



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales

Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Evaluación del sistema de riego Totorá, parroquia Nambacola,
cantón Gonzanamá, provincia de Loja.**

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrícola.

AUTOR:

Wilson Alfredo Matailo Quito

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo, Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 18 de agosto de 2022

Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación del sistema de riego Totorá, parroquia Nambacola, cantón Gonzanamá, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de autoría del estudiante **Wilson Alfredo Matailo Quito**, con cédula de identidad Nro. **1105244808**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo su presentación el mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Jorge Luis Jaramillo Condolo Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Wilson Alfredo Matailo Quito**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular 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 Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105244808

Fecha: 11/07/2023

Correo electrónico: wilson.matailo@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0982184860

Carta de autorización por parte del autor para consulta, producción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Integración Curricular

Yo, **Wilson Alfredo Matailo Quito** declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación del sistema de riego Totorá, parroquia Nambacola, cantón Gonzanamá, provincia de Loja.**, como requisito para optar 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 de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de julio de dos mil veintitrés.

Firma: 

Autor: Wilson Alfredo Matailo Quito

Cédula: 1105244808

Dirección: Consacola, Loja-Ecuador.

Correo electrónico: wilson.matailo@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0982184860

DATOS COPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular: Jorge Luis Jaramillo Condolo, M.Sc.

Dedicatoria

A Dios, porque con su amor y sabiduría, ha sido guía durante el proceso de formación académica y profesional; por concederme salud y voluntad para la realización de este Trabajo de Integración Curricular.

De manera especial a mis padres, Benigna Quito y Alonso Matailo, quienes con su esfuerzo económico y moral estuvieron presentes en cada una de las etapas académicas de mi vida para educarme con amor y valores.

A mi hermano Oswaldo, mis hermanas Jacqueline y Fernanda, por su consejo, cariño y motivación y ofrecerme esa mano solidaria cada instante de mi vida.

A mis abuelitos Agenor Quito y Margarita Chamba, tíos, primos y amigos que fueron parte del proceso académico y personal en el transcurso de cada etapa de mi vida.

Wilson Alfredo Matailo Quito

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, profesores, y administrativos que contribuyeron a mi formación profesional.

A los ingenieros, Pedro Pauta, Diego Chamba y Jimmy Cordero, miembros del tribunal, por sus aportes y sugerencias para mejorar el trabajo de integración curricular.

De manera especial al Ing. Jorge Jaramillo Condolo, director del presente Trabajo de Integración Curricular, por su guía, apoyo e infinita paciencia.

Finalmente, agradezco a mi familia, amigos y a los socios del sistema de riego que contribuyeron al desarrollo del Trabajo de Integración Curricular.

Wilson Alfredo Matailo Quito

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras	xii
Índice de Anexos	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Definición de riego	6
4.2. Sistemas de riego	6
4.3. Componentes básicos de un sistema de riego	6
4.3.1. Captación	7
4.3.2. Línea de conducción	7
4.3.3. Red de distribución	7
4.4. Evaluación del sistema riego.....	7
4.5. Métodos de riego	8
4.5.1. Clasificación de los métodos de riego	9
4.5.1.1. Riego por superficie o gravedad.....	9
4.5.1.2. Riego por aspersión	9
4.5.1.3. Riego localizado.....	9
4.6. Método de riego por gravedad	10
4.6.1. Riego por surcos	10
4.7. Pérdidas de agua en el sistema	10
4.7.1. En accesorios	11
4.7.2. Por fugas	11
4.8. Indicadores de calidad de riego.....	11
4.8.1. Eficiencia de riego.....	11
4.8.2. Eficiencia de la conducción	12

4.8.3. Eficiencia de la distribución	12
4.8.4. Eficiencia de aplicación	13
4.9. Caudal del sistema de riego	14
4.9.1. Caudal	14
4.10. Métodos para el aforo de agua.....	15
4.10.1. Método sección-velocidad	15
4.10.2. Método volumétrico	15
4.11. El suelo	16
4.11.1. Propiedades físicas de los suelos agrícolas	16
4.11.1.1. Textura	16
4.11.1.2. Estructura	17
4.11.1.3. Densidad aparente	18
4.11.1.4. Densidad real	19
4.11.1.5. Porosidad	19
4.11.1.6. Profundidad efectiva.....	20
4.11.2. Propiedades hidrofísicas del suelo	20
4.11.2.1. Capacidad de campo (CC)	20
4.11.2.2. Punto de marchitez permanente (PMP).....	20
4.11.2.3. Agua aprovechable	21
4.12. Infiltración del agua en el suelo	21
4.12.1. Factores que determinan la infiltración en el suelo	22
4.12.2. Ecuación empírica de la velocidad de infiltración del agua en el suelo	22
4.12.2.1. Velocidad de infiltración.....	23
4.13. Evaluación del sistema riego.....	24
5. Metodología	26
5.1. Ubicación del área de estudio	26
5.2. Condiciones climáticas del barrio Totora	26
5.3. Materiales y equipos	27
5.3.1. Materiales de campo	27
5.3.2. Equipos	27
5.4. Metodología	27
5.4.1. Reconocimiento del área y fuente de agua del sitio de estudio	27
5.4.2. Levantamiento topográfico	28
5.4.3. Metodología para el primer objetivo	28
5.4.3.1. Características físicas del suelo	29
5.4.3.2. Características hidrofísicas del suelo relacionados con el riego	30
5.4.3.3. Evaluación de las condiciones físicas del suelo	30

5.4.3.4. Determinación de la velocidad de infiltración.....	31
5.4.4. Metodología para el segundo objetivo.....	33
5.4.4.1. Evaluación de la red de conducción.....	33
5.4.4.2. Evaluación de reservorios.....	33
5.4.4.3. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego Totora.....	33
5.4.4.4. Eficiencia de la conducción.....	33
5.4.4.5. Eficiencia de la distribución.....	34
5.4.4.6. Eficiencia de aplicación.....	34
5.4.5. Metodología para el tercer objetivo.....	35
5.4.5.1. Análisis de evaluación y propuesta para el mantenimiento y operación sistema.....	35
6. Resultados.....	36
6.1. Resultados para el primer objetivo.....	36
6.1.1. Descripción general de perfiles de las áreas de estudio.....	36
6.1.1.1. Descripción general del perfil sector 1 (A.Q).....	36
6.1.1.2. Descripción general del perfil del sector 2 (W.M).....	38
6.1.2. Caracterización física del suelo.....	40
6.1.3. Características hidrofísicas del suelo relacionados con el riego.....	40
6.1.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	41
6.1.5. Velocidad de infiltración.....	41
6.2. Resultados para el segundo objetivo.....	43
6.2.1. Evaluación de la red de conducción.....	43
6.2.1.1. Red hidráulica principal.....	43
6.2.1.2. Red hidráulica secundaria.....	44
6.2.2. Evaluación de reservorios.....	45
6.2.3. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego Totora.....	47
6.2.3.1. Eficiencia de conducción.....	47
6.2.3.2. Eficiencia de distribución.....	47
6.2.3.3. Eficiencia de aplicación.....	48
6.2.3.4. Cálculo de la eficiencia del sistema de riego Totora.....	49
6.2.3.5. Curvas de avance y receso.....	49
6.2.3.6. Mejoras en la eficiencia de aplicación del riego gravitacional por surcos mediante la implementación de mangas (tuberías de polietileno con válvulas reguladoras de caudal) ..	51
6.3. Resultados para el tercer objetivo.....	53
6.3.1. Antecedentes.....	53
6.3.2. Operación.....	53
6.3.2.1. Mantenimiento.....	55

6.3.3. Propuesta para el mantenimiento y operación del mejoramiento en la eficiencia de aplicación del riego gravitacional por surcos mediante la incorporación de mangas (tuberías de polietileno con válvulas reguladoras de caudal)	56
7. Discusión	57
7.1. Discusiones para resultados del primer objetivo	57
7.1.1. Propiedades físicas del suelo.....	58
7.1.2. Características hidrofísicas del suelo relacionados con el riego	59
7.2. Discusiones para resultados del segundo objetivo	61
7.2.1. Evaluación de la red hidráulica del sistema de riego	61
7.2.2. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego.....	61
8. Conclusiones	64
9. Recomendaciones	65
10. Bibliografía	66
11. Anexos	75

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Eficiencias de riego para cada método</i>	12
Tabla 2.	<i>Rangos de eficiencia de aplicación de riego por cada método</i>	14
Tabla 3.	<i>Valores de densidad aparente en relación al tipo de suelo</i>	18
Tabla 4.	<i>Rangos de velocidad de infiltración de acuerdo a la permeabilidad</i>	22
Tabla 5.	<i>Clasificación de la velocidad de infiltración básica</i>	24
Tabla 6.	<i>Rangos de la densidad aparente en relación a la textura</i>	29
Tabla 7.	<i>Descripción general del perfil del suelo del sector 1</i>	37
Tabla 8.	<i>Descripción de los horizontes y capas del suelo del sector 1 (A.Q)</i>	38
Tabla 9.	<i>Descripción general del perfil del suelo del sector 2</i>	39
Tabla 10.	<i>Descripción de los horizontes y capas del suelo del sector 2</i>	40
Tabla 11.	<i>Propiedades físicas de los suelos de las áreas de estudio bajo riego</i>	40
Tabla 12.	<i>Constantes hidrofísicas de los suelos de las áreas de estudio bajo riego</i>	41
Tabla 13.	<i>Condiciones hidrofísicas de los suelos del área de estudio</i>	41
Tabla 14.	<i>Evaluación y estado de los reservorios de la red de conducción principal</i>	46
Tabla 15.	<i>Eficiencia de conducción del sistema de riego</i>	47
Tabla 16.	<i>Eficiencias de distribución para entrega de agua a reservorios</i>	47
Tabla 17.	<i>Estimación de la eficiencia de aplicación</i>	49
Tabla 18.	<i>Resumen de las eficiencias actuales del sistema de riego Totorá</i>	49
Tabla 19.	<i>Mejoras de la eficiencia de aplicación</i>	51
Tabla 20.	<i>Mejoras en la eficiencia de aplicación mediante la incorporación de mangas</i>	51

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama triangular textural de las clases básicas del suelo de la USDA.....	17
Figura 2. Ubicación del área de estudio con respecto a la parroquia Nambacola.....	26
Figura 3. Curva promedio de infiltración del agua en el suelo del sector 1 (A.Q).....	42
Figura 4. Curva promedio de infiltración del agua en el suelo del sector 2 (W.M).....	43
Figura 5. Tubería de 63 mm con presencia de averías.....	44
Figura 6. Válvulas tipo mariposa en mal estado	45
Figura 7. Evaluación de la eficiencia de aplicación del sector 1 y 2.....	48
Figura 8. Curva de avance y receso del sector 1 (A.Q)	50
Figura 9. Curva de avance y receso del sector 2 (W.M)	50
Figura 10. Riego por gravedad por mangas y multicompuertas.....	53

Índice de anexos

Anexo 1.	<i>Fotografía del levantamiento de la infraestructura del sistema de riego.</i>	75
Anexo 2.	<i>Calicata para la respectiva descripción el suelo.</i>	75
Anexo 3.	<i>Determinación de la clase textural del suelo de las zonas de estudio.</i>	76
Anexo 4.	<i>Tabla de datos de las pruebas de infiltración.</i>	76
Anexo 5.	<i>Evaluación de la infraestructura del sistema de riego.</i>	77
Anexo 6.	<i>Aforo de caudales para determinar eficiencias en el sistema de riego.</i>	77
Anexo 7.	<i>Instalación de cilindros para pruebas de infiltración.</i>	78
Anexo 8.	<i>Pruebas de eficiencia de aplicación en surcos.</i>	78
Anexo 9.	<i>Aforo de caudal (entrada y salida) en pruebas de eficiencia de aplicación.</i>	79
Anexo 10.	<i>Diseño de surcos para aplicación de mejoras en la eficiencia de aplicación.</i>	79
Anexo 11.	<i>Diagrama triangular para evaluar las condiciones físicas del suelo.</i>	80
Anexo 12.	<i>Determinación de tiempos de riego para aplicación de riego por pulsos.</i>	80
Anexo 13.	<i>Diimensionamiento de mangas (tuberías y válvulas reguladoras de caudal).</i>	81
Anexo 14.	<i>Presupuesto para el riego por pulsos mediante mangas para el sector 1 y 2.</i>	82
Anexo 15.	<i>Plano de la infraestructura del sistema de riego Titora.</i>	83
Anexo 16.	<i>Plano topográfico del sector 1 (A.Q).</i>	84
Anexo 17.	<i>Plano topográfico del sector 2 (W.M).</i>	85
Anexo 18.	<i>Plano de la evaluación de la eficiencia de aplicación.</i>	86
Anexo 19.	<i>Detalles contructivos del mejoramiento de riego por surcos para el sector 1.</i>	87
Anexo 20.	<i>Detalles contructivos del mejoramiento de riego por surcos para el sector 2.</i>	88
Anexo 21.	<i>Certificación de traducción Abstract.</i>	89

1. Título

**Evaluación del sistema de riego Totorá, parroquia Nambacola, cantón
Gonzanamá, provincia de Loja.**

2. Resumen

La evaluación de un sistema de riego es importante a la hora de valorar el estado y funcionamiento de sus componentes hidráulicos, verificar una correcta eficiencia de conducción, distribución y aplicación. El objetivo de esta investigación fue caracterizar y evaluar los factores que originan el inadecuado funcionamiento del sistema de riego con miras a proponer alternativas para su mejoramiento; para ello, se determinó las características físicas e hidrofísicas, se evaluó la infraestructura actual del sistema, mediante observaciones y aforos por medio del método volumétrico, así mismo, se determinó las eficiencias en la conducción, distribución y aplicación; posterior a ello se planteó una propuesta de operación y mantenimiento. Los resultados de las características físicas de los suelos de los sectores de estudio 1 y 2 fueron: textura franco arcilloso y franco, una densidad aparente de 1,63 y 1,46 g cm⁻³, porosidad de 43 y 47 % y una profundidad efectiva de 0,50 y 0,25 m, respectivamente. Los valores de infiltración para los respectivos sectores fueron de 1,1 y 21,3 cm h⁻¹, correspondientes a categorías moderadamente lenta y rápida; la evaluación física de los suelos fue de pobre y medio. En relación a la infraestructura del sistema de riego está en un estado deficiente por falta de mantenimiento y deterioro. Además, presenta una eficiencia de conducción de 83,9 %, eficiencia de distribución de 82,6 % y una eficiencia de aplicación promedio de 12,78 %, dando como resultado una eficiencia de riego global de 8,86 %, porcentaje muy bajo para un sistema de riego por gravedad mediante surcos. Finalmente aplicando mejoras mediante la metodología de riego por pulsos empleando mangas plásticas, conjuntamente con la ecuación del caudal máximo no erosivo se logró disminuir la percolación profunda y la escorrentía superficial, logrando obtener una eficiencia de aplicación promedio de 46,5 % y una eficiencia de riego global de 32,2 %, valor que está dentro de los rangos esperados para un sistema de riego por gravedad mediante surcos.

Palabras claves: Riego por gravedad, evaluación de riego, eficiencia de conducción, distribución de riego, aplicación de riego, capacidad de campo, punto de marchitez permanente.

2.1. Abstract

The evaluation of an irrigation system is crucial in assessing the condition and functioning of its hydraulic components, as well as ensuring the proper efficiency of conveyance, distribution, and application. The objective of this research was to characterize and evaluate the factors that lead to the inadequate functioning of the irrigation system, with the aim of proposing alternatives for its improvement. To achieve this, the physical and hydro physical characteristics were determined, and the current infrastructure of the system was evaluated through observations and volumetric measurements. Furthermore, the efficiencies of conveyance, distribution and application were determined. Subsequently, an operation and maintenance proposal was developed. The results of the physical characteristics of the soils in study sectors 1 and 2 were as follows: loam clay and loam texture, bulk density of 1.63 and 1.46 g cm⁻³, porosity of 43% and 47%, and effective depth of 0.50 y 0.25 m, respectively. The infiltration values for the respective sectors were 1.1 and 21.3 cm h⁻¹, corresponding to moderately slow and fast categories. The physical evaluation of the soil was poor and moderate. Regarding the irrigation system infrastructure, it is in a poor condition due to lack of maintenance and deterioration. Furthermore, it exhibits a conveyance efficiency of 83.9%, a distribution efficiency of 82.6%, and an average application efficiency of 12.78%, resulting in an overall irrigation efficiency of 8.86%. This percentage is very low for a gravity-based furrow irrigation system. Finally, by implementing improvements using the pulse irrigation methodology with plastics sleeves, along with the equation for maximum non-erosive flow, it was possible to reduce deep percolation and surface runoff. This led to an average application efficiency of 46.5 % and an overall irrigation efficiency of 32.2%, a value that falls within the expected ranges for a gravity-based furrow irrigation system.

