



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón
(*Solanum Lycopersicum*) en un sector del predio “Curu Curu” de la
parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo.**

Trabajo de Titulación, previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrícola

AUTOR:

Jorge Alberto Cabrera Criollo

DIRECTOR:

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 20 de septiembre de 2022

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón (*Solanum Lycopersicum*) en un sector del predio “Curu Curu” de la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del estudiante **Jorge Alberto Cabrera Criollo**, con cédula de identidad Nro. **1105679730**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Jorge Alberto Cabrera Criollo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1105679730

Fecha: Loja, 28 de noviembre de 2023

Correo electrónico: jorge.a.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0969666066

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Jorge Alberto Cabrera Criollo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón (*Solanum Lycopersicum*) en un sector del predio “Curu Curu” de la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintiocho días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

Firma: 

Autor: Jorge Alberto Cabrera Criollo

Cédula: 1105679730

Dirección: Catamayo, Loja, Ecuador.

Correo electrónico: jorge.a.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 0969666066

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Manuel Romel Ramón Hurtado, Mg. Sc.

Dedicatoria

Con todo mi corazón, dedico este Trabajo de Titulación a mis queridos padres, Alcívar Cabrera y Fanny Criollo, que son verdadero ejemplo de amor y apoyo incondicional; a mi hermana Yanina, por brindarme su cariño y estar conmigo en todo momento.

Jorge Alberto Cabrera Criollo

Agradecimiento

Al concluir esta etapa académica, quiero expresar mi gratitud a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso del camino.

A mis padres y hermana, porque son el motivo de mi esfuerzo y superación, y que pese a las adversidades que se presentaron, su apoyo ha sido inestimable.

Mis sinceros agradecimientos al Ing. Luis Córdova, por su predisposición y apoyo al brindarme el espacio para que este proyecto se pudiera realizar en su propiedad.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Romel Ramón, quien con su experiencia, conocimiento y paciencia me orientó en el desarrollo del presente Trabajo de Titulación. Asimismo, de manera especial al Ing. Alex Cañar, por su ayuda oportuna y desinteresada.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Agrícola por aportar con sus conocimientos y motivar a desarrollarme como profesional en la Universidad Nacional de Loja.

Finalmente, agradecer a todos mis compañeros de aula, por su amistad y por las vivencias compartidas que, sin lugar a dudas, hicieron más agradable mi recorrido por las aulas universitarias.

Jorge Alberto Cabrera Criollo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. El Suelo.....	6
4.1.1. Propiedades Físicas del Suelo.....	6
4.1.2. Contenidos de Humedad del Suelo	7
4.1.3. Expresiones del Contenido de Humedad del Suelo	9
4.1.4. Tipos de Agua en el Suelo	10
4.1.5. Movimiento del Agua en el Suelo	11
4.1.6. Potencial Hídrico del Suelo	11
4.1.7. Curva de Retención de Agua en el Suelo.....	12
4.2. Calidad de Agua de Riego	13
4.3. Definición de Riego	13
4.3.1. Riego por Goteo.....	13
4.3.2. Componentes de un Sistema de Riego por Goteo.....	14
4.3.3. Diseño de un Sistema de Riego por Goteo	15
4.3.4. Bombas Hidráulicas	21
4.4. Generalidades del Cultivo de Tomate Riñón.....	23
4.4.1. Requerimientos Edafoclimáticos del Tomate	24
4.4.2. Requerimientos Hídricos del Tomate	25

5. Metodología	26
5.1. Ubicación del Aea de Estudio.....	26
5.1.1. Ubicación Política.....	26
5.1.2. Ubicación Geográfica	26
5.1.3. Descripción de la Zona de Estudio	27
5.2. Materiales y Equipos.....	27
5.2.1. Materiales y Equipos de Campo	27
5.2.2. Materiales y Equipos de Oficina.....	27
5.3. Metodología del Estudio	27
5.3.1. Diseño de la Investigación	27
5.3.2. Enfoque de la Investigación.....	27
5.3.3. Tamaño de la Población.....	28
5.3.4. Muestra y Muestreo	28
5.3.5. Técnica de Recolección de Datos	28
5.3.6. Técnica de Procesamiento de Datos	28
5.4. Metodología para el Primer Objetivo	28
5.4.1. Clima.....	29
5.4.2. Suelo	29
5.4.3. Agua.....	32
5.5. Metodología para el Segundo Objetivo	33
5.5.1. Levantamiento Topográfico.....	33
5.5.2. Determinación de las Necesidades de Agua del Cultivo	34
5.5.3. Diseño Agronómico	35
5.5.4. Diseño Hidráulico	42
6. Resultados.....	49
6.1. Resultados para el Primer Objetivo	49
6.1.1. Descripción General.....	49
6.1.2. Aspectos Biofísicos.....	50
6.1.3. Aspectos Económico-Productivos	55
6.2. Resultados para el Segundo Objetivo	57
6.2.1. Superficie de Riego.....	57
6.2.2. Necesidades de Agua del Cultivo	57
6.2.3. Profundidad de la Zona Radicular Efectiva del Cultivo de Tomate Riñón	59
6.2.4. Emisor de Riego.....	59

6.2.5. Diseño Agronómico	60
6.2.6. Diseño Hidráulico	61
6.2.7. Selección de la Electrobomba.....	63
6.2.8. Lista de Materiales y Presupuesto Estimado de la Instalación	64
7. Discusión	66
8. Conclusiones	72
9. Recomendaciones	73
10. Bibliografía	74
11. Anexos	80

Índice de tablas:

Tabla 1. Eficiencia de aplicación del agua para diferentes sistemas de riego	18
Tabla 2. Clasificación taxonómica del cultivo de tomate riñón.....	24
Tabla 3. Estación utilizada en la estimación de la ET_o	34
Tabla 4. Porcentajes de agua aprovechable de acuerdo a la ET_o y tipo de cultivo	39
Tabla 5. Descripción del perfil del suelo del predio agrícola Curu Curu	51
Tabla 6. Resultados de las constantes hidrofísicas del suelo	51
Tabla 7. Resultados de las propiedades físicas del suelo.....	52
Tabla 8. Resultados de evaluación de las condiciones físicas del suelo	53
Tabla 9. Resultados del análisis de calidad de agua para riego	54
Tabla 10. Costos de producción de caña de azúcar por hectárea (mantenimiento)	56
Tabla 11. Evapotranspiración de referencia mediante el método de Penman-Monteith.	57
Tabla 12. Valores promedio de ET_o , para el ciclo de cultivo de tomate riñón propuesto	58
Tabla 13. Valores de K_c para tomate riñón por etapa fenológica	58
Tabla 14. Valores de evapotranspiración del cultivo de tomate riñón.....	59
Tabla 15. Características técnicas de la cinta de goteo seleccionada para el diseño	59
Tabla 16. Valores de necesidad de riego del cultivo de tomate riñón	60
Tabla 17. Resumen de los parámetros agronómicos calculados.....	60
Tabla 18. Longitudes y derivaciones de acuerdo al tipo de tubería y diseño	62
Tabla 19. Resumen de los diámetros, velocidades y caudales de diseño.....	62
Tabla 20. Resumen de pérdidas de carga empleando la fórmula de Blasius	63
Tabla 21. Materiales y accesorios del sistema de riego por goteo	64

Índice de figuras:

Figura 1. Constantes de humedad del suelo.....	7
Figura 2. Criterios de riego convencional y de alta frecuencia	9
Figura 3. Tipos básicos de bombas hidráulicas	21
Figura 4. Movimiento del agua en una bomba centrífuga	22
Figura 5. Ubicación del predio Curu Curu, parroquia San Pedro de la Bendita.....	26
Figura 6. Mapa de ubicación y conformación del predio “Curu Curu”	49
Figura 7. Diagrama ombrotérmico del área de estudio.....	50
Figura 8. Curva de retención de agua del suelo en estudio.....	52

Índice de anexos:

Anexo 1. Recorrido de la zona de estudio.	80
Anexo 2. Aforo del caudal en cabecera del sector a implementar la instalación de riego.	80
Anexo 3. Valores de aforo volumétrico.....	80
Anexo 4. Ensayo de infiltración de agua en el suelo.....	81
Anexo 5. Valores de velocidad de infiltración básica.	81
Anexo 6. Descripción del perfil del suelo	82
Anexo 7. Informe de análisis de constantes hidrofísicas y propiedades físicas del suelo.	83
Anexo 8. Informe de análisis de calidad de agua para riego.	84
Anexo 9. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.	85
Anexo 10. Diagrama triangular del USDA para determinar la textura del suelo.	86
Anexo 11. Valores de K_c recomendados por la FAO.	86
Anexo 12. Valores de tensión de vapor y de la densidad del agua según la temperatura.	86
Anexo 13. Márgenes de seguridad para evitar sobrecargas en un motor eléctrico.....	86
Anexo 14. Características técnicas de la electrobomba.....	87
Anexo 15. Plano topográfico del área de riego.....	88
Anexo 16. Vista general del sistema de riego por goteo.	89
Anexo 17. Cabezal principal del sistema de riego por goteo.	90
Anexo 18. Cabezal de campo y conexión de tuberías.	91
Anexo 19. Certificado de traducción.....	92

1. Título

Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón (*Solanum Lycopersicum*) en un sector del predio “Curu Curu” de la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo.

2. Resumen

El predio agrícola “Curu Curu” situado en la parroquia San Pedro de la Bendita, del cantón Catamayo, se caracteriza por la ausencia de riego tecnificado, prevaleciendo el riego tradicional por gravedad debido al escaso conocimiento del agricultor. Con el objetivo de superar esta limitación y diversificar la producción, se diseñó un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón. El estudio se fundamentó en las características hidrofísicas del suelo, cuyo resultado reveló una textura franco arcillosa (Fo Ac), con una densidad aparente (D_a) de 1,60 g/cm^3 ; capacidad de campo (CC) de 12,86 %; y punto de marchitez permanente (PMP) de 9,22 %. En el diseño agronómico, se determinó la necesidad total de agua para el cultivo de tomate riñón de 5,29 mm/día, una lámina de riego bruta de 6,85 mm/día, en un área de 5 400 m^2 , la cual se dividió en 9 subunidades de 600 m^2 . La aplicación del riego se programó con una frecuencia de un día y un tiempo de aplicación de 4,5 horas. Para la distribución del agua, se utilizaron goteros auto compensados de 1,6 l/h de caudal, dispuestos a intervalos de 0,30 m. En el diseño hidráulico, se estableció redes de conducción primaria, secundarias y terciarias que corresponden a los laterales de riego, con diámetros nominales de 50, 32 y 12 mm, respectivamente, calculados con la fórmula de Blasius. Finalmente, se seleccionó una electrobomba Pedrollo HFm 70C de 1,5 HP, para asegurar el suministro de agua y presión necesario en todo el sistema.

Palabras clave: riego por goteo, diseño hidráulico, diámetro nominal.

Abstract

The agricultural property "Curu Curu" located in the parish of San Pedro de la Bendita, Catamayo canton, is characterized by the absence of technified irrigation, prevailing the traditional irrigation by gravity due to the scarce knowledge of the farmer. In order to overcome this limitation and diversify production, a drip irrigation system was designed for the cultivation of kidney tomato. The study was based on the hydrophysical characteristics of the soil, which revealed a clay loam texture (Fo Ac), with a bulk density (Da) of 1,60 g/cm³; field capacity (CC) of 12,86 %; and permanent wilting point (PMP) of 9,22 %. In the agronomic design, the total water requirement for the kidney tomato crop was 5,29 mm/day, a gross irrigation lamina of 6,85 mm/day, in an area of 5,400 m², which was divided into 9 subunits of 600 m². Irrigation application was programmed with a frequency of one day and an application time of 4,5 hours. For water distribution, self-compensating drippers with a flow rate of 1,6 l/h were used, arranged at 0,30 m intervals. In the hydraulic design, primary, secondary and tertiary conduction networks corresponding to the irrigation laterals were established, with nominal diameters of 50, 32 and 12 mm, respectively, calculated with the Blasius formula. Finally, a Pedrollo HFm 70C 1.5 HP electric pump was selected to ensure the necessary water supply and pressure throughout the system.

Keywords: drip irrigation, hydraulic design, nominal diameter.

3. Introducción

El agua es un recurso limitado y vital para el desarrollo de las actividades productivas, especialmente la agricultura, la cual demanda grandes volúmenes de agua. A nivel mundial, la agricultura utiliza aproximadamente el 70 % del agua dulce disponible, contribuyendo con el 40 % de la producción total de alimentos a escala global (Banco Mundial, 2020). En Ecuador, se destina un volumen de agua considerable para la agricultura, representando el 54 % del total de agua extraída en el país (FAO, 2016). Con la infraestructura de riego disponible, existe una diferencia significativa entre la superficie regada y la capacidad de riego, debido a diversos factores como sistemas obsoletos y falta de infraestructura completa (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).

En el cantón Catamayo de la provincia de Loja, se ha otorgado numerosas concesiones de uso del agua destinadas al consumo humano y riego. Sin embargo, la tecnificación del riego en este cantón es limitada, predominando el riego tradicional por gravedad, con relación a los métodos de riego presurizados como la aspersión, el goteo y la microaspersión (PDOT - Catamayo, 2019). En este contexto, la parroquia San Pedro de la Bendita tiene una extensión de 14 771 ha, de las cuales el 1,73 % está destinada a la agricultura, con cultivos como la caña de azúcar, maíz y frejol, que aplican el riego por gravedad, aspersión y goteo (PDOT - San Pedro de la Bendita, 2019)

El tomate riñón es un producto de importancia por sus bondades nutricionales, lo cual conlleva a que sea altamente consumido por la población ecuatoriana. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG (2021), es uno de los cultivos que aporta a la economía nacional, al contribuir con el 0,5 % del Producto Interno Bruto en el sector Agropecuario. En el año 2020, la mayor superficie de cosecha se encontró en la región sierra, representando el 49 % de la superficie total cosechada (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2021). En lo referente al riego, es muy poco tolerante a la sequía, por lo que se debe evitar que alcance niveles muy inferiores de humedad, de los determinados por el cultivo, porque esto provoca bajos rendimientos (Guzmán et al., 2017). Es así que, como una opción acertada para satisfacer las necesidades de riego del cultivo de tomate riñón, se utiliza el riego por goteo, que permite incrementar la producción en un valor cercano al 300 % (Ortiz, 2020).

Dentro de la parroquia San Pedro de la Bendita se ubica el predio "Curu Curu", una finca familiar que depende principalmente del cultivo de caña de azúcar como fuente de ingresos económicos. Sin embargo, el riego de esta finca no está tecnificado debido al escaso conocimiento por parte del agricultor y la tradición de utilizar el riego por gravedad. Esto

planteo la necesidad de buscar una solución que permita el uso eficiente y sostenible del agua, y que contribuya al desarrollo económico, ambiental y social. Por lo tanto, la presente investigación, pretende dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Tecnificar el riego parcelario por goteo permite optimizar el uso del agua y suministrar la humedad óptima para el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate riñón en el predio “Curu Curu”?

Para dar respuesta a la interrogante de investigación, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Contribuir a la optimización del agua a nivel de parcela para mejorar la producción y productividad agrícola en el predio “Curu Curu”, mediante la tecnificación de riego parcelario por goteo, en la agricultura familiar campesina.

Objetivos específicos

- Diagnosticar las condiciones y características biofísicas y económico-productivas actuales del predio.
- Elaborar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo.

4. Marco teórico

4.1. El Suelo

Desde el punto de vista agroforestal, el suelo es el medio natural que posibilita el anclaje de las plantas, logrando que estas puedan extraer agua, oxígeno y nutrientes. En combinación, el suelo y la radiación solar, favorecen a que las plantas por medio de la fotosíntesis produzcan alimentos, forrajes, fibras, masas forestales y energías renovables (Porta et al., 2008).

4.1.1. *Propiedades Físicas del Suelo*

La fertilidad del suelo depende de su contenido de nutrientes esenciales, así como también de sus características físicas, debido a que estas últimas favorecen la capacidad del suelo para suministrar agua, aire, calor y anclaje, indispensables para el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas (Calvache, 2010).

4.1.1.1. Textura del Suelo. Se conceptualiza como el porcentaje de los diferentes elementos que constituyen el suelo (arena, limo y arcilla). Es la propiedad física más influyente en el desarrollo de las raíces de las plantas, resultando ser condicionante sobre otras propiedades como la estructura (Navarro & Navarro, 2013).

En la opinión de Legarda et al. (1984); citado por Legarda et al. (1999) para fines de diseño de proyectos de riego, la textura es un parámetro hidrofísico que regula el flujo de agua y sobre todo la capacidad de retención e influye en la capacidad de almacenamiento.

4.1.1.2. Estructura del Suelo. Hace referencia a la forma en la que se agrupan o acomodan las distintas partículas que componen el suelo, formando estructuras de segundo orden o agregados. Estos pueden ser de tipo laminar, prismático, columnar, poliédrico, granuloso y glomerular. La mejor estructura de un suelo es la glomerular, debido a que presenta una óptima hidroestabilidad entre los espacios capilares (Vásquez et al., 2017).

4.1.1.3. Densidad Real. Tiene relación con la densidad de las partículas sólidas, por lo cual, se define como el cociente entre la masa de suelo seco y el volumen ocupado por las partículas sólidas. Su valor es casi fijo en todos los suelos minerales siendo aproximadamente de $2,65 \text{ g/cm}^3$ (Fuentes, 2003).

4.1.1.4. Densidad Aparente. La densidad aparente corresponde a la densidad de un suelo tal y como se presenta de forma ordinaria, considerando el volumen ocupado por los poros. Su valor se calcula como el cociente entre la masa de una muestra de suelo seco y el volumen total del suelo (Fuentes, 2003). En contraste con la densidad real, su valor es mucho menos constante, variando según la textura, estructura, contenido de materia orgánica y la compactación (Navarro & Navarro, 2013).

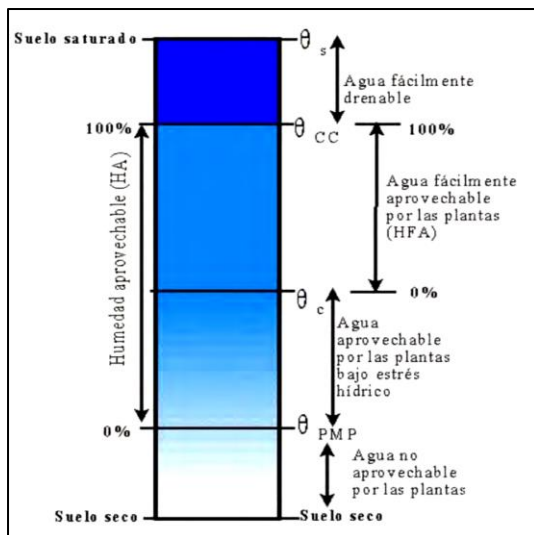
4.1.1.5. Profundidad Efectiva. La profundidad efectiva de un suelo se expresa como la zona en la cual, las raíces de las plantas pueden adentrarse con facilidad, con el propósito de obtener el agua y los nutrientes esenciales para un desarrollo apropiado. Ordinariamente, las raíces de las plantas logran introducirse a más de un metro, cuando las condiciones del suelo son propicias. Por tanto, un suelo debe presentar la aptitud para recibir, almacenar y hacer útil el agua para las plantas (García, 2017).

4.1.2. Contenidos de Humedad del Suelo

El suelo es un medio poroso que al compararlo con una esponja presenta gran similitud frente a la capacidad que posee para retener agua. La mayor cantidad de agua que un suelo puede retener y drenar es casi constante. Cada suelo mantiene constantes de humedad específicas que resultan de gran importancia dentro de la calendarización del riego (Ojeda & Flores, 2015). A continuación, en la Figura 1 se presentan de forma esquemática las constantes de humedad del suelo.

Figura 1

Constantes de humedad del suelo



Fuente: Ojeda & Flores (2015).

4.1.2.1. Capacidad Máxima de Retención o Saturación. Un suelo se considera saturado cuando todos sus poros (macro y micro poros) están ocupados por agua. Situación que de prolongarse provocaría que las plantas mueran por falta de oxígeno. Ocurre al cabo de producirse una precipitación o riego abundante, o en algunos casos cuando hay la presencia de estratos impermeables a poca profundidad. Por acción de la gravedad el suelo saturado tiende a drenarse, provocando que el agua sobrante continúe en su paso hacia el subsuelo (Fuentes, 2003).

4.1.2.2. Capacidad de Retención o Campo. El suelo se encuentra a capacidad de campo cuando, una vez drenado ya no puede perder más agua por gravedad. En este caso, el agua se encuentra ocupando el volumen de los micro poros y el aire a su vez, ocupando un gran porcentaje del espacio de los macro poros. La energía de retención del agua en un suelo a capacidad de campo tiene un valor medio de $1/3$ atm para suelo franco, variando de 0,1 a 0,5 atm para suelo arenoso y arcilloso respectivamente (Fuentes, 2003).

El mismo autor destaca, que es el contenido de humedad más favorable para el desarrollo de los cultivos, ya que por su alta cantidad de agua retenida facilita la succión por las raíces, a más de disponer de aire para su respiración.

4.1.2.3. Punto de Marchitez Permanente. Al encontrarse un suelo a capacidad de campo, el agua contenida en el mismo se va perdiendo de forma progresiva por evaporación y a medida que es absorbida por las plantas, llegando a un estado crítico en el que las raíces de las plantas ya no pueden absorber el agua para cubrir sus necesidades, provocando su marchitamiento irreversible. Es así como un suelo alcanza el punto de marchitez permanente. En este estado, el suelo presenta un valor de energía de retención de agua de 15 atm, variando para suelos arenosos a 10 atm y para suelos arcillosos a 20 atm (Fuentes, 2003).

4.1.2.4. Humedad Aprovechable. Se establece como el contenido de humedad en el suelo que comprende entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Hace referencia a la máxima cantidad de agua que puede retener el perfil de suelo donde se encuentran las raíces de las plantas. Su estimación se realiza generalmente como lámina o espesor de agua (INTAGRI, 2021).

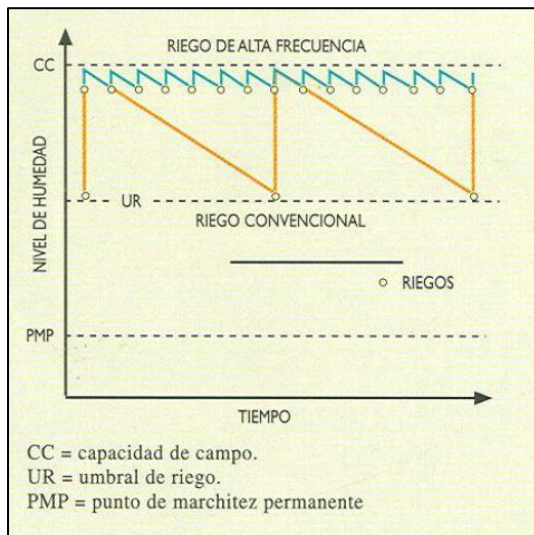
4.1.2.5. Humedad Fácilmente Aprovechable. Es la fracción de la humedad aprovechable que puede ser utilizada por las plantas sin que existan problemas por estrés hídrico. La disminución en el rendimiento de los cultivos se manifiesta cuando el contenido de humedad se encuentra muy próximo al punto de marchitez permanente, siendo más drástica durante las etapas fenológicas críticas. En su totalidad la humedad aprovechable no se considera como el rango utilizable por las plantas, sino que se utiliza solamente una fracción conocida como umbral de riego. (Ojeda & Flores, 2015).

4.1.2.6. Umbral de Riego o Factor de Agotamiento. Se establece como un criterio de riego convencional que consiste en regar cada vez que se ha agotado un porcentaje de la humedad aprovechable del suelo, sin que esta condición afecte significativamente el nivel de producción del cultivo. No obstante, cualquiera que sea el criterio empleado para realizar una acertada programación del riego, es necesario conocer las necesidades del agua del cultivo en todos sus estados de desarrollo (Uribe & Maldonado, 2000).

Usualmente, el criterio aplicado considera efectuar el riego cuando la planta ha consumido aproximadamente el 30 o 50 % del agua aprovechable. En riego por goteo este porcentaje es menor y puede ser cercano al 10 % (Mendoza, 2013). Tal como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2

Criterios de riego convencional y de alta frecuencia



Fuente: Uribe & Maldonado (2000).

4.1.3. Expresiones del Contenido de Humedad del Suelo

De acuerdo con Cadena (2014), el contenido de humedad de una muestra de suelo se puede determinar de tres formas: por unidad de peso o humedad gravimétrica, por unidad de volumen o humedad volumétrica y por unidad lineal o lámina, tal como se indica a continuación:

4.1.3.1. Humedad Gravimétrica. Corresponde al porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al peso del suelo seco. Es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida.

$$Hg = \left(\frac{P_w}{P_s}\right) \cdot 100 \quad \text{o} \quad Hg = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s}\right) \cdot 100$$

Donde:

Hg = Humedad gravimétrica, (%).

P_w = Peso del agua, (g).

P_s = Peso del suelo seco, (g).

P_h = Peso de la muestra de suelo húmedo, (g).

4.1.3.2. Humedad Volumétrica. Se considera como el porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al volumen de suelo húmedo. Es la relación entre el volumen de la fracción líquida y el volumen total.

$$Hv = \left(\frac{V_w}{V_t}\right) \cdot 100$$

Donde:

Hv = Humedad volumétrica, (%).

V_w = Volumen de agua, (g).

V_t = Volumen total, (g).

