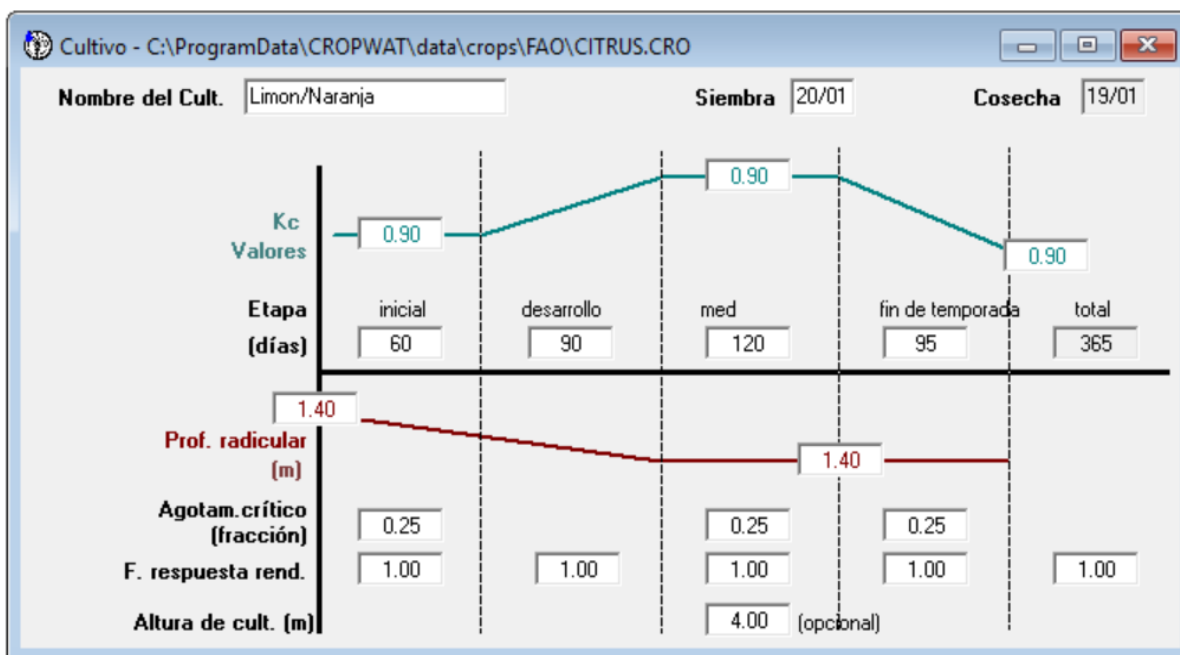


Figura 3.3. Curva del coeficiente de cultivo (Kc) para arboles cítricos generada en el software CROPWAT 8.0

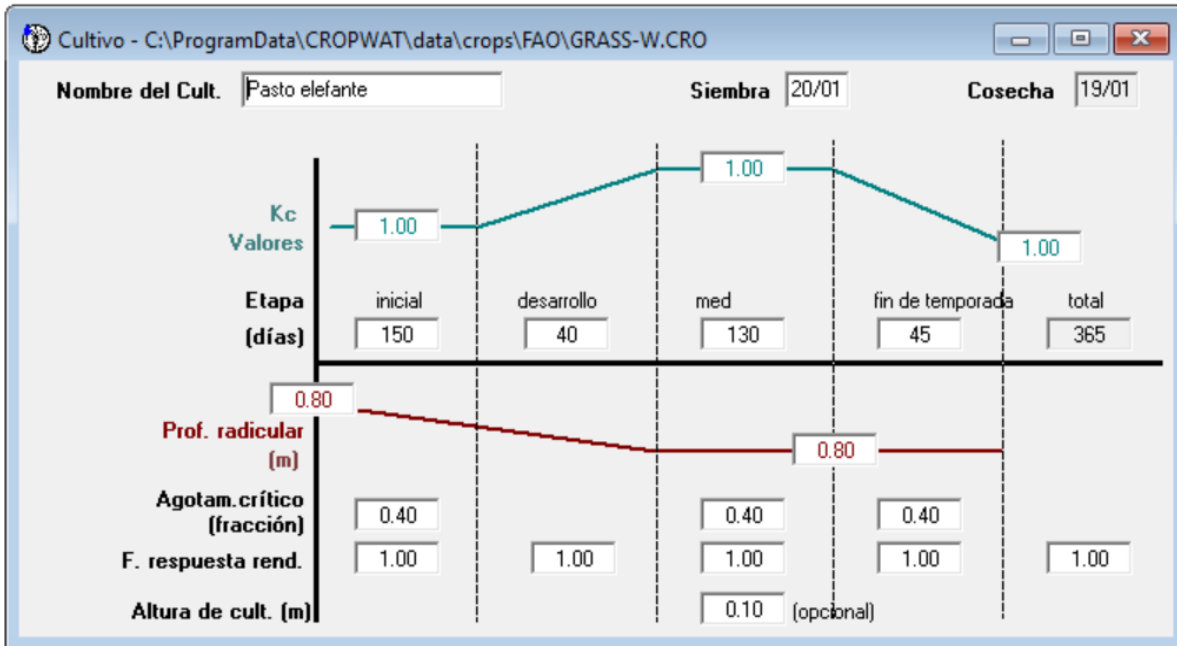


Figura 3.4. Curva del coeficiente de cultivo (Kc) para pasto generada en el software CROPWAT 8.

3.1.8. Necesidades netas de riego

Para determinar las necesidades netas de riego se utilizaron los valores de evapotranspiración del cultivo obtenidos mediante el software CROPWAT 8.0, junto con los datos de precipitación efectiva previamente calculados. Con el objetivo de lograr una estimación más precisa, el análisis se realizó en periodos de diez días (escala decadal), dividiendo cada mes en tres artes. Esto permitió representar de manera más adecuada las variaciones en la demanda hídrica del cultivo a lo largo del tiempo.

Tabla 3.9. Balance hídrico y necesidades netas de riego del cultivo de pasto elefante

Mes	Década	Etapa	Kc (coef)	Etc (mm/día)	Etc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req.Riego (mm/dec)
Ene	2	Inic	1.00	3.51	3.5	2.3	8.7
Ene	3	Inic	1.00	3.54	38.9	25.5	13.4
Feb	1	Inic	1.00	3.56	35.6	28.4	7.2
Feb	2	Inic	1.00	3.58	35.8	31.2	4.6
Feb	3	Inic	1.00	3.53	28.2	32.5	0.0
Mar	1	Inic	1.00	3.48	34.8	35.1	0.0
Mar	2	Inic	1.00	3.44	34.4	37.3	0.0
Mar	3	Inic	1.00	3.42	37.6	33.2	4.4
Abr	1	Inic	1.00	3.40	34.0	28.4	5.6
Abr	2	Inic	1.00	3.39	33.9	25.0	8.9
Abr	3	Inic	1.00	3.35	33.5	21.9	11.6
May	1	Inic	1.00	3.31	33.1	18.3	14.8
May	2	Inic	1.00	3.27	32.7	15.0	17.8
May	3	Inic	1.00	3.14	34.5	13.5	21.0
Jun	1	Inic	1.00	3.00	30.0	12.1	17.9
Jun	2	Des	1.00	2.87	28.7	10.4	18.3
Jun	3	Des	1.00	2.90	29.0	9.3	19.7
Jul	1	Des	1.00	2.94	29.4	8.1	21.3
Jul	2	Des	1.00	2.98	29.8	6.9	22.9
Jul	3	Med	1.00	3.00	33.0	6.5	26.5
Ago	1	Med	1.00	3.02	30.2	6.0	24.2
Ago	2	Med	1.00	3.04	30.4	5.5	25.0
Ago	3	Med	1.00	3.18	35.0	5.8	29.2
Sep	1	Med	1.00	3.31	33.1	5.7	27.4
Sep	2	Med	1.00	3.45	34.5	5.7	28.8
Sep	3	Med	1.00	3.55	35.5	7.9	27.7
Oct	1	Med	1.00	3.66	36.6	10.7	25.9
Oct	2	Med	1.00	3.77	37.7	12.8	24.9
Oct	3	Med	1.00	3.79	41.7	13.0	28.6
Nov	1	Med	1.00	3.81	38.1	13.1	25.0
Nov	2	Med	1.00	3.83	38.3	13.5	24.8
Nov	3	Med	1.00	3.78	37.8	14.1	23.7
Dic	1	Fin	1.00	3.73	37.3	14.3	23.1
Dic	2	Fin	1.00	3.69	36.9	14.7	22.2
Dic	3	Fin	1.00	3.63	39.9	17.4	22.5
Ene	1	Fin	1.00	3.57	35.7	20.4	15.3
Ene	2	Fin	1.00	3.51	31.6	20.6	8.7
					1240.7	601.8	651.5

Fuente: Elaboración propia mediante el software CROPWAT 8.0, con base en la metodología FAO (Allen et al., 1998).

Tabla 3.10. Balance hídrico y necesidades netas de riego del cultivo de caña de azúcar

Mes	Decada	Etapas	Kc (coef)	Etc (mm/día)	Etc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req.Riego (mm/dec)
Ene	2	Inic	0.77	2.70	2.7	2.3	1.4
Ene	3	Inic	0.40	1.41	15.6	25.5	0.0
Feb	1	Inic	0.40	1.42	14.2	28.4	0.0
Feb	2	Des	0.40	1.45	14.5	31.2	0.0
Feb	3	Des	0.49	1.73	13.8	32.5	0.0
Mar	1	Des	0.61	2.14	21.4	35.1	0.0
Mar	2	Des	0.75	2.59	25.9	37.3	0.0
Mar	3	Des	0.90	3.07	33.8	33.2	0.6
Abr	1	Des	1.04	3.56	35.6	28.4	7.1
Abr	2	Med	1.18	4.00	40.0	25.0	15.0
Abr	3	Med	1.23	4.13	41.3	21.9	19.4
May	1	Med	1.23	4.08	40.8	18.3	22.4
May	2	Med	1.23	4.03	40.3	15.0	25.3
May	3	Med	1.23	3.86	42.5	13.5	29.0
Jun	1	Med	1.23	3.70	37.0	12.1	24.9
Jun	2	Med	1.23	3.53	35.3	10.4	24.9
Jun	3	Med	1.23	3.58	35.8	9.3	26.5
Jul	1	Med	1.23	3.63	36.3	8.1	28.2
Jul	2	Med	1.23	3.68	36.8	6.9	29.9
Jul	3	Med	1.23	3.70	40.7	6.5	34.3
Ago	1	Med	1.23	3.73	37.3	6.0	31.3
Ago	2	Med	1.23	3.76	37.6	5.5	32.2
Ago	3	Med	1.23	3.93	43.2	5.8	37.4
Sep	1	Med	1.23	4.09	40.9	5.7	35.3
Sep	2	Med	1.23	4.26	42.6	5.7	36.9
Sep	3	Med	1.23	4.39	43.9	7.9	36.1
Oct	1	Med	1.23	4.52	45.2	10.7	34.6
Oct	2	Fin	1.23	4.63	46.3	12.8	33.6
Oct	3	Fin	1.18	4.49	49.3	13.0	36.3
Nov	1	Fin	1.13	4.31	43.1	13.1	30.0
Nov	2	Fin	1.08	4.13	41.3	13.5	27.8
Nov	3	Fin	1.03	3.89	38.9	14.1	24.8
Dic	1	Fin	0.97	3.65	36.5	14.3	22.2
Dic	2	Fin	0.92	3.42	34.2	14.7	19.5
Dic	3	Fin	0.87	3.17	34.8	17.4	17.4
Ene	1	Fin	0.82	2.92	29.2	20.4	8.8
Ene	2	Fin	0.77	2.70	24.3	20.6	1.4
					1273.0	601.8	754.5

Fuente: Elaboración propia mediante el software CROPWAT 8.0, con base en la metodología FAO (Allen et al., 1998).