Keywords: Gravity irrigation, irrigation evaluation, conveyance efficiency, irrigation distribution, irrigation application, field capacity, permanent wilting point.

3. Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO (2012) manifiesta, en los últimos cincuenta años se ha duplicado la superficie mundial de regadío. Convirtiéndose la producción agrícola en clave para el desarrollo económico y social de un país, ya que permite satisfacer las necesidades alimentarias de la población y generar excedentes para la exportación. Para lograr estos fines, se necesita ampliar las superficies de cultivo mediante proyectos de riego que incorporen metodologías y tecnologías eficientes y sostenibles (Burbano, 2019).

Actualmente la superficie total de tierra cultivada con irrigación representa el 20 % de la superficie total agrícola (325,1 millones de hectáreas), donde se produce cerca del 40 % de los alimentos a nivel mundial. Siendo Asia el continente con mayor superficie dedicada al riego con 232,7 millones de hectáreas (72 % de la superficie regada a nivel mundial); América con 52,2 millones de hectáreas; Europa, África y Oceanía suman 40,2 millones de hectáreas. Se considera que el 70 % del agua es utilizada por la agricultura de regadío a nivel mundial, en la cual el método de riego gravitacional es el más utilizado con el 94 % de la superficie total irrigada; mientras que el 6 % restante lo ocupan métodos de riego presurizados como aspersión y goteo (Arroyo, 2017).

Los sistemas de riego no presentan las mismas eficiencias en el uso del agua, puesto que existen diferentes métodos, cada uno con sus ventajas y desventajas. Por ello, es importante evaluar el proyecto y elegir el método más adecuado según las condiciones locales y el tipo de cultivo (Vila, 2019).

Uno de los métodos de riego más utilizados en el sector agrícola es el riego por gravedad, que consiste en conducir el agua por canales o tuberías hasta los surcos o parcelas, donde se distribuye por la acción de la gravedad. Este sistema tiene la ventaja de ser simple, económico y adaptable a diferentes tipos de suelo y cultivo. No obstante, tiene una serie de inconvenientes que afectan su eficiencia y sostenibilidad (Villacorta, 2009).

Carhuachin (2020) señala que los sistemas de riego por gravedad tienen una eficiencia de aplicación entre el 30 y el 40 %, lo que implica pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial. Estas pérdidas afectan el rendimiento de los cultivos, erosión de los suelos, lavado de nutrientes y la rentabilidad de los agricultores.

La provincia de Loja es caracterizada por su irregular topografía, con fuertes pendientes y escasas extensiones de territorio plano, donde sus áreas de regadío se manejan con sistemas tradicionales y de muy baja tecnificación, empleando como principal método de riego el de gravedad (inundación, melgas y surcos), el cual genera serios problemas, tales como: baja eficiencia, erosión del suelo, lixiviación de nutrientes, pérdidas por percolación profunda y escorrentía superficial.

Ante esta situación, se propone evaluar la infraestructura del sistema de riego Totorá, la eficiencia de conducción, distribución y aplicación de acuerdo al manejo de los productores.

El propósito de este trabajo de integración curricular busca darle un uso más eficiente al agua de riego, mediante la implementación de metodologías y tecnologías sostenibles, que vayan de la mano con el diseño y cálculo técnico, empleando caudales no erosivos, en los que se considere la pendiente y tipo de suelo.

Para ello se propone un manual que orienta el correcto manejo y operación del sistema de riego, con el que se busca prolongar el tiempo de vida útil del mismo, además de reducir pérdidas de agua por percolación profunda y escorrentía superficial en los surcos. El presente trabajo de investigación se desarrolló en el sector Totorá, parroquia Nambacola, provincia de Loja.

Objetivos

Objetivo general

- Caracterizar y evaluar los factores que originan el inadecuado funcionamiento del sistema de riego con miras a proponer alternativas para el mejoramiento y la potenciación de la productividad agrícola del barrio Totorá.

Objetivos específicos

- Determinar las características físicas e hidrofísicas del suelo del área bajo riego del sector Totorá.
- Evaluar el funcionamiento de la infraestructura actual del sistema de riego Totorá.
- Formular una propuesta de operación y mantenimiento que permita incrementar la eficiencia del sistema de riego Totorá.

4. Marco Teórico

4.1. Definición de riego

Según Israelsen & Hansen (2021) definen al riego como la acción que permite complementar las necesidades hídricas de los cultivos que no son satisfechas por la lluvia. Esta práctica permite aplicar agua a la zona radicular creando un microclima favorable para el crecimiento de las plantas. Además, produce efectos beneficiosos y reduce pérdidas en la producción agrícola.

Para los sistemas de producción agrícola el riego es una actividad primordial ya que la aplicación del agua a la zona radicular permite un desarrollo óptimo de los cultivos, principalmente en las zonas áridas y semiáridas del Ecuador donde el recurso hídrico se ve limitado. En la última década el uso excesivo del agua para distintos usos ha provocado que su demanda incremente, aumentando los costos de producción y que la agricultura se vea limitada, es por ello, que actualmente se debe recurrir a la implementación de nuevas tecnologías, uso de métodos de riego que aseguren una mejor eficiencia en la aplicación del agua, de tal manera que se pueda aprovechar y optimizar al máximo el agua para la producción agrícola (Coyago & Valencia, 2022).

4.2. Sistemas de riego

Los sistemas de riego son infraestructuras hidráulicas que sirven para proporcionar la cantidad del recurso hídrico a un determinado cultivo, los cuales están compuestos por un conjunto de estructuras utilizadas para la conducción y distribución de caudales de agua desde la captación hasta la zona de cultivo y producción agrícola, con la finalidad de satisfacer las demandas de agua de los usuarios en tiempo volumen (Cadena, 2011).

Por su parte, Jácome & Vela (2021) manifiestan que los sistemas de riego son procedimientos agronómicos creados para conseguir la máxima eficiencia y economía en la entrega de agua a los cultivos, de la forma o método que se emplee, este influye directamente en los cultivos y producción agrícola. Por lo que un manejo eficiente del caudal de riego, está determinada por la distribución y aplicación del agua, sumándose una adecuada administración del mismo.

4.3. Componentes básicos de un sistema de riego

Japa & Rodríguez (2016) expresan de forma general que los componentes básicos de un sistema de riego son:

4.3.1. Captación

Esta estructura tiene como función desviar el flujo del agua en la fuente hídrica. Cuando la fuente hídrica es una quebrada o riachuelo, la estructura se denomina bocATOMA, y cuando la fuente hídrica se trata de un manantial, la estructura se conoce como cámara de captación (Japa & Rodríguez, 2016).

4.3.2. Línea de conducción

Son conductos o líneas de riego entubadas que pueden funcionar a gravedad o a presión, dependiendo de las condiciones topográficas del terreno. También son conocidas como línea matriz o línea principal. Están encargadas de conducir el agua desde la captación hasta los puntos de distribución, de donde se conectarán las líneas de distribución del riego parcelario (Velasco, 2013).

4.3.3. Red de distribución

La red de distribución está compuesta por conductos o líneas entubadas que funcionan a presión hidráulica. Estas se conectan a la línea matriz o principal de la conducción, están encargadas de distribuir el caudal de agua hacia los sectores de irrigación, mediante hidrantes instalados a lo largo de su longitud (Velasco, 2013).

4.4. Evaluación del sistema riego

La evaluación de los sistemas de riego es una práctica que permite identificar los problemas para así generar las alternativas que ayuden a mejorar la calidad del riego. Los factores que son fáciles de identificar son la aplicación de agua en efecto o en exceso, la pobre uniformidad de aplicación y las excesivas pérdidas por percolación o escurrimiento (Angella et al., 2017).

Para realizar la evaluación de un sistema de riego primero se debe conocer si el manejo que se le está dando es el adecuado. Se parte examinando la uniformidad de riego y los componentes de la instalación del sistema. Además, se estima las necesidades de agua netas y brutas en los días previos a la evaluación y se comprobará en los últimos días si coincide con las necesidades brutas. Un método de evaluación de riego es el poder determinar en el terreno la eficiencia de aplicación, es decir identificar las pérdidas en las entregas de agua desde que sale de la fuente de captación hasta la distribución en parcela, las pérdidas por evaporación y fugas son despreciables en comparación con las de percolación profunda y escurrimiento (Calva, 2019).

Para Alvarez (2015) las técnicas de evaluación tienen como propósito estimar la operación efectiva del sistema y también determinar la estrategia de operación económica

más eficiente del sistema de riego. Este proceso evaluativo permite entregar al productor agrícola un apoyo técnico cuantitativo en el manejo de su riego, así como para apoyarle con una decisión de inversión en el mejoramiento de su sistema de riego existente.

Por su parte, Carhuachin (2020) manifiesta que la evaluación del sistema se basa en el análisis sistemático del funcionamiento, para esto se desarrollan mediciones en campo, bajo las condiciones y prácticas de riego normalmente usadas por el productor, además se incluye en el estudio una posible modificación en la técnica de riego actual, cambiar la duración de cada riego, modificar el largo de la unidad de riego, diseñar con la velocidad de infiltración del suelo, pendiente longitudinal o cualquier alternativa o modificación que permita incrementar la eficiencia de riego.

Por otro lado, Flores et al., (2014) en su investigación sobre técnicas de conservación de agua en riego por gravedad a nivel parcelario, lograron determinar que las técnicas de conservación de agua en riego superficial son apropiadas para afrontar los periodos de escasez de agua e incrementar la eficiencia en su uso. Las condiciones de estudio fueron: suelo franco arcilloso, surcos de 100 m con 2 % de pendiente, densidad aparente de $1,2 \text{ g m}^{-3}$, obteniendo excelentes resultados con los surcos alternos (consiste en colocar el agua surco de por medio) y riego en camas que presentaron los mejores beneficios para reducir las láminas de riego hasta en un 40 %, ya que en riego convencional se aplica $10\,000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, pero con la aplicación de estas técnicas se redujo a $6\,000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Por su parte, Burbano (2019) en su estudio sobre la “Evaluación del sistema de riego superficial practicado en la comunidad la Portada, cantón Mira provincia del Carchi” determinó que la eficiencia del uso del agua contabilizado en todo el sistema fue de 33.5 % en la captación, conducción, distribución y aplicación y la baja eficiencia de aplicación se debe en parte a la mala operación y mantenimiento del sistema de riego por parte de usuarios.

4.5. Métodos de riego

Para describir los métodos de riego se emplea dos términos, métodos de riego y sistemas de riego, es decir, se entiende por método de riego al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar el agua a las parcelas regadas y se entiende por sistema de riego al conjunto de equipamiento y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método determinado. En estas condiciones, los sistemas de riego tienen obligatoriamente que ser tratados cuando se habla de los métodos. Entonces sistema de riego es el conjunto de equipamientos y técnicas de gestión que aseguren la captación del agua, su almacenamiento, transporte y distribución a los regantes (Poma & Chipana, 2016).

4.5.1. Clasificación de los métodos de riego

Guerra (2009) expresa, la clasificación de los métodos de riego va desde lo tradicional que hace uso de la gravedad hasta el riego tecnificado a base de estructuras complejas, en función de la tecnología, inversión, área de trabajo, eficiencia y parámetros requeridos por los cultivos.

Los métodos de riego en relación a estas características se clasifican en:

4.5.1.1. Riego por superficie o gravedad

Consiste en hacer riego por inundación, el agua se mueve por gravitación, es decir, el agua se desliza siguiendo la pendiente y no requiere de energía extra para su movimiento. Es un método utilizado principalmente por los pequeños productores puesto que requiere una baja inversión inicial, pero exige cierta habilidad de quien lo maneja para obtener una operación eficiente (Guerra, 2009).

De acuerdo a lo manifestado por Poma & Chipana (2016) la calidad y eficiencia del método de riego por superficie depende principalmente de la sistematización del terreno, para ello se debe tener un levantamiento planimétrico exacto del lote a regar y un correcto diseño de surcos esencialmente en orientación y longitud, cuando se cumple con estos parámetros se llega a tener una eficiencia de entre 40 y 70 %.

4.5.1.2. Riego por aspersión

Permite crear un sistema que aplique el agua a los cultivos en forma de lluvia. El agua destinada para riego es llevada a los cultivos por tuberías. En este punto es aplicada mediante pulverizadores (aspersores) que están con una presión específica determinada en el diseño, es así que el agua se eleva y cae en forma de varias gotitas (agua pulverizada) sobre la superficie de los cultivos. Por otro lado, en este método se logra tener mejor eficiencia y rendimiento cuando el sistema de riego cumple con las condiciones especificadas en el diseño, entonces se llega a tener una eficiencia tentativa del 70 % (Guerra, 2009).

4.5.1.3. Riego localizado

Esta técnica de riego permite obtener una eficiencia del 90 % aproximadamente, lo que conlleva a tener mayores rendimientos y menores pérdidas de agua y suelo puesto que no produce escorrentía, para este tipo de eficiencias se comprende el riego por goteo, por cintas, microaspersión, etc. Para la ejecución de este método se requiere de una infraestructura tecnificada como: sistemas de filtros, válvulas de control, medidores

volumétricos, tuberías para la conducción, distribución y aplicación del agua entre los más importantes (Poma & Chipana, 2016).

4.6. Método de riego por gravedad

Abréu et al., (2003) expresan, el riego por gravedad radica en la utilización de una variedad de tipos de riego con una característica común, la cual es aplicar el agua de riego a la superficie del suelo por medio de la fuerza de la gravedad, la misma que presenta dos ventajas frente a otros sistemas de riego: no se requiere de equipos complejos que representan altos costos y en algunos casos no se necesita bombear el agua por encima de la parcela, lo que lleva a un ahorro energético.

Expresa que este método continúa teniendo una destacada importancia en el desarrollo agrario, no solo porque corresponde al 80 % de las áreas regadas del mundo, sino que además sigue siendo el método más apropiado, técnicamente para suelos llanos y pesados (Burbano, 2019).

4.6.1. Riego por surcos

Para Pérez et al., (2020) este método consiste en proporcionar el agua desde un canal o acequia madre, por canales desde los puntos más altos a los más bajos, facilitando la infiltración del agua y el humedecimiento del suelo. El riego por surcos llega a ser eficiente si este humedecimiento llega a la zona de raíces y además moja el suelo entre la hilera de las plantas, por otro lado, este método no es recomendable para suelos arenosos, o suelos que se agrietan al secarse, debido al peligro de erosión, se recomienda aplicar caudales no erosivos.

Según Vásquez (2017) en este método los surcos son pequeños canales abiertos de tierra por los cuales el agua fluye lentamente y se infiltra a través de su recorrido. Estos surcos deben tener una pendiente uniforme y suave, además deben ser alimentados por caudales pequeños para que el agua tenga mayor tiempo de infiltración a lo largo de la parcela.

El diseño y operación de sistemas de riego por surcos se encuentra establecido por factores como textura, compactación y pendiente del suelo, variando la eficiencia de riego y la respuesta del cultivo. Este sistema integra la longitud, pendiente y pendiente del surco, además de la elección de caudales no erosivos (Vila, 2019).

4.7. Pérdidas de agua en el sistema

Gutiérrez & Díaz (2016) mencionan, para conocer las pérdidas que se dan en el sistema de riego es necesario realizar una evaluación de todos los componentes, dentro de los más importantes están los siguientes:

4.7.1. En accesorios

En el sistema existen pérdidas de energía en los accesorios, estas pérdidas se dan generalmente en codos, reducciones de diámetro, válvulas o llaves, o cualquier obstrucción que encuentre el agua que le impida seguir circulando en línea recta.