4.1.3.3. Humedad Expresada en Unidades Lineales o Lámina. La lámina expresa el contenido del agua en el suelo medida en su altura, es decir, de volumen por unidad de superficie en altura.

$$\text{Lámina} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Área}}$$

Para el caso de una lámina de riego, esta dependerá de la profundidad efectiva de las raíces del cultivo a irrigar. Su cálculo será el producto entre la humedad volumétrica (Hv) y la profundidad considerada (Pr).

$$L = Hv \cdot Pr$$

L = Lámina de riego, (mm).

Hv = Humedad volumétrica, (%).

Pr = Profundidad considerada, (mm).

Regularmente, las unidades en que se expresa la lámina son mm, l/m² y m³/ha y su relación es: 1 mm = 10 m³/ha = 1 l/m².

4.1.4. Tipos de Agua en el Suelo

Desde el punto de vista de su aprovechamiento, se distinguen tres tipos de agua:

4.1.4.1. Agua Gravitacional (libre o estática). Es el agua que se encuentra formando una película gruesa alrededor de las partículas del suelo, cuya fuerza de adhesión entre el agua y el suelo es menor a la fuerza de gravedad, lo cual provoca que esta se movilice de forma libre hacia abajo a través de los macroporos. En consecuencia, debido al movimiento rápido hacia abajo, no es beneficiosa para las plantas. En suelos con buenas condiciones de drenaje, el agua gravitacional drena generalmente en 2 o 3 días (Sandoval, 2007).

4.1.4.2. Agua Capilar. Es la excedente de las capas superiores ya saturadas y que va atravesando gradualmente a las capas inferiores, a causa de su propio peso y de la presión generada por el agua contenida en las capas superiores. Esta forma de agua es la beneficiosa para las plantas; misma que es retenida por el suelo debido a fuerzas de tensión superficial, contra la fuerza de gravedad (Loor et al., 2013).

4.1.4.3. Agua Higroscópica. Es aquella que está fuertemente retenida en el interior y en la superficie de las partículas del suelo, por lo tanto, ni la fuerza de gravedad ni

las fuerzas capilares están en capacidad de influenciar su movimiento. Es el tipo de humedad que carece de utilidad agrícola, y solo puede ser extraída del suelo sometiendo a una temperatura de 105 °C en la estufa (Loor et al., 2013).

4.1.5. *Movimiento del Agua en el Suelo*

El agua que se aplica al suelo por medio de riego, con objeto de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, requiere que se concentre en la zona de raíces para que esto se lleve a efecto. Sin embargo, en el suelo existen fuerzas potenciales que hacen posible que esto no se produzca, pudiendo el agua moverse tanto de manera horizontal como vertical en perfil del suelo, manifestándose un flujo desde los puntos de mayor potencial (mayor humedad) a menor potencial, hasta alcanzar un semiequilibrio. Por lo tanto, es de gran importancia conocer los principios físicos que gobiernan el flujo del agua en el suelo (Ojeda & Flores, 2015).

4.1.5.1. Infiltración. Se define como el proceso por medio del cual el agua penetra en el suelo atravesando su superficie. Se produce cuando existe la diferencia de potencial hídrico entre la superficie y el suelo. La determinación de la infiltración en campo, se lleva a cabo empleando el método de doble cilindro o método de Muntz, que consiste en medir a lo largo del tiempo, la velocidad con la que ingresa una lámina de agua en el suelo. Su expresión se realiza en unidades de velocidad de flujo: mm/h (Porta et al., 2008).

Conocer los valores de infiltración de un suelo, se constituye como información base para llevar a cabo el diseño idóneo de un sistema de riego, y determinar así el tiempo de riego apropiado (Vásquez et al., 2017).

4.1.6. *Potencial Hídrico del Suelo*

Empleando las palabras de Bolt (1976); citado por Porta et al. (2003), es la cantidad de trabajo necesario por unidad de cantidad de agua pura, que debe realizarse por fuerzas externas al sistema, para transferir reversible e isotérmicamente una cantidad infinitesimal de agua desde el estado de referencia a la fase líquida del suelo en el punto considerado. Se mide en unidades de energía/masa (J/kg), energía/volumen (J/m³) y energía/peso (J/N).

Al potencial hídrico total lo constituyen los siguientes componentes:

$$\Psi_T = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_o$$

Donde:

Ψ_T = Potencial total.

Ψ_g = Potencial gravitacional.

Ψ_p = Potencial de presión.

Ψ_m = Potencial mátrico.

Ψ_o = Potencial osmótico.

4.1.6.1. Potencial Gravitacional. Es el componente del potencial hídrico total que se atribuye a la fuerza de gravedad. Su valor depende de la altura sobre el nivel de referencia. Es positivo cuando los puntos se encuentran por encima del nivel de referencia, y negativo cuando estos se ubican por debajo. Su importancia radica cuando se trata de eliminar el exceso de agua en el suelo (Calvache, 2010).

4.1.6.2. Potencial de Presión. El potencial de presión resulta de la presión hidrostática ejercida sobre el punto considerado por el agua que satura el suelo, existiendo solamente en suelos saturados. En suelos insaturados el potencial de presión es cero. Es de gran importancia para el estudio de drenaje (Llor et al., 2013).

4.1.6.3. Potencial Mátrico. Desde el punto de vista agrícola, es el principal componente del potencial total; sin embargo, cuando se trata de suelos salinos el potencial osmótico tiene también importancia. Este componente se origina por dos tipos de fuerzas: las de atracción del agua por la superficie de las partículas sólidas del suelo, y las de atracción molecular entre las propias moléculas del agua. Con su interacción, ocasionan que el agua sea retenida por adsorción y capilaridad en suelos con un contenido hídrico por debajo del nivel de saturación. Su valor es siempre negativo y actúa en suelos insaturados (Angella et al., 2016).

4.1.6.4. Potencial Osmótico. Hace referencia a la atracción de los solutos que están contenidos en la solución del suelo. La existencia de solutos provoca la disminución de la energía potencial con relación al agua pura. En consecuencia, el potencial osmótico es siempre negativo y su importancia se acrecienta en suelos salinos (García et al., 2009).

4.1.7. Curva de Retención de Agua en el Suelo

También llamada curva característica de humedad, es la representación gráfica que relaciona el potencial matricial con el contenido de agua almacenado en los poros del suelo. Esta relación manifiesta, de forma indirecta la distribución de los diámetros de los poros en un suelo determinado, debido a que la retención capilar depende de su tamaño (Flores & Alcalá, 2010).

Existen varios factores que definen el comportamiento de la curva de retención de agua en el suelo, entre los que se destacan: textura, estructura, materia orgánica, saturación del suelo, capacidad de campo, capacidad de aireación o porosidad, punto de marchitez permanente, agua útil o agua aprovechable y volumen físicamente inerte del suelo (Valarezo et al., 1998).

4.1.7.1. Aplicaciones de la Curva de Retención de Agua en el Suelo. Con base en Flores & Alcalá (2010), la curva en mención es de utilidad para:

- Determinar la capacidad de retención de agua disponible para las plantas.
- Evaluar cambios en la estructura del suelo, a consecuencia de la compactación, laboreo, adición de materia orgánica, entre otros.
- Estimar la distribución del tamaño de poros.
- Conocer la relación entre el potencial matricial y otras propiedades físicas del suelo.

4.2. Calidad de Agua de Riego

Se concibe como una serie de aspectos o características, que condicionan la bondad o conveniencia de su empleo para el riego, o bien creen problemas a las plantas o al suelo. Es así que, resulta ser imprescindible el conocer la calidad del agua como condición previa, al procurar la implantación de un sistema de riego localizado (Moya, 2009).

Asimismo, se establece como un factor importante a controlar en la agricultura de regadío, tanto a nivel fuente (aguas de riego y su impacto interno sobre cultivos y suelos) como a nivel sumidero (retornos de riego y su impacto externo sobre la calidad de los sistemas receptores) (Tartabull & Betancourt, 2016).

La calidad de agua está sujeta especialmente al tipo de sales, así como también a su contenido. Los problemas más frecuentes derivados de la calidad de agua se relacionan con efectos como: salinidad, disminución en la infiltración, toxicidad, entre otros (Fuentes, 2003).

4.3. Definición de Riego

El riego se constituye como un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de forma que esta pudiera ser utilizada al máximo. Además, buscando compensar el agua que se ha perdido a través de la evapotranspiración (Medina, 2000). Por consiguiente, dotando de las condiciones idóneas de humedad al cultivo, capaces de generar su óptimo desarrollo (Vásquez et al., 2017).

4.3.1. Riego por Goteo

Es un método de riego en el cual la aplicación del agua se realiza mediante fuentes puntuales o lineales (emisores), colocadas sobre o debajo de la superficie del suelo; cuya operación se ejecuta con valores de presión pequeña entre 20-200 kPa y con una tasa de descarga baja de 1–30 l/h por emisor, obteniendo como resultado el humedecimiento parcial de la superficie del suelo (Dasberg & Or, 1999).

Su objetivo fundamental es el de reponer el agua consumida por el cultivo uno o dos días antes, formándose un bulbo húmedo debajo de cada gotero, especialmente donde la planta desarrolla una mayor cantidad de raíces. Al ser un sistema de riego presurizado, es preciso realizar el diseño agronómico e hidráulico de forma preliminar a su instalación (Demin, 2014).

Según Ortiz (2020), para el riego por goteo se establecen las siguientes ventajas y desventajas.

a) Ventajas

- Ahorro de agua y fertilizantes
- Incremento de la producción y calidad de los productos
- Ahorro de energía y mano de obra
- Permite utilizar aguas de mala calidad
- Bajo costo de transformación
- Permite irrigar más superficie

b) Desventajas

- Elevado costo inicial
- Obstrucción de emisores
- Salinización del suelo

4.3.2. Componentes de un Sistema de Riego por Goteo

Liotta (2015) señala que los sistemas de riego por goteo básicamente se componen de la siguiente manera:

- **Fuente de abastecimiento:** El abastecimiento de líquido para el sistema puede provenir de la extracción de una fuente de agua superficial o subterránea. Para zonas en donde se aplican turnos para su uso, es necesario la construcción de un reservorio que logre aportar el agua al sistema de forma permanente.
- **Cabezal principal:** Es la agrupación de elementos dominante en toda la instalación, que permite proporcionar la presión y el caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar los fertilizantes, cuantificar volúmenes y presiones, además controlar ya sea de forma manual o automatizada el funcionamiento del equipo.
- **Tuberías de conducción:** Son aquellas que conducen el agua desde el cabezal hasta los laterales de riego. Las tuberías más utilizadas son las de cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno. Usualmente, las tuberías de distribución primaria, secundaria y terciaria son de PVC, con diámetros de 50, 63, 75, 90, 110 y 190 mm.
- **Cabezales de campo:** Hace referencia a aquellas válvulas que se instalan en campo para permitir o evitar el paso del agua en la subunidad de riego. Su operación es simple, existiendo válvulas manuales e hidráulicas.
- **Laterales de riego con emisores:** Son llamadas también tuberías porta emisores, se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas. Son de polietileno de baja densidad, con diámetros normalmente de 12, 16 y 20 mm.

4.3.3. Diseño de un Sistema de Riego por Goteo

Se concibe como un proceso complejo y de alta responsabilidad, el cual conlleva una secuencia de estudios y análisis de carácter iterativo, teniendo en cuenta como objetivos: establecer de forma precisa las prestaciones que en lo posterior se le exigirán a la instalación, así como, conocer los parámetros que determinarán las restricciones a que debe someterse el proyecto. Con el motivo de planear una instalación óptima en función de su relación costo/prestaciones. Éste se divide en dos fases: diseño agronómico y diseño hidráulico (López et al., 1992).

4.3.3.1. Diseño Agronómico. Corresponde a la primera fase dentro del diseño de una instalación de riego localizado propiamente dicho, en la cual se consideran diversos factores. Tiene por objeto garantizar que la instalación sea capaz de cubrir las necesidades hídricas del cultivo en el periodo de máximo consumo, a más de conseguir humedecer el volumen de suelo necesario para su óptimo desarrollo y un efectivo control de sales (López et al., 1992).

El diseño agronómico se desarrolla basándose en información correspondiente al tipo de suelo, las necesidades de agua del cultivo, tanto en cantidad como en calidad, marco de plantación y climatología (Monge, 2018).

4.3.3.1.1. Necesidad de Agua del Cultivo. La necesidad de agua del cultivo, es la cantidad de agua que necesita ser suministrada al cultivo, a través de riego o precipitación. Con la finalidad de compensar la pérdida por la evapotranspiración del cultivo (Allen et al., 2006).

Además, Villafáfila & Wyss (2009) sostiene que es importante conocer estas necesidades a los efectos de diseñar los sistemas de captación, distribución, aplicación de agua y poder así planificar ¿cuánto podemos regar y en qué tiempo lo podemos hacer?.

4.3.3.1.2. Evapotranspiración del Cultivo (ET_c). La evapotranspiración del cultivo, equivale al consumo neto de agua por la planta. La misma depende de parámetros climáticos, de la disponibilidad de agua en el suelo y del cultivo. Al respecto conviene decir que, cuando no se cubren las necesidades de evapotranspiración, el cultivo tiende a sufrir estrés hídrico si el déficit es relevante (Cadahia et al., 2000).

También, Allen et al. (2006) sostiene que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración. Su cuantificación se realiza, multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_o) por el coeficiente de cultivo (K_c).

4.3.3.1.3. Evapotranspiración de Referencia (ET_o). Se denomina como evapotranspiración de referencia, a la evapotranspiración de una superficie de cultivo hipotético de pasto verde, con una altura asumida (0,12 m), bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y cubriendo totalmente al suelo (Allen et al., 2006).

Es un parámetro que vincula el clima y expresa el dominio que tiene la atmosfera para evaporar el agua. La ET_o se ve afectada únicamente por los parámetros climáticos, por lo que en su estimación no se consideran las características del cultivo ni los parámetros del suelo (Monge, 2019).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), recomienda por su alto grado de aproximación la ecuación FAO Penman-Monteith como metodo estándar para la determinación de la ET_o , el cual está basado en datos meteorológicos. La mencionada organización dispone el software gratuito CROPWAT 8.0 que facilita la estimación, integrando la siguiente ecuación:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día).

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo ($MJ/m^2/día$).

R_a = Radiación extraterrestre (mm/día).

G = Flujo del calor de suelo ($MJ/m^2/día$).

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}C$).

U_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s).

e_s = Presión de vapor de saturación (kPa).

e_a = Presión real de vapor (kPa).

$e_s - e_a$ = Déficit de presión de vapor (kPa).

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/ $^{\circ}C$).

γ = Constante psicrométrica (kPa/ $^{\circ}C$).

4.3.3.1.4. Coeficiente de Cultivo (K_c). Se plantea como un valor adimensional, el cual combina los efectos de transpiración del cultivo y la evaporación del suelo. Conjuntamente con el valor de la evapotranspiración del cultivo de referencia, admiten cuantificar el requerimiento hídrico del cultivo. Además, expresa la variabilidad que va sufriendo el cultivo, y asimismo el grado de cobertura que se va generando en el suelo, simultáneamente durante el crecimiento del cultivo. Por lo cual, presenta valores menores en la primera etapa del cultivo, aumentando en las etapas posteriores, conforme este se va desarrollando y comenzando a disminuir a medida que se acerca al final de la temporada de crecimiento (Allen et al., 2006).

4.3.3.1.5. Precipitación Efectiva (P_e). Se refiere a aquella fracción de la lluvia total que, tras su infiltración y retención en el suelo, logra satisfacer en parte o en su totalidad la demanda hídrica de los cultivos. Su mayor o menor utilidad dependerá en primer lugar, de las características del suelo para retener agua; y en segundo lugar del comportamiento de la lluvia (Saseendran et al., 2015; citado en Cleves et al., 2016).

4.3.3.1.6. Necesidades Netas de Riego. Allen et al. (2006) expresa que las necesidades netas de riego básicamente representan la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. Sin embargo, Fuentes (2003) afirma que en el caso de riego localizado a efectos de diseño no se considera el aporte de la precipitación efectiva, debido a la alta frecuencia en la aplicación de agua. Además, establece que las necesidades netas deben ser corregidas por los siguientes coeficientes correctores:

- **Coefficiente corrector por localización:** relaciona el área sombreada por la planta con la superficie ocupada por cada planta.
- **Coefficiente corrector por variación climática:** permite aumentar el valor de las necesidades de agua, con el fin de prevenir altas demandas del cultivo. Esto debido a que la ET_c equivale al valor medio de un determinado periodo de años, resultando ser insuficiente en la mitad de ese periodo de años si no se corrige.
- **Coefficiente corrector por advección:** varía con respecto a la naturaleza del cultivo y al tamaño de la superficie regada.

4.3.3.1.7. Necesidades Totales de Riego. Debido las pérdidas ocasionadas por infiltración profunda, por salinidad y por uniformidad de riego, es necesario agregar a las necesidades netas, cierta cantidad de agua para compensar dichas pérdidas. Por tanto, las necesidades totales de riego, resultan ser mayores en comparación con las necesidades netas (Monge, 2018).

4.3.3.1.8. Porcentaje de Suelo Mojado. Se refiere a la relación porcentual entre la superficie total humedecida por los emisores de riego y la superficie del terreno donde crece el cultivo. A través del mismo, permite establecer de forma orientativa el número de goteros mínimos por planta o por metro cuadrado de terreno. Generalmente, su valor porcentual varía principalmente por la densidad de plantación, clima y textura del suelo (Monge, 2018).

4.3.3.1.9. Lámina de Agua Aprovechable. Es la lámina de agua que un suelo puede almacenar entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente a la profundidad radical efectiva del cultivo de interés (Legarda et al., 1999).

4.3.3.1.10. Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable. Se considera como la cantidad de agua rápidamente aprovechable teniendo en cuenta el nivel de reposición o porcentaje de agotamiento del agua aprovechable (Legarda et al., 1999).

4.3.3.1.11. Lámina Bruta o Total de Riego. Indica la cantidad de agua en exceso que debe aplicarse para compensar las pérdidas por escorrentía superficial, evaporación, arrastre por el viento, percolación profunda, entre otras. Resulta de dividir la lámina neta sobre la eficiencia del riego seleccionado (Legarda et al., 1999).

En la Tabla 1, de forma general se presentan los valores referenciales de eficiencia de aplicación, con respecto a los diferentes métodos de riego.

Tabla 1

Eficiencia de aplicación del agua para diferentes sistemas de riego

Método de riego	Eficiencia de aplicación
<i>Riego por superficie:</i>	
Riego por surcos	0,50 – 0,70
Riego por fajas	0,60 – 0,75
Riego por inundación	0,60 – 0,80
Riego por inundación permanente	0,30 – 0,40
<i>Riego por aspersión</i>	0,65 – 0,85
<i>Riego por goteo</i>	0,75 – 0,90

Fuente: Fuentes (2003).

4.3.3.1.12. Frecuencia de Riego. Hace alusión al número de días transcurridos entre dos riegos sucesivos. La misma depende fundamentalmente del balance existente entre la demanda y la oferta de agua, dicho de otra manera, de la capacidad de retención de agua que posea el suelo, y de la demanda efectuada por el cultivo (Cadena, 2014).

4.3.3.1.13. Intensidad de Aplicación del Emisor. Describe a la velocidad con que el agua profundiza en el suelo, la cual estará en función del área humedecida y del gasto del emisor. Para un correcto diseño de un sistema de riego, el emisor deberá generar una intensidad de aplicación menor que la infiltración básica del agua en el suelo; consiguiendo así, que el agua penetre en el suelo evitando encharcamientos. La intensidad de aplicación es directamente proporcional con el gasto del emisor (Herrera et al., 2013).

4.3.3.1.14. Tiempo de Riego. Es el tiempo en el cual debe estar operando el sistema de riego para lograr aplicar la lámina bruta calculada previamente. Este tiempo dependerá de la tasa de infiltración básica del suelo y de la pendiente del terreno (en el caso de riego por aspersión) (Carrazón, 2007).

4.3.3.2. Diseño Hidráulico. Es la fase que engloba los cálculos para los diferentes componentes del sistema, con el objetivo de que se ajusten a las condiciones de presión y caudal disponibles, de tal manera que, al llegar el agua a los emisores lo haga a la presión nominal y caudal nominal de los mismos, buscando la solución más económica, dentro de unas calidades garantizadas (Moya, 2009).

Como señala Gómez (1984), el diseño hidráulico se puede dividir en tres partes:

- **Diseño de la unidad de riego:** contempla la selección del gotero, seguido del diseño del lateral o porta goteros, y finalmente del diseño de las tuberías múltiples y subprincipales. El diseño deberá llevarse a cabo para la unidad que en supuesto caso se puedan presentar las mayores variaciones de presión.
- **Diseño de la conducción hasta la unidad:** radica en el análisis de las diversas alternativas de conducción del agua de riego desde el cabezal de control hasta cada unidad de riego.
- **Diseño del cabezal de control:** toma en cuenta el gasto de las unidades que funcionan de manera simultánea, considerando paralelamente la presión de trabajo. El cálculo se deberá realizar para las unidades de riego con las condiciones más críticas.

4.3.3.2.1. Pérdidas de Carga Continuas o por Fricción. De acuerdo como el agua va avanzando a través de una tubería va disminuyendo la presión, lo cual se produce por la fricción que ocurre entre las diferentes capas del líquido, así como también, entre el líquido y la pared de la tubería a lo largo de toda su longitud, por lo que toman el nombre de continuas (Monge, 2018). En la opinión de Mendoza (2013), las pérdidas por fricción dependen de los siguientes factores:

- Diámetro interior, longitud y naturaleza del material de la tubería.

- La velocidad del agua, como la velocidad del agua es proporcional al caudal de circulación, la pérdida de carga depende también del caudal.

4.3.3.2.2. Pérdidas de Carga Localizadas o Singulares. Este tipo de pérdidas ocurre al presentarse cambios en la dirección del flujo del agua o en la velocidad, como consecuencia de la alteración de las condiciones del movimiento. Son las que se producen en accesorios como: curvas, válvulas, tees, cambios de dirección, codos, entre otros (Briceño et al., 2012).

Con respecto a este tipo de pérdidas, regularmente se adopta el criterio de despreciarlas, en aquellos casos en donde el tramo de tubería entre dos puntos singulares conserve una longitud superior a 1 000 veces su diámetro (Carrazón, 2007).

4.3.3.2.3. Diseño de la Tubería Lateral. Su diseño comprende la determinación del diámetro, longitud y pérdidas de carga. Para ello anticipadamente se necesita conocer: número de goteros, caudal de la lateral y pérdida de carga máxima permisible. Con respecto a este último factor, se asume sobre la base de un porcentaje de la presión de operación de entre el 10 al 15 %, siendo en función de ese valor el cálculo de la longitud y diámetro necesario (Tapia & Osorio, 1999).

4.3.3.2.4. Diseño de la Tubería Terciaria o Múltiple. El diseño es similar al de una tubería lateral, depende de la distancia entre líneas de goteros, del caudal total de dichas líneas en los puntos de derivación, así como también de la pérdida de carga permisible. Referente a esta última se puede establecer como criterio hacer equivalente la pérdida de carga al desnivel del terreno, partiendo de ese valor se procede a calcular la longitud y el diámetro necesario (Tapia & Osorio, 1999).

4.3.3.2.5. Diseño de la Tubería Secundaria. Las tuberías secundarias presentan un menor diámetro con respecto a la tubería principal o matriz, y su función es la de conducir el agua partiendo de la matriz hacia la unidad de riego correspondiente (Osorio et al., 1996). Para su dimensionamiento, como norma general se establece evitar que se produzcan en su interior velocidades que sobrepasen los 1,5 m/s (Tapia & Osorio, 1999).

El cálculo tanto de las tuberías primarias como secundarias se realiza de la misma manera y de forma más sencilla con respecto a las laterales y terciarias, a razón de no existir disminución de caudales, no se necesita aplicar coeficientes minorantes (Moya, 2009).

4.3.3.2.6. Diseño de la Tubería Primaria. El cálculo tanto de las tuberías primarias como secundarias se realiza de la misma manera y de forma más sencilla con respecto a las laterales y terciarias, a razón de no existir disminución de caudales, no se necesita aplicar coeficientes minorantes (Moya, 2009).

De acuerdo con Monge (2018), en el dimensionado de este tipo de tuberías, se deberá cumplir que las pérdidas de presión sean como máximo del 5 %.

4.3.4. Bombas Hidráulicas

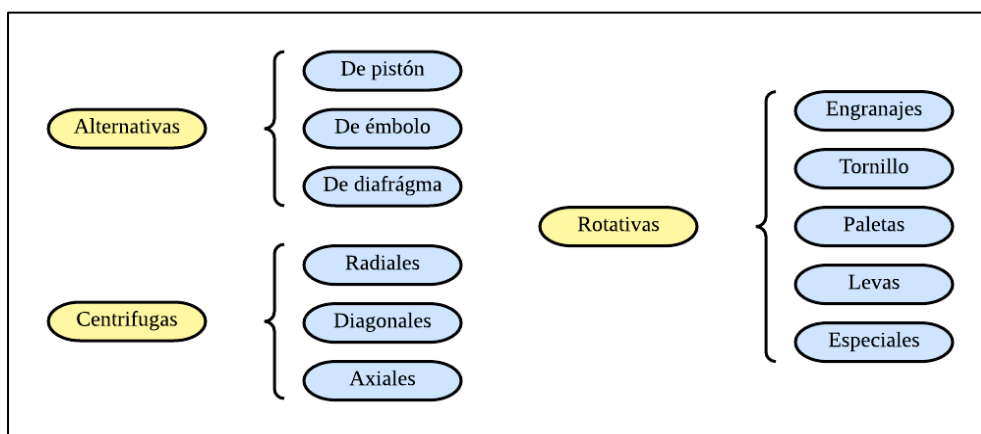
Son aquellas máquinas conformadas por una turbina de impulsión y un motor. Tienen la capacidad de transformar la energía mecánica generada por el motor, en energía hidráulica. Esta energía se transmite al líquido haciendo que gane presión, y provocando que se mueva a través de ellas. Fundamentalmente, permiten movilizar un fluido desde un punto de cota baja a uno de cota superior, venciendo pérdidas de carga y desniveles (Gavilanes, 2019).