Tabla 3.11. Balance hídrico y necesidades netas de riego del cultivo de arboles frutales cítricos.

Mes	Década	Etapa	Kc (coef)	Etc (mm/día)	Etc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Ene	2	Inic	0.90	3.16	3.2	2.3	5.5
Ene	3	Inic	0.90	3.18	35.0	25.5	9.5
Feb	1	Inic	0.90	3.20	32.0	28.4	3.6
Feb	2	Inic	0.90	3.22	32.2	31.2	1.0
Feb	3	Inic	0.90	3.18	25.4	32.5	0.0
Mar	1	Inic	0.90	3.13	31.3	35.1	0.0
Mar	2	Inic	0.90	3.09	30.9	37.3	0.0
Mar	3	Des	0.90	3.07	33.8	33.2	0.6
Abr	1	Des	0.90	3.05	30.5	28.4	2.1
Abr	2	Des	0.89	3.03	30.3	25.0	5.3
Abr	3	Des	0.89	2.99	29.9	21.9	8.0
May	1	Des	0.89	2.95	29.5	18.3	11.1
May	2	Des	0.89	2.91	29.1	15.0	14.1
May	3	Des	0.89	2.78	30.6	13.5	17.1
Jun	1	Des	0.88	2.65	26.5	12.1	14.4
Jun	2	Med	0.88	2.52	25.2	10.4	14.9
Jun	3	Med	0.88	2.56	25.6	9.3	16.3
Jul	1	Med	0.88	2.59	25.9	8.1	17.8
Jul	2	Med	0.88	2.63	26.3	6.9	19.4
Jul	3	Med	0.88	2.65	29.1	6.5	22.6
Ago	1	Med	0.88	2.67	26.7	6.0	20.7
Ago	2	Med	0.88	2.69	26.9	5.5	21.4
Ago	3	Med	0.88	2.81	30.9	5.8	25.1
Sep	1	Med	0.88	2.93	29.3	5.7	23.6
Sep	2	Med	0.88	3.05	30.5	5.7	24.8
Sep	3	Med	0.88	3.14	31.4	7.9	23.5
Oct	1	Med	0.88	3.23	32.3	10.7	21.7
Oct	2	Fin	0.89	3.35	33.5	12.8	20.7
Oct	3	Fin	0.90	3.41	37.5	13.0	24.5
Nov	1	Fin	0.90	3.43	34.3	13.1	21.2
Nov	2	Fin	0.90	3.45	34.5	13.5	21.0
Nov	3	Fin	0.90	3.41	34.1	14.1	19.9
Dic	1	Fin	0.90	3.36	33.6	14.3	19.3
Dic	2	Fin	0.90	3.32	33.2	14.7	18.6
Dic	3	Fin	0.90	3.27	35.9	17.4	18.5
Ene	1	Fin	0.90	3.21	32.1	20.4	11.7
Ene	2	Fin	0.90	3.16	28.4	20.6	5.5
					1107.5	601.8	525.3

Fuente: Elaboración propia mediante el software CROPWAT 8.0, con base en la metodología

FAO (Allen et al., 1998).

3.1.9. Parámetros de riego

Los parámetros de riego constituyen la base del diseño agronómico del sistema de riego presurizado, ya que permiten definir la lámina de agua a aplicar, la frecuencia de riego y el tiempo de operación del sistema, garantizando un suministro adecuado de agua para el cultivo.

En el presente estudio, se adoptó como cultivo de diseño la **caña de azúcar**, debido a que presenta la mayor demanda hídrica en el área de estudio, con una necesidad neta anual de riego de **754,5 mm**, determinada mediante el balance hídrico desarrollado con el software CROPWAT 8.0.

Para el dimensionamiento del sistema se adoptó una **necesidad neta crítica de riego de 3,8 mm/día**, correspondiente al período de mayor demanda hídrica del cultivo de caña de azúcar, obtenida del análisis decadal del balance hídrico.

- **Agua utilizable (AU)**

$$AU = 10(CC - PMP)d_a P_r$$
$$AU = 10(27 - 13)(1,35)(1,2)$$
$$AU = 226,8 \text{ mm}$$

Donde:

$CC = 27\%$	Capacidad de campo
$PMP = 13\%$	Punto de marchitez permanente
$d_a = 1,35 \text{ g/cm}^3$	Densidad aparente
$P_r = 1,2 \text{ m}$	Profundidad de raíces

- **Dosis neta de riego (Dn)**

$$D_n = \frac{DPM \cdot AU}{100}$$
$$D_n = \frac{40 \cdot 226,8}{100}$$
$$D_n = 90,72 \text{ mm}$$

Donde:

$DPM = 40\%$ Densidad permisible de manejo

- **Máximo intervalo entre riegos (IM)**

$$I_M = \frac{D_n}{N_n}$$

$$I_M = \frac{90,72}{3,8}$$

$$I_M = 23.87 \text{ días}$$

Donde:

$N_n = 3,8 \text{ mm/día}$ Necesidades netas de riego

- **Intervalo de riego adoptado**

Se adopta:

$$I = 7 \text{ días}$$

- **Dosis neta ajustada**

$$D_{naj} = I \cdot N_n$$

$$D_{naj} = 7 \cdot 3.8$$

$$D_{naj} = 26,6 \text{ mm}$$

- **Dosis bruta de riego (Db)**

$$D_b = \frac{100 \cdot D_{naj}}{E_a}$$

$$D_b = \frac{100 \cdot 26,6}{80}$$

$$D_b = 33,25 \text{ mm}$$

Donde:

$$E_a = 80\% \quad \text{Eficiencia de aplicación}$$

- **Tiempo de aplicación (t_a)**

$$t_a = \frac{100 \cdot D_b}{I_b \cdot f_p}$$

$$t_a = \frac{100 \cdot 33,25}{8 \cdot 100}$$

$$t_a = 4,156 \text{ horas}$$

Donde:

$$I_b = 8 \text{ mm/h} \quad \text{Tasa de infiltración básica del suelo (mm/h)}$$

$$f_p = 1,0 \quad \text{Factor de reducción por pendiente}$$

- **Tiempo de operación del sistema (t_{op})**

El tiempo de operación del sistema corresponde al número de horas diarias durante las cuales el sistema de riego funciona para atender progresivamente la demanda hídrica del área total del proyecto.

A diferencia del tiempo de aplicación (t_a), que se refiere a una unidad de parcela, el tiempo de operación considera el funcionamiento global del sistema.

Para el presente estudio se adopta:

$$t_{op} = 21 \text{ h/dia}$$

- Necesidad bruta de riego (N_b)

$$N_b = \frac{100 \cdot N_n}{E_a}$$

$$N_b = \frac{100 \cdot 3.8}{80}$$

$$N_b = 4,75 \text{ mm/día}$$

Tabla 3.12. Parámetros de Riego

Descripción	Expresado como	Unidades	Valor
Agua utilizable	AU	mm	226,8
Dosis neta de riego	D_n	mm	90,72
Déficit permisible de manejo	DPM	%	40
Máximo intervalo entre riegos	IM	días	23,87
Intervalo de riego adoptado	I	días	7
Dosis neta ajustada	D_{naj}	mm	26,6
Dosis bruta de riego	D_b	mm	33.25
Eficiencia de aplicación	E_a	%	80
Tiempo de aplicación	t_a	h	4,156
Tiempo de operación del sistema	t_{op}	h/día	21
Tasa de infiltración básica del suelo	I_b	mm/h	8
Factor de reducción por pendiente	f_p	%	100
Necesidad bruta de riego	N_b	mm/día	4.75

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (Allen et al., 1998).

3.1.10. Caudal necesario

El caudal necesario del sistema se determina en función de la necesidad bruta diaria de riego, la superficie total regable y el tiempo de operación del sistema.

A diferencia del tiempo de aplicación de la lámina de riego (t_a), que corresponde a una unidad de parcela, para el dimensionamiento del caudal a nivel de proyecto se considera el **tiempo diario de operación del sistema** (t_{op}), el cual representa el número de horas en las que el sistema funciona para atender progresivamente toda el área de riego.

La expresión utilizada es:

$$Q = \frac{A \cdot N_b \cdot 10}{t_{op} \cdot 3600}$$

Donde:

- Q : caudal requerido (m^3/s)
- A : superficie regable (ha)
- N_b : necesidad bruta de riego ($mm/día$)
- t_{op} : tiempo de operación del sistema ($h/día$)

Para el presente proyecto:

- $A = 158 ha$
- $N_b = 4,75 mm/día$
- $t_{op} = 21 h/día$

Sustituyendo:

$$Q = \frac{158 \cdot 4,75 \cdot 10}{21 \cdot 3600}$$

$$Q = 0,09927 m^3/s$$

$$Q = 99,3 l/s$$

3.2. Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico se desarrolla a nivel general del sistema de riego presurizado, considerando la conducción principal, el caudal requerido, las condiciones topográficas y las presiones de operación necesarias para garantizar el transporte eficiente del agua hacia los puntos de entrega.

En esta etapa no se contempla el diseño parcelario ni la distribución interna del riego, debido a que estos dependen de las características específicas de cada predio y cultivo.

Por lo tanto, el diseño propuesto constituye una solución técnica para la conducción y presurización del sistema, dejando como etapa posterior el diseño detallado a nivel parcelario.