4.7.2. Por fugas

Las pérdidas de agua debido a fugas provocan pérdidas de caudal de suministro, pérdidas de carga provocando así que la presión no llegue a ciertas áreas, produciendo encharcamientos lo que hace que el suelo se sature, dichas fugas son parte del caudal que debería de ser aprovechado para regar y producir áreas mayores de riego. Estas se deben al desgaste, mal acople o simplemente a una mala instalación del sistema.

4.8. Indicadores de calidad de riego

4.8.1. Eficiencia de riego

Según Velasco (2013) define a la eficiencia como la relación existente entre el volumen de agua utilizado con un fin determinado y el volumen extraído o derivado de una fuente de abastecimiento. Se puede dividir en tres componentes: la eficiencia de almacenamiento, conducción y la de riego. Así mismo, la eficiencia de riego está compuesta por la eficiencia de conducción en el canal o conducción principal, eficiencia de distribución en los canales laterales y la eficiencia de aplicación a nivel de parcela, los productos de estas tres eficiencias nos determinan la eficiencia de riego de un sistema.

La Eficiencia del sistema de riego se la puede determinar con la siguiente relación matemática:

$$Ef_r = Ef_c * Ef_d * Ef_a$$

Donde:

Ef_r = eficiencia del sistema de riego (%)

Ef_c = eficiencia de conducción (%)

Ef_d = eficiencia de distribución (%)

Ef_a = eficiencia de aplicación (%)

Por su parte, Flores (2019) define la eficiencia de un sistema de riego como la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la captación, agua que es conducida por canales (abiertos o cerrados).

En la Tabla 1 se presentan las eficiencias tentativas que se pueden alcanzar por los diferentes métodos de riego.

Tabla 1.

Eficiencias de riego para cada método

Método de riego	Eficiencia global (%)
Riego por gravedad o superficie	20-60
Riego por aspersión	50-80
Riego localizado	60-95

Fuente: (Flores, 2019).

4.8.2. Eficiencia de la conducción

La medición de la eficiencia de conducción permite la evaluación de la pérdida de caudal a lo largo de la red principal, comprendida desde la bocatoma o fuente de abastecimiento hasta el punto final del canal principal, sin embargo, se puede realizar la evaluación en distintos tramos o puntos más críticos. En este sentido se evalúa el estado de operación y mantenimiento del canal principal, es así que para su medición todas las compuertas o derivaciones deben estar cerradas, esto permitirá que la medición de la eficiencia no tenga errores (Pupiales, 2019).

Para determinar la eficiencia de conducción de un canal principal se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$Efc = \frac{Qf}{Qi} * 100$$

Donde:

Efc: eficiencia de conducción (%)

Qf: Caudal final (m³/s)

Qi: Caudal inicial (m³/s)

4.8.3. Eficiencia de la distribución

Según Mamani (2018) la eficiencia de distribución se obtiene de todos los conductos de distribución de 1, 2, 3...n orden, que sirven para repartir el agua hacia los demás lotes. Se mide la eficiencia con la que fluye el agua desde la derivación en el canal principal hasta los lotes o módulos o áreas de riego.

$$EDi = \frac{Qfd + \Sigma Qi}{Qed} * 100$$

Donde:

EDi = eficiencia de distribución en el conducto (%)

Qfd = caudal que llega al final del conducto de distribución (l/s)

ΣQi = Sumatoria de caudales que ingresan a los conductos laterales de riego (l/s). Si están cerrados el valor es cero

Q_{ed} = caudal que entra al inicio del conducto de distribución (l/s).

Finalmente, al existir varios canales de distribución en un sistema de riego, la ED se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{\Sigma EDi}{n}$$

Donde:

ED = eficiencia de distribución (%)

ΣEDi = sumatoria de las eficiencias de distribución en los conductos de 1, 2, 3, n orden

n = número total de conductos de distribución.

4.8.4. Eficiencia de aplicación

Mamani (2018) define la eficiencia de aplicación como la proporción entre la cantidad de agua almacenada en la zona del sistema radicular (disponible para la planta) y la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego. Eficiencia (Ea) es la relación entre la lámina parcial neta de riego y la lámina total aplicada, expresada en %. Su expresión matemática es la siguiente:

$$Ea = \frac{V_{zr}}{VTA} * 100 \quad \text{ó} \quad Ea = \frac{L_{zr}}{LTA} * 100$$

Donde:

Ea = eficiencia de aplicación (%)

V_{zr} o L_{zr} = volumen (m^3) o lámina almacenada (mm) en la zona de raíces

VTA o LTA = volumen (m^3) o lámina (mm) total aplicada.

Guerra (2009) menciona, cada método de riego posee una eficiencia de aplicación, para su interpretación se establece la siguiente tabla:

Tabla 2.*Rangos de eficiencia de aplicación de riego por cada método*

Método de riego	Rango de eficiencia de riego en porcentaje
Superficial	
Riego tradicional o Tendido	10-30 %
Riego en curvas de nivel	30-60 %
Riego por bordes	40-80 %
Riego por surcos	40-85 %
Presurizado	
Riego por aspersión	50-90 %
Riego por microjet	60-95 %
Riego por goteo	65-95 %

Fuente: (Guerra, 2009).

Según Tabarquino et al., (2020) concluyen, un manejo inadecuado del riego afecta significativamente la eficiencia de aplicación del agua en el suelo generando pérdidas hasta del 80 %. Además, mencionan que un buen conocimiento de las características hidrodinámicas del suelo y efectuando un mejor manejo se aumentó la eficiencia de aplicación del sistema de riego por surcos de 23 % a 56 % con un caudal de 3 l/s y de 17 % a 49 % para un caudal de 4 l/s. Así mismo, para incrementar la eficiencia se debe reducir el tiempo de aplicación riego/surco, aproximadamente de 24 a 10 horas, mejorando así la eficiencia y garantizando la aplicación de la lámina requerida en campo.

4.9. Caudal del sistema de riego

4.9.1. Caudal

Para Ramos & Báez (2013), el caudal es el volumen de agua que pasa por una sección transversal conocida, se expresa en medidas de volumen por unidad de tiempo. O también, caudal es el volumen de agua que circula en un determinado tiempo, siendo sus unidades de medición en l/s.

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

Dónde:

 Q = Caudal (l/s) V = volumen del líquido (l) t = tiempo que tarda en salir el líquido (s)

4.10. Métodos para el aforo de agua

Para estimar el caudal se han desarrollado varios métodos, los cuales se basan en diferentes principios de la hidráulica. Sin embargo, antes de seleccionar una metodología para un caso particular, es necesario considerar algunos factores prácticos que incluyen la disponibilidad de recursos financieros, la precisión requerida en la medición y la frecuencia con que se requiere obtener los datos (Quisbert et al., 2022).

4.10.1. Método sección-velocidad

Cayetano (2019), define al método de sección-velocidad como una simplificación de la ecuación de la continuidad de flujo, que expresa el caudal como un fluido (agua) que pasa en una determinada área con una respectiva velocidad, es decir, se la expresa mediante la relación siguiente:

$$Q = A * V$$

Donde:

Q: es el caudal en m³/s

V: la velocidad media del flujo en m/s

A: el área transversal de la sección en m²

El método sección-velocidad es ampliamente utilizado para estimar el caudal debido a su facilidad de aplicación a canales grandes en comparación con otros métodos. Además, proporciona resultados excelentes cuando se logra una alta precisión en la medición de la velocidad.

4.10.2. Método volumétrico

Según Rojas & Enciso (2015), este es el método más exacto y más sencillo, es usado principalmente para medir el caudal en corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelo, consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena este depósito, su expresión matemática es la siguiente:

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

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Volumen (m³)

t = tiempo (segundos)

4.11. El suelo

Vásquez (2017), define al suelo como una capa arable, un recurso natural que se compone de un sistema dinámico muy complejo en el que se derivan procesos que incluyen componentes físicos, químicos e incluso vivos, los mismos que son fundamentales para el desarrollo de cualquier planta o cultivo agrícola en general. El suelo es la base de vida de las plantas, es su soporte, además, es de donde extraen agua y minerales necesarios para su crecimiento. Dentro de la composición fundamental del suelo están los minerales, materia orgánica, agua y aire, en donde estos dos últimos ocupan cerca del 50 % de volumen.

Un suelo que posee características físicas óptimas como buena porosidad, densidad aparente, estructura y con un buen contenido de materia orgánica permite tener una mejor retención de humedad y que la relación agua – aire sea la más adecuada para un desarrollo óptimo de los cultivos agrícolas (Girón, 2019).

4.11.1. *Propiedades físicas de los suelos agrícolas*

Dentro de un sistema de riego un parámetro importante de analizar es el suelo y su comportamiento básicamente se ve influido por las propiedades físicas (Vásquez, 2017).

Girón (2019), menciona que las propiedades físicas del suelo resultan de la interacción originada entre distintas fases del mismo (suelo, agua y aire) y la proporción en la que están presentes cada una de ellas. Condiciones físicas óptimas permiten, mayor aprovechamiento de agua, mejor desarrollo radicular, excelente circulación de agua y aire, drenaje, retención de nutrientes, entre lo más importante. Dentro de las condiciones físicas más importantes del suelo son:

4.11.1.1. Textura

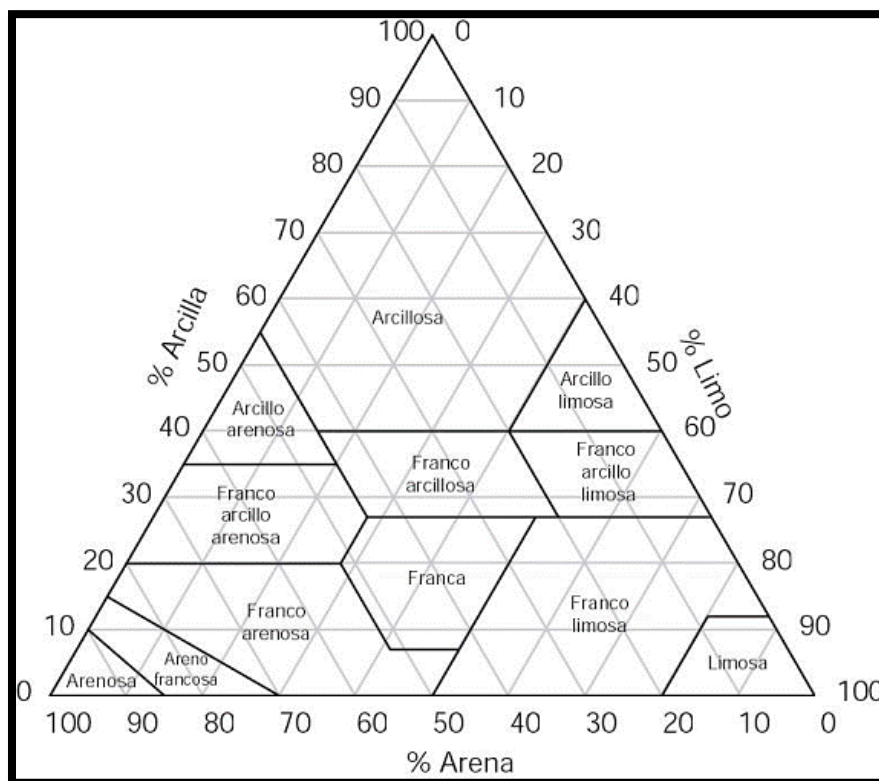
Para Zilio (2015), la textura es una de las características más permanentes en el suelo, su modificación es lenta y compleja. Los suelos generalmente se dividen en tres tipos debido a su facilidad de manejo y textura: pesados (arcillosos), medios (francos) y ligeros (arenosos). Para determinar la textura del suelo se utiliza el diagrama triangular de las clases texturales básicas establecidas por el USDA (Figura 1).

La textura es una propiedad importante para los diseños de sistemas de riego ya que determina la velocidad de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos, está involucrada directamente con el movimiento del agua en el suelo y la circulación del aire, es así como esta propiedad física condiciona la cantidad de agua que puede ser almacenada en un espesor de suelo (Alvarez, 2015).

Al hablar de frecuencias de riego, la textura conjuntamente con la profundidad del suelo, son parámetros importantes para la correcta distribución de agua, en suelos arenosos la frecuencia es menor y en arcillosos es mayor, debido al poder de retención de agua de cada uno. En relación de fertilidad y absorción de agua, los suelos de textura fina (arcillosos) poseen mayor capacidad de absorción de nutrientes, mayor capacidad de retención de agua debido área superficial y son más fértiles. En suelos arenosos se tienen poros más grandes y permite una infiltración de agua más rápida, aunque su fertilidad sea más reducida (Bautista et al., 2015).

Figura 1.

Diagrama triangular textural de las clases básicas del suelo de la USDA.



Fuente: U.S.D.A (1977).

4.11.1.2. Estructura

Se la define como al grado, la forma o modo en el que las partículas integrantes del suelo se asocian entre sí, para formar de manera natural grupos unidos llamados agregados o terrones. Estos agregados son unidades secundarias de varias partículas de suelo enlazadas entre sí o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. La estructura mala (granular, suelta sin forma) o buena (bloques formando agregados) es una propiedad que afecta la infiltración del agua, el

drenaje, la aireación y el desarrollo de raíces, incidiendo en la productividad y las actividades de labranza de los suelos (Alvarez, 2015).

4.11.1.3. Densidad aparente

Se define como la masa contenida en la unidad de volumen que ocupa la muestra de suelo. La densidad aparente incluye el espacio poroso y el material sólido, tanto mineral como orgánico (Orozco, 2016).

La densidad aparente de un suelo es un indicador de la firmeza del suelo y con ella la resistencia que presentará a los implementos de labranza o raíces de las plantas cuando penetran en el suelo. A menor densidad aparente, mayor espacio poroso, es decir, se trata de un suelo menos compacto, por lo tanto, la densidad aparente, es inversamente proporcional al espacio poroso. Además, la densidad aparente es una propiedad que se ve afectada por factores como: la textura, la materia orgánica, la consolidación y la profundidad, su unidad de medida es en g/cm³ (Zilio, 2015).

$$Da = \frac{Pss}{Vt}$$

Donde:

Da = Densidad aparente

Pss = Peso de suelo seco (g)

Vt = Volumen total (cm³)

Según Alvarado & Forsythe (2005), la densidad aparente es una propiedad importante para el correcto manejo del suelo ya que refleja la facilidad de circulación del agua, aire y la compactación. Los bajos porcentajes de materia orgánica incrementan la densidad aparente y reducen los poros gruesos en suelo, generalmente la densidad aparente presenta valores que varían en función de las propiedades de los suelos como la textura y el contenido de materia orgánica.

En la Tabla 3 se presentan valores medios de densidad aparente en relación al tipo de suelo.

Tabla 3.

Valores de densidad aparente en relación al tipo de suelo

Tipo de suelo	Valor de densidad aparente (g/ cm ³)
Arenoso	1,4 - 1,6
Francos	1,3 - 1,4
Arcillosos	1,1 - 1,3
Suelos orgánicos	0,7 - 1,1

Fuente: (Zilio,2015).

4.11.1.4. Densidad real

Zilio (2015), manifiesta que es la relación existente entre la masa de las partículas secas y el volumen real de la fase sólida (no el volumen aparente) conformada por la misma, en contraste con la densidad aparente. Se incluyen partículas individuales de arena, limo, arcilla y materia orgánica sin incluir los espacios porosos. La densidad real se puede considerar casi constante debido a que varía de 2,60 a 2,75 g/cm³, generalmente en los cálculos estándar se ha usado el valor 2,65 g/cm³.

Usualmente se la expresa de la siguiente manera:

$$Dr = \frac{Pss}{Vp}$$

Donde:

Dr = Densidad real (g/cm³)

Pss = Peso de suelo seco (g)

Vp = Volumen de las partículas (cm³)

4.11.1.5. Porosidad

Orozco (2016), expresa que la porosidad del suelo viene representada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total. La porosidad depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. Cuanto más gruesos son los elementos de la textura mayores son los huecos entre ellos, salvo si las partículas más finas se colocan dentro de esos huecos o si los cementos coloidales los obturan. No obstante, lo más corriente es que los suelos con elementos gruesos presentan poros también gruesos y los suelos limosos y arcillosos, huecos muy numerosos, pero de pequeño tamaño. La materia orgánica contribuye a aumentar sensiblemente la porosidad. Es por esto que los suelos coloidales poseen mayor porosidad (López et al., 2016).