Generalmente, el agua suele encontrarse a una altura insuficiente, a nivel o subterránea, con respecto a la parcela de riego. Para el caso de los sistemas de riego localizado y por aspersión que funcionan a presión, será necesario utilizar un equipo de bombeo que suministre una presión determinada. Usualmente, las bombas empleadas en estos casos, son accionadas con motores eléctricos y de combustión interna (Fernández et al., 2010).

4.3.4.1. Tipos de Bombas Hidráulicas. Empleando las palabras de Carnicer & Mainar (2004), en el mercado pueden encontrarse una amplia diversidad de bombas siendo los tipos básicos los presentados en la Figura 3, aunque existen muchas variaciones y modificaciones de estos tipos básicos.

Figura 3

Tipos básicos de bombas hidráulicas



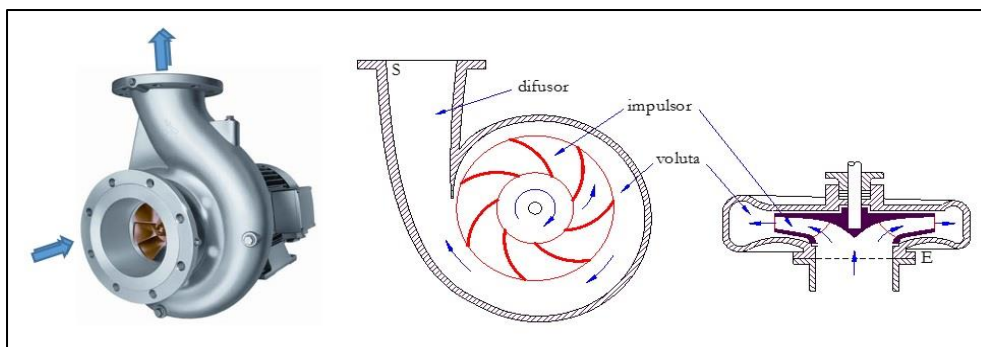
Fuente: Carnicer & Mainar 2004.

4.3.4.1.1. Bombas Centrífugas. En este tipo de bombas, el agua ingresa a través de un orificio al centro del impulsor. Se conduce de forma radial dentro del cuerpo de la bomba o voluta, transformando la energía cinética en energía de presión. Y finalmente, el líquido es encausado hacia el difusor de salida (Gavilánez, 2019). En la Figura 4, se indica el movimiento del agua a través de los diferentes elementos de una bomba centrífuga.

Normalmente, son las más utilizadas en el riego de los cultivos, debido a las ventajas que presentan: tamaño reducido, caudal constante, presión uniforme, bajo mantenimiento y flexibilidad de regulación (Fuentes, 2003).

Figura 4

Movimiento del agua en una bomba centrífuga



Fuente: Monge 2018.

4.3.4.2. Criterios Básicos de Selección de una Bomba. Según Fernández et al. (2010), al existir en el mercado una diversidad de posibilidades sobre todo de tipo técnico como económico, para seleccionar una bomba se recomienda prestar atención a lo siguiente:

- **Procedencia del agua de riego.** Aspecto que ayuda a decidir qué tipo de bomba se tendrá que instalar, de tal manera que:
 - Si el agua procede de embalses o canales, la bomba que se suele instalar generalmente es de tipo centrífuga de eje horizontal.
 - En caso de que el agua provenga de pozos poco profundos (5-7 metros) también se aconseja instalar bombas centrífugas de eje horizontal, aunque también es factible instalar una bomba de eje vertical.
 - Cuando la toma de agua se realiza de pozos de profundidades medias, se justifica la elección de una bomba vertical. Para pozos de profundidades mayores la elección irá dirigida hacia bombas sumergidas o bombas buzo (incluso para más de 200 metros).
- **Energía.** En cualquier caso, la bomba irá accionada por un motor eléctrico o de combustión según se disponga o no de corriente eléctrica en la finca.

- **Prestaciones.** Se determinarán las prestaciones que la bomba debe suministrar al sistema. Calculando el caudal necesario y la altura manométrica total, y en función de los datos se elegirá la bomba.
- **Potencia.** Se calculará la potencia requerida por la bomba para elevar el agua, eligiendo el motor con base en el resultado de la potencia calculada, siendo adecuado aquel que la suministre por exceso.

4.3.4.3. Altura Manométrica Total. Se refiere a la presión efectiva que debe vencer la bomba para transportar el agua o un líquido a bombear, desde su nivel más bajo hasta el punto de elevación más alto. Representa la suma de la altura geométrica más las pérdidas de carga. Se expresa en metros de columna de agua (Carnicer & Mainar, 2004).

4.3.4.4. Potencia del Motor de una Bomba. En una bomba hidráulica, el motor es el encargado de suministrar la energía necesaria para poder elevar el caudal a una altura manométrica definida. Para poder suministrar la energía necesaria a la bomba, el motor requiere una determinada potencia que según Fernández et al. (2010), se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{Q * H_{man} * \gamma}{270 * \eta}$$

Donde:

Q = Caudal, (m³/h).

H_{man} = Altura manométrica, (m).

γ = Peso específico del líquido, (kg/dm³).

η = Rendimiento de la bomba, (decimal).

4.4. Generalidades del Cultivo de Tomate Riñón

El tomate (*Solanum Lycopersicum*) es una especie vegetal de tipo herbáceo que pertenece a la familia de las solanáceas y es originario de América del Sur. La siembra se la puede realizar durante todo el año, sea bajo cubierta o a campo abierto. Su clasificación taxonómica se presenta en la Tabla 2.

El consumo de este fruto se ha desplegado a nivel mundial por su alto contenido de vitaminas, considerándose a su vez como una hortaliza fundamental dentro de la dieta alimenticia humana; siendo cultivado para consumirse tanto en fresco como industrializado. Es así que, al hablar de horticultura a escala mundial, el cultivo de tomate es considerado como uno de los rubros con mayor dinamismo (Guzmán et al., 2017).

Se cultiva en más de 160 países del mundo. La producción global, es de aproximadamente 186 millones de toneladas de fruto fresco, en una superficie de 5,1 millones

de hectáreas (Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAOSTAT], 2020). Según Steduto et al. (2012), el tomate es el segundo cultivo de hortícola más valioso después de la papa o patata.

De forma adicional, la alta demanda de tomate ha promovido la diversificación de esta hortaliza, con el objetivo de satisfacer las exigencias del mercado global, existiendo en los últimos años una gama amplia de tipos y variedades (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [INTAGRI], 2017).

Tabla 2

Clasificación taxonómica del cultivo de tomate riñón

Reino:	Plantae	Orden:	Solanales
División:	Magnoliophyta	Familia:	Solanaceae
Clase:	Magnoliopsida	Genero:	Solanum
Subclase:	Asteridae	Especie	Lycopersicum

Fuente: Semillaria (2015) citado por López (2017).

4.4.1. Requerimientos Edafoclimáticos del Tomate

Los factores climáticos y las características del suelo que gobiernan el medio donde se cultiva el tomate, son condicionantes para un óptimo desarrollo y rendimiento.

4.4.1.1. Suelo. Se adapta a las diferentes texturas de suelo que van desde las arenosas a las arcillosas. Sin embargo, los preferidos y con los cuales se logra una cosecha temprana son los de textura arenosa. De modo complementario, el pH óptimo para que exista la disponibilidad de los nutrientes en el suelo sin afectar su absorción por la planta, se encuentra en el rango de 6 a 6,5 (Haifa Chemicals, 2014). Asimismo, INTAGRI (2018) indica que el tomate requiere que el suelo sea bien drenado, con un porcentaje de materia orgánica elevado, procurando tener una profundidad en el perfil del suelo entre 40 a 60 cm para el desarrollo del sistema radical.

4.4.1.2. Altitud. El tomate puede ser cultivado a partir de los 20 a los 2 000 m s.n.m., tomando en cuenta la capacidad de adaptación que pueda presentar cada variedad o híbrido (Larín et al., 2018).

4.4.1.3. Temperatura. Se consideran como valores de temperatura óptimos los comprendidos entre 20 y 30 °C durante el día y entre 10 y 17 °C durante la noche. Temperaturas que sobrepasan los 30 °C provocan anomalías tanto en la planta como en el fruto, lo que

conlleva a una disminución del rendimiento. Sin embargo, se manifiesta que las plantas de tomate se desarrollan mejor con temperaturas en un rango entre 18 y 24 °C (López, 2017).

4.4.1.4. Radiación. Para el cultivo de tomate se requiere al menos 6 horas de luz diarias para facilitar la floración y el desarrollo normal de la planta. En cuanto a radiación, valores muy altos resultan ser críticos debido a que se pueden producir desórdenes fisiológicos que afectarían directamente al fruto (Guzmán et al., 2017).

4.4.1.5. Humedad del aire. Los valores óptimos de humedad relativa oscilan entre el 60 y 80 %. Por el contrario, porcentajes mayores favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto, e imposibilitan la fecundación (Infoagro Systems S.L., 2021).

4.4.2. Requerimientos Hídricos del Tomate

El consumo máximo de agua en el cultivo de tomate se efectúa en promedio de 4 - 7 mm/día durante el máximo periodo de crecimiento en un clima subhúmedo, aunque en zonas más áridas puede incrementarse de 8 - 9 mm/día (Steduto et al., 2012). De igual manera, Haifa Chemicals (2014) refiere que los requerimientos de agua de tomates en campo abierto en etapa de producción varían de 4 000 – 6 000 m³/ha. Mientras en invernaderos la necesidad es por arriba de los 10 000 m³/ha.

En cuanto a los métodos de riego que se puedan emplear para este cultivo, se recomienda: en el caso de riego por surcos, una fracción de agotamiento del 30 % del agua aprovechable. Asimismo, en el riego localizado se considera apropiado regar cuando ha disminuido entre el 10 y 20 % el agua aprovechable del suelo (Guzmán et al., 2017).

5. Metodología

5.1. Ubicación del Área de Estudio

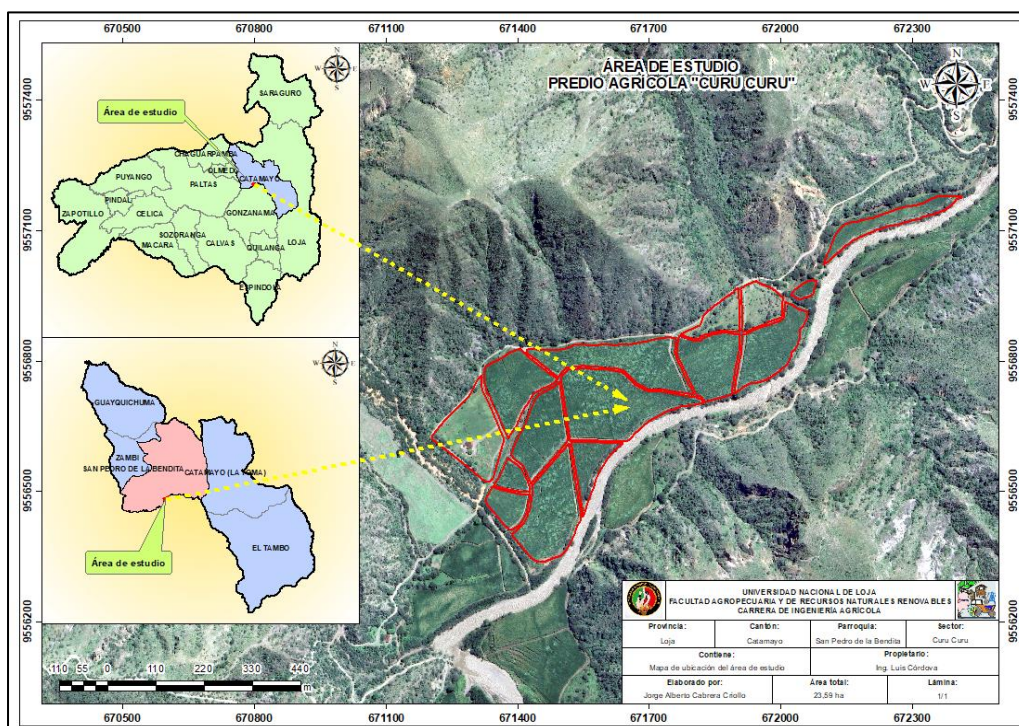
5.1.1. Ubicación Política

El área de estudio se encuentra en el predio rural Curu Curu, ubicado en la parroquia San Pedro de la Bendita, del cantón Catamayo. La parroquia tiene una extensión territorial de 147,71 km² y limita al Norte con las parroquias El Cisne y Zambi, al Sur con la parroquia Nambacola, al Este con la parroquia urbana y cabecera cantonal de Catamayo y al Oeste con las parroquias Zambi y Catacocha del cantón Paltas (PDOT - San Pedro de la Bendita, 2019).

En la Figura 5, se presenta la ubicación del predio Curu Curu a nivel cantonal y parroquial.

Figura 5

Ubicación del predio Curu Curu, parroquia San Pedro de la Bendita.



Fuente: Instituto Geográfico Militar.

Elaborado por: El autor, 2022.

5.1.2. Ubicación Geográfica

El predio se ubica en las coordenadas planas: N 9 556 337 m y 9 557 180 m; E 671 210 m y 672 414 m, y a una altitud promedio de 1 090 m s.n.m., según la proyección WGS 1984 UTM Zona 17 Sur.

5.1.3. Descripción de la Zona de Estudio

El acceso al predio, se realiza tomando la carretera Panamericana/Transversal Sur/Troncal de la Sierra/E35/E50 Catamayo - San Pedro de la Bendita, a la altura del kilómetro 11. La distancia desde la entrada hasta el predio es de aproximadamente 16 km.

La parroquia San Pedro de la Bendita presenta dos tipos de clima: Ecuatorial Mesotérmico Seco en la parte sur y Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo por la parte norte. Las temperaturas varían entre los 14 °C hasta los 21 °C, y las precipitaciones oscilan entre los 400 y 1 100 mm al año (PDOT - San Pedro de la Bendita, 2019).

5.2. Materiales y Equipos

5.2.1. Materiales y Equipos de Campo

En campo se utilizaron los siguientes materiales: libreta de campo, tabla Munsell, esferográfico, flexómetro, cámara fotográfica, cronómetro, estación total, GPS, barreno, cilindros Kopecky con tapa (recolección de muestras inalteradas), anillos infiltrómetros, martillo de goma, regla, recipiente plástico, cinta adhesiva, pala y barreta.

5.2.2. Materiales y Equipos de Oficina

En el trabajo de oficina se utilizaron los siguientes materiales: calculadora científica, cuaderno de apuntes, computadora con software de diseño de ingeniería, sistema de información geográfica, hoja de cálculo, procesador de texto y CROPWAT 8.0, documentos formales del predio, datos de levantamiento topográfico (curvas de nivel), catálogo de equipos y de materiales para riego, datos climáticos registrados de la estación aeronáutica Catamayo, y material bibliográfico.

5.3. Metodología del Estudio

5.3.1. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, de tipo transeccional, debido a que la recolección de los datos correspondió a un periodo de tiempo determinado.

5.3.2. Enfoque de la Investigación

El enfoque de la presente investigación es de tipo cualitativo. En consecuencia, no fue necesario realizar una investigación experimental, además como el objetivo de la investigación es contribuir a la optimización del agua a nivel de parcela para mejorar la producción y productividad agrícola mediante la tecnificación de riego parcelario por goteo, el estudio no manipulará ni controlará variables para analizar las consecuencias de esta acción. El análisis desarrollado fue de tipo descriptivo, permitiendo observar las variables en su contexto normal.

5.3.3. *Tamaño de la Población*

El presente trabajo se desarrolló en el predio Curu Curu, propiedad de los señores Luis Hernán Córdova Arias y Zoila María Burneo Castillo. Se encuentra ubicado al sur de la parroquia San Pedro de la Bendita, y posee un área 23,59 ha. Específicamente para el diseño del sistema de riego por goteo, se seleccionó un área de 0,54 ha, la cual se dividió en nueve subunidades de 600 m².

5.3.4. *Muestra y Muestreo*

En el área destinada para el diseño, misma que fue dividida en nueve subunidades, se realizó la calicata para la toma de muestras de los distintos horizontes del perfil del suelo, pruebas de infiltración, aforo del caudal, y toma de muestras de agua.

5.3.5. *Técnica de Recolección de Datos*

Para la recolección de datos se aplicó el método analítico. La técnica empleada fue la de fuentes primarias, con la cual se obtuvieron: características biofísicas; dinámica de producción del predio; levantamiento topográfico con estación total; constantes hidrofísicas y características físicas del suelo determinadas en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja; caudal por medio de aforo volumétrico; calidad de agua para riego determinada en el Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental del Austro; y, con la técnica de fuentes secundarias, datos climáticos procedentes de la Estación Aeronáutica Catamayo; valores de coeficiente de cultivo del manual técnico FAO 56, e informes técnicos como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San Pedro de la Bendita y Catamayo, entre otros.

5.3.6. *Técnica de Procesamiento de Datos*

El procesamiento de la información, se realizó mediante la técnica de organización de datos, empleando: hoja electrónica de cálculo, software de diseño de ingeniería y topografía, sistema de información geográfica y CROPWAT 8.0.

5.4. Metodología para el Primer Objetivo

“Diagnosticar las condiciones y características biofísicas y económico-productivas actuales del predio”.

Para lograr este objetivo, se realizaron las siguientes actividades: entrevista con el propietario del predio y recorrido del área de estudio. Estas actividades permitieron obtener información sobre las características biofísicas como: clima, relieve, suelo (descripción del perfil del suelo, constantes hidrofísicas, propiedades físicas y velocidad de infiltración de agua en el suelo), uso del suelo y agua; y la dinámica de producción del sitio, incluyendo niveles de producción, rentabilidad, turnos de riego, necesidades, aspiraciones y otros antecedentes que

fueron fundamentales para elaborar el diagnóstico. Además, se recurrió a fuentes de información secundaria, principalmente el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia San Pedro de la Bendita, así como también información proporcionada por el cantón Catamayo, el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

5.4.1. Clima

Se realizó un diagrama ombrotérmico utilizando los datos de precipitación y temperatura media mensual obtenidos a partir de la estación aeronáutica Catamayo, para un periodo de treinta años (1974-2003). Con la finalidad de poder identificar y describir el comportamiento del clima en el área de estudio.

5.4.2. Suelo

Particularmente, para el diseño del sistema de riego por goteo se procedió a realizar un estudio del sector específico donde se va a implementar el riego, mediante la caracterización del suelo, en base a las siguientes actividades:

5.4.2.1. Caracterización Edafológica. Se inició seleccionando un sitio representativo dentro del área de riego y luego se excavó una calicata con dimensiones de 1 m de largo x 1 m de ancho x 1,5 m de profundidad, para realizar la descripción del perfil del suelo tomando en consideración los criterios establecidos en la guía de descripción de suelos (FAO, 2009). Posteriormente, utilizando la metodología propuesta por Gómez (2013), se obtuvieron muestras inalteradas y disturbadas de los dos horizontes presentes en el perfil del suelo, y que luego se enviaron al Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja para su análisis. Se analizaron las constantes hidrofísicas y las propiedades físicas del suelo, incluyendo el porcentaje de saturación, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, la densidad aparente y la textura.

5.4.2.1.1. Constantes Hidrofísicas. Se obtuvo una muestra (sin disturbar) con tres repeticiones por cada horizonte, sumando un total de seis muestras. Para ello se emplearon los cilindros koppecky de 100 cm³ acoplados a un barrenado tipo Uhland. Una vez extraídas las muestras, se procedió a enrasar ambos extremos de cada cilindro, eliminando el resto de suelo que quedó por fuera, asegurando que su volumen este completamente lleno de suelo, y finalmente se colocaron las tapas de plástico. Para determinar las constantes hidrofísicas de las muestras de suelo en el laboratorio, se utilizó el equipo Richards (1941), cuya metodología se describe a continuación:

- **Saturación:** los cilindros con muestra de suelo fueron colocados en una bandeja ocupada con agua sus tres cuartas partes, hasta que se formó en la parte superior del

cilindro una película de agua, es decir encontrándose las muestras de suelo a $pF = 0$ que en términos de volumen es equivalente a la porosidad total.

- **Capacidad de campo:** luego de saturar y pesar las muestras, se dispusieron los cilindros dentro de la olla de Richards y se sometieron a tensiones de $1/3$ atm ($pF = 2,52$) y $1/10$ atm ($pF = 2$), dejando funcionar el equipo por 24 horas. Después se retiraron y pesaron las muestras, para en seguida ser secadas durante 24 horas en la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Y por último se registró el peso seco de las muestras.
- **Punto de marchitez permanente:** las muestras secadas en la estufa fueron retiradas de los cilindros, disgregadas, tamizadas (tamiz Nro. 10) y ubicadas en anillos de caucho. Posteriormente, los mismos fueron puestos sobre la placa de la cámara de presión a 15 atm ($pF = 4,2$) por un lapso de 24 horas, siguiendo el mismo procedimiento que en la determinación de capacidad de campo.
- **Densidad aparente:** para su determinación se empleó el método del cilindro o anillo volumétrico, el cual implica tomar la muestra de suelo inalterada y ponerla a la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, sacar de la estufa y pesar la muestra. Para calcular la densidad aparente de la muestra, se divide el peso de la muestra seca para el volumen del cilindro.

5.4.2.1.2. Propiedades Físicas. De igual manera, con la ayuda de un barreno se obtuvieron muestras disturbadas de cada horizonte, y se colocaron en bolsas plásticas rotuladas. Luego, se procedió a secar al aire y tamizar (tamiz Nro. 10) cada una de las muestras para más adelante, por el método de Bouyoucos o método del hidrómetro, conjuntamente con el diagrama textural, determinar la clase textural del suelo con respecto al porcentaje de arena, limo y arcilla resultantes.

El método empleado consistió en realizar una suspensión con la muestra de suelo, agua destilada y dispersantes (NaOH 1N y $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) para posteriormente colocarla en una probeta de 1000 ml . Realizando el aforo con agua destilada y agitando la mezcla, se tomó la primera lectura con el hidrómetro calibrado y se midió la temperatura de la suspensión luego de 40 segundos. Finalmente, después de haber transcurrido dos horas se realizó una segunda lectura con el hidrómetro y se midió la temperatura de la suspensión.

5.4.2.2. Curva de Retención de Agua en el Suelo. Con los resultados de las constantes hidrofísicas del suelo, arrojados en el análisis realizado en laboratorio, se graficó la curva característica de humedad del suelo, relacionando el contenido de humedad en base volumétrica y la energía con la que el agua es retenida en el suelo. Se utilizaron solo los valores correspondientes al primer horizonte del suelo y se empleó un programa informático para elaborar la curva.

5.4.2.3. Evaluación de las Condiciones Físicas del Suelo. Se obtuvieron parámetros como el agua aprovechable (AA), la capacidad de aireación (CA) y el volumen de poros físicamente inerte (VFI). Con estos resultados y utilizando el diagrama triangular de evaluación de las condiciones físicas del suelo, se determinó la zona correspondiente a la condición física del suelo en relación con el crecimiento de las plantas, como lo establece Valarezo et al. (1998). Se emplearon las siguientes ecuaciones para calcular estos parámetros.

▪ **Agua aprovechable**

Expresada como la diferencia entre los contenidos humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente:

$$AA = \% \theta CC - \% \theta PMP$$

▪ **Capacidad de aireación**

Se refiere a la diferencia entre los contenidos de humedad a saturación y capacidad de campo:

$$CA = \% \theta Saturación - \% \theta CC$$

▪ **Volumen de poros físicamente inerte**

Se determinó a partir de la suma entre el volumen total de sólidos y el volumen inútil de poros o punto de marchitez permanente:

$$VFI = \% \theta VTS - PMP$$

5.4.2.4. Velocidad de Infiltración de Agua en el Suelo. La prueba de infiltración se realizó cerca de la calicata, empleando el método de doble anillo (anillo externo con diámetro de 25 cm y anillo interno con diámetro de 12 cm) con tres repeticiones. Empleando la metodología sugerida por Delgadillo & Pérez (2016), se introdujeron los anillos en el suelo de forma concéntrica hasta una profundidad de 10 cm y se controló el nivel de los anillos. Luego se vertió agua en los anillos, llenándolos hasta una altura de 20 cm. Después se tomaron las lecturas del anillo interno durante 4 horas a intervalos de 5, 10, 15 y 30 min, hasta que el descenso del agua se estabilizó. Finalmente, se procesaron los datos utilizando una hoja de cálculo para aplicar el método empírico de Kostiakov como se especifica a continuación:

- **Infiltración acumulada.** Calculado el tiempo acumulado, la lámina infiltrada de acuerdo con cada intervalo de tiempo y la lámina acumulada, se graficó la curva de infiltración acumulada y se obtuvo la ecuación de la línea de tendencia mediante la hoja de cálculo, utilizando solo los datos de tiempo acumulado (eje X) y lámina acumulada (eje Y). Por último, se reemplazaron los valores de la ecuación obtenida en la hoja de cálculo en la siguiente expresión:

$$I_{cum} = At^B$$

Donde:

I_{cum} = Infiltración acumulada, (cm).

A y B = Parámetros de la ecuación, (adimensional).

t = Tiempo de oportunidad, (min).