3.2.1. Topografía

El trabajo de campo correspondiente a este apartado consistió en un levantamiento georreferenciado preliminar del trazado del canal existente, mediante el cual se identificaron cambios de pendiente, cambios de dirección, estructuras hidráulicas y puntos críticos; esta información sirvió de base para el planteamiento preliminar del trazado y para la modelación hidráulica inicial de la red.

Este reconocimiento permitió caracterizar preliminarmente las condiciones del relieve y evaluar la factibilidad inicial del trazado de la conducción principal del sistema presurizado.

3.2.1.1. Equipos de medición

El reconocimiento del área de influencia y del trazado del canal principal se apoyó en herramientas de georreferenciación y registro de campo que permitieron levantar la información

necesaria para la estructuración preliminar del diseño hidráulico. En una primera etapa se utilizó la aplicación móvil **SW Maps**, la cual permitió registrar información espacial en tiempo real, incluyendo recorridos, puntos de interés y posibles rutas de conducción.

En este proceso, se recorrieron aproximadamente 8.7 km, abarcando todo el sistema de riego actual y las zonas que se consideran para el sistema presurizado. Este levantamiento ayudó a identificar las características topográficas del terreno, la configuración del sistema existente y posibles rutas para la conducción principal.

La información recopilada se procesó en QGIS, donde se digitalizaron y analizaron los recorridos registrados. Esto estableció una base espacial confiable para planear el trazado del sistema.

Los recorridos levantados se presentan en el **Anexo 2**.

3.2.2. Diseño hidráulico de la red de distribución

El diseño hidráulico del sistema de riego presurizado se desarrolló a partir de la información obtenida en el diseño agronómico y del análisis de las condiciones físicas del área de estudio. Para ello, se consideraron las características topográficas del sector, el trazado del sistema actual de riego por gravedad, la localización de los usuarios beneficiarios y los criterios técnicos establecidos para la conducción y distribución del agua.

El objetivo de esta etapa fue diseñar una red hidráulica técnicamente viable, adaptada a las condiciones reales de la comunidad y enfocada en mejorar la eficiencia en la entrega del agua.

Para lograrlo, se interpretó el relieve, se definió el trazado de la conducción principal y se organizó preliminarmente la red de distribución. Posteriormente, se verificará el comportamiento de la red mediante modelación hidráulica.

El trazado preliminar de la red de conducción se presenta en el **Anexo 3**.

3.2.2.1 Consideraciones generales

Para la definición de la red de distribución se adoptaron los siguientes criterios generales de diseño:

- El trazado de la red se vinculó, en la medida de lo posible, al sistema de riego existente y a trayectorias reconocidas por la comunidad, con el fin de facilitar su implementación y reducir intervenciones innecesarias.
- La topografía del sector se consideró como un factor determinante, ya que condiciona la distribución de presiones a lo largo de la conducción.
- La selección de tuberías y sus diámetros se realizó en función del caudal de diseño, las condiciones de presión y las características del terreno, buscando garantizar un comportamiento hidráulico adecuado del sistema.
- Se incorporaron válvulas rompe presión en puntos estratégicos de la red, con el objetivo de controlar las sobrepresiones generadas por las diferencias de cota y mantener las presiones dentro de los rangos admisibles de operación de las tuberías.
- El análisis del sistema se desarrolló a nivel general, enfocado en la conducción principal, sin incluir el diseño parcelario o la distribución interna en predios.
- El enterramiento de las tuberías se planteó considerando las condiciones del terreno natural y la necesidad de proteger la infraestructura frente a agentes externos.

3.2.4. Análisis hidráulico de la conducción (Hojas de cálculo).

Con base en el análisis del perfil longitudinal, la línea piezométrica y las condiciones topográficas del área de estudio, se realizó la discretización de la conducción principal y secundaria en subtramos hidráulicos, con el objetivo de representar adecuadamente el comportamiento del flujo a lo largo del sistema.

La definición de cada subtramo se efectuó considerando los cambios de pendiente del terreno, variaciones de caudal, diámetro de tubería y la ubicación de estructuras hidráulicas, tales como válvulas rompen-presión (VRP) y nodos de bifurcación.

En la **Figura 3.8** se presenta el perfil longitudinal del terreno junto con la línea piezométrica correspondiente a la conducción principal del sistema de riego.

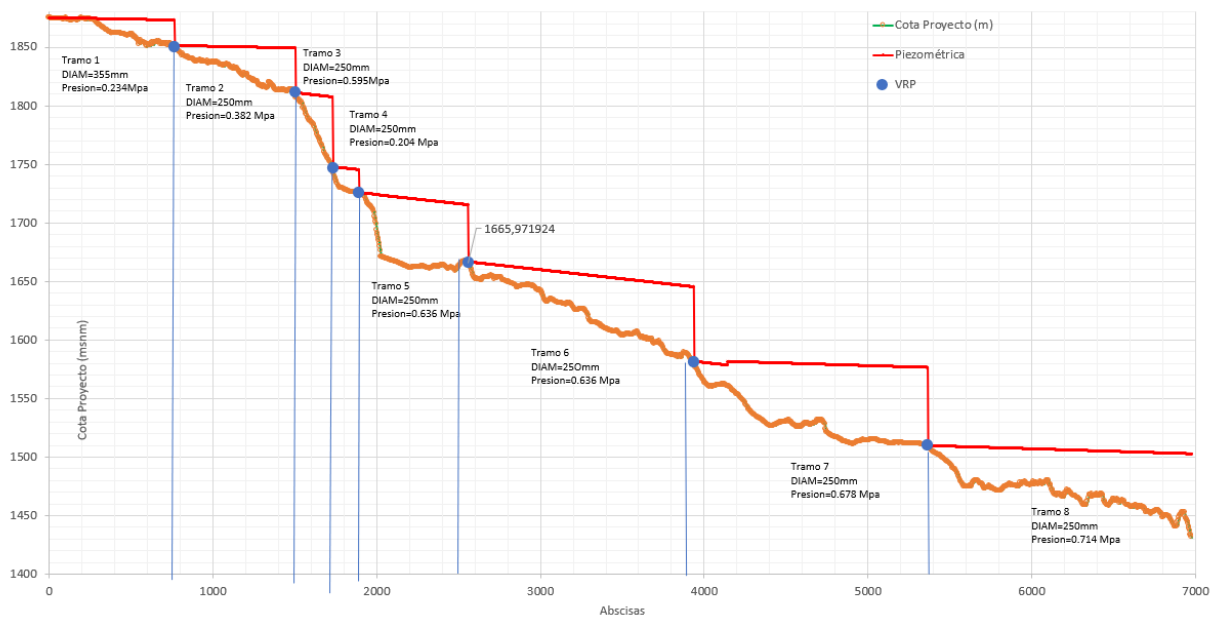


Figura 3.8. Perfil longitudinal del terreno y línea piezométrica de la conducción principal del sistema de riego.

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 3.13.** presenta el análisis hidráulico de la conducción principal, incluyendo parámetros como abscisas, cotas, caudal, y diámetro, los cuales permiten caracterizar el funcionamiento del sistema de conducción, y posteriormente hacer el modelado en el software de Watercad.

Tabla 3.13. Resumen del análisis hidráulico de la conducción principal.

Elemento	Abscisa inicial (m)	Abscisa (m)	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Caudal (L/s)	Observaciones
Reservorio de captación	0+000.00		1875.45		100	Estructura inicial del sistema
Tubería 1	0+000.00	0+762.55	1875.45	1851.56	100	Tramo 1
VRP 1	0+766.52		1850.17		100	Válvula rompe presión
Tubería 2	0+766.52	1+501.62	1850.17	1811.29	100	Tramo 2
VRP 2	1+504.92		1811.34		100	Válvula rompe presión
Tubería 3	1+504.92	1+676.36	1811.34	1763,4	100	Pendiente fuerte; velocidad alta
VRP 2.1	1+733.376		1746.42		100	Válvula rompe presión
Tubería 4	1+733.376	1+889.27	1746.42	1726.08	100	Tramo 4
VRP 3	1+892.64		1725.84		100	Válvula rompe presión
Tubería 4	1+892.64	2+555.25	1725.84	1666.91	100	Tramo intermedio
VRP 4	2+559.62		1665.97		100	Tanque rompe presión
Tubería 5	2+559.62	3+938,6	1665.97	1580,66	100	Tramo previo a VRP 5 y bifurcación
VRP5	3+938,6		1580,66		100	
Tubería 5.1	3+938,6	4+142.55	1580,66	1560.32	100	

Nodo de bifurcación	4+142.55		1560.32		100 = 50 + 50	Disipación de presión y división del caudal
Tubería 6	4+142.55	5+363.40	1560.32	1509.90	50	Tramo previo a TRP 6
VRP 6	5+366.67		1510.01		50	Válvula rompe presión
Tubería 7	5+366.67	6+977.40	1510.01	1431.50	50	Tramo final posterior a TRP 6
Punto final	6+977.40		1431.50		50	Punto final de entrega

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis hidráulico del Sistema.

En la abscisa 4+142.55 se ubica un nodo de bifurcación, dando origen a la conducción secundaria del sistema.

En la Figura 3.9 se presenta el perfil longitudinal del terreno y la línea piezométrica correspondiente a la conducción secundaria.

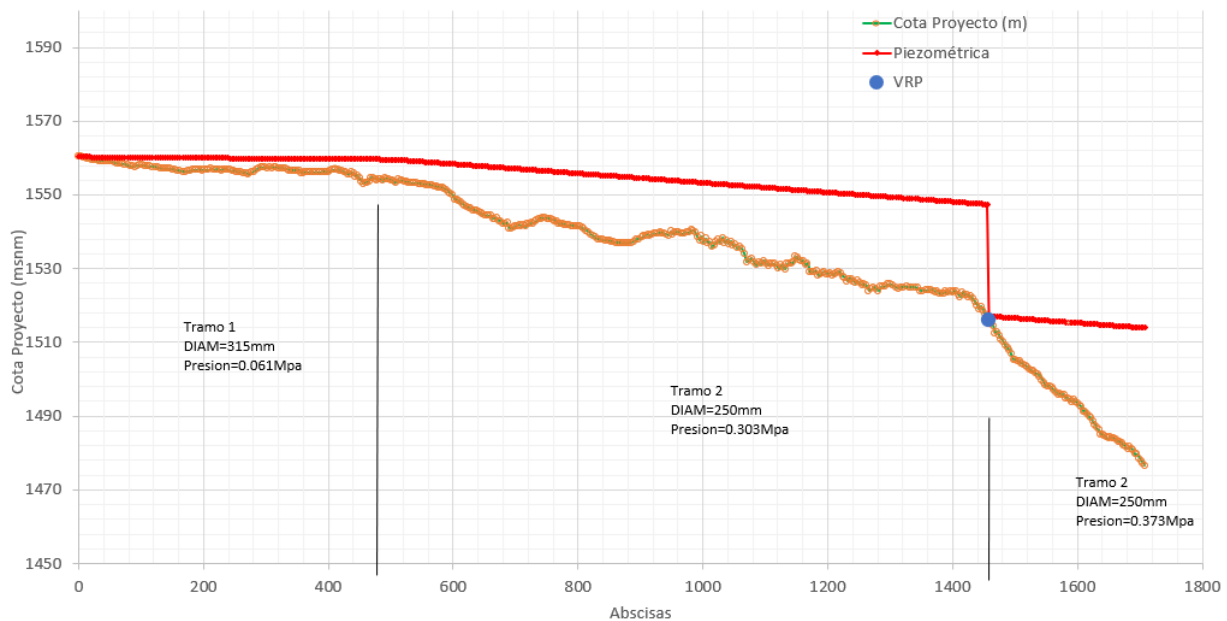


Figura 3.9. Perfil longitudinal del terreno y línea piezométrica de la conducción secundaria del sistema de riego.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14. Análisis hidráulico de la línea secundaria del sistema de riego.