El porcentaje de porosidad vendrá expresado por:

$$P = 100 \left(1 - \frac{da}{dr} \right)$$

Donde:

P = Porosidad (%)

da= Densidad aparente (g/cm³)

dr= Densidad real (g/cm³)

En suelos arcillosos el escaso intercambio de aire puede ser inadecuado para el desarrollo radicular de las plantas. El movimiento de agua y aire más rápido está en arenas y suelos de agregados fuertes. Un mejor balance de retención de agua (micro poros) más el adecuado movimiento de aire y agua (macro poros) está en suelos de textura media como los francos (Alvarez, 2015).

4.11.1.6. Profundidad efectiva

Vargas & Céspedes (2019), definen la profundidad efectiva como la zona donde las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores dificultades, especialmente en relación del abastecimiento de agua y nutrientes. Por otra parte, Frolla et al., (2020) señalan que el conocer la profundidad efectiva es un factor trascendente, debido a que determina la cantidad de agua que puede retener el suelo, es decir, si el suelo es profundo, la capacidad de retención es mayor, al igual que el espacio de exploración de las raíces para disponer de humedad, aireación, temperatura y nutrientes; factores vitales para el correcto desarrollo de los cultivos.

4.11.2. Propiedades hidrofísicas del suelo

Según Silva et al., (2015) para el diseño y evaluación de sistemas de riego el conocimiento de las propiedades hidrofísicas del suelo es fundamental para el entendimiento de la dinámica de los procesos de movimiento de agua y de solutos en el mismo. La habilidad de los suelos para retener y transmitir agua está determinada por las siguientes propiedades hidrofísicas.

4.11.2.1. Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de agua que posee un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y ha sido drenado libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de -0,33 bares. La determinación de este contenido de agua se toma entre las 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante, para este procedimiento se debe cubrir el suelo con un plástico para evitar la evaporación y obtener valores más cercanos a la realidad.

La CC de campo se la calcula con la siguiente expresión matemática:

$$CC = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}}$$

Donde:

Psh= Peso de suelo húmedo

Pss= Peso de suelo seco

4.11.2.2. Punto de marchitez permanente (PMP)

El PMP es un estado en el cual la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o falta de fructificación debido a una insuficiente absorción de agua por parte de la planta, ocasionada por un flujo lento desde el suelo. En

promedio se considera que la planta se encuentra en un estado de sequía cuando el nivel de energía hídrica es de aproximadamente 15 bares.

El PMP puede ser estimado a partir de la CC:

$$PMP = \frac{CC}{1,85}$$

Donde:

PMP= Punto de marchitez permanente

CC= Capacidad de campo

4.11.2.3. Agua aprovechable

Agua aprovechable en los suelos, es la que forma parte de la solución del suelo y se encuentra llenando los espacios porosos que quedan entre las partículas de suelo, es una de las variables más significativas del suelo, ya que presenta una relación directa con la productividad de los sistemas agrícolas y forestales. La cantidad de agua fácilmente accesible o humedad aprovechable es el agua retenida en un suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La CC representa el límite superior o 100 % de disponibilidad de la humedad del suelo. El PMP es el límite inferior de esta disponibilidad o 0 %. Los suelos de textura fina tienen límites más amplios de agua disponible que los suelos de textura gruesa (Salcedo et al., 2007).

El agua aprovechable se calcula con la siguiente ecuación:

$$AA = CC - PMP$$

Donde:

AA= Agua aprovechable

CC= Capacidad de campo

PMP= Punto de marchitez permanente

4.12. Infiltración del agua en el suelo

Para Delgadillo & Pérez (2016) la determinación de la infiltración del agua en los suelos es importante puesto que su velocidad establece generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, logrando detectar el peligro de erosión durante las precipitaciones intensas. La velocidad de infiltración es fundamental para el diseño y la evaluación del riego en parcela ya que determina la tasa con la que el agua puede ser aplicada a su superficie sin escurrimiento (riego por aspersión) y para el riego por superficie ayudará a encontrar la longitud más eficiente del surco.

La infiltración se puede interpretar mediante la siguiente tabla:

Tabla 4.

Rangos de velocidad de infiltración de acuerdo a la permeabilidad

Velocidad de infiltración		
Tipo de suelo	Condición	V (mm/h)
Arenoso	Muy permeable	> 30
Franco arenoso	Permeable	20 – 30
Franco	Poco permeable	10 – 20
Franco arcilloso	Medio impermeable	5 – 10
Arcilloso	Muy impermeable	1 – 5

Fuente: (Delgadillo & Pérez 2016).

4.12.1. Factores que determinan la infiltración en el suelo

Delgadillo & Pérez (2016) manifiestan, para determinar la magnitud del movimiento del agua por infiltración en el suelo se debe considerar los siguientes factores:

- **Textura:** los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo condicionan la infiltración.
- **Cantidad de MO:** altas cantidades de materia orgánica sin descomponer provocan que el agua se infiltre en el suelo.
- **Profundidad del suelo:** suelos duros, rocosos o que posean otras capas impermeables influyen en la infiltración. Suelos superficiales almacenan menos agua que suelos profundos.
- **Cantidad de agua en el suelo:** suelos con agua tendrán unos menores valores en la infiltración.
- **Cantidad de microorganismos vivos:** suelos con actividad microbiana indican que habrá mayores valores de infiltración. Un ejemplo claro de esto es cuando las lombrices realizan túneles en el suelo favoreciendo así la infiltración.

4.12.2. Ecuación empírica de la velocidad de infiltración del agua en el suelo

Existen distintas fórmulas que pretenden expresar la infiltración, la principal es la ecuación de Kostiakov.

Delgadillo & Pérez (2016), mencionan las siguientes ecuaciones:

4.12.2.1. Velocidad de infiltración

Se define como el proceso en el cual el agua se infiltra en el interior del suelo en un determinado tiempo. Por otro lado, la determinación de la infiltración es una técnica fundamental para el manejo eficiente de los recursos agua y suelo. La velocidad de infiltración no es uniforme, gradualmente disminuye con el tiempo, es máxima al comenzar el proceso, particularmente si el suelo está seco; luego disminuye progresivamente hasta el valor mínimo el cual se conoce como infiltración básica (Delgadillo & Pérez, 2016).

Para determinar la infiltración Kostiakov planteó la siguiente ecuación:

$$F = C * t^m$$

Donde:

F= Lámina total infiltrada en el tiempo

C y m= Parámetros a determinar con datos experimentales

T= Tiempo

a) Infiltración acumulada: Alega (2018) la define como la sumatoria de las alturas de agua infiltradas durante el tiempo de prueba. Su expresión matemática es la siguiente:

$$I_{acum} = \int_0^t VI = \frac{a}{b+1} * t^{b+1}$$

Donde:

I_{acum}= $A * t^b$

I_{acum}=Infiltración acumulada

t=Tiempo

Los parámetros de a y b de la ecuación se pueden obtener mediante el método de los mínimos cuadrados o gráficamente representando las mediciones en un papel doble logarítmico.

b) Infiltración promedio: es la relación que hay entre la infiltración acumulada con el tiempo transcurrido de la práctica.

c) Velocidad de infiltración básica: corresponde al valor que la variación de la velocidad de infiltración en relación al tiempo menor o igual que el 10 % de su valor. Esta velocidad se mantiene constante a partir de cierto periodo.

Determinar el valor de velocidad de infiltración básica es importante para el diseño de sistemas de riego presurizado, es decir, con este valor se realiza la selección de los emisores. De la misma manera para el riego gravitacional por surcos, ya que permite determinar el tiempo de infiltración y con consiguiente el tiempo de riego (TR).

Su expresión matemática es la siguiente:

$$VIB = a(-600 * b)^b$$

Donde a y b son parámetros de ajuste que dependen del suelo y de su condición física.

Para realizar la interpretación de la velocidad de infiltración Duque (2009), presenta la siguiente tabla:

Tabla 5.

Clasificación de la velocidad de infiltración básica

Clases de Infiltración	cm/h
Muy lenta	< 0,127
Lenta	0,127 - 0,50
Moderadamente lenta	0,50 - 2,00
Media	2,00 - 6,35
Moderadamente rápida	6,35 - 12,7
Rápida	12,7 - 25,0
Muy rápida	25,0

Fuente: (Duque, 2009)

4.13. Evaluación del sistema riego

La evaluación de los sistemas de riego es una práctica que permite identificar los problemas para así generar las alternativas que ayuden a mejorar la calidad del riego. Los factores que son fáciles de identificar son la aplicación de agua en efecto o en exceso, la pobre uniformidad de aplicación y las excesivas pérdidas por percolación o escurrimiento (Angella et al., 2017).

Para evaluar un sistema de riego, es importante comenzar por determinar si el manejo que se le está dando es el adecuado. Se parte examinando la uniformidad de riego y los componentes de la instalación del sistema. Además, se estiman las necesidades de agua netas y brutas en los días previos a la evaluación y se verifica si coincide con las necesidades brutas en los últimos días. Un método de evaluación de riego consiste en determinar en el terreno la eficiencia de aplicación, es decir identificar las pérdidas en las entregas de agua desde la fuente de captación hasta su distribución en parcela. Las pérdidas por evaporación y fugas son despreciables en comparación con las pérdidas de percolación profunda y escurrimiento (Calva, 2019).

Para Alvarez (2015), las técnicas de evaluación tienen como propósito estimar la operación efectiva del sistema y también determinar la estrategia de operación económica más eficiente del sistema de riego. Este proceso evaluativo permite entregar al productor agrícola un apoyo técnico cuantitativo en el manejo de su riego, así como para apoyarle con

una decisión de inversión en el mejoramiento de su sistema de riego existente. La evaluación del sistema se basa en el análisis sistemático del funcionamiento. Para esto se realizan mediciones en campo, bajo las condiciones y prácticas de riego normalmente usadas por el productor. Además, se considera la posibilidad de realizar modificaciones en la técnica de riego actual, como cambiar la duración de cada riego, ajustar el tamaño de la unidad de riego o diseñar de acuerdo a la velocidad de infiltración del suelo y la pendiente longitudinal. En este caso se exploran diversas alternativas y modificaciones que permitan incrementar la eficiencia de riego (Alega, 2018).

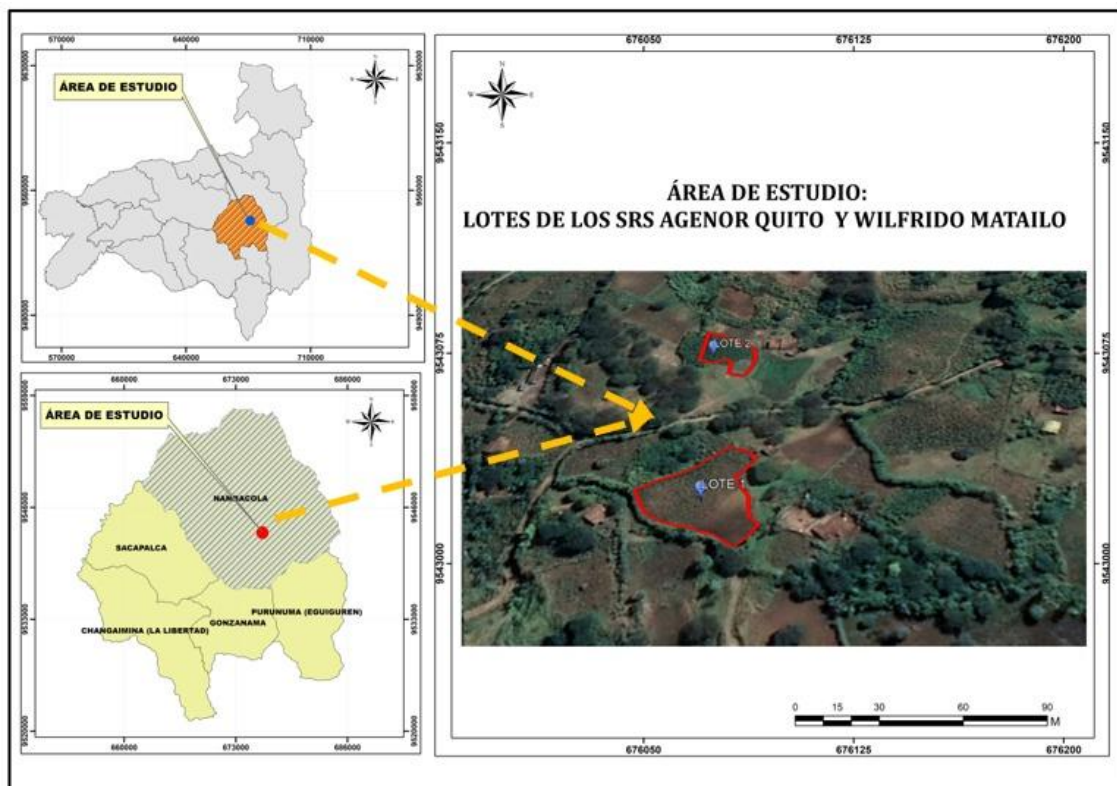
5. Metodología

5.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se desarrolló en el barrio Totora, ubicado al noreste de la parroquia Nambacola del cantón Gonzanamá, provincia de Loja (Figura 2); sus coordenadas geográficas son 9 542881 m de latitud sur y entre los 676425 m de latitud occidental, con una altitud media de 1865 msnm.

Figura 2.

Ubicación del área de estudio con respecto a la parroquia Nambacola



5.2. Condiciones climáticas del barrio Totora

Según el PDOT de Nambacola (2015) el área del sistema de riego Totora presenta las siguientes condiciones climáticas:

Posee un clima templado característico de la región andina, influenciada por factores meteorológicos como una temperatura promedio de 21 °C, humedad relativa del 85 % y una precipitación media anual de 1098.8 mm, factores que influyen para el desarrollo de la biodiversidad; de acuerdo a la distribución de temperatura, la zona de estudio presenta climas como: tropical y subtropical.

En cuanto a los recursos hídricos presenta varias microcuencas y riachuelos, nacientes de agua dulce, aportando al sistema de agua potable y sistema de riego.

Respecto a los suelos, son en su mayoría de profundidad media, con una textura entre arenoso y arcilloso, una coloración de tipo café y negro, encaminados a actividades como: agricultura, ganadería (pastos) y al área forestal.

Uso y cobertura de suelo está ocupada por bosques, pastos y cultivos como: maíz, café, caña, yuca, maracuyá y otros.

5.3. Materiales y equipos

5.3.1. *Materiales de campo*

- Cronómetro
- Recipientes para aforo (balde de 20 L)
- Cinta métrica
- Flexómetro
- Barrenos para muestras de suelo
- Cilindros Kopecky
- Cilindros para pruebas de infiltración
- Cilindros doble anillo
- Planillas de campo

5.3.2. *Equipos*

- Computadora
- GPS diferencial
- Programas uso libre
- Cámara fotográfica
- Caudalímetro

5.4. Metodología

La metodología empleada en el presente estudio fue de tipo descriptiva y analítica, la misma que permitió recoger, organizar y analizar los resultados de las observaciones y mediciones realizadas en campo. El desarrollo metodológico consistió en la recopilación y presentación sistemática de datos, que permitió obtener una idea clara de la situación del sistema de riego (Manterola et al., 2019).

5.4.1. *Reconocimiento del área y fuente de agua del sitio de estudio*

Inicialmente se realizó un recorrido de la zona de estudio del sistema de riego Totorá, en donde se reconoció toda la infraestructura hidráulica y los componentes del sistema y fuente de captación de agua. Posteriormente se seleccionó las áreas para efectuar la

evaluación de la eficiencia del método de riego por surcos. Para ello, se seleccionó dos predios que se los denominó sector 1 (A.Q) y sector 2 (W.M), ubicados en la parte baja del sistema de riego.