- **Infiltración instantánea.** A continuación, se definió la ecuación de la velocidad de infiltración instantánea empleando las siguientes equivalencias al obtener la ecuación de infiltración acumulada:

$$B = b + 1 \quad \longrightarrow \quad b = B - 1$$

$$A = a/B \quad \longrightarrow \quad a = A * B$$

Reemplazando a y b en la siguiente ecuación:

$$I = at^b$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración instantánea, (mm/hora; cm/hora).

t = Tiempo de oportunidad, (min; hora).

a = Coeficiente de la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo.

b = Exponente que depende de las características del suelo, (varía entre 0 y -1).

- **Velocidad de infiltración básica.** Primero se determinó el tiempo que se tarda en alcanzar la velocidad de infiltración básica y, luego se reemplazó este valor en la ecuación de velocidad de infiltración básica como se detalla a continuación:

$$t_b = -10b$$

$$I_b = a(-10b)^b$$

Donde:

t_b = Tiempo para alcanzar la infiltración básica, (hora).

I_b = Velocidad de infiltración básica, (cm/min; cm/hora).

5.4.3. Agua

De manera similar al componente suelo, para el sector específico donde se va a implementar el riego, se realizó la evaluación del recurso hídrico disponible (cantidad y calidad) de acuerdo a las actividades que se detallan:

5.4.3.1. Fuente de Agua y Aforo. Una vez seleccionado el sitio para el establecimiento del cultivo de tomate de riñón, se verificó la disponibilidad de agua para riego. Siguiendo la metodología de Carrazón (2007), se midió el caudal utilizando el método de aforo volumétrico. Para lo cual, se procedió a tomar la manguera de polietileno por el extremo final,

y con un cronómetro se midió el tiempo que tardó en llenarse el recipiente de volumen conocido (4 litros). Con objeto de evitar errores en la medición, se llevaron a cabo 5 repeticiones y se calculó el promedio de los tiempos medidos. Para calcular el caudal, se aplicó la siguiente ecuación:

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

Donde:

Q = Caudal medido (l/s).

V = Volumen medido (l).

t = Tiempo transcurrido (s).

5.4.3.2. Calidad de Agua para Riego. La muestra tomada fue del agua procedente de la tubería de polietileno que abastece de líquido en la cabecera del sector, propósito del diseño de riego. Para su obtención, se tuvo presente las recomendaciones formuladas por Cadahia et al. (2000). Con un recipiente de plástico (botella) de un litro de capacidad, previamente enjuagado con el agua a muestrear, se recolectó la muestra situándolo en el extremo de la tubería hasta que se llenó completamente, evitando dejar aire en su interior. Luego, la muestra se conservó en una hielera de espuma flex con hielo sintético, acompañándola de un boletín informativo con datos de origen del agua, localización, cultivo al que va destinada, entre otros. Finalmente, la muestra fue enviada al Laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental del Austro, para determinar: pH, conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de sodio (RAS), sólidos disueltos totales (TSD), entre otros parámetros de interés.

5.5. Metodología para el Segundo Objetivo

“Elaborar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo”.

Datos preliminares: antes de diseñar el sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón, se recopiló información de campo, laboratorio y oficina relacionada con el agua, la parcela, el suelo, el clima, el cultivo y el emisor de riego. Esto se mejorará mediante las siguientes actividades:

5.5.1. Levantamiento Topográfico

Se realizaron mediciones topográficas utilizando un GPS diferencial y una estación total. El equipo se configuró para la asignación de coordenadas sobre la superficie terrestre de acuerdo al sistema de referencia y proyección WGS 1984 UTM Zona 17 Sur. Con las coordenadas de partida se realizaron las mediciones cada 10 metros aproximadamente considerando vías de acceso, tanque de almacenamiento de agua, casa de hacienda, galpón de

animales, y en general cubriendo todo el sector. Luego, se transfirió la información del levantamiento desde la estación total hacia la computadora, donde se la procesó usando un programa informático y se elaboró el plano topográfico del área de riego usando un software de diseño de ingeniería y topografía.

5.5.2. *Determinación de las Necesidades de Agua del Cultivo*

Para este fin, se utilizaron datos meteorológicos de la Estación Aeronáutica Catamayo (Tabla 3), además información del cultivo relacionada a la duración de las etapas de desarrollo y coeficiente de cultivo (K_c). Sobre la base de esta información se estimó lo siguiente:

5.5.2.1. Determinación de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o). Para determinar la ET_o se utilizó el software Cropwat 8.0 establecido por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO, que se basa en el método FAO Penman–Monteith recomendado por Allen et al. (2006). Se emplearon los datos meteorológicos de un periodo de 30 años (1974 – 2003) correspondiente a temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y heliofanía.

Tabla 3

Estación utilizada en la estimación de la ET_o

Estación	Tipo	Código	Coordenadas UTM WGS84		Altitud (m s.n.m)	Periodo
			Zona 17 Sur Este (m)	Norte (m)		
Catamayo	Aeronáutica	M060	680872,7	9558491,8	1230	1974 - 2003

Fuente: Estación Aeronáutica Catamayo.

5.5.2.2. Determinación del Coeficiente de Cultivo (K_c). Para determinar el K_c del cultivo de tomate riñón, se consideró las etapas de desarrollo y su duración. Al no disponer de valores de K_c de investigaciones locales, se recurrió a los valores presentados por Allen et al. (2006) (Anexo 10). Además, la fecha de siembra se estableció y la duración del periodo vegetativo se adoptó de acuerdo a costumbres y variedades que se cultivan en la zona por parte de los productores.

A continuación, se realizó la corrección de los valores de K_c empleados, dando énfasis a la etapa de mediados de temporada y final. El procedimiento consiste en aplicar la ecuación propuesta por Allen et al. (2006), la misma que utiliza información climática del área de estudio y cultivo.

$$K_{c \text{ med o fin}} = K_{c \text{ med o fin (FAO)}} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

Donde:

K_c *med o fin* (FAO) = Valor recomendado para el cultivo.

U_2 = Valor medio diario de velocidad del viento a 2 m de altura, (m/s).

HR_{min} = Valor medio diario de humedad relativa mínima, (%).

h = Altura media del cultivo, (m).

5.5.2.3. Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c). Se calculo utilizando la ecuación propuesta por Allen et al. (2006), que expresa el producto entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente de cultivo (K_c).

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, (mm/día).

ET_o = Evapotranspiración de referencia, (mm/día).

K_c = Coeficiente de cultivo, (adimensional).

5.5.2.4. Profundidad de la Zona Radicular Efectiva del Cultivo. Ortiz (2020) indica que la profundidad radicular efectiva, corresponde al 80 % de la profundidad radicular total del cultivo. El valor referencial de la profundidad radicular del cultivo se tomó el propuesto por Allen et al. (2006) para el cultivo de tomate. Se determino aplicando la siguiente fórmula:

$$pre = 0,8 \cdot Pr$$

Donde:

pre = Profundidad radicular efectiva (m)

Pr = Profundidad radicular total (m)

5.5.2.5. Emisor de Riego. Se eligió el tipo de emisor de acuerdo a los criterios de selección propuestos por Mendoza (2013), procurando que las características del emisor se adapten a las necesidades del proyecto. Se realizó una investigación previa en casas comerciales locales que distribuyen materiales y equipos de riego para evaluar los materiales de riego disponibles y su costo.

5.5.3. Diseño Agronómico

Se utilizaron los datos preliminares obtenidos para determinar los parámetros como la lámina total de riego, el intervalo de riego, el caudal y el número de emisores por unidad de superficie. La metodología utilizada es la propuesta por Monge (2018) para realizar el diseño agronómico.

5.5.3.1. Determinación de las Necesidades Netas de Riego. Se calcularon las necesidades netas de riego utilizando la ecuación de balance hídrico desarrollada por Allen et al. (2006), que se describe a continuación:

$$Nn = ET_c - Pe - Gw - \Delta w$$

Donde:

Nn = Necesidades netas de riego, (mm/día).

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, (mm/día).

Pe = Precipitación efectiva. Valor igual a 0, (mm).

Gw = Aporte capilar. Valor igual a 0 (mm).

Δw = Variación del contenido de humedad en el suelo. Valor igual a 0 (mm).

Luego se realizó la corrección de las necesidades netas de riego, por localización, variación climática y advección. De modo que se aplicó la siguiente ecuación:

$$Nn = ET_c \cdot KL \cdot Kr \cdot Ka$$

Donde:

KL = Coeficiente corrector por localización.

Kr = Coeficiente corrector por variación climática.

Ka = Coeficiente corrector por advección.

5.5.3.1.1. Coeficiente Corrector por Localización (KL). En correspondencia a este coeficiente, se relaciona la fracción del área sombreada por la planta con respecto a la superficie del terreno, con el objetivo de disminuir el efecto de evaporación. Se adoptó un valor de KL de 0,75 para cultivos hortícolas y herbáceos recomendado por Monge (2018).

5.5.3.1.2. Coeficiente Corrector por Variación Climática (Kr). Es un coeficiente de maximización de las necesidades hídricas para determinar el máximo consumo del cultivo. Monge (2018) señala utilizar valores de 1,15 en zonas en donde la $ET_o \leq 6,5$ mm/día y 1,20 en zonas de $ET_o > 6,5$ mm/día. De acuerdo a las condiciones climáticas de la zona de estudio se adoptó un valor de Kr de 1,15.

5.5.3.1.3. Coeficiente Corrector por Advección (Ka). Este coeficiente se utiliza por la influencia del microclima de las áreas de cultivo bajo riego, debido a la superficie regada como al tipo de riego empleado en las parcelas contiguas. Según los criterios propuestos por Monge (2018) y que se indican para la zona del proyecto se adopta un valor de Ka de 1.

Parcelas a regar ≥ 50 ha, el valor de $Ka = 0,95$

Parcelas a regar < 50 ha y > 10 , el valor de $Ka = 0,98$

Parcelas a regar ≤ 10 ha, el valor de $Ka = 1$

5.5.3.2. Determinación de las Necesidades Totales de Riego. En el proceso de cálculo de las necesidades totales de riego se utilizó la expresión propuesta por (Monge, 2018),

que utiliza las necesidades netas corregidas y la eficiencia de aplicación. Además, considera la conductividad eléctrica del agua, obtenida en el análisis de calidad de agua:

$$N_t = \frac{N_n}{E_a \cdot (1 - NL) \cdot 0.90}$$

Donde:

N_t = Necesidades totales, (mm/día).

N_n = Necesidades netas, (mm/día).

E_a = Eficiencia de aplicación, (decimal).

NL = Necesidades de lavado, (decimal).

El factor 0.90 incluye la variabilidad en el tiempo de la uniformidad de emisión de los goteros.

5.5.3.3. Número de Goteros. Para conocer el número de goteros a implementar por metro cuadrado, se siguieron los siguientes pasos:

5.5.3.3.1. Diámetro de la Superficie Mojada. El cálculo del diámetro de la superficie mojada, se realiza en función del tipo de suelo, cultivo y caudal del gotero, se aplicó la ecuación que indica:

$$D = (0.3 + 0.12 * q) * 0.85$$

Donde:

D = Diámetro de la superficie mojada, (m).

q = Caudal del emisor, (l/h).

5.5.3.3.2. Superficie Mojada por un Emisor. Para el cálculo de la superficie mojada por emisor, se aplicó la formula siguiente:

$$sme = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

sme = Superficie mojada por un emisor, (m²).

5.5.3.3.3. Porcentaje de Superficie de Terreno Humedecida. El cálculo del porcentaje de superficie de terreno humedecida, es en función de la superficie total mojada por los emisores y la superficie total del terreno, teniendo en cuenta la densidad de plantación, clima y textura del suelo. De acuerdo con Monge (2018), se adoptó para el cultivo (hortícolas, florales, cultivos herbáceos en general) un porcentaje de suelo mojado que oscila en un rango entre el 60 % y el 80 %.

5.5.3.3.4. Número Mínimo de Emisores por Metro Cuadrado. Se aplica particularmente como una expresión de tanteo, ya que se tendrá que considerar el porcentaje de solape que está en función de la distancia entre emisores, valor que deberá adaptarse a la disponibilidad comercial. Se utilizó la fórmula:

$$e_h \geq \frac{P}{sme}$$

Donde:

e_h = Número mínimo de emisores por metro cuadrado, (emisores/m²).

P = Porcentaje de suelo humedecido, (%).

5.5.3.3.5. Solape entre Bulbos Humedecidos. Se definió como el valor porcentual de la distancia recubierta por dos bulbos consecutivos en relación con la radio del bulbo. Este parámetro depende de la textura del suelo y se adoptó el criterio recomendado por Monge (2018), que para cultivos hortícolas y herbáceos está comprendido entre el 25 % y el 45 %.

5.5.3.3.6. Distancia entre Emisores. La disposición de los emisores sobre el terreno fue de dos líneas de goteros por hilera de plantas. El cálculo de la distancia entre emisores se realizó utilizando la expresión:

$$D_e = r * \left(2 - \frac{S}{100}\right)$$

Donde:

D_e = Distancia entre emisores, (m).

r = Radio del bulbo húmedo, (m).

S = Solape entre bulbos húmedos, (%).

5.5.3.3.7. Número Final de Emisores por Metro Cuadrado. Se obtuvo mediante la fórmula:

$$e_{hf} = \left(\frac{1}{D_c * D_l}\right) * 2$$

Donde:

e_{hf} = Número final de emisores por metro cuadrado, (emisores/m²).

D_c = Distancia comercial entre emisores, (m).

D_l = Distancia entre líneas de cultivo, (m).

5.5.3.4. Lámina de Agua Aprovechable. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$LAAzr = (HCc - HPM) \times \frac{Pea}{Pew} \times zr \times 10$$

Donde:

$LAAzr$ = Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva, (mm/zr).

HCc = Contenido de humedad a capacidad de campo, (% ws).

HPm = Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente, (% ws).

Pea = Peso específico aparente del suelo, (g/cm^3).

Pew = Peso específico del agua, (g/cm^3).

zr = Profundidad radicular efectiva del cultivo, (m).

El factor 10 convierte los datos a la profundidad radicular efectiva, (mm/zr).

5.5.3.5. Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable. Este parámetro, considera los máximos porcentajes de agua aprovechable, se utilizó los valores recomendados en la Tabla 4. Para el cálculo se aplicó la ecuación:

$$LARA_{zr} = \frac{LAA_{zr} * Pa}{100}$$

Donde:

$LARA_{zr}$ = Lámina de agua rápidamente aprovechable a la profundidad radicular efectiva, (mm/zr).

Pa = Máximo porcentaje de agua aprovechable por el cultivo, (%).

5.5.3.6. Lámina Bruta o Total de Riego. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$LB = \frac{LARA_{zr} \times P}{100}$$

Donde:

LB = Lámina bruta o total de riego (mm/zr).

$LARA_{zr}$ = Lámina de agua rápidamente aprovechable a la profundidad radicular efectiva, (mm/zr).

P = Porcentaje de suelo humedecido, (%).

Tabla 4

Porcentajes de agua aprovechable de acuerdo a la ET_o y tipo de cultivo

Tipo de cultivo	ET_o	
	Baja de 2 a 5 (mm/día)	Media a Alta de 6 a 10 (mm/día)
Hortalizas	30 - 40	15 - 25
Frutales	40 - 50	20 - 35
Pastos	50 - 70	30 - 45
Cereales		
Algodón		
Oleaginosas	60 - 70	40 - 55
Caña de azúcar		
Tabaco		

Fuente: Avidan (1994).

5.5.3.7. Intervalo de Riego. Es el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos. Para el cálculo se aplicó la fórmula:

$$I = \frac{LB}{Nt}$$

Donde:

I = Intervalo de riego, (días).

Nt = Necesidades totales del cultivo, (mm/día).

5.5.3.8. Tiempo de Riego. Se aplicó la formula:

$$t_r = \frac{Nt * I}{e_{hf} * qe}$$

Donde:

t_r = Tiempo de duración de cada riego, (horas).

qe = Caudal del emisor seleccionado, (l/h).

5.5.3.9. Caudal Necesario del Sistema. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$Q_t = 2 * \frac{S}{D_c * D_l} * qe$$

Donde:

Q_t = Caudal total, (l/s).

S = Superficie de la parcela, (m²).

5.5.3.10. Tiempo de Operación Máximo del Sistema. Para aprovechar la capacidad máxima de almacenamiento del reservorio existente en la finca, se calculó el tiempo de operación máximo del sistema con la fórmula:

$$t_{os} \leq 24 - \frac{V_t}{3.6 * Q}$$

Donde:

t_{os} = Tiempo de operación máximo del sistema, (h).

V_t = Volumen del tanque, (m³).

Q = Caudal continuo, (l/s).

5.5.3.11. Caudal Instantáneo del Tanque. El caudal disponible en el reservorio es el considerado en el diseño. Se utilizó la ecuación:

$$Q_i = Q + \frac{V_t}{3.6 * t_{os}}$$

Donde:

Q_i = Caudal instantáneo del tanque, (l/s).

En el presente estudio, el caudal disponible (instantáneo) es inferior al caudal calculado para el sistema, en estas condiciones, se dividió la parcela en bloques. El cálculo siguió el procedimiento que se describe a continuación.

5.5.3.12. Número Mínimo de Bloques de Riego. Se calculó utilizando la fórmula:

$$Nmb = \frac{Q_t}{Q_d}$$

Donde:

Nmb = Número mínimo de bloques, (bloques).

Q_d = Caudal disponible, (l/s).

Finalmente se verificó el cumplimiento de la condición que indica, el valor calculado debe ser menor o igual al número máximo de bloques de riego.

$$NBR \leq \frac{I * 24}{t_r}$$

5.5.3.13. Superficie del Bloque de Riego. Se calculó aplicando la siguiente expresión:

$$S_b = \frac{S_p}{Nmb}$$

Donde:

S_b = Superficie del bloque de riego, (m²).

S_p = Superficie de la parcela, (m²).

5.5.3.14. Caudal Definitivo por Bloque. Se calculó con la fórmula:

$$Q_b = 2 * \frac{S_b}{\frac{D_c * D_l}{3600}} * qe$$

Donde:

Q_b = Caudal por bloque, (l/s)

5.5.3.15. Tiempo Total de Riego por Día. Se calculó utilizando la fórmula:

$$t_t = Nmb * t_r$$

Donde:

t_t = Tiempo total de riego por día, (h).

5.5.4. Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico, se parte de los datos del diseño agronómico, la topografía y calidad del agua. Los resultados obtenidos indican el dimensionado de los componentes del sistema para satisfacer las necesidades del cultivo, suelo y clima. La metodología utilizada es la propuesta por Arviza et al. (2016), que se indica a continuación.

5.5.4.1. Máxima Variación de Presión en la Subunidad. El criterio del diseño hidráulico es utilizar goteros auto compensados, porque mantienen un rango de compensación de presiones efectivo en todas las subunidades. Se aplicó la fórmula:

$$\Delta H = H_{max} - H_{min}$$

Donde:

ΔH = Variación máxima de presión en la subunidad, (m).

H_{max} = Máxima presión de funcionamiento del emisor, (m).

H_{min} = Mínima presión de funcionamiento del emisor, (m).

5.5.4.2. Dimensionado de la Tubería Lateral.

5.5.4.2.1. Caudal al Inicio de la Tubería Lateral. Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Q_L = n * q$$

Donde:

Q_L = Caudal al inicio del lateral, (l/h).

n = Número de emisores en el lateral.

q = Caudal del emisor, (l/h).

5.5.4.2.2. Pérdida de Carga Admisible en la Tubería Lateral. Se utilizó la fórmula:

$$\Delta h_L = \Delta H - \Delta Z_L$$

Donde:

Δh_L = Pérdida de carga admisible en la lateral, (m).

ΔZ_L = Desnivel del lateral. El signo positivo si el desnivel es ascendente, signo negativo si el desnivel es descendente, (m).

5.5.4.2.3. Coeficiente M de Blasius. Se calculó con la fórmula:

$$M_L = \frac{C}{D_L^{4.75}}$$

Donde:

M_L = Coeficiente M de Blasius, (adimensional).

C = Coeficiente que depende de la temperatura, (adimensional).

D_L = Diámetro comercial del lateral, (mm).

5.5.4.2.4. Coeficiente Mayorante de Pérdidas. Se calculó con la formula:

$$K_m = \frac{L_e + S_e}{S_e}$$

Donde:

K_m = Coeficiente mayorante de pérdidas, (adimensional).

L_e = Longitud equivalente del emisor, (m).

S_e = Separación entre emisores, (m).

5.5.4.2.5. Coeficiente de Christiansen. Está en función del número de derivaciones (emisores) y la distancia entre el origen del lateral y el primer emisor. Para el presente estudio la distancia del primer emisor es igual a la distancia entre emisores del lateral, para el cálculo se aplicó la ecuación:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{m-1}}{6n^2}$$

Donde:

n = Número de derivaciones, (emisores).

m = Factor que depende del material de la tubería.

En el caso de la red terciaria (alimentación de laterales de riego), se adoptó el mismo criterio por tener una tubería con salidas múltiples. Considerando la instalación de dos laterales por fila de plantas, se realizó el cálculo del coeficiente de Christiansen generalizado, por lo cual se aplicó la formula:

$$F_d = \frac{2 * S * nF * F + nF(S_g - S) * F + (S_o - S_g)}{L}$$

Donde:

S = Separación entre laterales que alimentan una misma fila de plantas, (m).

nF = Número de grupos de derivaciones.

F = Factor de Christiansen, (adimensional).

S_g = Separación entre laterales contiguos que abastecen a distintas filas, (m).

S_o = Separación del primer lateral al inicio de la terciaria, (m).

5.5.4.2.6. Pérdida de Carga Total en la Tubería Lateral. Se calculo con la formula:

$$h_L = F * K_m * M_l * L * Q_L^{1.75}$$

Donde:

h_L = Pérdida de carga en el lateral, (m).

F = Coeficiente de Christiansen, (adimensional).

L = Longitud del lateral, (m).

5.5.4.2.7. Presión al Inicio de la Tubería Lateral. Se calculó con la formula:

$$P_{oL} = H_{min} + 0.73 * h_L - \frac{\Delta Z_L}{2}$$

Donde:

P_{oL} = Presión al inicio del lateral, (m).

H_{min} = Mínima presión de funcionamiento del emisor, (m).

h_L = Pérdida de carga en el lateral, (m).

ΔZ_L = Desnivel a lo largo del lateral en valor absoluto, (m).

5.5.4.2.8. Presión al Final de la Tubería Lateral. Se calculó con la formula:

$$P_{uL} = H_{min} - 0.27 * h_L + \frac{\Delta Z_L}{2}$$

Donde:

P_{uL} = Presión al inicio del lateral, (m).

H_{min} = Mínima presión de funcionamiento del emisor, (m).

h_L = Pérdida de carga en el lateral, (m).

ΔZ_L = Desnivel a lo largo del lateral en valor absoluto, (m).

5.5.4.3. Dimensionado de la Tubería Terciaria.

5.5.4.3.1. Caudal al Inicio de la Tubería Terciaria. Se calculó con la formula:

$$Q_T = n * q$$

Donde:

Q_T = Caudal al inicio de la terciaria, (l/h).

n = Número de laterales funcionando en la terciaria.

q = Caudal del lateral, (l/h).

5.5.4.3.2. Pérdida de Carga Admisible en la Tubería Terciaria. Se calculó con la formula:

$$\Delta h_T = \Delta H - h_L - \Delta Z_L - \Delta Z_T$$

Donde:

Δh_T = Pérdida de carga admisible en la tubería lateral, (m).

ΔH = Variación máxima de presión en la subunidad, (m).

ΔZ_L = Desnivel de la tubería lateral. Se toma signo positivo si es ascendente, y signo negativo si es descendente, (m).

ΔZ_T = Desnivel de la tubería terciaria. Se toma signo positivo si es ascendente, y signo negativo si es descendente, (m).

5.5.4.3.3. Diámetro Mínimo de la Terciaria. Se calculó con la formula:

$$D_{iT} \geq \left[\frac{F_d * L_T * C * K_m * Q_T^{1.75}}{\Delta h_T} \right]^{\frac{1}{4.75}}$$

Donde:

D_{iT} = Diámetro mínimo de la terciaria, (mm).

F_d = Factor de Christiansen generalizado, (adimensional).

L_T = Longitud de la terciaria, (m).

C = Coeficiente que depende de la temperatura, (m).

K_m = Coeficiente mayorante, (adimensional).

Q_T = Caudal al inicio de la terciaria, (l/h).

Δh_t = Pérdida de carga admisible en la terciaria, (m).

Es necesario cumplir la condición que indica la normalización del diámetro mínimo calculado:

$$D_{iNT} \geq D_{iT}$$

5.5.4.3.4. Pérdida de Carga Total en la Terciaria. Se calculó con la formula:

$$h_T = F_d * K_m * M_T * L_T * Q_T^{1.75}$$

Donde:

h_T = Pérdida de carga en la tubería terciaria, (m).

F_d = Coeficiente de Christiansen generalizado, (adimensional).

L_T = Longitud de la tubería terciaria, (m).

5.5.4.3.5. Presión al Inicio de la Terciaria. Se calculó con la formula:

$$P_{oT} = P_{oL} + 0,73 * h_T - \frac{\Delta Z_T}{2}$$

Donde:

P_{oT} = Presión al inicio de la tubería terciaria, (m).

P_{oL} = Presión en el origen de la tubería lateral, (m).

h_T = Pérdida de carga en la tubería terciaria, (m).

ΔZ_T = Desnivel a lo largo de la terciaria en valor absoluto, (m).