Elemento	Abscisa inicial	Abscisa final	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Observaciones
Nodo de bifurcación	4+142.55		1560.32		Línea secundaria
Tubería 1s	4+142.55	5+366.67	1560.32	1553,52	Inicio de línea secundaria
Nodo Cambio de tubería	4+506,1		1553,524		Transición de diámetro
Tubería 2s	4+506,1	5+458,76	1553,52	1516.1	Velocidad elevada por reducción de diámetro
VRP 7s	5+458,76		1516.1		Control de presión
Tubería 3s - Fin conducción secundaria	5+458,76	5+708,16	1516.1	1474.77	Tramo final de la línea secundaria

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Datos de ingreso y resultados del modelo hidráulico en WaterCAD

Inicialmente, el dimensionamiento hidráulico fue desarrollado en hojas de cálculo, donde se determinaron los caudales de diseño, diámetros preliminares y pérdidas de carga en función de las necesidades hídricas globales del proyecto. Posteriormente, estos resultados fueron verificados mediante la modelación en el software WaterCAD, con el fin de analizar el comportamiento integral del sistema.

Para la simulación hidráulica se consideraron los siguientes datos de entrada:

- **Configuración general del sistema:**
 - Red de conducción principal y secundaria
 - Nodos representativos de demanda (sin parcelación)
- **Datos topográficos:**

- Elevaciones de los nodos
- Longitudes reales de las conducciones
- **Parámetros hidráulicos:**
 - Diámetros de tuberías definidos en el pre-dimensionamiento
 - Coeficiente de rugosidad (Hazen-Williams)
- **Condiciones de operación:**
 - Nivel de carga disponible en la captación de agua
 - Condiciones de flujo permanente
 - Consideración de válvulas rompe presiones

En la **Tabla 3.15.** se presentan las características hidráulicas de las válvulas rompe-presión implementadas en el sistema, incluyendo su ubicación, presión de regulación y pérdidas de carga generadas.

Tabla 3.15. Características hidráulicas de las válvulas rompe-presión (VRP)

VRP	Elevación (m)	Diámetro externo (m)	Diámetro interno (m)	Caudal (L/s)	Presión regulada aguas abajo (m.c.a.)	Presión aguas arriba (m.c.a)
VRP 1	1.850,17	355	337,6	100	10	23,7
VRP 2	1.812,00	250	237,8	100	0	45,7
VRP 2.1	1.746,45	250	237,8	100	0	61,3
VRP 3	1.725,00	250	237,8	100	0	18,7
VRP 4	1.659,60	250	237,8	100	0	55,4
VRP 5	1.580,57	250	237,8	100	0	58,2
VRP 6	1.510,00	250	237,8	50	0	62,1
VRP 7s	1.516,89	200	190,2	50	0	46,7

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación en WaterCAD.

Para el ingreso de datos en Watercad se debe consideró el diámetro interno de la tubería, con una resistencia máxima a la presión de 0,63 Mpa. Así los cálculos representan la sección real a utilizar de el tubo.

Debido a la diferencia de elevaciones en el terreno, el sistema genera presiones elevadas en los tramos bajos de la red, lo que hace necesario incorporar dispositivos de control hidráulico para garantizar un funcionamiento adecuado.

En la **Tabla 3.16.** se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos más representativos del sistema.

Tabla 3.16. Resumen de parámetros hidráulicos de la red de conducción (PVC, C = 150).

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad	Observación
Diámetro exterior comercial	200	355	mm	Diámetros nominales empleados en la conducción
Diámetro interior de modelación	190,2	337,6	mm	Diámetros interiores utilizados en WaterCAD
Caudal	50	100	L/s	Distribución de caudales por sectores
Velocidad	0,71	2,25	m/s	Rango hidráulico aceptable
Presión	1,3	71.7	m.c.a.	La presión máxima corresponde al nodo final de la conducción
Pérdida unitaria	0,001	0,036	m/m	Mayor en diámetros menores y velocidades más altas

Fuente: *Elaboración propia a partir de la modelación en WaterCAD.*

La información detallada de los tramos de la red, incluyendo velocidades, presiones y pérdidas unitarias, se presenta en los **Anexos 4 y 5.**

Se presentan los perfiles longitudinales de la conducción, en los cuales se observa la relación entre la topografía del terreno y la línea piezométrica. Estos permiten verificar la variación de presiones a lo largo del sistema, así como el efecto de las válvulas rompe-presión en la regulación de la energía hidráulica, como resultado de la modelación realizada en el software WaterCAD.

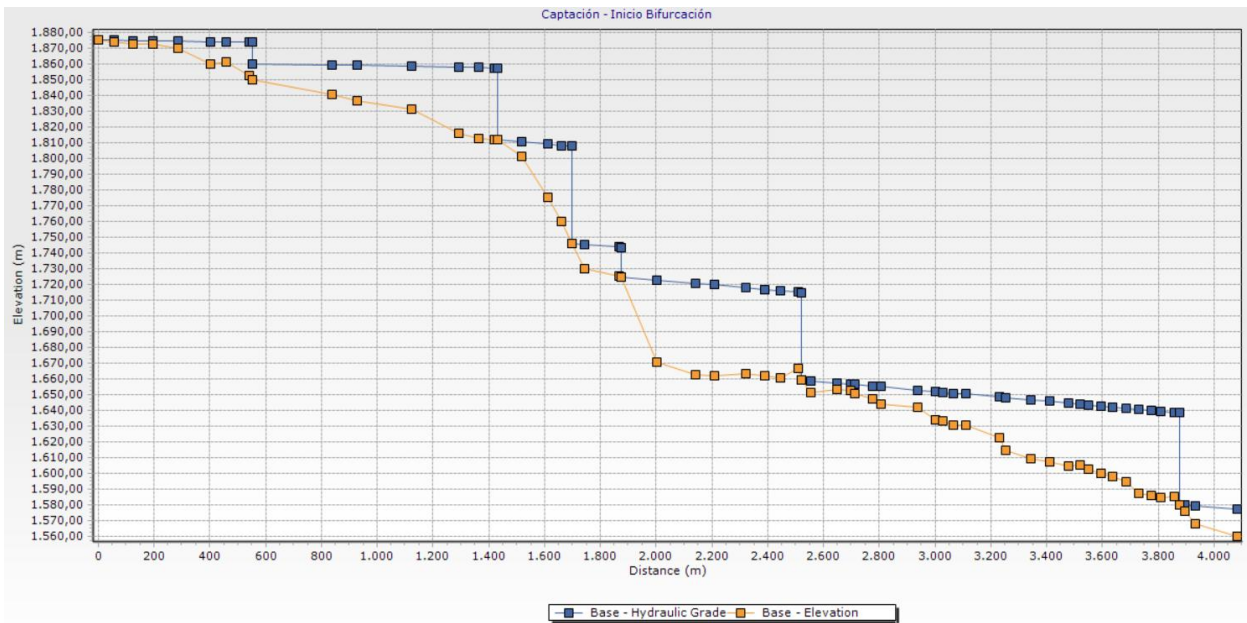


Figura 3.10. Perfil hidráulico longitudinal desde la captación hasta el inicio de la bifurcación.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidráulica en WaterCAD.

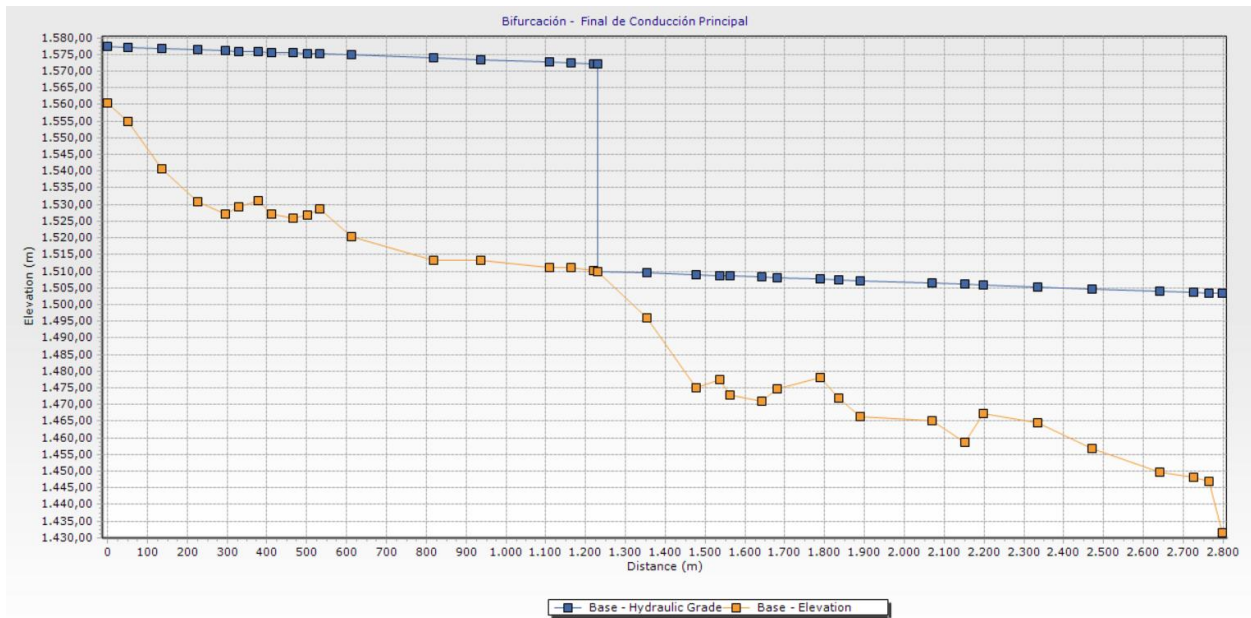


Figura 3.11. Perfil hidráulico longitudinal desde la bifurcación hasta el final de la conducción principal.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidráulica en WaterCAD.