5.4.2. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó según la metodología propuesta por Yujra (2014), donde se tomó en cuenta la asignación de coordenadas sobre la superficie terrestre que están en la Zona 17 Sur DATUM WGS 84 en el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM). Para ello con ayuda del GPS diferencial, se realizó la toma de puntos (Anexo 1), y el levantamiento de la infraestructura del sistema de riego como: tubería de conducción principal, cortadoras de control de caudal, reservorios de almacenamiento de agua y las parcelas o predios en los que se desarrolló la investigación.

Una vez obtenidos todos los datos se los descargo a un PC y se procesó con un software de diseño de ingeniería, donde se obtuvo la planimetría con curvas de nivel, los mismos que permitieron establecer los desniveles del terreno (Anexo 15 y 16).

5.4.3. Metodología para el primer objetivo

“Determinar las características físicas e hidrofísicas del suelo del área bajo riego del sector”.

Para analizar las constantes físicas e hidrofísicas se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas en cada una de las calicatas, las cuales fueron descritas utilizando la metodología propuesta por USDA. Las mismas que fueron construidas en la parte central de cada sector de estudio, definidas estratégicamente en el levantamiento topográfico, sus dimensiones fueron de 1 metro cuadrado por 1 metro de profundidad.

Las muestras se las tomaron según la metodología propuesta por Gomez (2019), donde se procede de la siguiente manera:

- **Muestras disturbadas:** se recolecto una muestra por calicata en cada predio de estudio, las muestras fueron del primer horizonte, a una profundidad de 0 a 25 cm, las mismas que permitieron determinar las constantes físicas.
- **Muestras inalteradas:** de igual manera se recolectó una muestra por calicata del primer horizonte, a una profundidad de 0 a 25 cm, para esto se introdujo horizontalmente cilindros Kopecky de 100 cm³, permitiendo realizar el análisis de las constantes hidrofísicas.

5.4.3.1. Características físicas del suelo

- a) **Textura:** De acuerdo con Beretta et al., (2014) para el cálculo de la textura se emplea el método de Bouyoucos, con el que se procedió a determinar la clase textural de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla.

Para determinar la textura se utilizó el diagrama triangular en relación al porcentaje de arena limo y arcilla (Anexo 3).

- b) **Densidad aparente (Da):** Según lo propuesto por Agostini et al., (2014), para determinar la densidad aparente se emplea la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Pss}{Vt}$$

Donde:

Da = Densidad aparente

Pss = Peso de suelo seco (g)

Vt = Volumen total (cm³)

Finalmente se realizó la clasificación de acuerdo a la tabla que presenta la USDA (2020), de densidad aparente para un adecuado desarrollo radicular.

Tabla 6.

Rangos de la densidad aparente en relación a la textura

Textura del suelo	Densidad aparente ideal para el desarrollo radicular (g/cm ³)	Densidad aparente que afecta el desarrollo radicular (g/cm ³)
Arenoso, franco arenoso	< 1,6	> 1,80
Franco arenoso, franco	< 1,4	> 1,80
Franco arcilloso, arenoso	< 1,4	> 1,80
Franco arcilloso	< 1,4	> 1,75
Limoso, franco limoso	< 1,4	> 1,75
Franco arcillo limoso	< 1,4	> 1,75
Arcillo arenoso	< 1,1	> 1,65
Limoso, franco arcilloso	< 1,1	> 1,58
Arcilloso (>45% arcilla)	< 1,1	> 1,47

Fuente: (USDA,2020).

- c) **Densidad real (Dr):** Según Salazar & Veliz (2019) para determinar la densidad real se emplea la siguiente fórmula:

$$Dr = \frac{Vss}{Vp}$$

Donde:

Dr = Densidad real (g/cm³)

Pss = Peso de suelo seco (g)

Vp = Volumen de las partículas (cm³)

- d) **Porosidad (P):** Según Hernández (2019) para calcular la porosidad se usa la siguiente formula:

$$P = 100 \left(1 - \frac{da}{dr} \right)$$

Donde:

P = Porosidad (%)

da= Densidad aparente (g/cm³)

dr= Densidad real (g/cm³)

- e) **Profundidad efectiva:** la determinación de la profundidad efectiva se la realizó mediante observación en la descripción del perfil del suelo en las calicatas.

5.4.3.2. Características hidrofísicas del suelo relacionados con el riego

Para determinar las constantes hidrofísicas se realizaron los siguientes análisis:

- a) **Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP):** De acuerdo con la metodología propuesta por López (2016) las constantes hidrofísicas se las determina empleando el método de la centrifuga, como alternativa cuando no se puede realizar con el método de las ollas de Richards.
- b) **Agua aprovechable:** el cálculo del agua aprovechable se utilizó la siguiente ecuación:

$$AA(\% \theta v) = CC(\% \theta v) - PMP(\% \theta v)$$

Donde:

AA= Agua aprovechable

CC= Capacidad de campo

PMP= Punto de marchitez permanente

5.4.3.3. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Con los resultados del agua aprovechable, la capacidad de aireación y el volumen de poros físicamente inerte y el diagrama triangular se procedió a evaluar físicamente el suelo para la producción agropecuaria.

- a) **Agua aprovechable (AA)**

El agua aprovechable se la determinó en base a la diferencia de los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente:

$$\% \theta_{AA} = \% \theta_{CC} - \% \theta_{PMP}$$

b) Capacidad de aireación (CA)

La capacidad de aireación del suelo se la obtuvo en base a la diferencia de los contenidos de humedad a saturación y capacidad de campo.

$$\% \theta_{CA} = \% \theta_{Saturación} - \% \theta_{CC}$$

c) Volumen de poros físicamente inerte (VPFI)

Se consideró el agua aprovechable (AA) y la capacidad de aireación.

$$\% \theta_{VPFI} = 100 - (AA + CA)$$

5.4.3.4. Determinación de la velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se determinó para los dos predios del área de estudio, con una duración de cuatro horas cada prueba, de acuerdo al modelo de Kostiakov.

Para realizar la prueba de infiltración se utilizó el método de doble anillo, que consiste en la utilización de dos anillos estandarizados para riego (diámetro, altura, material).

De acuerdo con la metodología propuesta por Ortiz & Godoy (2022) inicialmente se adecua el lugar empezando por la limpieza de malezas; luego se introduce los cilindros a una profundidad de 5 cm; y, con mucho cuidado se procede a verter el agua en el cilindro externo usando un recipiente pequeño, asegurando que el agua fluya cuidadosamente por la pared del cilindro; la función de este cilindro es la de amortiguar y obligar a que el agua del cilindro interno fluya verticalmente. La carga de agua dentro del cilindro interior es de 10 cm; y, con una cinta métrica se procede a medir la lámina infiltrada en función del tiempo; se vuelve a recargar el agua en el anillo cuando ésta ha disminuido hasta 3 cm. Los datos se toman a intervalos de 5 minutos la primera hora, 10 minutos la segunda, 15 minutos la tercera hora y finalmente cada 20 minutos la cuarta hora, hasta que se establezca la infiltración

En el Anexo 4, se presenta los datos reales obtenidos en el campo de la prueba de infiltración, cuyos valores se emplearon para establecer la curva de infiltración acumulada en una hoja electrónica, así como se determinó los parámetros de a y b de la ecuación de la lámina infiltrada.

Después de encontrar la ecuación de la curva por el método gráfico se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$I_{acum} = a * t^b$$

Donde:

I_{acum}= Infiltración acumulada (mm)

t= Tiempo (min)

a= Valor de la infiltración cuando el tiempo es de un minuto

b= Exponente que depende de las características físicas del suelo

- **Velocidad de infiltración Instantánea.**

Resulta de la primera derivada de la ecuación de infiltración acumulada (Iacum) con respecto al tiempo. Para determinar la velocidad de infiltración instantánea se emplea la siguiente fórmula:

$$V_{Inst} = K * n * T^{n-1}$$

Donde:

V_{inst} = velocidad de infiltración instantánea (cm/min)

T= Tiempo (min).

K y n= Parámetros que dependen del suelo y su condición física.

- **Velocidad de infiltración básica**

La velocidad de infiltración básica o final corresponde a una fase relativamente estabilizada, donde se asemeja a K_s , esta es determinada mediante la siguiente ecuación.

$$VIB = K * T^n$$

Donde:

VIB= Velocidad de infiltración básica (mm/h).

K y n: Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

Posteriormente se calculó el tiempo básico encontrado en horas, el mismo que se transformó a minutos en la ecuación anterior, finalmente se encontró la velocidad de infiltración básica.

El tiempo básico se calcula en función de la siguiente igualdad:

$$\frac{d V_{Inst}}{dt} = -0.1 V_{Inst}$$

Finalmente resolviendo se obtiene:

$$Tb = 10(1 - n) \text{ en horas}$$

5.4.4. Metodología para el segundo objetivo

“Evaluar el funcionamiento de la infraestructura actual del sistema de riego Totorá”.

La evaluación del funcionamiento de la infraestructura se llevó a cabo mediante un diagnóstico de campo, el cual consistió en el siguiente procedimiento:

5.4.4.1. Evaluación de la red de conducción

Se realizó un recorrido de las líneas de conducción desde el punto de captación principal del sistema hasta las fuentes de almacenamiento (reservorios), esto permitió visualizar el estado de la infraestructura como tuberías, válvulas de control de caudal (cortadoras de mariposa) y conocer si existe algún tipo de fugas y averías (Anexo 5).

5.4.4.2. Evaluación de reservorios

Se realizó una inspección visual de los reservorios que componen el sistema de riego, para ello se revisó las válvulas de entrega, las paredes y el piso para verificar fisuras (Anexo 1), esta información permitió determinar si garantizan condiciones óptimas para el almacenamiento del agua.

5.4.4.3. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego Totorá

Para determinar la eficiencia del sistema de riego se realizó aforos en la conducción, distribución y finalmente en la aplicación a parcela, para lo cual se empleó el método de aforo volumétrico (Anexo 6).

De acuerdo a la metodología propuesta por Burbano (2019) la eficiencia del sistema de riego se la determina con la siguiente relación matemática:

$$Ef_r = Ef_c * Ef_d * Ef_a$$

Donde:

Ef_r = eficiencia del sistema de riego (%)

Ef_c = eficiencia de conducción (%)

Ef_d = eficiencia de distribución (%)

Ef_a = eficiencia de aplicación (%)

5.4.4.4. Eficiencia de la conducción

Para determinar la eficiencia de conducción del sistema de riego Burbano (2019) plantea, realizar aforos, los cuales consisten en realizar tres repeticiones al inicio y al final de la conducción, utilizando la siguiente expresión matemática:

$$Ef_c = \frac{Q_f}{Q_i} * 100$$

Donde:

Efc: eficiencia de conducción (%)

Qf: Caudal final (m³/s)

Qi: Caudal inicial (m³/s)

5.4.4.5. Eficiencia de la distribución

Según Burbano (2019) la eficiencia de distribución se la determina mediante la aplicación de la siguiente expresión matemática:

$$EDi = \frac{Qfd + \sum Qi}{Qed} * 100$$

Donde:

EDi = eficiencia de distribución en el conducto (%)

Qfd = caudal que llega al final del conducto de distribución (l/s)

Qi = Sumatoria de caudales que ingresan a los conductos laterales de riego (l/s). Si están cerrados el valor es cero

Qed = caudal que entra al inicio del conducto de distribución (l/s).

Finalmente, al existir varios canales de distribución en un sistema de riego, la ED se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{\sum EDi}{n}$$

Donde:

ED = eficiencia de distribución (%)

EDi = sumatoria de las eficiencias de distribución en los conductos de 1, 2, 3, n orden

n = número total de conductos de distribución.

5.4.4.6. Eficiencia de aplicación

De acuerdo con la metodología propuesta por Fernández et al., (2010) para estimar la eficiencia de aplicación en riego superficial, se utilizan dos relaciones: la relación de escorrentía y la relación de filtración, utilizando una expresión muy sencilla:

Eficiencia de aplicación (%) = 100 - relación de escorrentía (%) - relación de filtración (%)

Para lo cual:

La relación de escorrentía se calcula como la relación entre el volumen de escorrentía y el volumen aplicado en el riego, y es necesaria para estimar posteriormente la eficiencia de aplicación.

Relación de escorrentía (%) = Volumen de escorrentía/Volumen aplicado

Las pérdidas por filtración profunda o percolación con respecto a la cantidad de agua aplicada se reflejan en la relación de filtración.

Relación de filtración (%) = Volumen de filtración profunda/Volumen aplicado

5.4.5. Metodología para el tercer objetivo

“Formular una propuesta de operación y mantenimiento que permita incrementar la eficiencia del sistema de riego Totorá”.

5.4.5.1. Análisis de evaluación y propuesta para el mantenimiento y operación del sistema

Con la información de las características físicas e hidrofísicas de los suelos del área bajo riego y la evaluación de la infraestructura actual del sistema de riego, se identificó las causas y problemas de la baja eficiencia.

Para ello, la elaboración de la propuesta de mantenimiento y operación se basó en los siguientes criterios:

- Evaluación de la infraestructura actual del sistema de riego tanto en la captación, conducción, distribución y fuentes de almacenamiento (reservorios), es decir, como se realiza el mantenimiento y operación del sistema por parte de los usuarios.
- Evaluar la eficiencia de aplicación.
- Evaluar la aplicación de caudales, mediante el diseño y cálculo de surcos empleando caudales máximos no erosivos acorde al tipo y la pendiente del suelo.
- Aplicación de nuevas metodologías y tecnologías que reduzcan la erosión, pérdidas por percolación y escorrentía superficial.

En este sentido se formularon alternativas para mejorar la eficiencia e aplicación y se formuló un manual para que se efectuó un correcto mantenimiento y operación del sistema de riego Totorá.

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo

Determinar las características físicas e hidrofísicas del suelo del área bajo riego del sector Totorá

6.1.1. Descripción general de perfiles de las áreas de estudio

6.1.1.1. Descripción general del perfil sector 1 (A.Q)

En la Tabla 7 y 8 se muestra la descripción general del perfil del suelo del Sector 1, donde se visualiza que es un suelo profundo (100 cm) compuesto por tres horizontes bien diferenciados con una textura arcillosa (Ac) que predomina en todo el perfil, una coloración oscura, siendo un suelo muy plástico y muy adhesivo.

Este tipo de suelo presenta grandes ventajas como: ideal para el regadío puesto que por ser un suelo profundo con grandes porcentajes de arcilla retiene mayor cantidad de humedad, presenta altos niveles de fertilidad y favorecen el desarrollo de los cultivos. Por otro lado, se debe ser cuidadoso en el manejo de agua ya que se puede producir saturación y se dificulta el drenaje y las acciones de laboreo.

Tabla 7.

Descripción general del perfil del suelo del sector 1

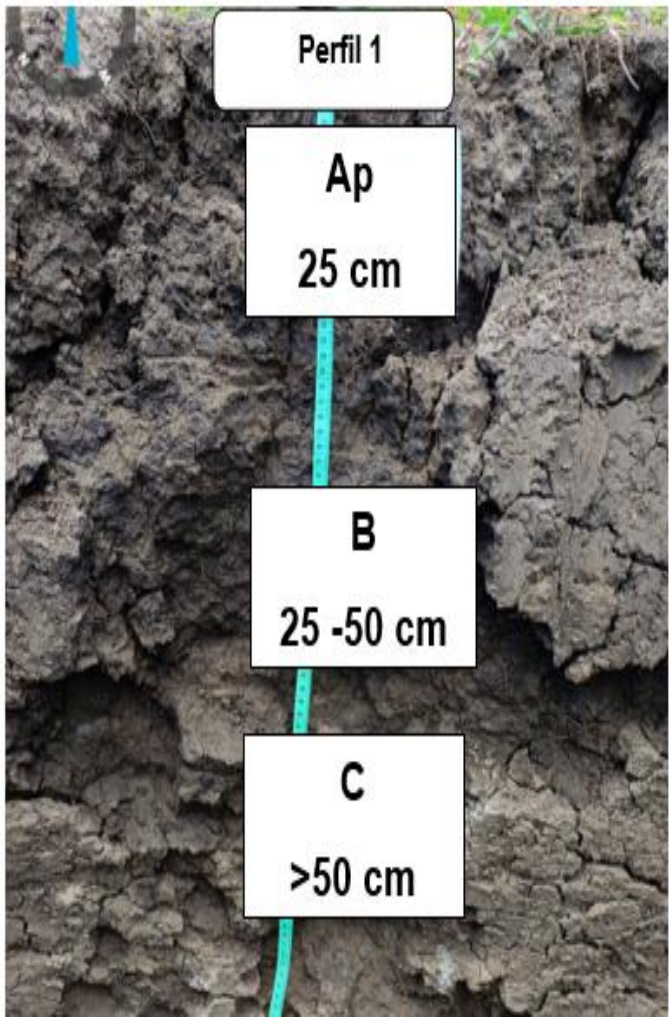
Altitud:	1822,4 m.s.n.m	
Coordenadas:	676 089 E 9 543 122 N	
Pendiente:	%	
Paisaje:	Pie de monte	
Tipo de relieve:	Ondulado	
Forma del terreno:	Pendiente baja	
Condiciones de humedad:	Húmedo	
Pedregosidad superficial:	2 %	
Tamaño:	N/A	
Afloramientos rocosos:	No	
Tipo:	N/A	
Uso actual o cobertura vegetal	Sin uso (barbecho)	
Material parental	Roca sedimentaria	
Presencia de sales o álcalis:	Libre	Drenaje: Malo

Tabla 8.