5.5.4.3.6. Presión al Final de la Terciaria. Se calculó con la formula:

$$P_{uT} = P_{uL} - 0,27 * h_T + \frac{\Delta Z_T}{2}$$

Donde:

P_{uT} = Presión al inicio de la tubería terciaria, (m).

P_{uL} = Presión en el origen de la tubería lateral, (m).

h_T = Pérdida de carga en la tubería terciaria, (m).

ΔZ_T = Desnivel a lo largo de la terciaria en valor absoluto, (m).

5.5.4.3.7. Velocidad Media de Flujo. Se determino en base al criterio para tuberías que la velocidad media de flujo debe estar dentro del rango de 0,5 m/s a 2,5 m/s, se aplicó la formula:

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

Donde:

V = Velocidad media de flujo, (m/s)

Q = Caudal circulante por la tubería, (m³/s).

A = Sección transversal de la tubería, (m²).

5.5.4.4. Dimensionado de la Tubería Primaria.

5.5.4.4.1. Diámetro Mínimo de la Tubería Primaria. El diámetro de la tubería principal se calculó en función del caudal requerido en las tuberías de las subunidades y la velocidad media de flujo, utilizando la fórmula:

$$D = 0,5947 \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

Donde:

D = Diámetro mínimo de la tubería primaria, (mm).

Q = Caudal, (l/h).

v = Velocidad media de flujo, (m/s).

5.5.4.4.2. Pérdida de Carga Total en la Tubería Primaria. Se calculó con la formula:

$$h_P = K_m * M_P * L_P * Q_P^{1,75}$$

Donde:

h_P = Pérdida de carga en la tubería primaria, (m).

L_P = Longitud de la tubería primaria, (m).

Q_P = Caudal al inicio de la tubería primaria, (l/h).

5.5.4.4.3. Presión al Inicio de la Tubería Primaria. Se calculó con la formula:

$$P_{oP} = P_{oT} + h_P \pm \Delta Z_P$$

Donde:

P_{oP} = Presión al inicio de la tubería primaria, (m).

P_{oT} = Presión en el origen de la tubería terciaria, (m).

h_P = Pérdida de carga en el tramo considerado de la primaria, (m).

ΔZ_P = Desnivel a lo largo de la primaria. Se toma signo positivo si el flujo del agua en la tubería es ascendente, y signo negativo si el flujo del agua en la tubería es descendente, (m).

5.5.4.5. Selección de la Motobomba. Para seleccionar la bomba se utilizó la carga manométrica total y el caudal requerido en el sistema de riego.

5.5.4.5.1. Altura Manométrica Total. Se calculó con la fórmula:

$$H_{MAN} = (H_a + h_a + H_i + h_i + P_{oP}) * 1,05$$

Donde:

H_{MAN} = Altura manométrica total, (m).

H_a = Altura de aspiración, (m).

h_a = Pérdida de carga por fricción y accesorios en la tubería de aspiración, (m).

H_i = Altura de impulsión, (m).

h_i = Pérdida de carga por fricción y accesorios en la tubería de impulsión, (m).

P_{oP} = Presión en el inicio de la tubería primaria. (m).

El valor 1.05 es el factor de seguridad del 5 %.

5.5.4.5.2. Altura Neta Positiva de Aspiración Disponible. La característica que una electrobomba debe cumplir para el funcionamiento de un sistema de riego y evitar el fenómeno de la cavitación es conocer la altura neta positiva de aspiración que dispone la bomba. Se calcula con la formula:

$$NPSH_{disp} = 10^5 * \frac{p_l * p_v}{\rho * g} + H_a + h_a$$

Donde:

$NPSH_{disp}$ = Altura Neta Positiva de Aspiración disponible, (m).

p_l = Presión atmosférica del lugar, (bar).

p_v = Presión de vapor del líquido, (bar).

ρ = Densidad del líquido, para el agua es de 1000 kg/m³

g = Aceleración de la gravedad, (9,81 m/s²).

H_a = Altura de aspiración, (m).

h_a = Pérdida de carga producido en el tramo de aspiración, (m).

La presión atmosférica del lugar, se calculó con la fórmula:

$$P_{atm} = 10,33 - \frac{Altitud (m)}{900}$$

La presión de vapor del líquido, se estimó en base de la temperatura del agua, a partir de tablas de fabricante con valores determinados (Anexo 12).

También es necesario establecer la condición para que la electrobomba funcione sin cavitación. Por seguridad se adiciona 0,5 m.

$$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req} + 0.5$$

5.5.4.5.3. Potencia Absorbida de la Bomba. Se calcula con la formula:

$$P_e = \frac{Q * H_{man} * \gamma}{270 * \eta}$$

Donde:

P_e = Potencia absorbida, (CV).

Q = Caudal, (m³/h).

H_{man} = Altura manométrica, (m).

γ = Peso específico del líquido, (kg/dm³).

η = Rendimiento de la bomba, (decimal).

Para seleccionar la potencia del motor eléctrico según la potencia absorbida en el eje de la bomba, se consideró un margen de seguridad para evitar sobrecargas, averías en el fluido eléctrico y deficiencias en la operación de la bomba. De acuerdo con Monge (2018), para valores de P_e entre 1 CV a 5 CV, se adopta un valor del 30 % adicional a la potencia del motor (Anexo 13).

6. Resultados

6.1. Resultados para el Primer Objetivo

Diagnosticar las condiciones y características biofísicas y económico-productivas actuales del predio

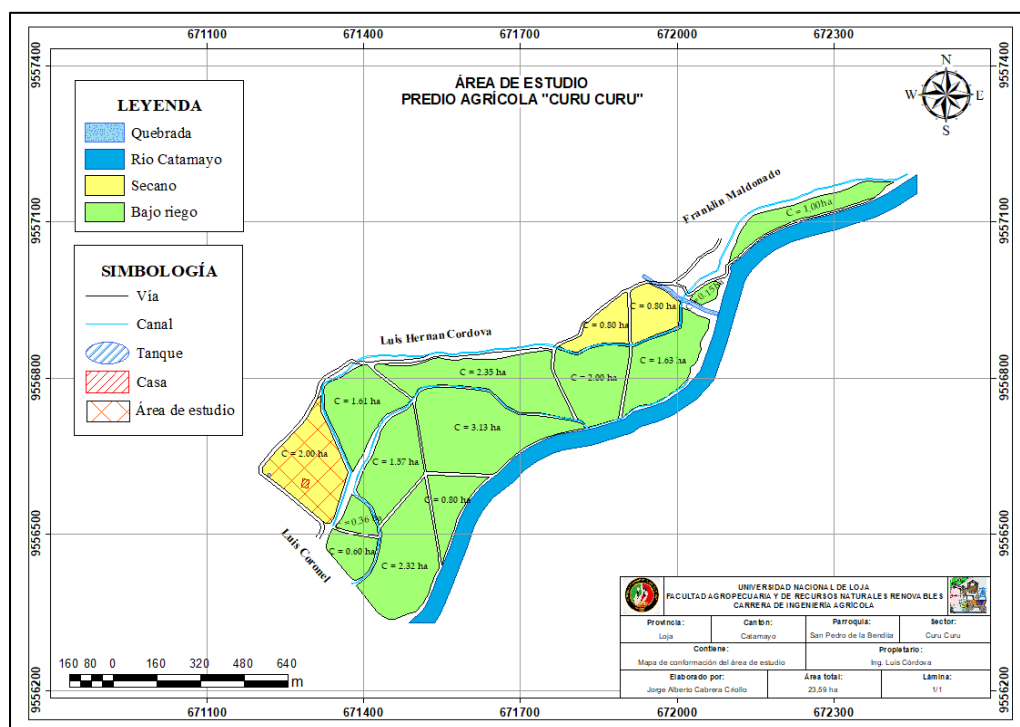
6.1.1. Descripción General

El predio “Curu Curu”, con respecto a la división política administrativa pertenece a la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo, provincia de Loja. Los propietarios actuales son los señores Luis Hernán Córdova Arias y Zoila María Burneo Castillo, quienes adquirieron la propiedad el 27 de febrero de 2020.

El predio tiene una altitud que varía desde los 1 078 m s.n.m. (al margen del río Catamayo) hasta los 1 103 m s.n.m. (en el tanque de agua del predio). De acuerdo con la Figura 6, se divide en 15 lotes que cubren un área total de 23,59 ha, tanto bajo riego como de secano. El 80,54 % del predio, que equivale a 19 ha, cuenta con infraestructura de riego, como un canal de tierra que riega aproximadamente 9,70 ha y un canal de hormigón que riega 7,82 ha. Hasta la fecha, en el predio se ha utilizado el método de riego superficial. El restante 19,46 % del área total, correspondiente a 4,59 ha, comprende la casa de hacienda, un galpón de animales, un tanque de hormigón para almacenamiento de agua y una vía de ingreso.

Figura 6

Mapa de ubicación y conformación del predio “Curu Curu”



Fuente: AGROCATSA (2019).

6.1.2. Aspectos Biofísicos

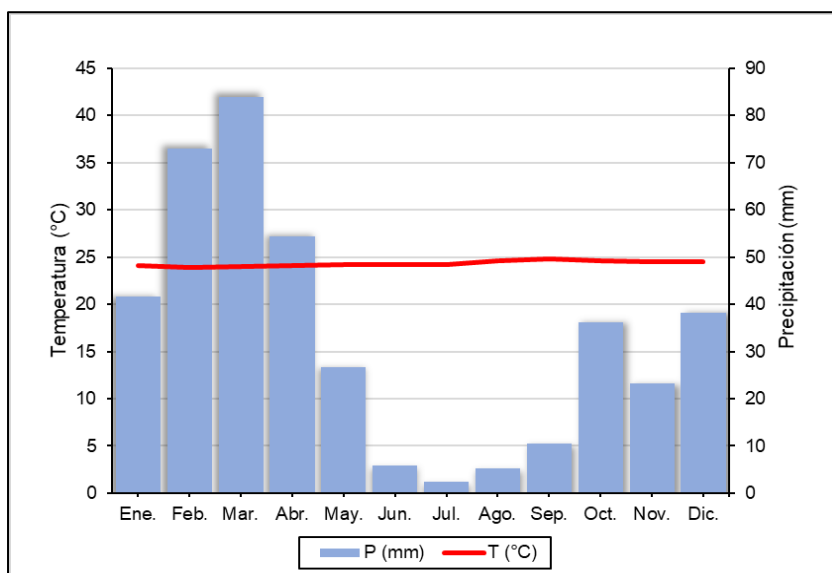
Las características físicas como los recursos naturales en los que se desarrollan las actividades agrícolas en el predio se describen a continuación.

6.1.2.1. Clima. El predio al estar ubicado en la parte baja de la parroquia San Pedro de la Bendita, se encuentra en una zona con clima Ecuatorial Mesotérmico Seco (PDOT - San Pedro de la Bendita, 2019).

Según los datos climáticos de la estación aeronáutica Catamayo, que se ubica a una distancia aproximada de 10 km con respecto al área de estudio, para un periodo de 30 años (1974 – 2003), la temperatura media es de 24,3 °C. Conforme a la Figura 7, la temperatura fluctúa entre los 23,9 y 24,8 °C, no existiendo una variación significativa durante todo el año. Además, se puede observar una época seca comprendida en los meses de mayo hasta septiembre, y una lluviosa de octubre hasta abril que recoge en promedio 401,3 mm anualmente. Los meses con los valores más altos de precipitación son febrero, marzo y abril, con 73,0, 84,9 y 54,3 mm, respectivamente.

Figura 7

Diagrama ombrotérmico del área de estudio



Fuente: Estación Aeronáutica Catamayo.

6.1.2.2. Relieve. En el predio se distinguen dos tipos de relieve, cuyo origen de formación es deposicional: uno correspondiente a superficie de cono de deyección reciente con pendientes medias de hasta el 25 % y desniveles de hasta 20 metros que pertenece al sector de seco, y otro correspondiente a terrazas bajas y cauce actual con pendientes planas que varían de 0 a 2 % y desniveles de hasta 5 metros que concierne al sector bajo riego (PDOT - Catamayo, 2019).

Además, geológicamente está compuesto por depósitos coluvio aluviales en el sector de seco y depósitos aluviales en el sector bajo riego (CLIRSEN, 2012).

6.1.2.3. Suelo. Los suelos del predio en general, pertenecen al orden Entisol, con categoría Orthents para el sector de seco y Ustorthents para el sector bajo riego. Estos suelos no presentan un desarrollo definido del perfil y están compuestos principalmente por material regolítico (MAG et al., 2020).

6.1.2.3.1. Descripción del perfil del suelo. En la Tabla 5, se presentan las características físicas y morfológicas del perfil del suelo, con respecto a los dos horizontes identificados en el sector donde se va a implementar el riego.

Tabla 5

Descripción del perfil del suelo del predio agrícola Curu Curu

Horizonte	Espesor (cm)	Descripción
Ap	0 - 60	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo (según tabla Munsell), su estructura es granular. La clase textural es franca arcillosa (Fo Ac). Presenta una pedregosidad del 20 %, con fragmentos rocosos de categoría grava media y gruesa, de forma angular. Con respecto a su consistencia es un horizonte ligeramente plástico y friable, con abundantes poros finos y muy finos; asimismo, muestra raíces grandes frecuentes, finas comunes y muy finas, el límite del horizonte es abrupto y suave.
C	60 - 150	Capa con presencia de material parental medianamente fragmentado, de clase textural franco arcillosa (Fo Ac), con macroporos comunes y con presencia de pocas raíces finas.

Elaborado por: El autor, 2022

6.1.2.3.2. Constantes Hidrofísicas y Propiedades Físicas del Suelo. Los resultados del análisis de laboratorio para determinar las constantes hidrofísicas y propiedades físicas del suelo, se presentan en la Tabla 6 y 7. Con fines de diseño del sistema de riego por goteo, los valores utilizados fueron específicamente, los correspondientes al primer horizonte. El suelo analizado mostró para el primer horizonte (Ap), un porcentaje de saturación de 22,28 %, capacidad de campo de 12,86 % y punto de marchitez permanente de 9,22 %.

Tabla 6

Resultados de las constantes hidrofísicas del suelo

Horizonte	Profundidad (cm)	Saturación % θ_v (pF = 0)	CC % θ_v (pF = 2)	PMP % θ_v (pF = 4,2)
Ap - R3	00 – 60	22,28	12,86	9,22
C - R3	60 – 150	22,00	14,01	6,70

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja

La clase textural en el primer horizonte (Ap) es franco arcilloso, presentando cantidades de arena, limo y arcilla más o menos proporcionadas, con una densidad aparente de 1,60 g/cm³.

Tabla 7

Resultados de las propiedades físicas del suelo

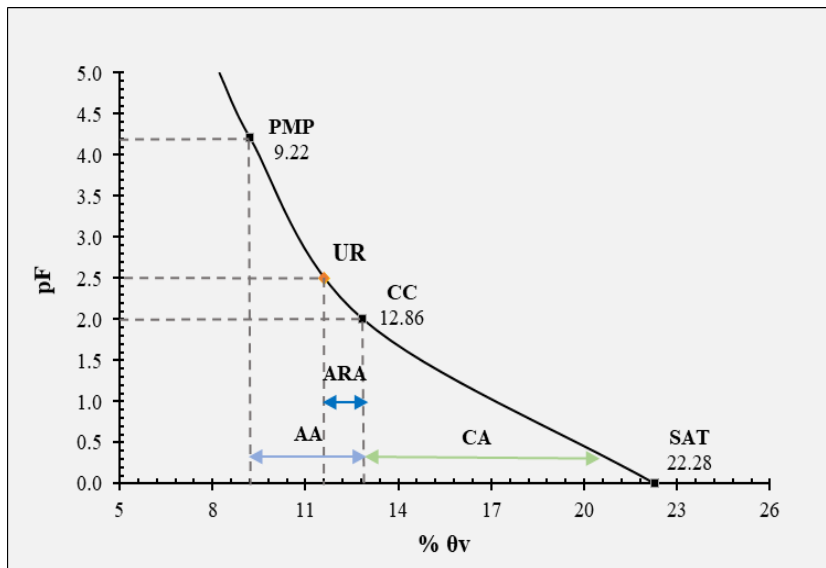
Horizonte	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Da (g/cm ³)
Ap	00 - 60	42,60	29,80	27,60	Franco Arcilloso	1,60
C	60 - 150	36,60	35,80	27,60	Franco Arcilloso	1,53

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja

6.1.2.3.3. Curva de Retención de Agua en el Suelo. En la Figura 8, se presenta la curva de retención de agua del suelo para el primer horizonte, siendo semejante a la de un suelo de clase textural franco arcilloso. En la curva se observan los resultados de las constantes hidrofísicas, y de manera grafica los valores porcentuales de agua aprovechable (AA), agua rápidamente aprovechable (ARA) y capacidad de aireación (CA).

Figura 8

Curva de retención de agua del suelo en estudio



Elaborado por: El autor, 2022

6.1.2.3.4. Evaluación de las Condiciones Físicas del Suelo en Estudio. En la Tabla 8, para el primer horizonte se indican los resultados de Agua Aprovechable (3,64 %), Capacidad de Aireación (9,42 %) y Volumen Físicamente Inerte del suelo (86,94 %), valores que fueron obtenidos de manera analítica. En base a estos parámetros y al diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, se clasificó dentro de la zona I correspondiente a muy pobre (Anexo 9).

Tabla 8

Resultados de evaluación de las condiciones físicas del suelo

Horizonte	Textura	AA (% θ_v)	CA (% θ_v)	VFI (% θ_v)	ZONA	CLASE
Ap	Franco Arcilloso	3,64	9,42	86,94	I	Muy pobre

Elaborado por: El autor, 2022

6.1.2.3.5. Velocidad de Infiltración Básica del Agua en el Suelo. En base a los datos obtenidos de las pruebas realizadas en campo y su respectivo tratamiento (Anexo 5), el valor promedio de la velocidad de infiltración básica del suelo se determinó en 71,71 mm/h, mediante el método de doble anillo y la ecuación de Kostiakov. Se puede interpretar que el valor alto de velocidad de infiltración, se debe a que existió influencia sobre la infiltración del suelo, debido a la presencia de pedregosidad.

6.1.2.1. Uso del Suelo y Cobertura Vegetal. El área total del predio está asignada al uso agrícola, siendo la cobertura dominante el cultivo industrial de caña de azúcar (PDOT - Catamayo, 2019). A través del trabajo de campo, se determinó que el 80,54 % de la superficie está ocupada por el cultivo industrial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mientras que el 19,46 % está en barbecho. Además, se encontraron árboles como: Palo Santo (*Bursera graveolens*), Faique (*Acacia macracantha*), Algarrobo (*Prosopis juliflora*), Zapote de perro (*Colicodendron scabridum*); arbustos como: Higuirilla (*Ricinus communis*) Borrachera (*Ipomoea carnea*), Moshquera (*Croton wagner*); y arvenses como: Arrastradora (*Commelina erecta*), Amor seco (*Bidens pilosa*), y Ramírez (*Parthenium hysterophorus*).

6.1.2.2. Agua. El predio se abastece de agua para el riego de la caña de azúcar, una parte proviene de la concesión otorgada por la SENAGUA que permite aprovechar el agua del río Catamayo con una dotación de 3,8 l/s, se transporta por un canal de hormigón, este caudal se comparte entre dos usuarios y está disponible los siete días de la semana. Además, se tiene otra captación en el mismo río Catamayo ubicada a una distancia aproximada de 600

metros del terreno, se conduce el agua por un canal de tierra que suministra al predio un caudal de 446 l/s. El segundo caudal es de uso exclusivo para el predio.

6.1.2.2.1. Fuente Abastecedora de Agua. El sector donde se diseñará el sistema de riego por goteo, dispone de un tanque de hormigón para el almacenamiento de agua, con una capacidad de 30 m³. El tanque se abastece por una tubería de polietileno de dos pulgadas de diámetro. El agua que abastece al tanque del predio proviene de la quebrada sin nombre, ubicada al oeste de la finca. La captación está ubicada aproximadamente a 1 km.

Se determinó un caudal de 0,76 l/s, a través de aforo volumétrico (Anexo 3). El caudal considerado para el diseño fue el caudal permanente de entrada más el volumen almacenado en el tanque.

6.1.2.2.2. Calidad de Agua para Riego. En la Tabla 9, se presentan los resultados del análisis de calidad de agua para riego. En el cual se destaca que el agua posee un pH básico de 7,7. Además, un valor intermedio con respecto al total de sólidos disueltos en el agua de 712 mg/l, por lo que presenta una conductividad eléctrica de 1,48 mS/cm.

Tabla 9

Resultados del análisis de calidad de agua para riego

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
1. SALINIDAD			
<i>Contenido en sales</i>			
Conductividad Eléctrica	CE	1,48	mS/cm
Sólidos Disueltos Totales	TSD	712,00	mg/l
<i>Cationes y aniones</i>			
Calcio	Ca ²⁺	180,00	mg/l
Magnesio	Mg ²⁺	37,50	mg/l
Sodio	Na ⁺	21,60	mg/l
Potasio	K ⁺	0,60	mg/l
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	3,00	mg/l
Bicarbonatos	CO ₃ H	180,00	mg/l
Cloruros	Cl ⁻	2,80	mg/l
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	450,00	mg/l
2. VARIOS			
Acidez o basicidad	pH	7,70	1-14
Relación de Adsorción de Sodio	RAS	2,07	meq/l

Fuente: Estación Experimental del Austro (2022)

Elaborado por: El autor, 2022.

6.1.3. Aspectos Económico-Productivos

6.1.3.1. Principales Productos del Predio. Desde hace 16 años en el predio, se siembra y cosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en un sistema de producción intensivo, aprovechando las potencialidades del suelo, las condiciones de clima, y las prácticas culturales utilizadas, han convertido esta actividad en el principal sustento económico dentro de la finca. Adicionalmente, para la seguridad alimentaria se han establecido áreas pequeñas para cultivos de yuca (*Manihot esculenta*), frejol (*Phaseolus vulgaris*), zapallo (*Cucurbita moschata*) y limón (*Citrus latifolia*).

Para las actividades de cuidado, riego, control de malezas, fertilización y mantenimiento del predio, se encarga un trabajador asalariado, además se suele contratar trabajadores ocasionales para realizar labores agrícolas específicas (arreglo del terreno).

La variedad de caña cultivada es la PR 61-632, en un área neta de 17,52 ha, el rendimiento promedio de acuerdo al reporte de AGROCATSA (2021–2022) en las dos últimas cosechas realizadas es de 155,16 t/ha.

En cuanto al riego, el método aplicado es por gravedad, con una frecuencia de riego de 8 días. La aplicación de fertilizantes es de forma manual, se fracciona la dosis en dos partes por ciclo de cultivo; la primera parte se aplica a los dos meses, la segunda después de un mes. Con respecto al control de malezas se hace aplicando herbicidas a un mes de haberse iniciado el rebrote de la caña. Para el control fitosanitario se utiliza métodos biológicos que consiste en la liberación de parasitoide de huevos de *Diatraea* spp., aplicando 100 in² por hectárea de *Trichogramma exiguum* (micro avispa).

La producción de caña de azúcar del predio está orientada a la agroindustria, el destino de la producción es la Empresa Agrícola & Comercial Catamayo S.A. (AGROCATSA), mediante un contrato de prestación de servicios de compraventa de caña de azúcar entre el agricultor (proveedor) y la empresa (comprador), quien es el responsable de abastecer de materia prima al ingenio Monterrey para la producción de azúcar. El contrato de venta establece que el proveedor será el responsable del manejo y cuidado del cultivo, el corte será cuando el cultivo tenga una edad entre 12 y 18 meses. La empresa AGROCATSA es responsable de la cosecha que comprende el corte y arrume, que es una actividad manual, el alce y carga del producto se hacen con máquinas cargadoras y el transporte de la producción hasta el Ingenio Monterrey es en camiones.

6.1.3.2. Costos de Producción. El cultivo está por su tercera cosecha, es decir el tercer corte. En la Tabla 10, se detallan los costos de mantenimiento por hectárea de cultivo a diciembre de 2022. Los costos de los rubros de alquiler de maquinaria agrícola y labores de

control entomológico, son fijados por parte de AGROCATSA y descontado al agricultor (proveedor) a la fecha de entrega de la cosecha.

Tabla 10

Costos de producción de caña de azúcar por hectárea (mantenimiento)

Labor o actividad	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total/ha
1. INFRAESTRUCTURA DEL TERRENO				
Encallado de residuos con despajadora tipo Lilly (labor mecanizada)	Hora	1,80	27,50	49,50
2. FERTILIZACIÓN				
Nitrato de amonio	Bolsa de 50 kg	10,00	50,88	508,80
Sulfato de potasio	Bolsa de 50 kg	3,00	73,06	219,18
Aplicación de fertilizantes	Jornal	1,00	18,00	18,00
3. RIEGO				
Aplicación del riego (metodo por gravedad)	Jornal	17,00	18,00	306,00
4. CONTROL DE MALEZAS				
<i>Control químico</i>				
Ametrex 50	Litro	6,00	11,90	71,40
Dominal SL	Litro	4,00	7,56	30,24
Aplicación química	Jornal	1,00	18,00	18,00
5. CONTROL FITOSANITARIO				
<i>Control biológico</i>				
Trichogramma exiguum	Cartulina de 50 in ²	2,00	4,50	9,00
Aplicación del biológico	Jornal	0,50	18,00	9,00
6. COSECHA				
Corte y arrumado	Jornal	22,00	18,00	396,00
Carga a camiones	Hora	4,50	25,00	112,50
Transporte (capacidad: 13,71 t)	Flete	11,00	32,35	355,85
7. COSTOS DIRECTOS				
TOTAL:				2103,47
8. RENDIMIENTO FÍSICO				
<i>Rendimiento promedio</i>		Cantidad	Costo unitario	Ingreso
Caña de azúcar 155.16 t/ha		155,16	28,76	4462,40
9. RENTABILIDAD				2358,93

Nota: La empresa de acuerdo a la localización del sector de producción, establece el valor a pagar por tonelada de caña en parcela, aplicando el precio por transporte, y ajustándolo al precio oficial mínimo de sustentación de tonelada de caña.