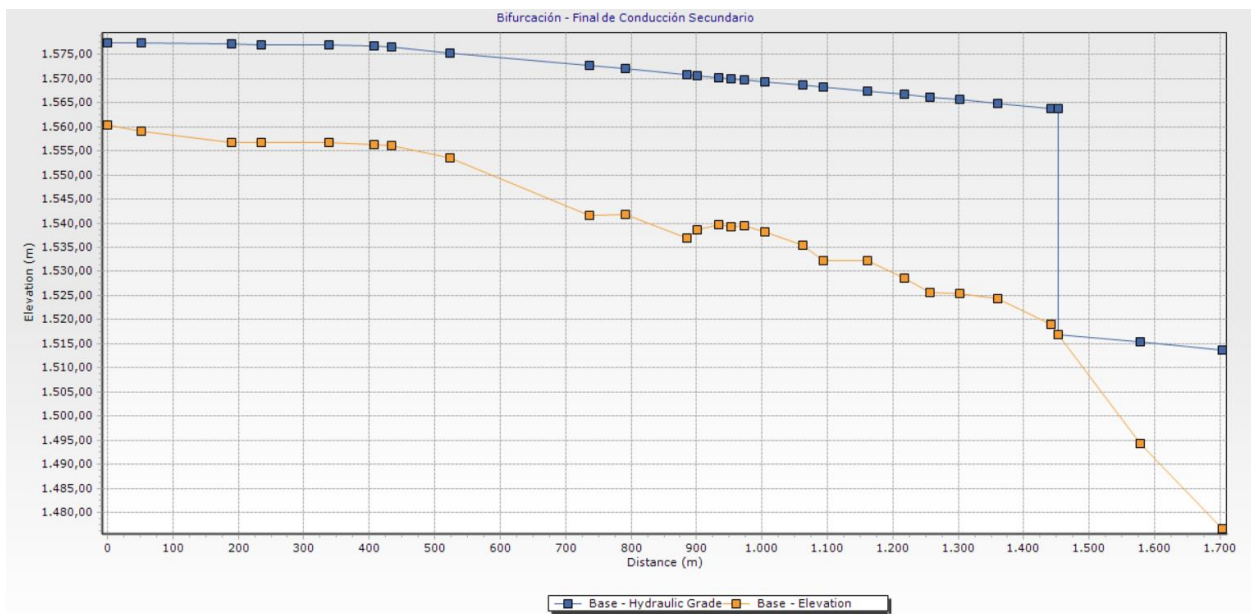


Figura 3.12. Perfil hidráulico longitudinal desde la bifurcación hasta el final de la conducción secundaria.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidráulica en WaterCAD.

CAPÍTULO 4. VALORACIÓN DEL PROYECTO

La valoración se basa en los resultados del diseño hidráulico y agronómico del capítulo anterior, donde se definieron los caudales de operación, el trazado de las conducciones, los diámetros de las tuberías y la necesidad de estructuras de control como válvulas rompe-presiones y nodos de distribución.

En este contexto, el análisis se centra en determinar las cantidades de obra, establecer precios unitarios referenciales y elaborar un presupuesto global del sistema. Consideramos las condiciones reales del mercado de Cuenca y el Azuay, que son el principal centro de abastecimiento de materiales, equipos y mano de obra para el proyecto.

Cabe destacar que, debido a la naturaleza de prefactibilidad del estudio, los valores obtenidos son aproximados. Sirven para evaluar el orden de magnitud de la inversión requerida y como base para la toma de decisiones en etapas posteriores de factibilidad y diseño definitivo.

4.1. Cantidades de Obra

Las cantidades de obra constituyen una estimación preliminar de los volúmenes y longitudes de los diferentes componentes del sistema propuesto. En esta etapa de prefactibilidad, dichas cantidades se determinan a partir del trazado hidráulico, perfiles longitudinales y criterios de diseño adoptados en el capítulo anterior.

De manera referencial, se consideran los siguientes componentes principales:

- Tuberías de conducción con diámetros variables.
- Válvulas rompe-presiones distribuidas a lo largo del sistema.

- Nodo de bifurcación que divide el flujo.
- Excavación y relleno de zanjas para instalación de tuberías.

Ver anexo 6. Cantidades de Obra.

4.2. Análisis de Precios Unitarios

Para la estructuración de los APUS se utilizó como base la información de la Prefectura del Azuay, la cual constituye una referencia técnica confiable para la determinación de rendimientos, costos de mano de obra, equipos y materiales en proyectos de infraestructura hidráulica a nivel local.

No obstante, debido a que ciertos elementos específicos del sistema, como las válvulas rompe-presión, no se encuentran definidos directamente dentro de dicha base de datos, se realizó una investigación complementaria de precios de mercado en el Ecuador, considerando proveedores especializados en válvulas hidráulicas (como sistemas tipo Bernad y equivalentes), disponibles en la ciudad de Cuenca y a nivel nacional.

Ver Anexo 7. Precios Unitarios.

4.3. Presupuesto

El presupuesto del proyecto se obtiene de las cantidades de obra por los precios unitarios correspondientes, permitiendo estimar el costo total de implementación del sistema de riego presurizado.

Se desarrollo tomando en cuenta los precios unitarios de las condiciones reales del mercado de la ciudad de Cuenca y la provincia del Azuay, como

En esta etapa de prefactibilidad, el presupuesto tiene carácter referencial y su objetivo principal es evaluar la viabilidad económica del proyecto, más que definir un costo exacto de ejecución.

Ver anexo 8. Presupuesto.

Conclusiones

- El análisis de la información del proyecto permitió establecer que la comunidad de La Loma de Lentag requiere la tecnificación del riego, debido a que el sistema actual por gravedad presenta pérdidas en conducción, distribución desigual del agua y afectación a los usuarios ubicados en los tramos finales, especialmente durante el estiaje.
- La delimitación del área regable mediante QGIS permitió definir una superficie aproximada de 158 ha, valor que constituyó la base técnica para estimar la demanda hídrica total del sistema.
- El diseño agronómico permitió determinar los principales parámetros de riego del proyecto, obteniendo una necesidad bruta de riego de 4,75 mm/día, considerando una eficiencia de aplicación del 80 %.
- Con base en el área regable, la necesidad bruta de riego y un tiempo de operación de 21 h/día, se determinó un caudal requerido aproximado de 100 L/s, el cual fue empleado como parámetro principal para el diseño hidráulico general de la conducción.
- El diseño hidráulico, permitió verificar que las presiones, velocidades y pérdidas de carga se mantienen dentro de rangos admisibles para el funcionamiento del sistema. El dimensionamiento de diámetros adoptado permitió optimizar el comportamiento hidráulico de la red.
- Debido a las condiciones topográficas incorporamos válvulas rompe-presión y sus respectivas cámaras de protección. Estas estructuras permiten disipar presiones excesivas, proteger las tuberías frente a posibles fallas hidráulicas, facilitar las labores de operación y mantenimiento, y garantizar un funcionamiento seguro y controlado del sistema de conducción.

- La valoración del proyecto estimó las cantidades de obra, precios unitarios y presupuesto referencial, proporcionando una base técnica y económica para evaluar la prefactibilidad y orientar las siguientes etapas de factibilidad, diseño y ejecución.

Recomendaciones

- Para la implementación del sistema, se debe desarrollar el diseño parcelario detallado, a partir del caudal de diseño de 100 L/s y el área regable de 158 ha, definiendo la sectorización, selección de emisores (aspersores), presiones de operación y distribución interna del riego, con el fin de garantizar la uniformidad de aplicación en cada parcela.
- El trazado hidráulico propuesto debe validarse mediante un levantamiento topográfico de precisión, utilizando equipos como estación total o GNSS, que permita ajustar pendientes, cotas y presiones reales del sistema, especialmente en zonas con topografía irregular donde se identificaron variaciones significativas de presión.
- La operación del sistema debe basarse en los parámetros obtenidos en el diseño agronómico, específicamente una necesidad bruta de riego de aproximadamente 4,75 mm/día y una eficiencia del 80 %, con el fin de programar adecuadamente la frecuencia y duración del riego, evitando pérdidas por sobre aplicación o déficit hídrico en los cultivos.
 - La implementación del sistema debe incorporar estructuras de control de presión (válvulas rompe-presión y puntos de regulación) en los tramos definidos en el diseño hidráulico, con el fin de mantener las presiones dentro de los rangos establecidos y evitar fallas en tuberías debido a la variabilidad topográfica del terreno.

Referencias

Afif, E. (2004). *Apuntes de hidráulica para explotaciones forestales*. Universidad de Oviedo.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para calcular los requerimientos de agua de los cultivos* (Documento FAO de Riego y Drenaje N.º 56). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Estudio FAO Riego y Drenaje N.º 56). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

American Society of Agricultural Engineers. (2001). *Diseño y operación de sistemas de riego agrícola*. ASAE.

Ávila Pozo, L. Á., Bravo López, P. E., Delgado Inga, V. O., Delgado Pinos, O. A., Martínez Gavilanes, J. M., Ochoa Arias, P. E., Pacheco Niveló, J. L., Tenesaca Pacheco, C. R., & Toledo López, E. A. (2021). *Atlas cantonal de Girón*. Universidad del Azuay.

Bos, M. G. (1989). *Estructuras de medición de caudal*. International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *La naturaleza y propiedades de los suelos* (15.^a ed.). Pearson.

Brière, F. G. (2005). *Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia*. Presses Internationales Polytechnique.

Cabrera, M. E. (2016). *Ampliación del sistema de agua potable para las comunidades de Banguir y San Martín de la parroquia San José de Raranga, en el cantón Sígsig* [Trabajo de titulación, Universidad del Azuay].

Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de riego con los agricultores* (2.^a ed.). Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador.

Carrazón Alocén, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.

Criollo Ayala, D. P., & Hurtado Crespo, X. G. (2023). *Diseño del sistema de alcantarillado y planta de tratamiento para la comunidad de Pichanillas, cantón Girón, provincia del Azuay* [Trabajo de graduación, Universidad del Azuay].

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). *Respuesta de los cultivos al agua* (Documento FAO de Riego y Drenaje N.º 33). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). *Necesidades de agua de los cultivos* (Documento FAO de Riego y Drenaje N.º 24). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

EALCA. (s. f.). *Tubería PVC plástica*. EALCA.