Descripción de los horizontes y capas del suelo del sector 1 (A.Q)

Horizontes y espesor (cm)	Color	Textura	Estructura y consistencia	Poros	Raíces	Limite
Ap 0-25	5 y 4/1 en seco 5 y 2,5/1 en húmedo	Arcillosa	Bloques gruesos de grado fuerte Muy plástico y muy adherente, muy duro y firme en seco	Comunes y muy finos	Finas y medias, abundantes	Lineal difuso
B 25-50	2,5 y 4/1 en seco 2,5 y 3/1 en húmedo	Arcillosa	Bloques gruesos de grado fuerte Muy plástico y muy adherente, muy duro y firme en seco	Comunes y muy finos	Comunes y muy finas	Lineal difuso
C 50-100	2,5 y 5/2 en seco 2,5 y 4/1 en húmedo	Arcillosa	Bloques gruesos de grado fuerte Muy plástico y muy adherente, muy duro y firme en seco	Escasos y muy finos	Escasas y muy finas	Lineal difuso

6.1.1.2. Descripción general del perfil del sector 2 (W.M)

En la Tabla 9 y 10 se describen las características generales del perfil del suelo del sector 2, mostrando que es un suelo superficial joven con dos horizontes, con una textura Franco arcillosa (Fo Ac), con una plasticidad ligera y muy adhesiva.

Las características de este perfil presentan ventajas como el fácil laboreo, buena retención de humedad y altos niveles de fertilidad, es importante mencionar que, al ser un suelo friable, es propenso a la erosión hídrica, por lo cual se deben emplear caudales no erosivos, facilitando el tiempo de infiltración del agua en el suelo.

Tabla 9.

Descripción general del perfil del suelo del sector 2

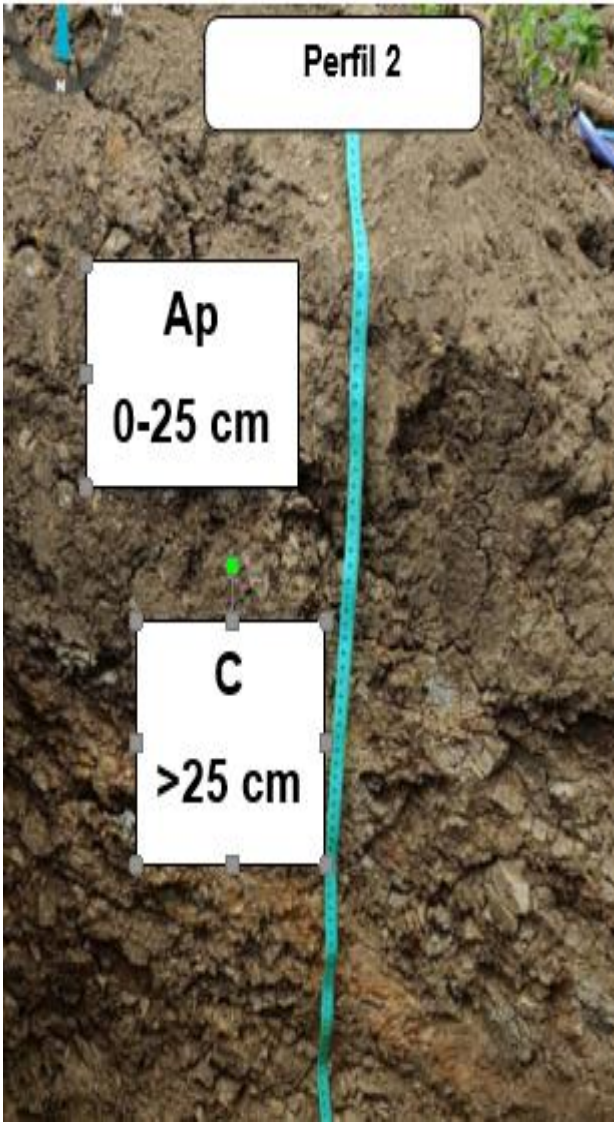
Altitud:	1822,9 m.s.n.m			
Coordenadas:	676 099 O 9 543 011 S			
Pendiente:	%			
Paisaje:	Pie de monte			
Tipo de relieve:	Ondulado			
Forma del terreno:	Pendiente media			
Condiciones de humedad:	Húmedo			
Pedregosidad superficial:	2 %			
Tamaño:	N/A			
Afloramientos rocosos:	No			
Tipo:	N/A			
Uso actual o cobertura vegetal:	Cultivo de yuca			
Material parental:	Roca sedimentaria			
Presencia de sales o álcalis:	Libre		Drenaje:	Bueno

Tabla 10.*Descripción de los horizontes y capas del suelo del sector 2*

Horizontes y espesor (cm)	Color	Textura	Estructura y consistencia	Poros	Raíces	Limite
Ap 0-25	2,5 y 5/3 en seco 2,5 y 4/2 en húmedo	Franco arcilloso	Bloques gruesos de grado moderado Ligeramente plástico y muy adhesivo Suave y muy friable	Comunes y finos	Escasas y muy finas	Ondulado gradual
C >25		Sin textura	Laminar media de grado débil	Abundantes y medios	Escasas y muy finas	Ondulado gradual

6.1.2. Caracterización física del suelo

En la Tabla 11 se presentan las características físicas del suelo correspondientes al sector 1 y 2. La clase textural del sector 1 es franco arcilloso (arena 44 %, limo 26 % y arcilla 30 %); y, para el sector 2 franco (Fo) (arena 48 %, limo 30 % y arcilla 22 %). La densidad aparente corresponde a suelos pobres, compactados que tienen poca porosidad y bajos contenidos de materia orgánica. La porosidad total de los suelos considerada como baja y regular, profundidad efectiva baja por lo que las raíces se ven limitadas, principalmente por la compactación de los suelos y por otra parte al suelo superficial.

Tabla 11.*Propiedades físicas de los suelos de las áreas de estudio bajo riego*

Característica física	Sector 1 (A.Q)	Sector 2 (W.M)
Textura	Franco arcilloso	Franco
Densidad aparente (g/cm ³)	1,63	1,46
Densidad real (g/cm ³)	2,65	2,45
Porosidad (%)	43	47
Profundidad efectiva (cm)	0,50	0,25

6.1.3. Características hidrofísicas del suelo relacionados con el riego

Las proporciones adecuadas de agua son uno de los factores que dan el acondicionamiento adecuado para un correcto desarrollo de las plantas. En la Tabla 12 se

presentan los resultados de los contenidos de humedad para cada una de las áreas de estudio.

Tabla 12.

Constantes hidrofísicas de los suelos de las áreas de estudio bajo riego

Características hidrofísicas	Sector 1 (A.Q)	Sector 2 (W.M)	Unidad
Saturación	43	47	%
Capacidad de campo	28.,36	30,40	%
Punto de marchitez permanente	15,41	16,52	%

6.1.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Evaluar las condiciones físicas del suelo es importante ya que permite conocer los porcentajes de agua y aire que se encuentran presentes en los suelos. En la Tabla 13 se visualiza que el sector 1 tiene una evaluación física correspondiente a pobre debido a un bajo porcentaje de agua aprovechable y un elevado volumen de poros físicamente inertes; por otro lado, el sector 2 posee una evaluación de suelo que corresponde a medio, esto debido a una mejor retención de agua y mejor capacidad de aireación.

Tabla 13.

Condiciones hidrofísicas de los suelos del área de estudio

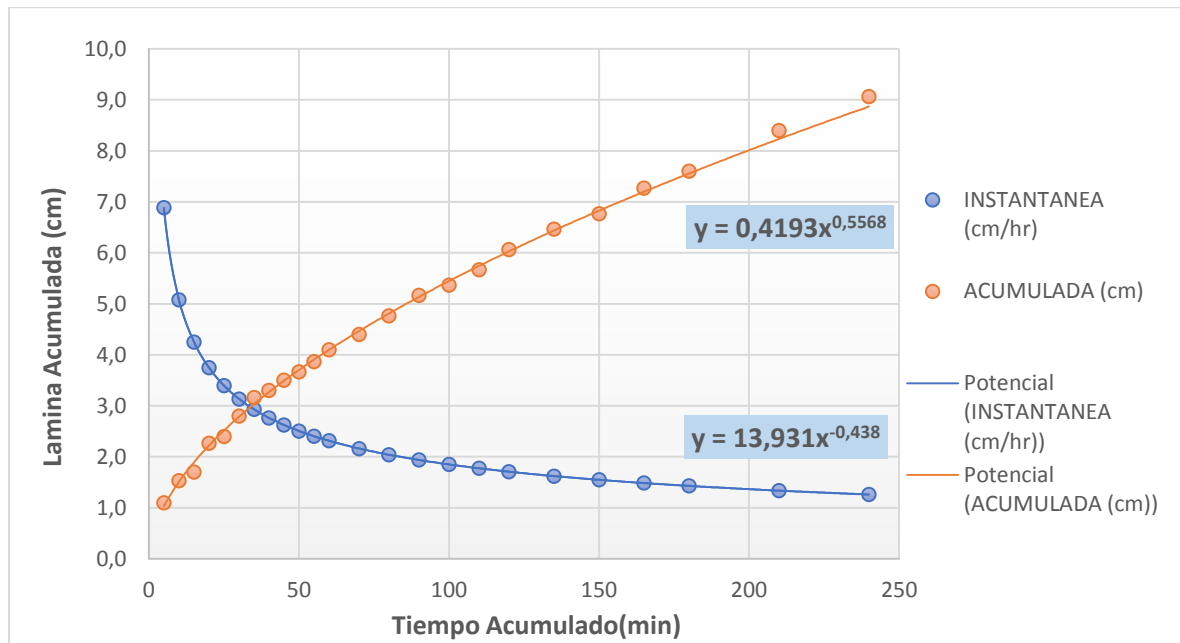
Sitio	AA %	CA %	VPFI %	ZONA	CLASE
Sector 1 (A.Q)	12,95	14,64	72,41	II	Pobre
Sector 2 (W.M)	13,88	16,60	69,52	III	Medio

6.1.5. Velocidad de infiltración

A continuación, en la Figura 3 se presenta la curva promedio de infiltración acumulada e instantánea del sector 1 (A.Q), la cual corresponde a un valor promedio de velocidad de infiltración básica de 1,16 cm/h, que pertenece a la categoría moderadamente lenta.

Figura 3.

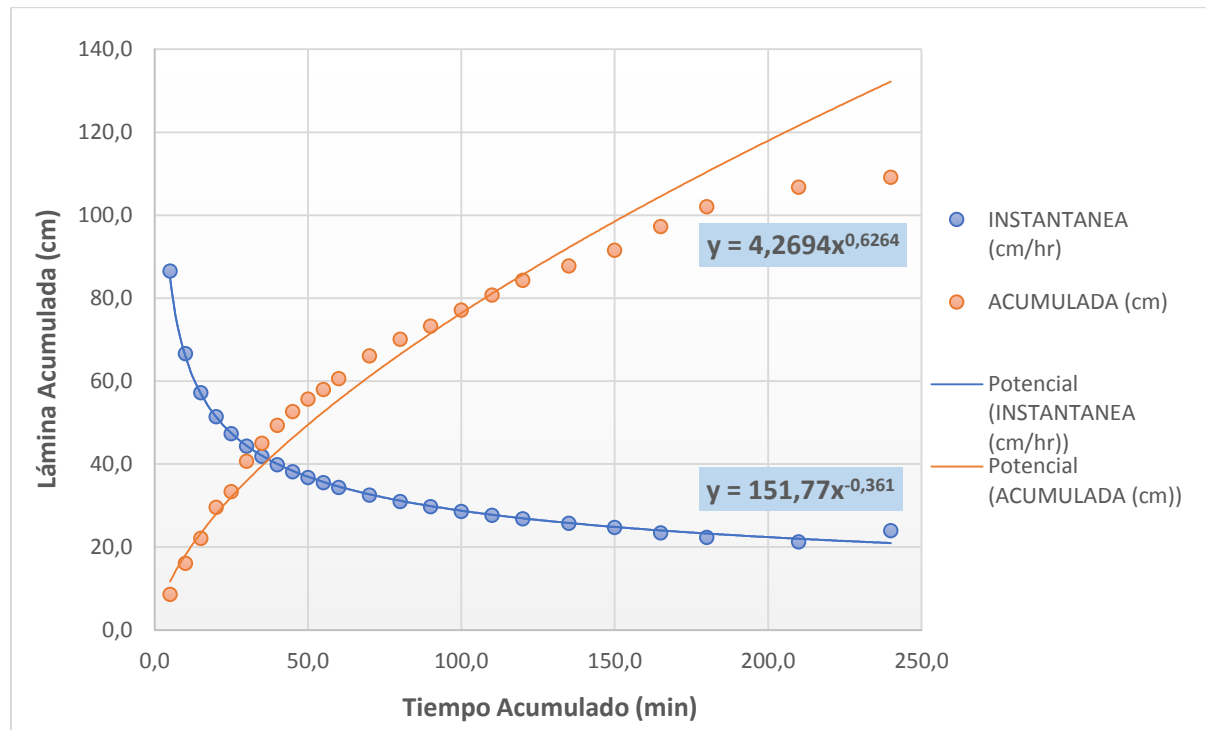
Curva promedio de infiltración del agua en el suelo del sector 1 (A.Q)



Por otro lado, en la Figura 4 se presenta la curva promedio de infiltración acumulada e instantánea del sector 2 (W.M), cuyo valor promedio de la velocidad de infiltración básica es de 22,02 cm/h, perteneciendo a la categoría rápida, respectivamente.

Figura 4.

Curva promedio de infiltración del agua en el suelo del sector 2 (W.M)



6.2. Resultados para el segundo objetivo

Evaluar el funcionamiento de la infraestructura actual del sistema de riego Totora

6.2.1. Evaluación de la red de conducción

En el Anexo 15 se muestra el plano de la infraestructura del sistema de riego Totora, el mismo que se irá describiendo la evaluación a continuación:

6.2.1.1. Red hidráulica principal

La red principal de PVC tiene un diámetro nominal que varía según el tramo: 63 mm en los primeros 200 m y 50 mm en el resto de la conducción. A lo largo de la red hay cuatro válvulas de control de caudal (cortadora tipo bola) que regulan el suministro de agua a los ocho reservorios. Sin embargo, las dos primeras válvulas están deterioradas, especialmente la primera que abre el paso del agua al sistema de riego. Además, los primeros 200 m de la tubería están expuestos al aire libre y sufren daños por el tránsito de personas y animales y por las condiciones climáticas, como se observa en la Figura 5. La evaluación general indica que la conducción principal está en mal estado en gran parte de su longitud, debido al deficiente mantenimiento y al desgaste natural (20 años de servicio sin intervención de mejoramiento).

Figura 5.

Tubería de 63 mm con presencia de averías



6.2.1.2. Red hidráulica secundaria

La red secundaria está formada por tubos de PVC de 50 mm de diámetro nominal, que se conectan a la red principal y distribuyen el agua a los reservorios. El sistema de riego dispone de 8 reservorios con una válvula cada uno para regular el caudal de agua. De estas válvulas, solo dos funcionan correctamente, mientras que las otras seis están dañadas y no cumplen su cometido (Figura 6). Las causas principales del deterioro son el descuido en el mantenimiento, las condiciones climáticas y el fin de la vida útil de las válvulas.