6.2. Resultados para el Segundo Objetivo

Elaborar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo.

6.2.1. Superficie de Riego

Como resultado del levantamiento topográfico y del dibujo realizado con un programa de diseño de ingeniería, se determinó que el sector donde se implementará el riego posee un área total de 1,78 ha, con relieve inclinado y pendiente de 13,50 %. Se encuentra entre las cotas que va desde los 1 103 m s.n.m. hasta los 1 109 m s.n.m. De esta área se seleccionó 0,54 ha para el establecimiento del cultivo de tomate riñón y, por ende, para el diseño del sistema de riego. En la superficie restante se encuentra la casa de hacienda, un galpón para aves y una plantación de cítricos.

Para establecer el cultivo se adoptó una densidad de siembra de 0,4 m entre plantas y 1,0 m entre hileras (25 000 plantas/ha), las técnicas de manejo y labores de cosecha del cultivo se consideraron las prácticas de los agricultores de Catamayo.

6.2.2. Necesidades de Agua del Cultivo

Para su estimación, se obtuvieron los resultados de:

6.2.2.1. Evapotranspiración de Referencia (ET_o) Utilizando CROPWAT

8.0. De acuerdo con la Tabla 11, para el área de estudio, el valor mínimo de evapotranspiración de referencia se produjo en el mes de febrero con 3,62 mm/día, mientras que el valor máximo se encontró en el mes de septiembre con 4,46 mm/día.

Tabla 11

Evapotranspiración de referencia mediante el método de Penman-Monteith.

Mes	T Min. °C	T Máx. °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Radiación MJ/m ² /día	ET _o mm/día
Enero	15,0	33,1	61	93	3,6	14,9	3,84
Febrero	15,5	32,9	65	85	3,0	14,3	3,62
Marzo	15,6	33,0	65	83	3,4	14,8	3,69
Abril	15,1	33,0	65	92	3,6	14,5	3,66
Mayo	14,5	32,8	62	100	4,8	15,2	3,76
Junio	13,9	32,4	57	111	5,4	15,3	3,85
Julio	13,3	32,4	54	122	5,4	15,6	4,04
Agosto	13,4	33,3	52	122	5,4	16,6	4,35
Septiembre	14,3	34,0	54	121	4,8	16,7	4,46
Octubre	14,6	34,4	58	112	4,8	17,0	4,45
Noviembre	13,4	34,4	59	102	4,6	16,4	4,23
Diciembre	14,8	34,2	61	95	4,2	15,7	4,01
Promedio	14,4	33,3	59	103	4,4	15,6	4,00

Fuente: Datos meteorológicos de la estación aeronáutica Catamayo, 1974 – 2003

Promediando los valores de evapotranspiración de referencia ET_o , para el período en el cual se planeó establecer el cultivo de tomate, el valor más alto corresponde a la etapa final de temporada (4,41 mm/día), mientras que el valor más bajo recae en la etapa inicial del cultivo (3,71 mm/día), tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Valores promedio de ET_o , para el ciclo de cultivo de tomate riñón propuesto

Etapa fenológica	Desde - Hasta	Duración de etapa	Ciclo de cultivo	ET_o
		días	días	mm/día
Inicial	01/04/2022 - 05/05/2022	35	35	3.71
Desarrollo	06/05/2022 - 14/06/2022	40	75	3.81
Mediados de temporada	15/06/2022 - 03/08/2022	50	125	4.08
Final	04/08/2022 - 02/09/2022	30	155	4.41

Elaborador por: El autor, 2022

6.2.2.2. Coeficiente de Cultivo (K_c). En base a la Tabla 13, el coeficiente de cultivo para la fase inicial del tomate riñón es de 0,60. Después de realizar las correcciones necesarias, se obtuvieron valores de K_c de 1,15 y 0,76 para la fase media y final, respectivamente. Estos valores ajustados garantizan una estimación más precisa de las necesidades de riego del cultivo en cada etapa.

Tabla 13

Valores de K_c para tomate riñón por etapa fenológica

Etapa fenológica	Duración de etapa	Ciclo de cultivo	K_c
	días	días	
Inicial	35	35	0,60
Desarrollo	40	75	0,88
Mediados del periodo	50	125	1,15
Final	30	155	0,76

Elaborado por: El autor, 2022

6.2.2.3. Evapotranspiración del Cultivo de Tomate Riñón (ET_c) para el Ciclo de Cultivo Propuesto. En la Tabla 14, se presentan los resultados de la ET_c para cada una de las fases fenológicas. La mayor necesidad de agua se presenta en la fase de mediados de temporada con 4,69 mm/día, mientras que la menor necesidad hídrica se establece en la fase inicial con 2,23 mm/día.

Tabla 14*Valores de evapotranspiración del cultivo de tomate riñón*

Etapa fenológica	Duración de etapa	Ciclo de cultivo	ET _o	K _c	ET _c
	días	días	mm/día		mm/día
Inicial	35	35	3.71	0,60	2,23
Desarrollo	40	75	3.81	0,88	3,35
Mediados del periodo	50	125	4.08	1,15	4,69
Final	30	155	4.41	0,76	3,35

Elaborado por: El autor, 2022

6.2.3. Profundidad de la Zona Radicular Efectiva del Cultivo de Tomate Riñón

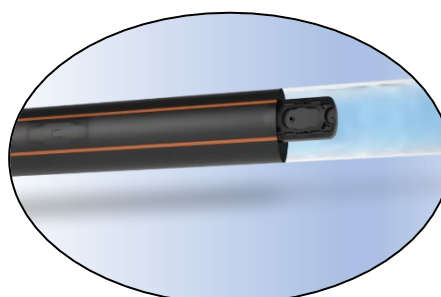
Habiendo considerado el valor referencial de profundidad radicular máxima efectiva, propuesto por la FAO, la profundidad efectiva de la zona radicular del tomate riñón determinada fue de 0,56 m.

6.2.4. Emisor de Riego

Se seleccionó cinta de goteo con emisores insertados auto compensados, debido al tipo de cultivo y las condiciones topográficas del área de riego, cuyas características del emisor, se presentan en la Tabla 15. Además, para cubrir las necesidades del cultivo y garantizar el porcentaje de superficie humedecido adoptado, se estableció la disposición de dos laterales de riego por fila de plantas.

Tabla 15*Características técnicas de la cinta de goteo seleccionada para el diseño*

Cinta de goteo DripNet PC™	
Modelo	12150
Rango de presión de trabajo	0,4 – 3,0 bar
Área de filtración	39 mm ²
Caudal	1,6 l/h
Constante K	1,6
Exponente X	0
Diámetro interior	11,8 mm
Distancia entre goteros	0,3 m
CV	< 0,05
Norma	ISO 9261



Fuente: Netafim, 2022

6.2.5. Diseño Agronómico

6.2.5.1. Necesidad de Riego del Cultivo de Tomate Riñón Para el diseño, no se consideró el aporte de la precipitación efectiva, ni el ascenso capilar. De acuerdo con la Tabla 16, la necesidad neta de riego establecida fue de 4,69 mm/día. Previa corrección, como resultado se obtuvo un valor de necesidad neta de riego corregida de 4,05 mm/día.

En cuanto a la necesidad total de riego, para su estimación se adoptó una eficiencia de aplicación de 85 %, considerando que el suelo posee una baja capacidad de retención de agua, pedregosidad moderada, e infiltración básica moderadamente rápida. Por esta razón, se determinó que su comportamiento es similar al de un suelo de textura arenosa. En consecuencia, el valor obtenido de necesidad total de riego fue de 5,29 mm/día.

Tabla 16

Valores de necesidad de riego del cultivo de tomate riñón

Parámetro	Unidad	Valor
Necesidad neta de riego (N_n)	mm/día	4,69
Coefficiente corrector por localización (KL)	--	0,75
Coefficiente corrector por variación climática (Kr)	--	1,15
Coefficiente corrector por advección (Ka)	--	1,00
Necesidad neta de riego corregida (N_n)	mm/día	4,05
Eficiencia de aplicación (E_a)	%	85,00
Necesidad de lavado (NL)	%	30,00
Necesidad total de riego (N_t)	mm/día	5,29

Elaborado por: El autor, 2022

6.2.5.2. Parámetros Agronómicos. En la Tabla 17, se presentan los resultados de los parámetros agronómicos, con respecto al periodo de máxima demanda de agua del cultivo. El diámetro del bulbo húmedo generado por un gotero cuyo caudal es de 1,6 l/h fue de 0,42 m. Por lo tanto, el número de emisores por metro cuadrado necesario para cubrir la necesidad total de riego fue de 6,67 unidades. Además, la lámina total de riego fue de 6,85 mm., con una frecuencia de aplicación diaria y un tiempo total de riego de 4,50 horas.

Tabla 17

Resumen de los parámetros agronómicos calculados

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro de la superficie mojada	D	0,42	m
Superficie mojada por emisor	sme	0,14	m ²
Porcentaje de superficie humedecida	P	70,00	%
Número mínimo de emisores por metro cuadrado	e _h	5,00	gotero/m ²

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Distancia entre emisores	D_e	0,33	m
Número final de emisores por metro cuadrado	e_{hf}	6,67	gotero/m ²
Lámina de agua aprovechable	LAAzr	32,61	mm/zr
Lámina de agua rápidamente aprovechable	LARAZr	9,78	mm/zr
Lámina bruta o total de riego	LB	6,85	mm/zr
Intervalo de riego	I_r	1,29	días
Tiempo de riego	t_r	0,50	h
Caudal total	Q_t	16,00	l/s
Tiempo de operación máximo del sistema	t_{os}	13,00	h
Caudal instantáneo (disponible)	Q_d	1,80	l/s
Número mínimo de bloques de riego	Nmb	8.89	bloque
Superficie de cada bloque	S_b	600	m ²
Caudal definitivo por cada bloque	Q_b	1,78	l/s
Tiempo total de riego por día	t_t	4,50	h

Elaborado por: El autor, 2022

6.2.6. Diseño Hidráulico

La instalación de riego se compone de un cabezal de control ubicado en la parte alta junto al tanque de hormigón, y 10 subunidades o bloques que se controlan de manera independiente, excepto las dos últimas que se ven afectados en conjunto por el control.

Por otra parte, se definió una variación máxima de presión de 4 metros de columna de agua (m.c.a.) en las diferentes subunidades de riego, teniendo en cuenta una presión mínima de funcionamiento de 5 m.c.a. y una presión máxima de 9 m.c.a. Estos valores se basan en la topografía de las subunidades y en las dimensiones de las tuberías laterales y terciarias.

Los resultados de la Tabla 18, muestran que las subunidades o bloques son de forma rectangular. Para las subunidades desde la uno hasta la ocho, las dimensiones fueron de 37,50 m de ancho y 16 m de largo; a diferencia de las subunidades nueve uno y nueve dos, donde el ancho se mantuvo y el largo se redujo a 8 m. Además, la longitud de la tubería lateral fue de 37 m en todas las subunidades, y contó con 123 emisores integrados. De igual manera, la longitud de la tubería terciaria fue de 16,15 m para las subunidades desde la uno hasta la ocho, mientras que para las subunidades nueve uno y nueve dos, fue de 8,15 m. La longitud total de la tubería primaria fue de 116,47 m.

Tabla 18*Longitudes y derivaciones de acuerdo al tipo de tubería y diseño*

Bloque	Dimensiones del bloque		Long. lateral	Nro. emisores lateral	Long. terciaria	Nro. laterales terciaria	Long. primaria
	Ancho	Largo					
1	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	52,47
2	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	52,47
3	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	68,47
4	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	68,47
5	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	84,47
6	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	84,47
7	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	100,47
8	37,50	16,00	37,00	123	16,15	32,00	100,47
9.1	37,50	8,00	37,00	123	8,15	16,00	116,47
9.2	37,50	8,00	37,00	123	8,15	16,00	116,47

Elaborado por: El autor, 2022

En la Tabla 19, se indican los valores de diseño de acuerdo al tipo de tubería. En este caso, la tubería lateral presentó en todas las subunidades, un diámetro interno de 11,80 mm, caudal de 196,80 l/h y velocidad media de flujo de 0,50 m/s. En cuanto a la tubería terciaria, para las subunidades desde la uno hasta la ocho, tuvo un diámetro interno de 29,80 mm, caudal de 6297,60 l/h y velocidad media de flujo de 2,50 m/s, en tanto que, para las subunidades nueve uno y nueve dos, el diámetro interno fue 22,80 mm, caudal de 3148,80 l/h y velocidad media de flujo de 2,14 m/s. Respecto a la tubería primaria, el diámetro interno fue de 47,40 mm, caudal de 6297,60 l/h y velocidad media de flujo de 0,99 m/s.

Tabla 19*Resumen de los diámetros, velocidades y caudales de diseño*

Bloque	Diám. interno lateral (mm)	Caudal lateral (l/h)	Vel. lateral (m/s)	Diám. interno terciaria (mm)	Caudal terciaria (l/h)	Vel. terciaria (m/s)	Diám. interno primaria (mm)	Caudal primaria (l/h)	Vel. primaria (m/s)
1	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
2	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
3	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
4	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
5	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
6	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
7	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
8	11,80	196,80	0,50	29,80	6297,60	2,50	47,40	6297,60	0,99
9.1	11,80	196,80	0,50	22,80	3148,80	2,14	47,40	6297,60	0,99
9.2	11,80	196,80	0,50	22,80	3148,80	2,14	47,40	6297,60	0,99

Elaborado por: El autor, 2022

En cuanto a las pérdidas de carga, se aplicó la fórmula de Blasius para determinar la pérdida de carga total en cada tipo de tubería. En la Tabla 20, los resultados muestran que las pérdidas de carga en la tubería lateral fueron de 0,54 m.c.a.; para la tubería terciaria en las subunidades uno y ocho fue de 1,57 m.c.a., y para las subunidades nueve uno y nueve dos, fue de 0,86 m.c.a. En el caso de la tubería principal, dividida en 5 tramos, la pérdida de carga para la condición más crítica es de 3,18 m.c.a.

Tabla 20

Resumen de pérdidas de carga empleando la fórmula de Blasius

Bloque	Presión máxima bloque (mca)	Presión mínima bloque (mca)	Variación presión bloque (mca)	h _r lateral (mca)	h _r terciaria (mca)	h _r primaria (mca)	Presión inicial lateral (mca)	Presión inicial terciaria (mca)	Presión inicial primaria (mca)
1	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	1,43	5,13	5,55	1,28
2	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	1,43	5,29	5,71	1,28
3	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	1,87	5,03	5,36	0,10
4	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	1,87	5,24	5,58	0,10
5	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	2,31	5,02	5,50	-0,98
6	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	2,31	5,23	5,70	-0,98
7	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	2,74	5,01	5,43	-2,03
8	9,00	5,00	4,00	0,57	1,57	2,74	5,21	5,63	-2,03
9.1	9,00	5,00	4,00	0,57	0,86	3,18	5,09	5,34	-3,31
9.2	9,00	5,00	4,00	0,57	0,86	3,18	5,16	5,41	-3,31

Elaborado por: El autor, 2022

En función de los resultados, se exige que tanto la subunidad 1 como la subunidad 2 requieran presión adicional para su funcionamiento. Sin embargo, debido a la energía generada por el desnivel de la tubería primaria en dirección a las demás subunidades, no es necesaria presión adicional y existe un exceso de presión (signo negativo). Por lo tanto, se colocó una válvula reguladora de presión. Además, es necesario incorporar una electrobomba para superar las pérdidas de carga en el cabezal de control.

6.2.7. Selección de la Electrobomba

De forma práctica, se consideró que en el caso de fertirriego se utilizará la electrobomba en el funcionamiento de todas las subunidades sin excepción alguna, mientras que, para únicamente regar solo será necesario su uso en el funcionamiento de las subunidades 1 y 2, debido a que estas últimas se encuentran a un nivel más alto con respecto a las restantes subunidades.

6.2.7.1. Altura Manométrica Total. La altura manométrica total, adicionando las pérdidas de carga producidas en el cabezal de control, más la presión requerida al inicio de la tubería primaria, para el caso de las subunidades 1 y 2, fue de 19,62 mca.

6.2.7.2. Altura Neta Positiva de Aspiración Disponible. La altura neta positiva de succión disponible con un valor de presión atmosférica calculado para el sitio de 9,10 mca y una presión de vapor de agua a 20 °C de 0,24 mca, fue finalmente de 7,23 m.

6.2.7.3. Potencia Absorbida de la Bomba. La potencia absorbida de la electrobomba resultó de 1,14 HP, valor que se calculó en función del rendimiento (40 %). Este último parámetro se determinó en base a los datos de altura manométrica total y caudal, de acuerdo con la curva característica de la electrobomba.

Después de todo, considerando el margen de seguridad propuesto en la metodología, la potencia requerida definitiva de la electrobomba fue de 1,48 HP. Por consiguiente, fue seleccionada comercialmente la electrobomba Pedrollo HFm 70C, con una potencia de 1,5 HP (anexo 13).

6.2.8. Lista de Materiales y Presupuesto Estimado de la Instalación

Se elaboro la lista de materiales, accesorios y presupuesto para la instalación de los componentes del sistema de riego por goteo, como cabezal de control y el equipo de fertirriego, tuberías y accesorios de la conducción principal, materiales y accesorios de las subunidades de riego. La Tabla 21, detalla los materiales y accesorios para cada componente.

Tabla 21

Materiales y accesorios del sistema de riego por goteo

RUBRO	U	CANT.	P.U.	P.T.
CABEZAL DE RIEGO/FERTIRRIEGO				
Canastilla de succión Aluminio 50 mm	U	1	10,97	10,97
Adaptador macho PVC C/R-E/C 50 mm ERA	U	10	0,60	6,00
Adaptador macho PVC C/R-E/C 25 mm ERA	U	2	0,17	0,34
Adaptador hembra PVC C/R-E/C 25 mm ERA	U	2	0,17	0,34
Válvula esférica con universal PVC roscable 50 mm ERA	U	3	8,82	26,46
Válvula esférica con universal PVC E/C 50 mm ERA	U	2	8,34	16,68
Válvula esférica con universal PVC roscable 25 mm ERA	U	1	2,32	2,32
Válvula esférica con universal PVC E/C 25 mm ERA	U	1	2,80	2,80
Tee PVC E/C 50 mm ERA	U	4	1,14	4,56
Tee reductora PVC E/C 50 x 25 mm ERA	U	2	0,95	1,90
Unión universal PVC rosca hembra 50 mm ERA	U	1	2,02	2,02
Reducción bushing PVC roscada 50 x 40 mm ERA	U	1	0,29	0,29
Reducción bushing PVC mixta 50 x 40 mm ERA	U	1	0,29	0,29
Reducción bushing PVC mixta 32 x 20 mm ERA	U	1	0,21	0,21
Unión simple PVC E/C 50 mm ERA	U	1	0,70	0,70

RUBRO	U	CANT.	P.U.	P.T.
Filtro AZUD M100 Anillas 120 mesh 40 mm	U	1	17,52	17,52
Codo PVC E/C x 90° 50 mm ERA	U	5	0,86	4,30
Codo PVC E/C x 90° 25 mm ERA	U	2	0,23	0,46
Inyector Venturi AZUD + Kit de succión	U	1	60,00	60,00
Manómetro con Glicerina 0-10 bar AZUD	U	1	10,98	10,98
Bomba EC HFm 70C 1,5 HP 1,25 * 1,25 PEDROLLO	U	1	478,00	478,00
Cinta teflón amarilla reforzada	U	3	0,98	2,94
Cemento solvente PVC 705 1/4 Galón Weldon	U	1	14,00	14,00
Válvula de aire 1" doble acción AZUD	U	1	22,39	22,39
TUBERÍA PRINCIPAL				
Tubería PVC 50 mm x 6 m 0.63 Mpa PLASTIGAMA	U	21	7,98	167,58
Tee reductora PVC E/C 50 x 32 mm ERA	U	8	0,95	7,60
Tee reductora PVC E/C 50 x 25 mm ERA	U	2	1,18	2,36
Regulador de presión 50 mm 1,5*3 bar 30 PSI	U	1	16,43	16,43
TUBERÍA TERCIARIA				
Tubería PVC 32 mm x 6 m 0.80 Mpa PLASTIGAMA	U	22	2,81	61,82
Tubería PVC 25 mm x 6 m 1.00 Mpa PLASTIGAMA	U	6	1,99	11,94
Codo PVC E/C x 90° 32 mm ERA	U	16	0,36	5,76
Codo PVC E/C x 90° 25 mm ERA	U	4	0,23	0,92
Tee PVC E/C 32 mm ERA	U	8	0,33	2,64
Tee PVC E/C 25 mm ERA	U	2	0,24	0,48
Válvula esférica con universal PVC E/C 32 mm ERA	U	8	4,47	35,76
Válvula esférica con universal PVC E/C 25 mm ERA	U	2	2,80	5,60
Válvula de aire 1" doble acción AZUD	U	10	22,39	223,90
Adaptador macho PVC C/R-E/C 32 mm ERA	U	8	0,23	1,84
Adaptador macho PVC C/R-E/C 25 mm ERA	U	2	0,17	0,34
Tapón hembra PVC 32 mm con rosca ERA	U	8	0,39	3,12
Tapón hembra PVC 25 mm con rosca ERA	U	2	0,36	0,72
TUBERÍA LATERAL				
Empaque 12 mm AZUD	U	288	0,12	34,56
Conector inicial 12 mm AZUD	U	288	0,15	43,20
Manguera ciega PE 12 mm 4 ATM 600 m JD	m	432	0,11	47,52
Enlace tubería - cinta 12 mm AZUD	U	288	0,27	77,76
Cinta de goteo Dripnet PC 12150 1,6 l/h 12 mm x 900 m	m	10656	0,23	2450,88
Fin de línea de goteo Netafim 12 mm	U	288	0,05	14,40
VARIOS				
Desbroce y limpieza	ha	0.50	110	55,00
Excavación a mano	m ³	42	11	462,00
TOTAL				4419,58

Elaborado por: El autor
Fuente: EF RIEGO (2023)

7. Discusión

Diagnosticar las condiciones y características biofísicas y económico-productivas actuales del predio.

La provincia de Loja, presenta agro-sistemas muy diversos donde se cuenta con sistemas de producción tecnificada bajo riego de cultivos como la caña, arroz, maní, maíz, frejol y hortalizas, entre los más importantes. Sin embargo, se ha evidenciado que en la realidad adolecen de limitaciones que se reflejan en los niveles de producción y productividad, constituyéndose en un escaso factor de desarrollo económico y de bienestar social de las sociedades rurales. Para el caso de estudio, el predio "Curu Curu" ubicado en la parroquia San Pedro de la Bendita del cantón Catamayo, cuya principal fuente de ingresos depende del cultivo de caña de azúcar, son evidentes las connotaciones anteriores.

Respecto a las características biofísicas en las que se desarrollan las actividades agrícolas, describen que el área de estudio se encuentra en una zona con clima Ecuatorial Mesotérmico Seco (PDOT - San Pedro de la Bendita, 2019). Además, presenta dos tipos de relieve: para el sector de secano, una superficie de cono de deyección reciente con pendientes medias de hasta el 25 % y desniveles de hasta 20 metros; mientras que, para el sector bajo riego corresponde a terrazas bajas y cauce actual con pendientes planas que varían de 0 a 2 % y desniveles de hasta 5 metros (PDOT - Catamayo, 2019). Geológicamente, y de acuerdo con CLIRSEN (2012) se ubican sobre formaciones superficiales, que para el sector de secano y bajo riego pertenecen a depósitos coluvio aluviales y aluviales, de forma respectiva. Asimismo, los suelos del predio en general de acuerdo a la clasificación taxonómica corresponden al orden de los Entisoles (MAG et al., 2020). Con base en Porta et al. (2003), el orden de los Entisoles agrupa suelos minerales que no tienen un perfil diferenciado.

▪ **Descripción del perfil del suelo**

De acuerdo a la descripción del perfil de suelo en el área donde se va a implementar el riego, se presentaron dos horizontes. Un horizonte en superficie Ap (00 – 60 cm) de textura franco arcilloso, estructura granular y con una proporción de elementos gruesos de 20 %; y en profundidad un horizonte C (60 – 150 cm) con textura similar al primer horizonte y presencia de material parental medianamente fragmentado. El suelo posee una profundidad efectiva hasta los 65 cm, que según García (2017) está clasificado como moderadamente profundo.

▪ **Constantes hidrofísicas y propiedades físicas del suelo**

El suelo analizado presentó en el primer horizonte (Ap), un porcentaje de saturación de agua de 22,28 %; capacidad de campo de 12,86 %; y punto de marchitez permanente de 9,22 %. Por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo fue de 3,64 %. La clase

textural del suelo fue franco arcilloso, en la cual se evidencio la predominancia de arena; con densidad aparente de $1,60 \text{ g/cm}^3$, velocidad de infiltración básica de $71,71 \text{ mm/h}$ y presencia de fragmentos rocosos de 20% .