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). *WorldClim 2: Nuevas superficies climáticas con resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales*. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315.

Google. (2026). *Google Earth Pro* [Software]. Google LLC.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Girón. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Girón*. GAD Municipal de Girón.

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de La Asunción. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia La Asunción perteneciente al cantón Girón, provincia del Azuay*. GAD Parroquial Rural de La Asunción.

Grupo Latino. (2013). *Sistemas de riego*. Grupo Latino Editores.

Hillel, D. (2004). *Introducción a la física ambiental del suelo*. Elsevier Academic Press.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. INEC.

Martínez Cañadas, M. Á. (1993). *Hidráulica aplicada a proyectos de riego* (2.^a ed.). Universidad de Murcia.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2015). *Mapa de taxonomía de suelos del Ecuador*. MAG.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2002). *Mapa de isoyetas*. MAGAP.

Ministerio del Ambiente. (2003). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente* (Decreto Ejecutivo 3516; Registro Oficial Edición Especial 2; última modificación 5 de septiembre de 2018). Lexis Finder.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua: Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Ministerio del Ambiente.

Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). *Mecánica de fluidos aplicada* (7.^a ed.). Pearson.

NASA Langley Research Center. (2024). *Condiciones climáticas de diseño POWER: 2001-01-01 a 2024-12-31, 0.03° S, 79.23° W* [Conjunto de datos]. NASA POWER Project.

Noriega Guzmán, F. A., & Vásquez Ramón, J. S. (2024). *Actualización y optimización del sistema de riego Cunutambo II de las comunidades de Zhondeleg, Porrión y Zhio del cantón Chordeleg* [Trabajo de titulación, Universidad del Azuay].

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2001). *Manual de riego: Planificación, desarrollo, seguimiento y evaluación de la agricultura bajo riego con participación de agricultores*. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *CROPWAT 8.0 para Windows* [Software]. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). *Manual de riego y drenaje*. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Agua para la alimentación y la agricultura sostenibles*. FAO.

- Petroquimex. (2019). *Selección adecuada de válvulas de retención check*. Petroquimex.
- Pipemaster. (s. f.). *Tuberías de fibrocemento*. Pipemaster.
- Pizarro Cabello, F. (2014). *Riegos localizados de alta frecuencia: Goteo, microaspersión y exudación*. Mundi-Prensa.
- Plastigama. (s. f.). *Tuberías y accesorios de PVC y PE BD*. Plastigama.
- Pourrut, P., Gómez, G., Bermeo, A., & Segovia, A. (1995). *El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía*. ORSTOM.
- Quesquén Bances, J. C. (2016). *Mejoramiento de un sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Piyay, distrito de Pataypampa, provincia de Grau, región Apurímac* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- Quinde Guamán, P. C., & Zhagüi Chunchi, J. M. (2019). *Diseño de un sistema de riego presurizado para el sector Pungoloma de la comunidad de Quilloac del cantón Cañar, provincia de Cañar* [Trabajo de grado, Universidad del Azuay].
- RUDMEX. (s. f.). *Válvulas automáticas de control*. RUDMEX.
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Marcombo.
- SIGTIERRAS. (2015). *Levantamiento de cartografía temática de suelos, cobertura y uso de la tierra*. Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica.
- STH Expert. (2020). *Tipos de válvulas*. STH Expert.

TrialSicol S. A. S. (s. f.). *Válvula de pie*. TrialSicol.

Universidad de Cuenca & Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Girón.
(2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonal de Girón conteniendo al Plan de Uso y Gestión del Suelo Rural: Tomo IV*. Universidad de Cuenca.

Universidad de Cuenca & Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Girón.
(2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonal de Girón conteniendo al Plan de Uso y Gestión del Suelo Rural: Tomo VII, fase de planificación*. Universidad de Cuenca.

Valverde, J. C. (1998). *Riego y drenaje*. Universidad Estatal a Distancia.

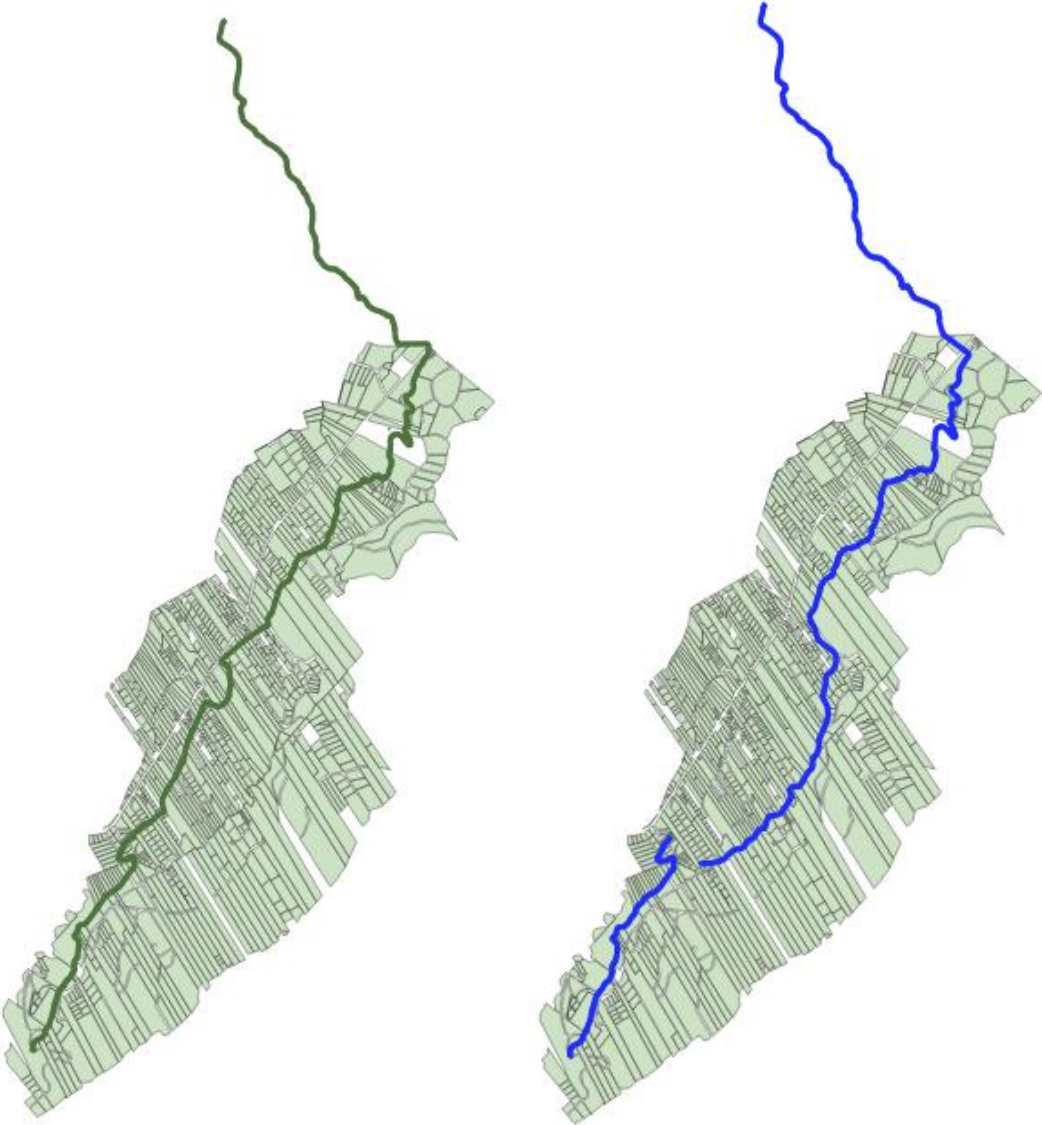
Y. P. D. Intergroup Co., Ltd. (s. f.). *Tuberías de polietileno*. Y. P. D. Intergroup Co., Ltd.

Anexo 1. Delimitación de áreas regables mediante análisis QGIS - Comunidad De La Loma
Lentag.



157.14 hectáreas

Anexo 2. Levantamiento de recorridos y rutas de conducción con la herramienta de SW-MAPS



Anexo 3. Propuesta de trazado de la red de conducción previa al diseño hidráulico



Anexo 4. Datos y resultados del diseño hidráulico de la red de conducción (WaterCAD)

Reservorio		Cota (m)	
FUENTE DE AGUA		1.875,45	
Nodos	Gradiente Hidraulico (m)	Elevacion (m)	Presion (mca)
Nodo 1	1.873,98	1.875,29	1,3
Nodo 2	1.872,78	1.875,11	2,3
Nodo 3	1.872,73	1.874,91	2,2
Nodo 4	1.869,82	1.874,66	4,8
Nodo 5	1.860,19	1.874,34	14,1
Nodo 6	1.861,30	1.874,18	12,8
Nodo 7	1.853,12	1.873,95	20,8
Nodo 8	1.840,97	1.859,40	18,4
Nodo 9	1.837,09	1.859,15	22
Nodo 10	1.831,74	1.858,61	26,8
Nodo 11	1.816,10	1.858,14	42
Nodo 12	1.812,71	1.857,94	45,1
Nodo 13	1.812,17	1.857,78	45,5
Nodo 14	1.801,75	1.810,67	8,9
Nodo 15	1.775,26	1.809,25	33,9
Nodo 16	1.760,09	1.808,48	48,3
Nodo 17	1.730,35	1.745,77	15,4
Nodo 18	1.725,31	1.743,87	18,5
Nodo 19	1.670,67	1.723,06	52,3
Nodo 20	1.662,96	1.720,90	57,8
Nodo 21	1.662,39	1.719,90	57,4
Nodo 22	1.663,29	1.718,18	54,8
Nodo 23	1.662,01	1.717,13	55
Nodo 24	1.660,96	1.716,27	55,2
Nodo 25	1.666,82	1.715,30	48,4
Nodo 26	1.651,81	1.659,08	7,3
Nodo 27	1.653,63	1.657,66	4
Nodo 28	1.652,66	1.656,92	4,3
Nodo 29	1.651,11	1.656,66	5,5
Nodo 30	1.647,86	1.655,72	7,8
Nodo 31	1.644,45	1.655,27	10,8
Nodo 32	1.642,44	1.653,21	10,8
Nodo 33	1.634,08	1.652,26	18,1
Nodo 34	1.633,55	1.651,84	18,2
Nodo 35	1.631,22	1.651,26	20
Nodo 36	1.631,10	1.650,61	19,5