Figura 6.

Válvulas tipo mariposa en mal estado











6.2.2. Evaluación de reservorios

El sistema de riego dispone de ocho reservorios que reciben agua de la tubería principal y secundaria respectivamente. Las dimensiones de estos son: 5 metros de longitud, 3 metros de ancho y 1,5 metros de altura, con una capacidad de almacenamiento de 22,5 m³. Sin embargo, solo tres de ellos están en buen estado y cumplen la función de almacenar y distribuir el agua a las parcelas. Los otros cinco reservorios presentan grietas, deterioros y carecen de condiciones óptimas para conservar el agua, tal como se indica en la Tabla 14.

Tabla 14.

Evaluación y estado de los reservorios de la red de conducción principal

N° de reservorio	Estado	Material de construcción	Fotografía
1	Destruído	Concreto simple, paredes de ladrillo y mortero	
2	Buen estado	Concreto armado. Con columnas de acero de refuerzo	
3	Buen estado	Concreto armado. Con columnas de acero de refuerzo	
4	Buen estado	Concreto armado. Con columnas de acero de refuerzo	
5	Destruído	Concreto simple, paredes de ladrillo y mortero	
6	Destruído	Concreto simple, paredes de ladrillo y mortero	
7	Destruído	Concreto simple, paredes de ladrillo y mortero	
8	Destruído	Concreto simple, paredes de ladrillo y mortero	

6.2.3. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego Totorá

6.2.3.1. Eficiencia de conducción

La eficiencia de conducción mide el porcentaje de caudal que se conserva al final de la línea principal de conducción, en comparación con el caudal que entra al inicio de la misma (Tabla 15). En este caso, se obtuvo una eficiencia de 83,9 %, lo que indica un nivel de conducción alto. El 16,1 % restante se pierde principalmente por las averías que presenta la línea.

Tabla 15.

Eficiencia de conducción del sistema de riego

Caudal de ingreso (l/s)	Caudal de salida (l/s)	Eficiencia (%)
3,1	2,6	83,9

6.2.3.2. Eficiencia de distribución

Para cada uno de los reservorios que componen el sistema de riego, se calculó la eficiencia de distribución. La Tabla 16 muestra los resultados obtenidos, donde el reservorio número 2 presenta la menor eficiencia, debido a que se encuentra en la parte alta del sistema, perdiendo presión y por ende eficiencia; por otro lado, el reservorio número 3 presenta la mayor eficiencia del sistema, debiéndose a un correcto mantenimiento y a su ubicación (cerca a la red de conducción principal). La eficiencia de distribución promedio fue de 82,6 %, lo que significa que el 17,4 % del caudal se perdió por las averías de la conducción secundaria y por el mal estado de las válvulas tipo bola instaladas a la entrada de cada reservorio.

Tabla 16.

Eficiencias de distribución para entrega de agua a reservorios

N° de reservorio	Eficiencia de distribución (%)
1	71,4
2	55,9
3	96,4
4	81
5	88,9
6	94,4
7	88,9
8	83,9
Promedio =	82,6

6.2.3.3. Eficiencia de aplicación

El sector 1 y 2 presentaron una baja eficiencia de aplicación en la evaluación realizada, debido a diferentes factores que afectan el riego por surcos. En el sector 1, se observó que los surcos no tenían una adecuada pendiente para permitir el correcto flujo del agua suministrada, lo que provocó pérdidas por percolación e incrementó el tiempo de riego. En el sector 2, se detectó que los caudales aplicados eran demasiado altos para la pendiente de los surcos, de 5 %, lo que generó pérdidas por escorrentía y erosión del suelo (Figura 7). Estas situaciones se deben a que los agricultores no realizan ningún tipo de diseño ni cálculo técnico para optimizar el riego, lo que ocasiona además el lavado de nutrientes, la erosión y el deterioro de la calidad del suelo.

Figura 7.

Evaluación de la eficiencia de aplicación del sector 1 y 2



La Tabla 17 presenta las eficiencias de aplicación actuales para los sectores 1 y 2. El promedio de estas eficiencias es de 12,78 %, lo que significa que solo este porcentaje de agua que se suministra a los surcos es aprovechado por las plantas.

Tabla 17.*Estimación de la eficiencia de aplicación*

Parámetros	Sector 1 (A.Q)	Sector 2 (W.M)
Pérdidas por escorrentía (%)	28,4	65,5
Pérdidas por percolación (%)	58,0	22,5
Eficiencia de aplicación actual (%)	13,53	12,02
Eficiencia de aplicación promedio (%)	12,78	

6.2.3.4. Cálculo de la eficiencia del sistema de riego Totorá

El sistema de riego actual tiene una eficiencia muy baja, solo de 8,86 %. Esta cifra se obtiene al multiplicar la eficiencia de conducción, que mide cómo se transporta el agua desde la fuente de captación hasta el campo, la eficiencia de distribución, que indica cómo se reparte el agua entre las parcelas, y la eficiencia de aplicación, que evalúa cómo se aprovecha el agua por las plantas (Tabla 18).

Tabla 18.*Resumen de las eficiencias actuales del sistema de riego Totorá*

Descripción	Eficiencia (%)
Eficiencia de conducción	83,9
Eficiencia de distribución	82,6
Eficiencia de aplicación	12,78
Eficiencia de riego $Ef_r = Ef_c * Ef_d * Ef_a$	8,86

6.2.3.5. Curvas de avance y receso

En las Figuras 9 y 10 se visualizan las curvas de avance y receso con la aplicación de un diseño y cálculo técnico. Estas curvas describen una mejor uniformidad en la distribución de riego. Además, se observa un menor tiempo de riego para surcos de 20 metros de longitud, lo que disminuye las pérdidas por filtración y arrastre de agua y suelo. Por lo tanto, se garantiza un uso más eficiente de estos recursos, ya que mediante la aplicación de caudales idóneos se reduce el desperdicio, erosión del suelo, pérdida de nutrientes y escorrentía.

Figura 8.

Curva de avance y receso del sector 1 (A.Q)

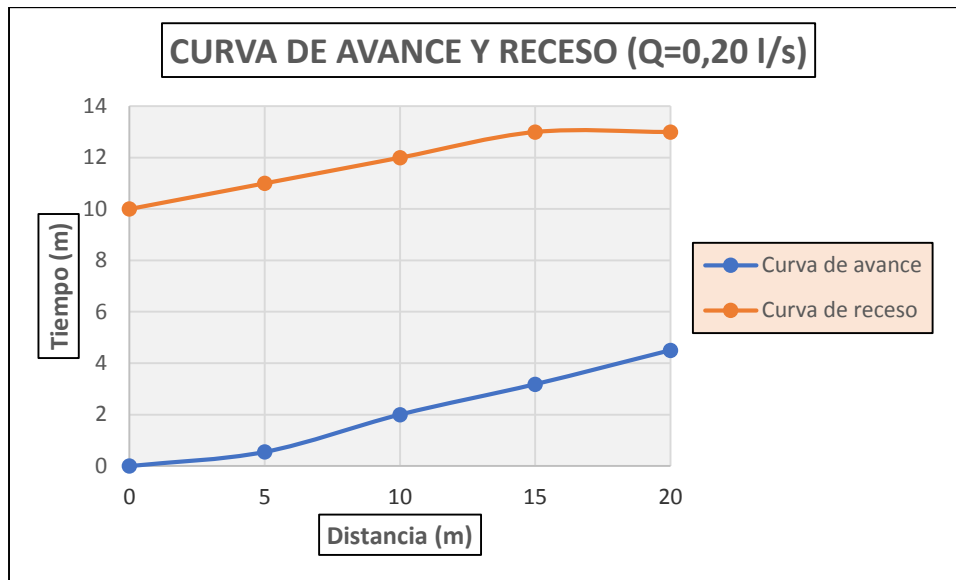
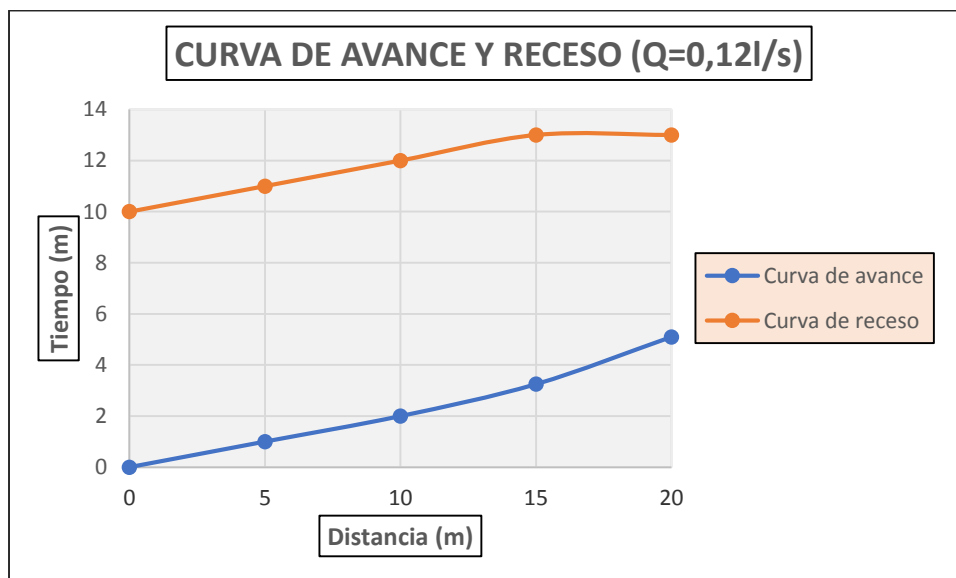


Figura 9.

Curva de avance y receso del sector 2 (W.M)



La estimación para las eficiencias de aplicación mejoradas se muestra en la Tabla 19. Estas se estimaron mediante un diseño y cálculo técnico que tomó en cuenta la pendiente de los surcos y usó la ecuación del caudal máximo no erosivo. Los resultados obtenidos fueron positivos, ya que se logró incrementar la eficiencia de aplicación en un 47,49 % con un caudal de 0,20 l/s y una pendiente de 3 % en los surcos para el sector 1, y en un 45,42 % con un caudal de 0,12 l/s y una pendiente de 5 % en los surcos para el sector 2. El promedio de eficiencia de aplicación fue de 46,46 %.

Tabla 19.*Mejoras de la eficiencia de aplicación*

Descripción	Sector 1 (A.Q)	Sector 2 (W.M)
Pérdidas por escorrentía (%)	22,6	21,6
Pérdidas por percolación (%)	29,9	33,0
Eficiencia de aplicación mejorada (%)	47,49	45,42
Eficiencia de aplicación promedio (%)	46,46	

6.2.3.6. Mejoras en la eficiencia de aplicación del riego gravitacional por surcos mediante la implementación de mangas (tuberías de polietileno con válvulas reguladoras de caudal)

La escasa aplicación de tecnología al riego superficial en el sistema de riego Totora se refleja en la falta de labores de acondicionamiento del suelo para el riego (emparejamiento de suelo), asociado a un bajo control de caudales aplicados a cada surco y la ausencia total de un diseño del riego por surcos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la eficiencia de aplicación actual (eficiencia baja), se estimó el tiempo de riego para cada sector de estudio, parámetro que está directamente relacionado con la velocidad de infiltración (VI), misma que depende de la textura, estructura y la compactación. Los caudales máximos no erosivos se calcularon previamente mediante datos de textura y pendiente del suelo, conjuntamente con las curvas de avance y receso, en función de esto se determinó los tiempos de riego (Anexo 12).

A continuación, en la Tabla 20 se presentan los resultados de la propuesta de mejoramiento para la eficiencia de aplicación mediante la incorporación de mangas o tuberías plásticas con válvulas reguladoras de caudal para su respectivo sector de estudio, el cálculo de las tuberías y accesorios se realizó por medio del diseño hidráulico el mismo que se presenta en el Anexo 13.

Tabla 20.*Mejoras en la eficiencia de aplicación mediante la incorporación de mangas*

Descripción	Sector 1 (A.Q)	Sector 2 (W.M)
Caudal máximo no erosivo (l/s)	0,20	0,12
Tiempo de infiltración (min)	94,87	25,29
Tiempo de riego (min)	118,59	31,61
Tiempo de riego intermitente (min)	24	6,32

Para optimizar e incrementar la eficiencia en el riego gravitacional por surcos se utilizará los 5/4 de T_i , es decir, el tiempo de riego calculado se lo realizará en 5 momentos,

de 23,7 minutos para el sector 1 (A.Q) y para el sector 2 (W.M) de 6,3 minutos cada tiempo tal y como se muestra en la Tabla 20.

El riego por pulsos o método de los 5/4 de T_i se dará de la siguiente manera:

- Pasado $\frac{1}{4}$ del T_i se infiltrará una cantidad de agua "x" en la cabecera, pero en la cola del surco no habrá infiltrado nada.
- Pasado el $\frac{2}{4}$ de T_i en la cabecera habrá infiltrado cerca de la mitad del agua de riego. Pero en la cola del surco solo habrá transcurrido $\frac{1}{4}$ del T_i y recién habrá ingresado una fracción del agua.
- Alcanzado el $\frac{3}{4}$ del T_i , en la cola recién se habrá infiltrado cerca de la mitad de la altura de agua.
- En $\frac{4}{4}$ del T_i el riego habrá finalizado en la cabecera, pero en la cola del surco solo habrán transcurrido $\frac{3}{4}$ del T_i .
- Es por esto que se le debe adicionar $\frac{1}{4}$ más del T_i , para que en la cola del surco se logre completar el TR y una uniformidad de mojamiento en todo el surco, logrando alcanzar la profundidad efectiva.

La propuesta de riego por pulsos mediante mangas plásticas con multicompuertas de polietileno (Figura 10) tiene como objetivo disminuir la escorrentía al pie del surco, la percolación profunda en la cabecera del mismo y así obtener mejores eficiencias de aplicación. El implemento de esta metodología tiene aceptación por parte de los agricultores ya que presenta ventajas como: fácil instalación, sencillo manejo y operación y es de bajo costo, es decir, para el sector 1 se invertirá 418,65 dólares y 679,14 dólares para el sector 2 (Anexo 14).

Figura 10.

Riego por gravedad por mangas y multicompuertas.



Fuente: (Briceño, 2015).

6.3. Resultados para el tercer objetivo

Propuesta para el mantenimiento y operación del sistema del sistema de riego Totorá

6.3.1. Antecedentes

La propuesta de Operación y Mantenimiento del sistema de riego Totorá tiene como base el análisis de las propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos de las zonas regadas y el diagnóstico de la situación actual del sistema de riego por gravedad. Este manual presenta recomendaciones y procedimientos básicos que ayudarán a optimizar la operación y mantenimiento del sistema de riego Totorá.

6.3.2. Operación

El mantenimiento del sistema de riego consiste en realizar una serie de acciones y procedimientos que permiten asegurar el correcto y eficiente funcionamiento de los elementos que lo componen, ya sean equipos, accesorios u otro componente.

Obra de captación

Para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema de riego, se deben realizar las siguientes acciones de mantenimiento:

- Eliminar los sedimentos y la maleza que puedan obstruir la tubería y el filtro de alimentación, de modo que se asegure el caudal previsto hacia la red de conducción principal.
- Retirar los sedimentos y la maleza que reduzcan la capacidad de los canales y acequias que alimentan la captación (laguna), para aumentar el volumen de agua disponible.
- Medir los caudales en los puntos clave del sistema, para verificar su eficiencia y detectar posibles fugas o anomalías.

Red hidráulica

- Inspeccionar periódicamente el estado de la tubería y detectar posibles averías, robos de agua o filtraciones.
- Comprobar si hay asentamientos de la tubería que puedan afectar a su estabilidad o integridad.
- Eliminar la vegetación que crezca dentro o cerca de la línea de conducción y que pueda obstaculizar el paso del agua o dañar la tubería.