Aun cuando, en el suelo se obtuvo una clase textural franco arcilloso con capacidad de aireación de $9,42 \%$, este no logra alcanzar el porcentaje de aireación satisfactorio para el crecimiento de las plantas, el cual según Valarezo et al. (1998) debe ser mayor a $10 - 15 \%$. Además, la densidad del suelo no se relaciona con el tipo de textura, al clasificarse como un valor alto. FAO (2009) argumenta que suelos con valores altos de densidad aparente, indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces debido a la aireación reducida y baja infiltración de agua en el suelo. No obstante, la velocidad de infiltración básica en el suelo fue moderadamente alta y contrariamente la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo fue baja. Lo cual se podría atribuir a la existencia de pedregosidad. De acuerdo con Fernández (1999), la influencia de los fragmentos rocosos varía de acuerdo a las características del suelo. Desde el punto de vista de la producción agrícola pueden producir efectos positivos como negativos, al afectar procesos como infiltración, difusión térmica, espacio radical y almacenamiento total de agua en el suelo.

De lo anterior, se puede reafirmar con el resultado obtenido de la evaluación de las condiciones físicas del suelo, el cual lo sitúa dentro de la zona I correspondiente a un suelo con condiciones físicas muy pobres para las plantas.

El área total del predio es de $23,59 \text{ ha}$, de la cual el $80,54 \%$ de la superficie está ocupada por el cultivo industrial de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), mientras que el $19,46 \%$ se encuentra en barbecho y cubierto por vegetación arbórea natural. El agua no es un factor limitante en el riego de la caña de azúcar, en virtud de que se aprovecha el agua del río Catamayo del cual se tiene una dotación de $3,8 \text{ l/s}$ de uso compartido entre dos usuarios y un suministro de 446 l/s de uso exclusivo.

▪ **Calidad de agua para riego**

El agua analizada en la presente investigación, mostró una conductividad eléctrica (CE) de $1,48 \text{ dS/m}$, lo cual indica un nivel intermedio de concentración de sales en el agua (salinidad). A juicio de Ayers y Westcot (1985); citados por García (2012), aguas con CE entre $0,7$ y 3 dS/m , tienen una ligera a moderada restricción para su uso en el riego de cultivos.

El valor de sólidos disueltos totales (TDS) del agua fue de 712 mg/l , el cual se ubica dentro del rango normal en aguas de riego. Sin embargo, Nakayama (1982); citado por INTAGRI (2018), refiere que aguas con valores de TDS comprendidos entre 500 y $2\ 000 \text{ mg/l}$, presentan un riesgo moderado de obstrucciones en riego localizado.

El pH del agua muestreada fue de 7,7, clasificado como ligeramente alcalino, el cual se encuentra dentro de los valores normales permitidos para riego agrícola. Según USDA (1997); citado por Carrazón (2007), el rango de valores habituales de pH para agua de riego, se encuentra entre 6 y 8,5. No obstante, similar al parámetro de TDS, Nakayama (1982); citado por INTAGRI (2018), afirma que valores de pH entre 7 y 8 conllevan un riesgo moderado de obstrucciones en riego localizado.

La relación de adsorción de sodio (RAS) del agua fue de 2,07 meq/l, valor que no representa ningún riesgo de sodificación del suelo y que puede utilizarse sin restricción alguna, al no rebasar el valor de 3 meq/l conforme lo establece la clasificación de la FAO; citado por Monge (2017).

Como se evidencia, el agua evaluada presenta ciertas restricciones con respecto a su uso, particularmente en riego localizado (goteo). Sin embargo, se la puede utilizar para el riego con precauciones y aplicando previamente un tratamiento químico al agua para prevenir posibles riesgos de salinización y obstrucción.

En cuanto a las condiciones económicas productivas muestran rendimientos de 155,16 t/ha para la variedad PR 61-632, que si bien se encuentran en los rangos establecidos por Bravo (2014) que registra producciones de 140-180 t/ha, este se ubica de la media para abajo, cualificándose como significativo. No obstante, es de resaltar que la experiencia del agricultor en el manejo adecuado del cultivo, la disponibilidad del recurso suelo y agua, el uso de maquinaria agrícola en la preparación del suelo y las condiciones climáticas, en conjunto, contribuyen a la obtención del rendimiento citado. Los costos de producción (mantenimiento) ascienden a un aproximado de \$ 2103,47, lo cual genera una rentabilidad del 53 %, valor que se acrecentaría si se optimizara la eficiencia de uso de los recursos tecnológicos disponibles, especialmente en cuanto a la tecnificación del riego.

Elaborar el diseño agronómico e hidráulico de un sistema de riego por goteo

▪ Necesidades hídricas del cultivo

La evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada para el área de estudio, tuvo un valor promedio de 4 mm/día. El valor mínimo se presentó en el mes de febrero con 3,62 mm/día, en tanto que el valor máximo fue en el mes de septiembre con 4,46 mm/día. De acuerdo con Sarango (2019), en su estudio realizado en la zona, mostró un valor máximo estimado de ET_o de 4,22 mm/día para el mes de septiembre, valor que presenta cierta similitud con el resultado obtenido en el presente trabajo.

Al no existir datos de investigaciones locales, con los valores de K_c recomendados por Allen et al. (2006), que en este caso el valor máximo fue de 1,15, se obtuvieron las necesidades

hídricas para cultivo de tomate riñón en el ciclo de cultivo propuesto, que van de 2,23 a 4,69 mm/día. Este último valor corresponde a la etapa de mediados de temporada del cultivo, en la cual se produce la floración, cuajado y desarrollo del fruto.

▪ **Necesidades de riego del cultivo**

Según Allen et al. (2006), la necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. No obstante, Fuentes (2003) destaca que a efectos de diseño en sistemas de riego por goteo, las aportaciones por precipitación efectiva no se consideran, ya que por su alta frecuencia de riego resulta en la práctica imposible que llueva siempre entre dos intervalos de riego. En el presente trabajo, para estimar las necesidades de riego del cultivo de tomate riñón con objeto de realizar el diseño de riego por goteo, no se tomaron en cuenta las aportaciones de la precipitación efectiva, lo mismo que el aporte capilar, ni la variación de humedad en el suelo. En consecuencia, la necesidad neta de riego fue equivalente a la evapotranspiración del cultivo en su etapa de máxima demanda (4,69 mm/día).

Para la corrección de las necesidades netas de riego, se empleó el criterio de Monge (2018), el cual recomienda para cultivos hortícolas y herbáceos, un valor de coeficiente por localización (KL) de 0,75; coeficiente por variación climática (Kr) en base al valor de ET_0 , que en este caso fue 1,15; y coeficiente por advección (Ka) de acuerdo con el tamaño del área a regar, que en este caso fue de $Ka = 1$.

La necesidad neta de riego corregida para el cultivo de tomate riñón en el área de riego fue de 4,05 mm/día. No obstante, la necesidad total de riego fue de 5,29 mm/día, valor obtenido con una eficiencia de aplicación adoptada de 85 % debido a la predominancia del porcentaje de arena en el suelo.

▪ **Parámetros agronómicos**

De acuerdo a las condiciones topográficas del terreno se determinó una superficie susceptible de riego de 1,78 ha., de las cuales se seleccionó 0,54 ha para la plantación de tomate riñón. Con base a las condiciones técnicas del cultivo se consideró una densidad de siembra de 0,4 m entre plantas y 1,0 m entre hileras (25 000 plantas/ha),

El tomate riñón al ser un cultivo con un marco de plantación reducido, se adoptó la solución de formar una franja húmeda continua que coincida con la hilera de plantas, para evitar que ciertas plantas puedan quedar en situaciones de mayor salinidad y menor humedad.

El diámetro del bulbo húmedo generado en base a la textura del suelo, por un gotero cuyo caudal es de 1,6 l/h fue de 0,42 m. Con ello, se determinó una superficie mojada por emisor de 0,14 m². Para cumplir con el porcentaje de humedecimiento del suelo (70 %) y solape

entre bulbos (45 %) recomendados por Monge (2018), se obtuvo una distancia comercial entre emisores de 0,30 m y un número de emisores por metro cuadrado de 6,67 unidades, dispuestos en doble línea lateral por hilera de cultivo, lo cual garantiza una aplicación eficiente de agua al cultivo. Al respecto, Buendía (2018) refiere que los goteros espaciados a menor distancia, generan beneficios en relación a mejorar el manejo de las sales, contribuye a la germinación de semillas, lixiviación de sales en cultivos permanentes y diluye la salinidad de los suelos en los cultivos sensibles a la sal.

La lámina bruta o total de riego calculada con un porcentaje máximo de agua aprovechable (30 %) fue de 6,85 mm/día, que cubre la necesidad total de riego del cultivo de 5,29 mm/día. La lámina total de riego, se aplicará con una frecuencia diaria, en un lapso de tiempo de 0,5 horas por bloque. Con relación a la frecuencia de riego, Santos et al. (2010) manifiesta que los riegos localizados comprenden diversas frecuencias, que van desde varios riegos por día hasta intervalos que en la práctica no sobrepasan los 2 a 3 días.

Se necesita un caudal de 16 l/s para efectuar el riego en la totalidad del área. Por lo tanto, con el propósito de aprovechar la capacidad total de almacenamiento del reservorio existente en el sitio, se determinó un tiempo de operación máximo del sistema de 13 horas, considerando que las 11 horas restantes estarán destinadas al llenado del reservorio. Posteriormente, el caudal instantáneo calculado del reservorio fue de 1,80 l/s; valor aceptado en el diseño, y que resultó a partir de los datos de caudal continuo (0,76 l/s) y tiempo de operación admitido del sistema, equivalente a una jornada de trabajo diaria de 8 horas.

Debido a que el caudal instantáneo es insuficiente, el área se dividió en nueve subunidades, con una superficie por cada subunidad de 600 m² y un caudal de 1,78 l/s. Debido a las dimensiones del área de riego, la última subunidad se fraccionó en dos subunidades que, sumadas sus áreas, equivalen al área de cada una de las restantes subunidades, asumiendo de forma práctica un total de diez subunidades y un tiempo total de riego requerido de 4,5 horas por día.

▪ **Diseño hidráulico**

Al poseer el terreno una pendiente moderadamente empinada de 13,50 %, se seleccionaron goteros autocompensados con el fin de mantener uniforme la aplicación de agua al cultivo. Por lo que al respecto, Calvache (2013) sugiere que en terrenos planos y con una pendiente de hasta el 5 % se puede trabajar con emisores no compensados.

Los emisores autocompensados utilizados en el diseño, poseen un rango de presión de trabajo de 4 - 30 mca, que garantiza una tasa de flujo de 1,6 l/h. La variación máxima de presión admisible en subunidad establecida fue de 4 mca, con una presión mínima y máxima de

funcionamiento del emisor de 5 y 9 mca, respectivamente. Valor que se encuentra dentro del rango recomendado por Arviza (1996), el cual propone que estando del lado de la seguridad, la variación máxima de presiones en subunidad está entre los valores de 4 – 20 mca. Acerca del caudal del emisor seleccionado, Monge (2018) considera que para cultivos hortícolas y herbáceos se suelen emplear caudales que varían desde 0,5 a 4 l/h.

Las pérdidas de carga tanto para las tuberías lateral, terciaria y primaria, se calcularon mediante la fórmula de Blasius. El coeficiente C para la fórmula de Blasius se consiguió a partir de datos tabulados, para una temperatura de 20 °C; cuyo valor es de 0,466.

En cuanto a la tubería lateral, la pérdida de carga calculada fue de 0,57 mca con una velocidad media de flujo de 0,5 m/s. Asimismo, la tubería terciaria presentó una pérdida de carga de 1,57 mca para las subunidades desde la uno hasta la ocho; mientras que, para las subunidades nueve uno y nueve dos fue de 0,84 mca, con velocidades medias de 0,99 y 2,14 m/s, de forma respectiva. Sumando las pérdidas de carga de la tubería lateral y terciaria que componen cada una de las subunidades de riego, no excedieron el valor de variación máxima de presión admisible en subunidad. Por otra parte, en la tubería principal el valor de pérdida de carga fue de 3,18 mca, con una velocidad media de 0,99 m/s. Estos valores de velocidad obtenidos en los diferentes tipos de tuberías, concuerdan con los criterios establecidos por Monge (2018), donde enfatiza que para tuberías generales, la velocidad de circulación será de 0,5 a 3,0 m/s, a diferencia de las tuberías laterales que será de 0,5 a 2,0 m/s.

Tanto la subunidad 1 y 2 necesitan de presión adicional para su funcionamiento, sin embargo, debido a la energía generada por el desnivel en la tubería primaria en dirección de las restantes subunidades, no es necesaria presión adicional, por lo que fue técnicamente necesaria la colocación de una válvula reguladora de presión.

Para vencer las pérdidas de carga producidas en el cabezal de control, el diseño técnico permitió incorporar una electrobomba con una presión de 26,50 mca, muy superior a la requerida (19,62 m), por lo que garantiza el correcto funcionamiento del sistema. La bomba centrífuga solicitada para el funcionamiento del sistema es de 1,5 HP.

8. Conclusiones

- El predio “Curu Curu” posee condiciones adecuadas para la producción de cultivos perennes y de ciclo corto, especialmente de caña de azúcar para la industria. Sus condiciones y características biofísicas y económico-productivas, permiten lograr rendimientos (155,16 ton/ha) significativos que aportan a la sostenibilidad de la finca. Y en menor relevancia los cultivos de ciclo corto donde se pretende potenciar su implementación para contribuir a la seguridad alimentaria.
- El suelo de la zona de implementación del sistema de riego por goteo tiene características franco arcillosas que, según la evaluación física, presentan limitaciones y necesidades de optimización para lograr una productividad sostenible y elevada. La adopción de tecnologías de riego presurizado se muestra como una posibilidad para mejorar la eficiencia y asegurar resultados a lo largo del tiempo.
- En relación al diseño del riego por goteo para el cultivo de tomate riñón, es satisfactorio observar que cumple rigurosamente con todos los parámetros técnicos agronómicos. La configuración de lámina, frecuencia, tiempo de riego y el número de emisores por metro cuadrado se ha diseñado de manera precisa para atender las necesidades hídricas del cultivo, especialmente durante su periodo de máximo consumo. Esto respalda la capacidad del sistema para proporcionar las condiciones óptimas que aseguren un desarrollo saludable y productivo del tomate riñón.
- En cuanto a la parte hidráulica, el dimensionado de las conducciones, basado en diámetros cuidadosamente seleccionados, pérdidas de carga y velocidades de flujo para las 10 subunidades de riego, cumple con los parámetros establecidos para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema en su totalidad.
- La viabilidad y eficacia del sistema de riego propuesta, destaca su potencial para contribuir a la optimización de la producción de tomate riñón en el predio “Curu Curu” de la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo.

9. Recomendaciones

- Con el propósito de maximizar la producción y rentabilidad del cultivo de tomate riñón en el predio “Curu Curu”, se sugiere la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo. Este enfoque busca elevar el contenido de materia orgánica, mejorando así las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y, por ende, favoreciendo condiciones más propicias para una producción óptima.
- Impulsar investigaciones adicionales para el cultivo de tomate riñón en la zona. La obtención de coeficientes de cultivo (K_c) adaptados a las condiciones locales facilitaría una estimación más eficiente de las necesidades hídricas reales del cultivo, contribuyendo a una gestión del riego más eficaz y sostenible.
- Para la implementación del riego por goteo, es fundamental brindar capacitación al regante. Esta capacitación abarcaría el manejo adecuado tanto del equipo de bombeo como de la instalación en general, con el objetivo de prevenir posibles desperfectos derivados de un manejo inadecuado.
- Se sugiere la colocación de la electrobomba bajo una cubierta protectora, como una caseta, con el propósito de asegurar su resguardo y prolongar su vida útil de trabajo.

10. Bibliografía

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Angella, G., Frías, C., & Salgado, R. (2016). *Conceptos Básicos de las Relaciones Agua—Suelo—Planta*. INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf
- Arviza, J. (1996). *Riego Localizado: Diseño y Cálculo hidráulico de subunidades de riego*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Arviza, J., Balbastre, I., & Palau, C. (2016). “DimSub” Aplicación para el diseño y dimensionado de subunidades de riego localizado. *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*. XXXIV Congreso Nacional de Riegos. <https://doi.org/10.21151/CNRiegos.2016.C14>
- Banco Mundial. (2020). *El agua en la agricultura*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Bravo, N. (2014). *Análisis de costos en la labor de fertilización en el sostenimiento del cultivo de caña de azúcar en el ingenio Monterrey* [Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/13935/1/TFG_FBS%20FINAL.pdf
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *Manual de Riego y Drenaje*. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.
- Cadahia, C., Eymar, E., Lucena, J., Montalvo, T., Segura, M., Abad, M., Castilla, N., López, D., & Noguera, P. (2000). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales* (Segunda edición). Mundi-Prensa.
- Cadena, V. (2014). *Hablemos de riego* (Segunda). El Telégrafo EP. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Calvache, A. (2010). *Física de suelos y su relación con los problemas ambientales*. 15. https://www.researchgate.net/publication/313640535_FISICA_DE_SUELOS_Y_SU_RELACION_CON_LOS_PROBLEMAS_AMBIENTALES
- Calvache, M. (2013). *Riego Andino Tecnificado*. Editorial Universitaria. Universidad Central del Ecuador.
- Carnicer, E., & Mainar, C. (2004). *Bombas centrifugas* (Segunda edición). Paraninfo.

- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego* (Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA)).
<https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- Cleves, J., Toro, J., & Martínez, L. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149-163. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- CLIRSEN. (2012). *Geodatabase de Mapa Geomorfológico—Proyecto Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional*.
- Dasberg, S., & Or, D. (1999). *Drip Irrigation* (Primera edición). Springer International Publishing.
- Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo. Método de la doble anilla*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Cochabamba, Bolivia.
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. 24.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (Cuarta edición).
<https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2016). *El riego en America del Sur, Centroamérica y Caribe en cifras*.
<http://www.fao.org/3/CA3580ES/ca3580es.pdf>
- FAOSTAT. (2020). *Producción de tomate riñón (fruta fresca)*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Fernández, M. (1999). Influencia de los fragmentos gruesos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo: Antecedentes y estado actual del tema. *Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*. Universidad de Santiago de Compostela, 6, 95-107.
<https://www.secs.com.es/data/Revista%20edafo/Edafologa%206.pdf>
- Fernández, R., Oyonarte, N., & García, J. (2010). *Manual de riego para agricultores: Módulo 3. Riego por aspersión*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Departamento de Edafología.
<https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

- Fuentes, J. (2003). *Técnicas de riego* (Cuarta edición). Mundi Prensa. <https://books.google.com.ec/books?id=P-FByIgvfNoC&printsec=frontcover&dq=Riego+por+goteo+Tercera+edicion+mundi+prensa&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjWhrPQxLjwAhW5EVkFHV59DA4Q6AEwB3oECAkQAg#v=onepage&q&f=false>
- García, Á. (2012). *Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego*. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- García, L. (2017). *Manual. Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH en el suelo*. Grupo SEVEN. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>
- García, Sosa, F., & Fernández de Ullivari, J. (2009). *El Agua del Suelo*. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. <https://www.edafologia.org/descargas/>
- Gavilánez, F. (2019). *La Hidráulica del Ingeniero Agrícola* (Primera edición). CIDEPRO Editorial. www.cidepro.org
- Gómez, E. (1984). *Algunos aspectos en el diseño hidráulico y económico de redes en sistemas de riego por goteo*. 12. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/32732>
- Gómez, J. (2013). *Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos*. SENA, 103. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guzmán, A., Corradini, F., Martínez, J., Allende, M., Abarca, P., Felmer, S., Antúnez, A., Riquelme, J., Salinas, L., Olivares, N., & Sepúlveda, P. (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre*. Boletín INIA. INDAP. <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/11%20Manual%20Tomate%20Aire%20Libre.pdf>
- Haifa Chemicals. (2014). *Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero*. https://www.haifa-group.com/sites/default/files/crop/Tomate_2014_1.pdf
- Herrera, J., Pacheco, P., & Castillo, J. (2013). *Manual de capacitación de operadores. Con base en el estándar de competencias EC O348 "Riego presurizado en parcelas"* (Primera edición). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manual-capacitacion-operadores/files/assets/common/downloads/publication.pdf

- INEC. (2020). *Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2020*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Infoagro Systems S.L. (2021, marzo 27). *El cultivo del tomate. Primera parte*. <https://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>
- INTAGRI. (2017). *Tipos y Especialidades de Tomate | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/tipos-y-especialidades-de-tomate>
- INTAGRI. (2018a). *Clasificación de Aguas para Riego Agrícola. Serie Agua y Riego. Núm. 20. México. 5 p.* <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/clasificacion-de-aguas-para-riego-agricola>
- INTAGRI. (2018b). *El Cultivo de Tomate | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/el-cultivo-de-tomate>
- INTAGRI. (2021). *El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>
- Larín, M., Díaz, L., & Serrano, R. (2018). *Cultivo de Tomate (Lycopersicum esculentum)*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova.
- Legarda, L., Puentes, G., & Benavides, H. (1999). Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión. *Revista de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto - Nariño - Colombia.*, 16(1 y 2), 12. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1105>
- Liotta, M. (2015). Manual de capacitación: Riego por goteo. *Unidad para el cambio rural*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Loor, J., Jarre, C., & Vega, E. (2013). *Bases técnicas para el riego presurizado*. (Primera edición). Equipo Editorial Dreams Magnet, LLC.
- López, J., Hernández, J., Pérez, A., & González, J. (1992). *Riego Localizado*. Mundi-Prensa.
- López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solamun Lycopersicum)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria INTA. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- MAG. (2021). *Boletín situacional. Cultivo de tomate riñón*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php>
- MAG, IEE, SENPLADES, IGM, IG-EPN, & CONALI. (2020). *Mapa Geopedológico del Ecuador 2009—2015. Versión Editada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería*

2019. *Formato Shapefile*. (Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria). <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- Medina, J. (2000). *Riego por goteo* (4.^a ed.). Mundi-Prensa.
- Mendoza, A. (2013). *Riego por goteo*. CENTA. <https://docplayer.es/33242613-Presentacion-ing-alirio-edmundo-mendoza-martinez-autor.html>
- Monge, M. (2018). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión*. Editorial Agrícola Española S.A.
- Monge, M. (2019). *Evapotranspiración y Kc (parte 1)* [Iagua]. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/evapotranspiracion-y-kc-parte-i>
- Moya, J. (2009). *Riego Localizado y Fertirrigación* (4.a edición). Mundi-Prensa.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). *Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas* (Tercera edición). Mundi-Prensa.
- Ojeda, W., & Flores, J. (2015). *Calendarización del riego: Teoría y práctica*. (Segunda). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.researchgate.net/publication/306074001_Calendarizacion_del_riego_teor_ia_y_practica
- Ortiz, R. (2020). *La Ingeniería y Reingeniería del Riego por Goteo*. https://www.researchgate.net/publication/358232074_LA_INGENIERIA_Y_REINGENIERIA_DEL_RIEGO_POR_GOTEO_Randon_Stalin_Ortiz_Calle
- Osorio, A., Peña, M., & Salinas, R. (1996). *Riego por goteo*. La Serena. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/36112>
- PDOT - Catamayo. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Catamayo 2014-2019*. 301. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160000400001_GADM%20Catamayo%20PDyOT%202014-2019_13-03-2015_21-07-42.pdf
- PDOT - San Pedro de la Bendita. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Pedro de la Bendita 2014-2019*. 289. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1160023370001_DIAGNOSTICO%20POR%20COMPONENTES_24-08-2015_11-19-43.pdf
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Poch, R. (2008). *Introducción a la Edafología: Uso y protección del suelo*. (Mundi-Prensa).
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (Tercera edición). Mundi-Prensa.

- Richards, L. A. (1941). A PRESSURE-MEMBRANE EXTRACTION APPARATUS FOR SOIL SOLUTION: *Soil Science*, 51(5), 377-386. <https://doi.org/10.1097/00010694-194105000-00005>
- Sandoval, J. (2007). *Principios de riego y drenaje* (Primera edición). Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Santos, L., De Juan Valero, J., Picornell, M., & Tarjuelo, J. (2010). *El riego y sus tecnologías*. Centro Regional de Estudios del Agua. http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf
- Sarango, A. (2019). *Evaluación del sistema de riego por goteo en la finca Shaguindo de la parroquia San Pedro de la Bendita*. [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22691/1/ANTHONY%20DANIEL%20SARANGO%20CALVA.pdf>
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. FAO. <https://www.fao.org/3/i2800s/I2800S.pdf>
- Subsecretaria de Riego y Drenaje. (2019). *PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019-2027*. 160. <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/PNRD-2019-2027.pdf>
- Tapia, F., & Osorio, A. (1999). *Conceptos sobre diseño y manejo de riego presurizado*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Comisión Nacional de Riego. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39967/NR29539.pdf?sequenc>
- Tartabull, T., & Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 47-61. e <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/ras>
- Uribe, H., & Maldonado, I. (2000). Programación de riego ni de más ni de menos. 34. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/5751>
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador. Una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de suelos*. Universidad Nacional de Loja.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la Ingeniería de riego. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 442.
- Villafáfila, E., & Wyss, V. (2009). *Riego en horticultura. Guía para la instalación de pequeños sistemas de riego*. INTA. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>

11. Anexos

Anexo 1. Recorrido de la zona de estudio.



Anexo 2. Aforo del caudal en cabecera del sector a implementar la instalación de riego.