Nodo 37	1.622,75	1.648,78	26
Nodo 38	1.614,79	1.648,39	33,5
Nodo 39	1.609,41	1.647,02	37,5
Nodo 40	1.607,44	1.645,98	38,5
Nodo 41	1.604,90	1.644,95	40
Nodo 42	1.605,54	1.644,36	38,7
Nodo 43	1.602,81	1.643,85	41
Nodo 44	1.600,29	1.643,18	42,8
Nodo 45	1.598,21	1.642,54	44,2
Nodo 46	1.595,10	1.641,83	46,6
Nodo 47	1.587,57	1.641,10	53,4
Nodo 48	1.586,28	1.640,42	54
Nodo 49	1.585,28	1.639,92	54,5
Nodo 50	1.585,85	1.639,19	53,2
Nodo 51	1.576,26	1.580,30	4
Nodo 52	1.568,01	1.579,71	11,7
Nodo 53	1.560,32	1.577,42	17,1
Nodo 54	1.554,87	1.577,21	22,3
Nodo 55	1.540,68	1.576,85	36,1
Nodo 56	1.530,76	1.576,46	45,6
Nodo 57	1.527,26	1.576,17	48,8
Nodo 58	1.529,27	1.576,02	46,7
Nodo 59	1.531,20	1.575,82	44,5
Nodo 60	1.527,18	1.575,67	48,4
Nodo 61	1.525,93	1.575,45	49,4
Nodo 62	1.526,93	1.575,29	48,3
Nodo 63	1.528,63	1.575,17	46,4
Nodo 64	1.520,29	1.574,83	54,4
Nodo 65	1.513,36	1.573,95	60,5
Nodo 66	1.513,38	1.573,45	60
Nodo 67	1.511,15	1.572,73	61,5
Nodo 68	1.511,14	1.572,49	61,2
Nodo 69	1.510,01	1.572,25	62,1
Nodo 70	1.495,98	1.509,48	13,5
Nodo 71	1.474,86	1.508,95	34
Nodo 72	1.477,49	1.508,70	31,1
Nodo 73	1.472,75	1.508,59	35,8
Nodo 74	1.470,87	1.508,26	37,3
Nodo 75	1.474,77	1.508,09	33,3
Nodo 76	1.478,05	1.507,64	29,5
Nodo 77	1.471,91	1.507,44	35,5
Nodo 78	1.466,47	1.507,21	40,7
Nodo 79	1.465,18	1.506,45	41,2

Nodo 80	1.458,69	1.506,10	47,3
Nodo 81	1.467,30	1.505,90	38,5
Nodo 82	1.464,44	1.505,32	40,8
Nodo 83	1.456,68	1.504,75	48
Nodo 84	1.449,81	1.504,02	54,1
Nodo 85	1.448,15	1.503,67	55,4
Nodo 86	1.447,00	1.503,50	56,4
Nodo 87	1.431,48	1.503,36	71,7
Nodo 88	1.559,05	1.577,35	18,3
Nodo 89	1.556,76	1.577,16	20,4
Nodo 90	1.556,74	1.577,10	20,3
Nodo 91	1.556,65	1.576,95	20,3
Nodo 91.2. cambio tuberia	1.556,35	1.576,86	20,5
Nodo 92	1.556,11	1.576,53	20,4
Nodo 93	1.553,64	1.575,39	21,7
Nodo 94	1.541,69	1.572,71	31
Nodo 95	1.541,77	1.572,03	30,2
Nodo 96	1.537,01	1.570,84	33,8
Nodo 97	1.538,52	1.570,64	32,1
Nodo 98	1.539,61	1.570,22	30,6
Nodo 99	1.539,27	1.569,99	30,7
Nodo 100	1.539,58	1.569,75	30,1
Nodo 101	1.538,10	1.569,35	31,2
Nodo 102	1.535,50	1.568,61	33
Nodo 103	1.532,19	1.568,22	36
Nodo 104	1.532,17	1.567,38	35,1
Nodo 105	1.528,69	1.566,68	37,9
Nodo 106	1.525,67	1.566,18	40,4
Nodo 107	1.525,48	1.565,60	40
Nodo 108	1.524,28	1.564,88	40,5
Nodo 109	1.519,05	1.563,86	44,7
Nodo 110	1.494,38	1.515,32	20,9
Nodo 111	1.476,59	1.513,74	37,1

Anexo 5. Resultados del Diseño hidráulico de la red de conducción (WaterCAD)

Tramo	Diametro externo (mm)	Diametro interno (mm)	Material	C	Caudal	Velocidad	Long (3D)	Presion inicio	Precion final
Tramo 1	355	337,6	PVC	150	100	1,12	58	0	1,3
Tramo 2	355	337,6	PVC	150	100	1,12	65	1,3	2,3
Tramo 3	355	337,6	PVC	150	100	1,12	74	2,3	2,2
Tramo 4	355	337,6	PVC	150	100	1,12	90	2,2	4,8
Tramo 5	355	337,6	PVC	150	100	1,12	115	4,8	14,1
Tramo 6	355	337,6	PVC	150	100	1,12	60	14,1	12,8
Tramo 7	355	337,6	PVC	150	100	1,12	82	12,8	20,8
Tramo 8	355	337,6	PVC	150	100	1,12	10	20,8	23,7
Tramo 9	355	337,6	PVC	150	100	1,12	285	10	18,4
Tramo 10	355	337,6	PVC	150	100	1,12	91	18,4	22
Tramo 11	355	337,6	PVC	150	100	1,12	194	22	26,8
Tramo 12	355	337,6	PVC	150	100	1,12	172	26,8	42
Tramo 12	355	337,6	PVC	150	100	1,12	72	42	45,1
Tramo 13	355	337,6	PVC	150	100	1,12	56	45,1	45,5
Tramo 14	355	337,6	PVC	150	100	1,12	10	45,5	45,7
Tramo 15	250	237,8	PVC	150	100	2,25	88	0	8,9
Tramo 16	250	237,8	PVC	150	100	2,25	97	8,9	33,9
Tramo 17	250	237,8	PVC	150	100	2,25	53	33,9	48,3
Tramo 18	250	237,8	PVC	150	100	2,25	40	48,3	61,3
Tramo 19	250	237,8	PVC	150	100	2,25	47	0	15,4
Tramo 20	250	237,8	PVC	150	100	2,25	125	15,4	18,5
Tramo 21	250	237,8	PVC	150	100	2,25	7	18,5	18,7
Tramo 22	250	237,8	PVC	150	100	2,25	138	0	52,3
Tramo 23	250	237,8	PVC	150	100	2,25	141	52,3	57,8
Tramo 24	250	237,8	PVC	150	100	2,25	65	57,8	57,4
Tramo 25	250	237,8	PVC	150	100	2,25	113	57,4	54,8
Tramo 26	250	237,8	PVC	150	100	2,25	68	54,8	55
Tramo 27	250	237,8	PVC	150	100	2,25	57	55	55,2
Tramo 28	250	237,8	PVC	150	100	2,25	64	55,2	48,4
Tramo 29	250	237,8	PVC	150	100	2,25	13	48,4	55,4
Tramo 30	250	237,8	PVC	150	100	2,25	35	0	7,3
Tramo 31	250	237,8	PVC	150	100	2,25	93	7,3	4
Tramo 32	250	237,8	PVC	150	100	2,25	48	4	4,3
Tramo 33	250	237,8	PVC	150	100	2,25	18	4,3	5,5
Tramo 34	250	237,8	PVC	150	100	2,25	62	5,5	7,8
Tramo 35	250	237,8	PVC	150	100	2,25	30	7,8	10,8
Tramo 36	250	237,8	PVC	150	100	2,25	134	10,8	10,8
Tramo 37	250	237,8	PVC	150	100	2,25	63	10,8	18,1

Tramo 38	250	237,8	PVC	150	100	2,25	28	18,1	18,2
Tramo 39	250	237,8	PVC	150	100	2,25	38	18,2	20
Tramo 40	250	237,8	PVC	150	100	2,25	42	20	19,5
Tramo 41	250	237,8	PVC	150	100	2,25	120	19,5	26
Tramo 42	250	237,8	PVC	150	100	2,25	27	26	33,5
Tramo 43	250	237,8	PVC	150	100	2,25	90	33,5	37,5
Tramo 44	250	237,8	PVC	150	100	2,25	68	37,5	38,5
Tramo 45	250	237,8	PVC	150	100	2,25	68	38,5	40
Tramo 46	250	237,8	PVC	150	100	2,25	38	40	38,7
Tramo 47	250	237,8	PVC	150	100	2,25	34	38,7	41
Tramo 48	250	237,8	PVC	150	100	2,25	44	41	42,8
Tramo 49	250	237,8	PVC	150	100	2,25	42	42,8	44,2
Tramo 50	250	237,8	PVC	150	100	2,25	47	44,2	46,6
Tramo 51	250	237,8	PVC	150	100	2,25	48	46,6	53,4
Tramo 52	250	237,8	PVC	150	100	2,25	45	53,4	54
Tramo 53	250	237,8	PVC	150	100	2,25	32	54	54,5
Tramo 54	250	237,8	PVC	150	100	2,25	48	54,5	53,2
Tramo 55(1)	250	237,8	PVC	150	100	2,25	22	53,2	58,2
Tramo 55(2)	250	237,8	PVC	150	100	2,25	18	0	4
Tramo 56	250	237,8	PVC	150	100	2,25	40	4	11,7
Tramo 57	250	237,8	PVC	150	100	2,25	150	11,7	17,1
Tramo 59	250	237,8	PVC	150	50	1,13	51	17,1	22,3
Tramo 60	250	237,8	PVC	150	50	1,13	86	22,3	36,1
Tramo 61	250	237,8	PVC	150	50	1,13	92	36,1	45,6
Tramo 62	250	237,8	PVC	150	50	1,13	68	45,6	48,8
Tramo 63	250	237,8	PVC	150	50	1,13	36	48,8	46,7
Tramo 64	250	237,8	PVC	150	50	1,13	47	46,7	44,5
Tramo 65	250	237,8	PVC	150	50	1,13	35	44,5	48,4
Tramo 66	250	237,8	PVC	150	50	1,13	52	48,4	49,4
Tramo 67	250	237,8	PVC	150	50	1,13	38	49,4	48,3
Tramo 68	250	237,8	PVC	150	50	1,13	30	48,3	46,4
Tramo 69	250	237,8	PVC	150	50	1,13	80	46,4	54,4
Tramo 70	250	237,8	PVC	150	50	1,13	208	54,4	60,5
Tramo 71	250	237,8	PVC	150	50	1,13	117	60,5	60
Tramo 72	250	237,8	PVC	150	50	1,13	172	60	61,5
Tramo 73	250	237,8	PVC	150	50	1,13	56	61,5	61,2
Tramo 74	250	237,8	PVC	150	50	1,13	56	61,2	62,1
Tramo 75	250	237,8	PVC	150	50	1,13	10	62,1	62,1
Tramo 76	250	237,8	PVC	150	50	1,13	124	0	13,5
Tramo 77	250	237,8	PVC	150	50	1,13	126	13,5	34
Tramo 78	250	237,8	PVC	150	50	1,13	60	34	31,1
Tramo 79	250	237,8	PVC	150	50	1,13	27	31,1	35,8
Tramo 80	250	237,8	PVC	150	50	1,13	78	35,8	37,3