Anexo 3. Valores de aforo volumétrico.

$$Q = \frac{v}{t_{prom.}}$$
$$Q = \frac{4 \text{ l}}{5.24 \text{ s}}$$
$$Q = 0.76 \text{ l s}^{-1}$$

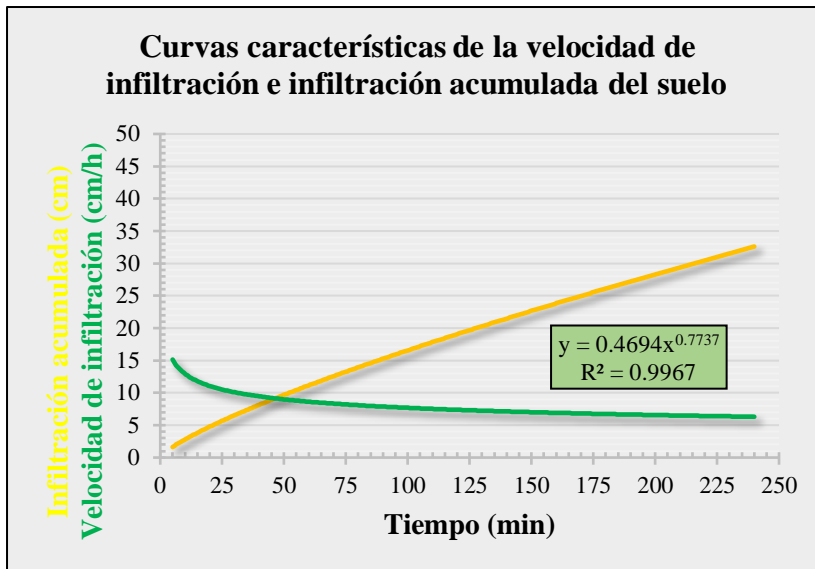
Medición	Tiempo (s)
1	5.22
2	5.49
3	4.87
4	5.65
5	4.91
6	5.43
7	5.38
8	4.95
Promedio	5.24

Anexo 4. *Ensayo de infiltración de agua en el suelo*



Anexo 5. *Valores de velocidad de infiltración básica.*

Intervalo de tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/min)	Velocidad de Infiltración (cm/h)
5	5	1.8	0.25	15.1
5	10	3.0	0.22	12.9
5	15	3.8	0.20	11.8
5	20	4.8	0.18	11.1
5	25	5.5	0.18	10.5
5	30	6.2	0.17	10.1
5	35	7.1	0.16	9.7
5	40	7.8	0.16	9.5
5	45	8.4	0.15	9.2
5	50	9.3	0.15	9.0
5	55	10.0	0.15	8.8
5	60	10.8	0.14	8.6
10	70	12.3	0.14	8.3
10	80	13.7	0.13	8.1
10	90	15.1	0.13	7.9
10	100	16.4	0.13	7.7
10	110	17.7	0.13	7.5
10	120	19.0	0.12	7.4
15	135	21.0	0.12	7.2
15	150	23.0	0.12	7.0
15	165	25.1	0.11	6.9
15	180	27.0	0.11	6.7
30	210	31.2	0.11	6.5
30	240	35.5	0.11	6.3



$$y = 0.4694x^{0.7737}$$

$$a = 0.3632$$

$$b = -0.2263$$

$$t_b = 2.3 \text{ h.}$$

$$t_b = 136 \text{ min.}$$

$$I_b = 0.12 \text{ cm min}^{-1}$$

$$I_b = 7.17 \text{ cm h}^{-1}$$

$$I_b = 71.71 \text{ mm h}^{-1}$$

Anexo 6. Descripción del perfil del suelo



Anexo 7. Informe de análisis de constantes hidrofísicas y propiedades físicas del suelo.



FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA

Provincia:	Loja	Fecha de ingreso:	24-09-2021
Cantón:	Catamayo	Fecha de egreso:	04-11-2021
Sector:	San Pedro de la Bendita	Responsable:	Jorge Alberto Cabrera Criollo
Tesis:	"Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón (Solanum Lycopersicum) en un sector del predio Curu Curu, de la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3	P.M.P (% Humedad a 15 atm.)	Densidad Aparente (g/cm³)
2809	1H-R3	22,28	12,86	9,86	9,22	1,602
2848	2H-R3	22,00	14,01	11,79	6,70	1,527

Cód. Lab.	Cód. Campo	Análisis Mecánico % TFSA			Textura	pH	Materia Orgánica %	Conductividad Eléctrica (Exs) mS/cm
		Arena	Limo	Arcilla				
2810	HORIZONTE 1	42,60	29,80	27,60	Fo Ac	8,82	2,39	0,688
2845	HORIZONTE 2	36,60	35,80	27,60	Fo Ac	9,07	0,41	0,482

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	Textura	pH	Materia Orgánica %	Conductividad Eléctrica (Exs) mS/cm
2810	HORIZONTE 1	Franco Arcilloso	Alcalino	Baja	No Salino
2845	HORIZONTE 2	Franco Arcilloso	Alcalino	Baja	No Salino



OMAR AUGUSTO OJEDA OCHOA
Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" Casilla letra "S"
laboratorio.suelos@unl.edu.ec
Teléfono: 2547 – 252 Ext. 112

Anexo 8. Informe de análisis de calidad de agua para riego.



ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 km 12 1/2 via El Descanso - BULLCAY - Gualaceo www@iniap.gob.ec
 Azuay - Ecuador TeleFax: (07) 2171161



INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO			
Nombre : JORGE CABRERA CRIOLLO	Nombre :	Provincia : CATAMAYO - LOJA	Provincia :	Reporte Laborat. No. : 0	Factura No. : 0		
Dirección : CATAMAYO - LOJA	Cantón : Catamayo	Cantón : Catamayo	Cantón :	Responsable Muestreo : Cliente			
Ciudad : Catamayo	Parroquia : San Pedro de la Bendita	Parroquia : San Pedro de la Bendita	Parroquia :	Fecha muestreo : 07/07/2022	Fecha Análisis : 11/07/2022		
Teléfono : 0969666066	Ubicación : SAN PEDRO DE LA BENDITA	Ubicación : SAN PEDRO DE LA BENDITA	Ubicación :	Fecha Ingreso : 11/07/2022	Fecha Emisión : 15/07/2022		
Fax : N/E				Latitud :	Longitud :		

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	µS/cm		mg/l										(U.T.F.)		(meq/l) ^{1/2}		mg/l	CLASE										
		CE	TSD	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Fe	Turbidéz	pH	RAS	Dureza													
81	SECANO 1°CURU CURU	1.4	N	712.0	N	180.0	N	37.5	N	21.6	N	0.6	N	3.0	N	180.0	N	2.8	N	450.0	N	<L.C.	N	7.7	N	2.07	N		

OBSERVACIONES:

NOTA:

- En el caso de la Turbidéz su valor es : **T= 0 FAU (lectura)**
- La conductividad eléctrica con 2 decimales es (**CE= 1.48 mS/cm**)
- **Identificación de campo de la muestra: SS01**

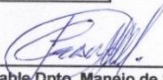


Patrones de Interpretación			
CE	0 - 3	Cl	0 - 540
TSD	0 - 2000	SO ₄	0 - 960
Ca	0 - 200	NO ₃	0 - 31
Mg	0 - 61	Fe	0 - 0
Na	0 - 69	B	0 - 2
K	0 - 7	pH	6 - 8
CO ₃	0 - 3	RAS	0 - 6
HCO ₃	0 - 180	Dureza	17 - 51

INTERPRETACION	
N	= Normal (Sin Restricciones en el uso)
R	= Puede Causar Restricciones en el uso
S	= pH<4.5 ó pH>8 Severa Restricción en el uso
Para Dureza:	
B	= Blanda
MoD	= Moderadamente Dura
MD	= Muy Dura

Determinación	Metodología
pH, CE	Electrométrica
K, Ca, Na, Mg	Absorción Atómica

INTERPRETACION	
Aguas Salinas	Aguas Sódicas
C1.- Aguas de salinidad baja	S1.- Aguas de contenido bajo de sodio
C2.- Aguas de salinidad moderada	S2.- Aguas medianas en sodio
C3.- Aguas de salinidad mediana alta	S3.- Aguas de contenido alto de sodio
C4.- Aguas de salinidad alta	S4.- Aguas de muy alto de contenido de sod
C5.- Aguas de salinidad muy alta	
C6.- Aguas de salinidad excesiva	

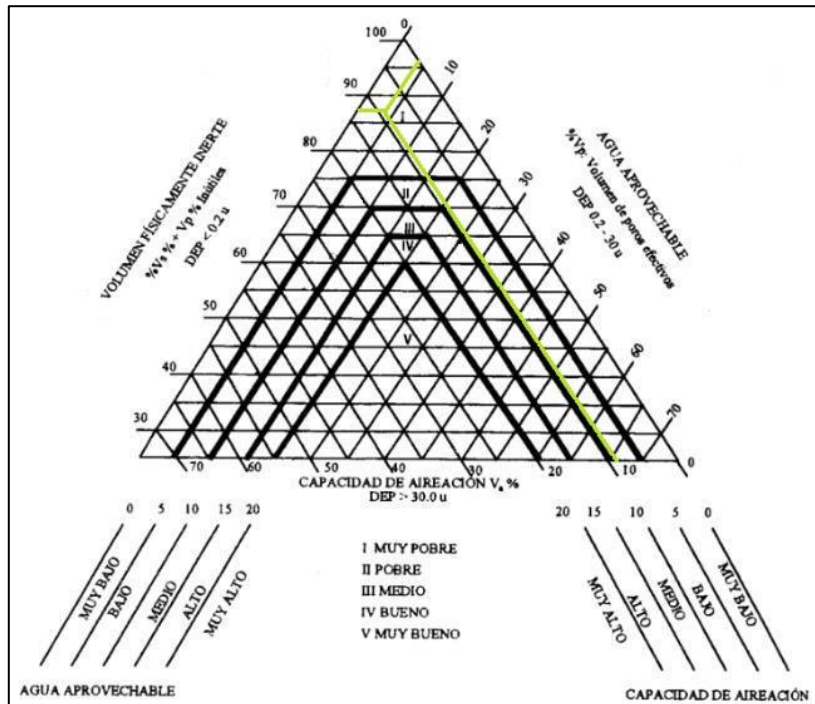

Responsable Dpto. Manejo de Suelos y Aguas


ESTACION EXPERIMENTAL CHUQUIPATA
Laboratorio de Suelos y Aguas
Responsable Laboratorio

N/E: No Entrega
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a las(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad

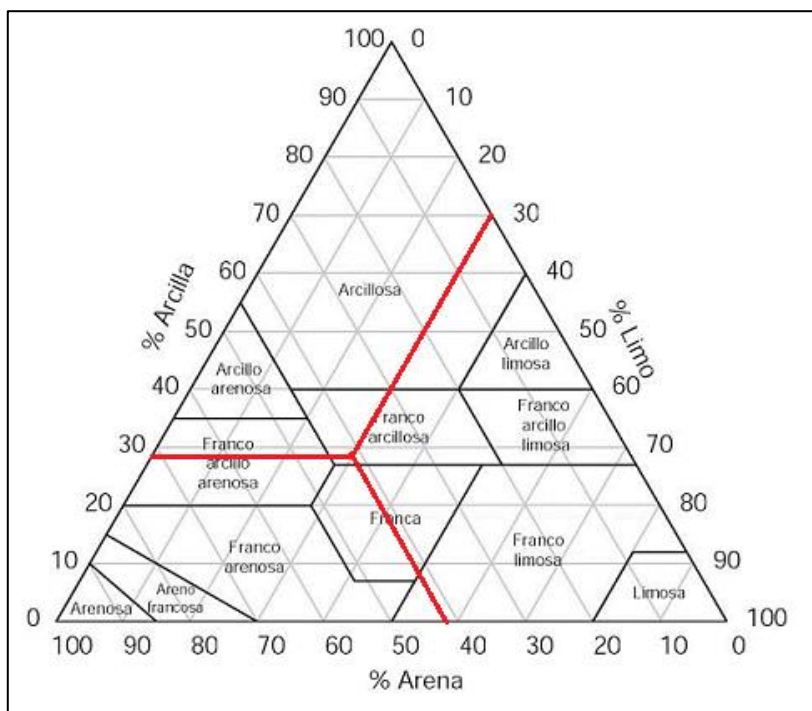
Fecha Impresión : 15/07/2022 Pág. 1

Anexo 9. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



- **Volumen Total de Poros (VTP)**
 $VTP = pF 0$ (saturación = porosidad)
 $VTP = 22.28 \%$
- **Volumen Total de Sólidos (VTS)**
 $VTS = 100 \%$ - Saturación (macroporos + microporos)
 $VTS = (100 - 22.28) \%$
 $VTS = 77.72 \%$ Volumen ocupado por las partículas del suelo.
- **Capacidad de Aireación (CA)**
 $CA = \text{Saturación} - \text{Capacidad de Campo}$
 $CA = (22.28 \% - 12.86) \%$
 $CA = 9.42 \%$
- **Volumen Físicamente Interte (VFI)**
 $VFI = [100 - (VTP - PMP)]$
 $VFI = [100 - (22.28 - 9.22)] \%$
 $VFI = 86.94 \%$

Anexo 10. Diagrama triangular del USDA para determinar la textura del suelo.



Fuente: USDA

Anexo 11. Valores de K_c recomendados por la FAO.

Cultivo	K_c inicial	K_c mediados	K_c final	Altura máxima del cultivo (m)
Tomate	0,60	1.20	0.80	1.75

Fuente: Allen et al. 2006

Anexo 12. Valores de tensión de vapor y de la densidad del agua según la temperatura.

Temperatura (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Tensión de vapor (mca)	0,06	0,08	0,12	0,24	0,43	0,75	1,26	2,03	4,83	10,33
Densidad (kg/m ³)	999,9	1,000	999,7	998,2	995,7	992,2	988,1	983,2	971,8	958,4

Fuente: Monge, 2018

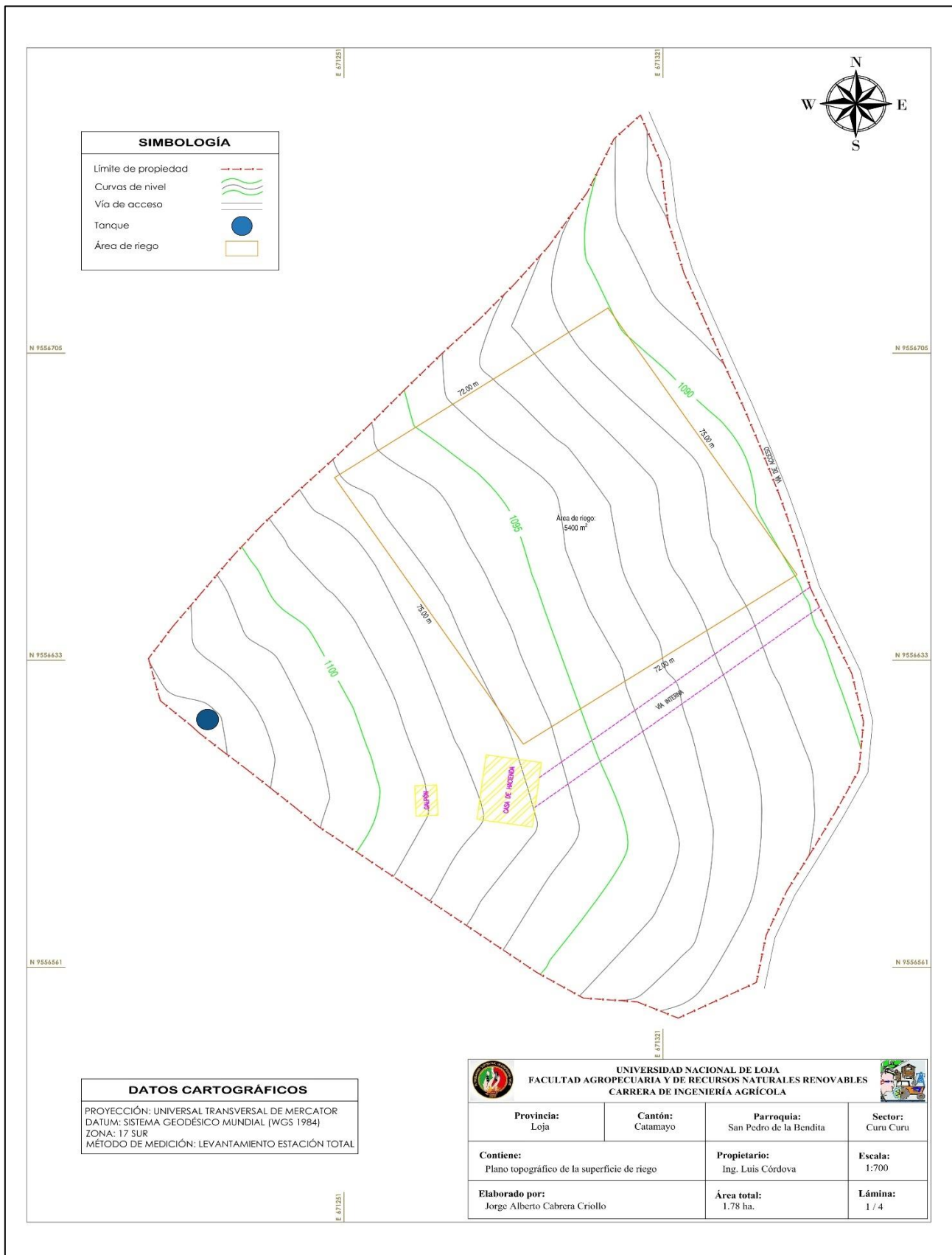
Nota: En los cálculos se toma el valor único de densidad del agua de 1000 kg m⁻³ con independencia de la temperatura.

Anexo 13. Márgenes de seguridad para evitar sobrecargas en un motor eléctrico.

Potencia absorbida por la bomba	Potencia del motor eléctrico
Hasta 1 CV	Un 50 % más
Desde 1 a 5 CV	30 % más
De 5 a 10 CV	20 % más
De 10 a 25 CV	15 % más
Más de 25 CV	10 % más

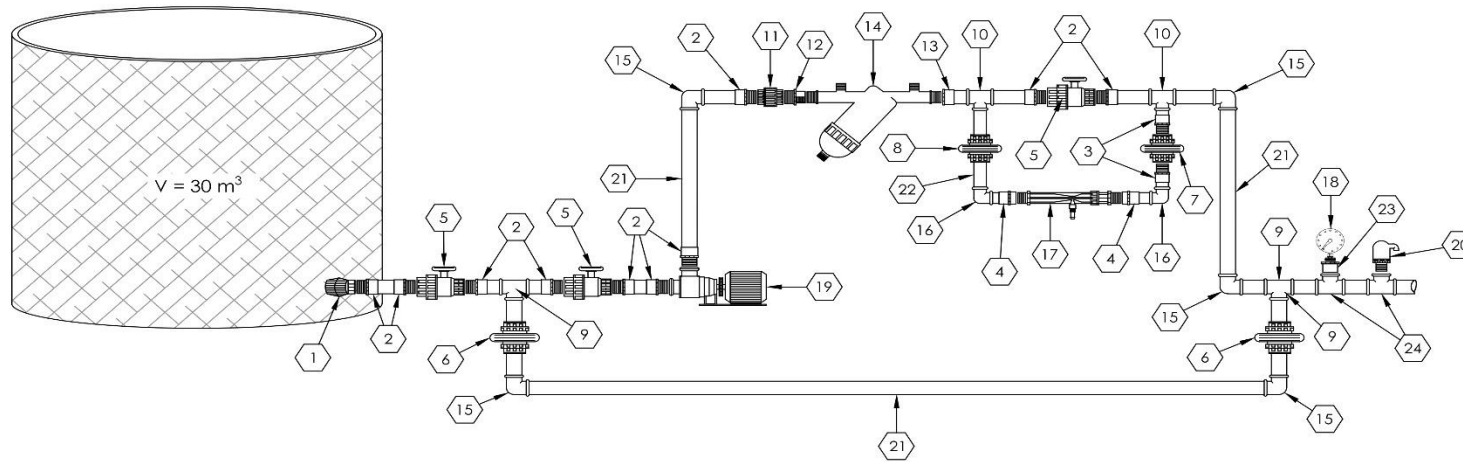
Fuente: Monge, 2018

Anexo 15. Plano topográfico del área de riego.



Anexo 17. Cabezal principal del sistema de riego por goteo.

CABEZAL PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



Nro.	Material	Cantidad
1	Canastilla de succión Aluminio 50 mm	1
2	Adaptador macho PVC C/R-E/C 50 mm	10
3	Adaptador macho PVC C/R-E/C 25 mm	2
4	Adaptador hembra PVC C/R-E/C 25 mm	2
5	Válvula esférica con universal PVC roscable 50 mm	3
6	Válvula esférica con universal PVC E/C 50 mm	2
7	Válvula esférica con universal PVC roscable 25 mm	1
8	Válvula esférica con universal PVC E/C 25 mm	1
9	Tee PVC E/C 50 mm	2
10	Tee reductora PVC E/C 50 x 25 mm	2
11	Unión universal PVC rosca hembra 50 mm	1
12	Reducción bushing PVC roscada 50 x 40 mm	1

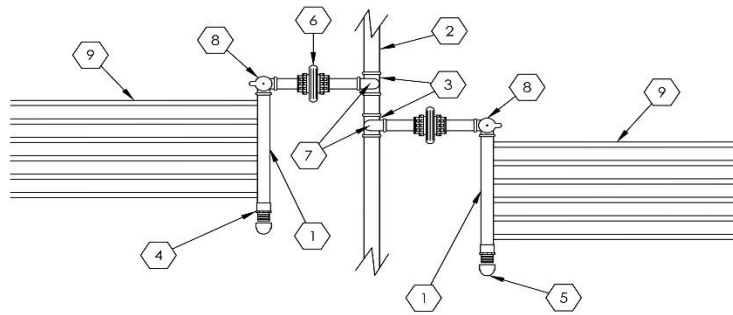
Nro.	Material	Cantidad
13	Reducción bushing PVC mixta 50 x 40 mm	1
14	Filtro de Anillas 120 mesh 40 mm	1
15	Codo PVC E/C x 90° 50 mm	5
16	Codo PVC E/C x 90° 25 mm	2
17	Injector Ventury 25 mm	1
18	Manómetro con Glicerina 0-10 bar conexión 20 mm	1
19	Bomba EC HFn 70C 1,5 HP 1,25 * 1,25	1
20	Válvula de aire 1" doble acción	1
21	Tubería PVC 50 mm	--
22	Tubería PVC 25 mm	--
23	Reducción bushing PVC mixta 32 x 20 mm	1
24	Tee reductora PVC E/C 50 x 32 mm	2

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA 			
Provincia: Loja	Cantón: Catamayo	Parroquia: San Pedro de la Bendita	Sector: Curu Curu
Contiene: Plano de detalle del cabezal de riego por goteo		Propietario: Ing. Luis Córdova	Escala: 1:700
Elaborado por: Jorge Alberto Cabrera Criollo		Área total: 1.78 ha.	Lámina: 3 / 4

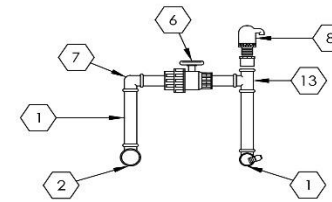
Anexo 18. Cabezal de campo y conexión de tuberías.

CABEZAL DE CAMPO Y CONEXIÓN DE TUBERÍAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

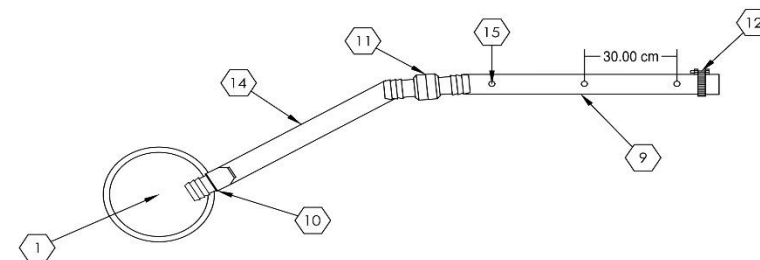
Vista en planta - cabezal de campo



Vista en perfil - cabezal de campo



Vista en perfil - conexión terciaria y lateral



Nro.	Material	Cantidad
1	Tubería PVC 32 mm 0.80 MPa	--
2	Tubería PVC 50 mm 0.63 MPa	--
3	Tee reductora PVC 50 x 32 mm 0.63 MPa	2
4	Adaptador macho PVC C/R-E/C 32 mm	2
5	Tapón hembra PVC roscable 32 mm	2
6	Válvula esférica con universal PVC E/C 32 mm	2
7	Codo PVC E/C x 90° 32 mm	2
8	Válvula de aire 1" doble acción	2
9	Lateral de riego Dripnet PC 12150 12 mm Pn 3 bar	--
10	Conector inicial 12 mm	288
11	Enlace tubería - cinta de riego 12 mm	288
12	Fin de línea de goteo 12 mm	288
13	Tee PVC E/C 32 mm	2
14	Manguera ciega 12 mm 4 atm	--
15	Gotero Dripnet PC 12150 1.6 lh Pn 3 bar	--

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
Provincia: Loja	Cantón: Catamayo	Parroquia: San Pedro de la Bendita	Sector: Curu Curu
Contiene: Plano de detalle del cabezal de campo y conexiones		Propietario: Ing. Luis Córdova	Escala: 1:700
Elaborado por: Jorge Alberto Cabrera Criollo		Área total: 1.78 ha.	Lámina: 4 / 4

Anexo 19. Certificado de traducción.

Loja, 21 de noviembre de 2023

CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.

Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja

CERTIFICO:

En mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de las traducciones realizadas para revistas de alto impacto como: Comunicar(Q1): <https://bit.ly/3v0JggL> así como a través de la Certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de tomate riñón (*Solanum Lycopersicum*) en un sector del predio “Curu Curu” de la parroquia San Pedro de la Bendita, cantón Catamayo**; de autoría del estudiante: **Jorge Alberto Cabrera Criollo**, con CI: **1105679730**, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, **Jorge Alberto Cabrera Criollo** hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



Dra. Erika González Carrión. PhD.

Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación
Universidad Nacional de Loja