Tramo 81	250	237,8	PVC	150	50	1,13	40	37,3	33,3
Tramo 82	250	237,8	PVC	150	50	1,13	107	33,3	29,5
Tramo 83	250	237,8	PVC	150	50	1,13	47	29,5	35,5
Tramo 84	250	237,8	PVC	150	50	1,13	55	35,5	40,7
Tramo 85	250	237,8	PVC	150	50	1,13	179	40,7	41,2
Tramo 86	250	237,8	PVC	150	50	1,13	84	41,2	47,3
Tramo 87	250	237,8	PVC	150	50	1,13	48	47,3	38,5
Tramo 88	250	237,8	PVC	150	50	1,13	136	38,5	40,8
Tramo 89	250	237,8	PVC	150	50	1,13	136	40,8	48
Tramo 90	250	237,8	PVC	150	50	1,13	171	48	54,1
Tramo 91	250	237,8	PVC	150	50	1,13	83	54,1	55,4
Tramo 92	250	237,8	PVC	150	50	1,13	39	55,4	56,4
Tramo 93	250	237,8	PVC	150	50	1,13	37	56,4	71,7
Tramo 94	315	299,6	PVC	150	50	0,71	52	17,1	18,3
Tramo 95	315	299,6	PVC	150	50	0,71	137	18,3	20,4
Tramo 96	315	299,6	PVC	150	50	0,71	45	20,4	20,3
Tramo 97	315	299,6	PVC	150	50	0,71	103	20,3	20,3
Tramo 98	315	299,6	PVC	150	50	0,71	69	20,3	20,5
Tramo 99	200	190,2	PVC	150	50	1,76	27	20,5	20,4
Tramo 100	200	190,2	PVC	150	50	1,76	90	20,4	21,7
Tramo 101	200	190,2	PVC	150	50	1,76	213	21,7	31
Tramo 102	200	190,2	PVC	150	50	1,76	54	31	30,2
Tramo 103	200	190,2	PVC	150	50	1,76	95	30,2	33,8
Tramo 104	200	190,2	PVC	150	50	1,76	16	33,8	32,1
Tramo 105	200	190,2	PVC	150	50	1,76	33	32,1	30,6
Tramo 106	200	190,2	PVC	150	50	1,76	19	30,6	30,7
Tramo 107	200	190,2	PVC	150	50	1,76	19	30,7	30,1
Tramo 108	200	190,2	PVC	150	50	1,76	32	30,1	31,2
Tramo 109	200	190,2	PVC	150	50	1,76	59	31,2	33
Tramo 110	200	190,2	PVC	150	50	1,76	32	33	36
Tramo 111	200	190,2	PVC	150	50	1,76	67	36	35,1
Tramo 112	200	190,2	PVC	150	50	1,76	56	35,1	37,9
Tramo 113	200	190,2	PVC	150	50	1,76	40	37,9	40,4
Tramo 114	200	190,2	PVC	150	50	1,76	46	40,4	40
Tramo 115	200	190,2	PVC	150	50	1,76	58	40	40,5
Tramo 116	200	190,2	PVC	150	50	1,76	82	40,5	44,7
Tramo 117	200	190,2	PVC	150	50	1,76	12	44,7	46,7
Tramo 118	200	190,2	PVC	150	50	1,76	127	0	20,9
Tramo 119	200	190,2	PVC	150	50	1,76	127	20,9	37,1

Anexo 6. Cálculo de cantidades de tubería del sistema de riego presurizado

Tramo	D ext. PVC (mm)	Longitud (m)	Longitud (km)	Ancho zanja (m)	Prof. (m)	Vol. excavación (m³)	Vol. tubería (m³)	Vol. relleno (m³)
Tubería 1	355	1.533,22	1,53	0,76	1,00	1.157,58	151,76	1.005,82
Tubería 2	250	5.599,74	5,60	0,60	1,00	3.359,84	175,92	3.183,92
Tubería 3	315	507,41	0,51	0,72	1,00	362,80	39,54	323,26
Tubería 4	200	1.220,12	1,22	0,56	1,00	683,27	24,53	658,74
TOTAL		8.860,49	8,86			5.563,49	391,75	5.171,74

Anexo 7. Resumen del análisis de precios unitarios (APU) del proyecto

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1.1	Replanteo lineal de tubería	km	8,86	456,58	4.045,30
2.1	Excavación mecánica terreno sin clasificar 0-2 m	m³	3.060,34	3,5	10.711,19
2.2	Excavación mecánica terreno conglomerado 0-2 m	m³	1.669,27	6	10.015,62
2.3	Excavación mecánica terreno consolidado 0-2 m	m³	834,64	7,5	6.259,80
2.4	Razanteo manual fondo de zanja	m	8.860,49	0,8	7.088,39
2.5	Relleno compactado con material de sitio	m³	5.172,50	9,5	49.138,75
2.6	Desalojo de material con equipo pesado	m³	1.391,06	6,5	9.041,89
3.1	Suministro tubería PVC U/E 1,00 MPa D=355 mm	m	1.533,22	109,62	168.071,58
3.2	Suministro tubería PVC U/E 0,63 MPa D=315 mm	m	507,41	65	32.981,65
3.3	Suministro tubería PVC U/E 0,63 MPa D=200 mm	m	5.599,74	28	156.792,72
3.4	Suministro tubería PVC U/E 0,63 MPa D=160 mm	m	1.220,12	20	24.402,40
4.1	Colocación tubería PVC U/E D=355 mm	m	1.533,22	14	21.465,08
4.2	Colocación tubería PVC U/E D=315 mm	m	507,41	12	6.088,92
4.3	Colocación tubería PVC U/E D=200 mm	m	5.599,74	9	50.397,66

4.4	Colocación tubería PVC U/E D=160 mm	m	1.220,12	8	9.760,96
-----	-------------------------------------	---	----------	---	----------

Anexo 8. Presupuesto referencial del sistema de riego presurizado

**PRESUPUESTO REFERENCIAL DE PREFACTIBILIDAD -
CONDUCCIÓN PRINCIPAL Y CONTROL DE PRESIÓN**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	OBRAS PRELIMINARES				
1.1	Replanteo lineal de tubería	km	8,86	456,58	4.045,30
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	Excavación mecánica terreno sin clasificar 0-2 m	m ³	3.060,34	2,86	8.752,57
2.2	Excavación mecánica terreno conglomerado 0-2 m	m ³	1.669,27	4,76	7.945,73
2.3	Excavación mecánica terreno consolidado 0-2 m	m ³	834,64	5,71	4.765,79
2.4	Razanteo manual fondo de zanja	m	8.860,49	0,67	5.936,53
2.5	Relleno compactado con material de sitio	m ³	5.172,50	7,85	40.604,13
2.6	Desalojo de material con equipo pesado	m ³	1.391,06	5,27	7.330,89
3	SUMINISTRO DE TUBERÍAS PVC				
3.1	Suministro tubería PVC U/E 1,00 MPa D=355 mm	m	1.533,22	109,62	168.071,58
3.2	Suministro tubería PVC U/E 0,63 MPa D=315 mm	m	507,41	45,19	22.929,86
3.3	Suministro tubería PVC U/E 0,63 MPa D=250 mm	m	5.599,74	7,44	41.662,07
3.4	Suministro tubería PVC U/E 0,63 MPa D=200 mm	m	1.220,12	6,34	7.735,56
4	COLOCACIÓN DE TUBERÍAS				
4.1	Colocación tubería PVC U/E D=355 mm	m	1.533,22	3,86	5.918,23
4.2	Colocación tubería PVC U/E D=315 mm	m	507,41	3,31	1.679,53
4.3	Colocación tubería PVC U/E D=250 mm	m	5.599,74	2,44	13.663,37
4.4	Colocación tubería PVC U/E D=200 mm	m	1.220,12	2,22	2.708,67
5	ACCESORIOS HIDRÁULICOS DE CONDUCCIÓN				

5.1	Codo PVC U/E R/L D=315 mm 45°	u	2,00	226,86	453,72
5.2	Codo PVC U/E R/L D=315 mm 90°	u	2,00	366,60	733,20
5.3	Codo PVC U/E R/L D=200 mm 90°	u	2,00	44,57	89,14
5.4	Codo PVC E/C D=160 mm 90°	u	2,00	63,74	127,48
5.5	Codo PVC E/C D=160 mm 45°	u	2,00	21,41	42,82
5.6	Tee PVC U/E D=200 mm	u	1,00	109,87	109,87
5.7	Tee PVC E/C D=160 mm	u	1,00	28,54	28,54
5.8	Reductor PVC U/E D=315 x 200 mm	u	1,00	28,18	28,18
6	CONTROL HIDRÁULICO				
6.1	Válvula rompe presión D=355 mm	u	1,00	6.620,63	6.620,63
6.2	Válvula rompe presión D=250 mm	u	6,00	3.363,92	20.183,52
6.3	Válvula rompe presión D=200 mm	u	1,00	2.596,72	2.596,72
6.4	Válvula de aire doble acción 1" con accesorios	u	2,00	115,68	231,36
7	CÁMARAS REFERENCIALES PARA VRP				
7.1	Replanteo de superficie para cámaras	m ²	25,44	3,38	85,99
7.2	Excavación manual en terreno sin clasificar 0-2 m para cámaras	m ³	26,24	13,67	358,70
7.3	Replanteo de piedra e=15 cm	m ²	25,40	7,61	193,29
7.4	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ²	m ³	15,00	162,96	2.444,40
7.5	Acero de refuerzo f _y =4200 kg/cm ²	kg	800,00	2,10	1.680,00
7.6	Encofrado recto	m ²	55,04	17,77	978,06
7.7	Enlucido 1:2 + impermeabilizante	m ²	68,80	26,40	1.816,32
7.8	Tapa metálica 1.05 x 1.05 m	u	8,00	119,00	952,00
8	ANCLAJES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS				
8.1	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ² para anclajes hidráulicos	m ³	8,00	162,96	1.303,68

SUBTOTAL	384.807,40
IVA 15%	57.721,11
TOTAL REFERENCIAL	442.528,51