Válvulas de bola para controlar el caudal

- Abrir y cerrar las válvulas con cuidado y lentitud, evitando golpes de ariete que puedan dañar las tuberías o los tanques, hasta cuando el estado turbulento del caudal pase a régimen laminar y llegue a la presión deseada de trabajo.
- Ajustar el caudal de entrada al reservorio según lo establecido en el plan de operación, respetando los niveles mínimos y máximos de almacenamiento.
- No aplicar fuerza excesiva sobre las válvulas, ya que podrían romperse o atascarse. Si alguna válvula presenta dificultades para abrirse o cerrarse, se debe proceder a desmontarla y revisar su estado, limpiando o reemplazando las piezas defectuosas si fuera necesario.
- Construir cajas de protección contra la intemperie para cada una de las válvulas reguladoras de caudal, tanto para la conducción principal como para la red distributiva.

Obras de almacenamiento (reservorios)

- Antes de poner en operación el sistema, se debe verificar que la tubería de entrada no tenga obstrucciones de material (sedimentos), basura, u otros elementos que puedan afectar el funcionamiento del reservorio. Una vez realizada esta verificación, se puede proceder a abrir la válvula para permitir el paso del agua. Es importante recordar que la apertura y cierre de las válvulas

mariposa se debe hacer de forma lenta y gradual para evitar generar sobre presión y golpe de ariete que puedan causar daños a la tubería.

6.3.2.1. Mantenimiento

El mantenimiento y la restauración de las instalaciones del sistema de riego son actividades que se combinan para garantizar su conservación y prolongar su vida útil.

Obra de captación

El mantenimiento de la captación y la laguna requiere las siguientes acciones:

- Limpiar el filtro para que el caudal previsto llegue al sistema; despejar la tubería de desagüe de sedimentos y maleza para evacuar el exceso de agua en invierno.
- Desbrozar el contorno de la captación, laguna y las acequias, así como el muro de captación, las tuberías y el filtro.

Red hidráulica

- Las tuberías de PVC deben estar enterradas para evitar daños por animales o agentes atmosféricos. Si están descubiertas, hay que pintarlas de blanco.
- Reparar las fugas o averías que se presenten, revisar la red mensualmente para identificar cortaduras o conexiones defectuosas y desbrozar la maleza para tener mayor visibilidad del sistema de riego.
- Antes de poner a funcionar el sistema realizar la purga la red principal y cada dos veces al año realizar esta actividad para expulsar las impurezas.

Válvulas de bola para controlar el caudal

- La apertura y cierre se lo debe hacer siempre despacio, evitar cierres bruscos para no ocasionar golpes de ariete aguas arriba de la válvula, mantener libre de objetos y basura que puedan obstaculizar su manipulación, mantener libre de humedad para no producir oxidación de las partes metálicas.
- Manipular o ajustar las válvulas a lo convenido para el ingreso de caudal al reservorio.

Obras de almacenamiento (reservorios)

- Vaciar completamente el agua y limpiar los sedimentos y basuras que ingresan al reservorio, utilizando pala o la herramienta que mejor se facilite.
- Pintar (pintura esmalte blanca) y limpiar vegetación de las válvulas de regulación de caudal principalmente en época invernal para facilitar su visibilidad y resguardo.

- Acondicionar protección biofísica en los alrededores de reservorios, mediante cerca con púas o utilizando mallas metálicas.
- Evitar el ingreso de niños y animales al reservorio ya que podrían dañar la infraestructura o caer dentro del mismo, produciéndose su ahogamiento.
- Se prohíbe realizar actividades recreativas, diferentes al almacenamiento de agua en dicho reservorio, debe ser utilizado por personas adultas y/o capacitadas.

6.3.3. Propuesta para el mantenimiento y operación del mejoramiento en la eficiencia de aplicación del riego gravitacional por surcos mediante la incorporación de mangas (tuberías de polietileno con válvulas reguladoras de caudal)

Operación

- Diseñar el ancho entre surcos según el tipo de cultivo y suelo, generalmente deben ser entre 60 y 120 cm.
- En terrenos nivelados los surcos deben ser rectos, en terrenos con pendiente se deben trazar siguiendo las curvas de nivel para evitar o disminuir la erosión.
- Cerrar y abrir las válvulas de cuerdo a los caudales previamente calculados, dependiendo de la pendiente y tipo de suelo, es decir, caudales no erosivos.
- Realizar técnicamente el riego gravitacional controlado mediante tuberías y válvulas para garantizar la aplicación del caudal no erosivo y de esta manera reducir las pérdidas por escorrentía, percolación profunda y erosión del suelo (Anexo 19 y 20)

Mantenimiento

- No dejar las tuberías con sus cortadoras expuestas al sol sin necesidad alguna.
- Limpiar las entradas de las tuberías para impedir la entrada de partículas de suelo.
- Vaciar completamente las tuberías antes de moverlas o retirarlas.
- Cuidar de que no sean pisoteadas las tuberías ya sea por personas o animales.
- Guardar las tuberías cuando el periodo de riego del cultivo haya finalizado.

7. Discusión

7.1. Discusiones para resultados del primer objetivo

Descripción de perfiles de las áreas de estudio

Perfil sector 1 (A.Q)

El perfil corresponde a un suelo profundo (100 cm), compuesto por tres horizontes bien diferenciados, el primer depósito se encuentra conformado por dos horizontes, un Ap, partiendo de 0 cm hasta los 25 cm aproximadamente, con una textura arcillosa (Ac) y una coloración oscura; el segundo horizonte se extiende desde los 25 cm hasta los 50 cm con similar textura. Dentro del primer depósito el suelo es muy plástico y muy adhesivo, presenta gravas finas y medias en un 5 %. La pedregosidad superficial y subsuperficial es menor al 15 %, posee una estructura de bloques gruesa, de grado fuerte con una resistencia muy dura en seco y firme en húmedo, las raíces son finas y medias, abundantes, al respecto, Valarezo et al., (2020) mencionan, suelos con este tipo de características presentan problemas como: mal drenaje y dificultad para emplear prácticas de labranza cuando está mojado o muy seco. Por su parte, Polo & Hernández (2016) manifiestan que estos suelos presentan coloración oscura, textura fina (arcillosa) y presentan grietas en la superficie, además, se caracterizan por mostrar porcentajes de arcilla superiores a 30%, lo cual concuerda con el presente estudio.

Perfil del Sector 2 (W.M)

Suelo superficial joven en el que se diferencian dos horizontes, el primer horizonte Ap que inicia en los 0 cm hasta los 25 cm y el segundo horizonte C que parte desde los 25 cm hasta los 75 cm aproximadamente. En la descripción del primer horizonte se puede identificar que es un suelo Franco arcilloso (Fo Ac), con una plasticidad ligera y muy adhesiva, con presencia de grava media (5-20 mm) en un 20 %, presenta una pedregosidad superficial ligera (<5%) y pedregosidad subsuperficial menor al 5%. Así mismo, presentan estructuras de bloques, gruesa (20-50 mm) de grado moderado, con una resistencia en seco suave y friable en húmedo, raíces son muy finas y escasas, presenta poros finos y comunes, no hay reacción al ácido clorhídrico (sin presencia de carbonatos de calcio), no presenta concentraciones ni moteados siendo un indicador de ser un suelo con buen drenaje. Estos resultados coinciden con lo manifestado por Valarezo et al., (2020) al exponer, suelos de estas características tienen buena capacidad de retención y filtración de agua, dando condiciones favorables para el desarrollo de las plantas.

7.1.1. Propiedades físicas del suelo

Textura

Los suelos del sector 1 y 2 tienen una textura franco arcilloso y franco, respectivamente. Según Alvarez (2015) estas texturas son adecuadas para fines agrícolas, retienen bien la humedad, tienen altos niveles de nutrientes y facilitan el laboreo. Por su parte, Moreno et al., (2015) afirman que estos suelos son óptimos para usar métodos de riego tecnificados, como el riego presurizado (goteo y microaspersión), ya que permiten fertilizar mediante el agua y mejorar la eficiencia de aplicación, por otro lado, para realizar riego por gravedad (surcos) se debe tecnificar empleando caudales no erosivos acorde a la pendiente de los suelos, que permita reducir la erosión, pérdidas por percolación y escorrentía, aprovechando el recurso hídrico al máximo. Al respecto, Zilio (2015) también destaca que los suelos de textura franco arcilloso y franco favorecen la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua, garantizando una buena circulación de agua y aire en el suelo.

Densidad aparente

El sector 1 y 2 presentan valores de densidad aparente (D_a) del suelo de 1,63 y 1,46 g cm^{-3} respectivamente. Estos valores indican que se trata de suelos pobres, compactados y con baja porosidad y materia orgánica. Según Zilio (2015) estos valores se deben a los altos contenidos de arcilla y a la escasa materia orgánica en profundidad, así como a la compactación por el sobrepastoreo después de los cultivos. Alvarado & Forsythe (2005) señalan, para un manejo adecuado del agua y el suelo la densidad aparente no debería superar los 1,4 g cm^{-3} , ya que esto favorece la circulación de agua y aire en el suelo. Por su parte, la USDA (2020) coincide con los resultados obtenidos en este estudio, ya que son considerados como limitantes, es decir, afectan el crecimiento de las raíces y las eficiencias de almacenamiento en la parte de riego.

Densidad real

El sector 1 (A.Q) tiene una densidad real de 2,45 g cm^{-3} , mientras que el sector 2 (W.M) tiene una densidad real de 2,65 g cm^{-3} . Estos valores se encuentran dentro del rango de la densidad real de los suelos minerales más comunes, según Zilio (2015) el rango ideal va de 2,5 a 2,7 g cm^{-3} y generalmente suele considerarse constante e igual a 2,6 g cm^{-3} .

Porosidad

Los valores de porosidad total del suelo en el sector 1 (A.Q) y el sector 2 (W.M) son de 43 y 47 % respectivamente, lo que indica una porosidad media. Estos valores son coherentes con la textura franco arcillosa y franco de los suelos, según Orozco (2016) una porosidad entre 30 y 60 % es favorable para el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, la porosidad del suelo puede disminuir por la compactación causada por el sobrepastoreo y la

labranza excesiva reduciendo los macroporos y aumenta los microporos, afectando la circulación de agua y aire en el perfil del suelo, como señalan López et al., (2016). Al respecto, Alvarez (2015) menciona que una baja porosidad dificulta el desarrollo radicular y perjudica la eficiencia del riego.

Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del suelo en los sectores 1 y 2 es de 0,50 y 0,25 m respectivamente. Según Vargas & Céspedes (2019) este último valor representa una limitación para el desarrollo de las raíces y puede afectar el crecimiento de las hojas en comparación con cultivos plantados en suelos más profundos. Además, Frolla et al., (2020) indican que los suelos arenosos y superficiales, como el del sector 2, tienen una baja capacidad de retener el agua y requieren métodos de riego más eficientes (goteo, microaspersión); en cuanto a riego superficial se debe realizar de forma técnica empleando caudales no erosivos, diseñar los surcos en relación a la pendiente y optar con nuevos métodos como el riego por pulsos, mejorando la uniformidad de riego.

7.1.2. Características hidrofísicas del suelo relacionados con el riego

Saturación

Los suelos de los sectores 1 y 2 presentaron porcentajes de saturación de 43 y 47 % respectivamente. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Valarezo et al., (2020) quienes indican que el contenido de humedad de los suelos varía desde 30 % en suelos arenosos hasta 60 % en suelos arcillosos. Asimismo, Flores & Alcalá (2010) señalan que el porcentaje de saturación representa la cantidad máxima de agua que puede contener el suelo y que está relacionada principalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Los suelos de los Sectores 1 y 2 tienen altos contenidos de arcilla, lo que explica sus elevados porcentajes de saturación.

Capacidad de campo

Los resultados de capacidad de campo en términos de volumen a una profundidad de 0 - 25 cm para el sector 1 y 2 fueron de 28,36 y 30,40 % θ_v , respectivamente. Estos porcentajes se encuentran dentro del rango de 20 a 40 % que caracteriza a los suelos francos y arcillosos según expresa Silva et al., (2015), considerando que este tipo de suelos poseen altos niveles de arcilla y tienen mayor capacidad para retener agua. Burbano et al., (1999) reportan que estos valores son ideales para las prácticas de riego, ya que permiten mayor almacenamiento de agua y mejores rendimientos en los diferentes cultivos.

Punto de marchitez permanente

Los suelos estudiados presentaron altos contenidos de arcilla y, por tanto, valores elevados de PMP: 15,41 y 16,52 % θ_v . Estos resultados coinciden con los reportados por Mariño & Rodríguez (2010) quienes afirman que el PMP de diferentes suelos varía

ampliamente, pero en general oscila entre 7 % en suelos arenosos y 24 % en suelos arcillosos. Silva et al., (2015) también señalan que el PMP está determinado por la cantidad y naturaleza de la arcilla, lo que explica que los suelos arcillosos tengan un PMP menos notable que los suelos arenosos.

Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Los resultados de la capacidad de aireación para el sector 1 y 2 fueron de 14,64 y 13,88 % θ_v respectivamente. Estos valores se deben al tipo de textura, porosidad y densidad aparente del suelo, que favorecen buenos niveles de aireación. Valarezo et al., (2020) indican que la aireación óptima en el suelo debe estar entre 10 y 15 % θ_v para un buen desarrollo de las plantas. Fernández et al. (2010) también señalan que una buena aireación facilita el movimiento de agua, nutrientes y el intercambio de aire en la zona radicular.

En cuanto al agua aprovechable, se determinó que para el sector 1 y 2 fue de 12,95 y 13,88 % θ_v respectivamente. Estos resultados se relacionan con el contenido de arcilla en el suelo, que aumenta la capacidad de retención de agua. Según Valarezo et al., (2020), los rangos ideales son de 9 a 15 % θ_v , lo que muestra que los resultados obtenidos en este estudio son adecuados para los cultivos.

El volumen de poros físicamente inerte para el sector 1 y 2 fue de 72,41 y 69,52 % θ_v respectivamente, valorados como muy altos. Esto se explica por la predominancia de poros inútiles. Kirkham (2014) afirma que cuando los niveles de porosidad son altos se debe a una predominancia de poros inútiles con diámetros menores a 0,2 micras, que no aportan ni con agua ni con aire a la planta.

Velocidad de infiltración

El sector 1 y el sector 2 presentaron valores promedios de velocidad de infiltración básica de 1,1 y 21,3 cm h⁻¹, respectivamente. Estos valores se relacionan con el tipo de textura, estructura y materia orgánica de cada suelo. Así, los suelos arcillosos y compactados, como el del sector 1, tienen una infiltración moderadamente lenta, mientras que los suelos francos con una estructura más suelta y friable, como el del sector 2, tienen una infiltración rápida. Según Delgadillo & Pérez (2016) la baja velocidad de infiltración se debe a los bajos contenidos de MO, la profundidad, la dureza y la densidad aparente de los suelos. Por otro lado, Gómez et al., (2014) afirman que los suelos con infiltración moderadamente lenta requieren menos riego para la producción de los cultivos, ya que retienen más agua en la zona radicular. En cambio, Martínez (2014) sugiere que los suelos con infiltración rápida no tienen problemas de encharcamiento o escorrentía superficial, pero necesitan un método de riego adecuado para evitar la percolación profunda.

7.2. Discusiones para resultados del segundo objetivo

7.2.1. Evaluación de la red hidráulica del sistema de riego

La red principal de PVC, con diámetros nominales de 63 y 50 mm, tiene cuatro válvulas de control de caudal (tipo bola) que abastecen a ocho reservorios. Dos de estas válvulas están en mal estado y la conducción principal presenta múltiples averías. Además, la tubería descubierta (tramos cortos) es vulnerable al tránsito de personas y animales y a los factores meteorológicos. Aguirre (2012) recomienda realizar acciones preventivas y correctivas como limpiar las válvulas, revisar las filtraciones, reparar las averías y limpiar la maleza periódicamente. Estas acciones prolongarían la vida útil del sistema de riego. Nasimba & Masabanda (2021) expresan, una correcta operación y mantenimiento del sistema de conducción evita el deterioro y las pérdidas de agua.

La conducción secundaria de PVC, con diámetro nominal de 50 mm, alimenta a los ocho reservorios del sistema de riego. Cada reservorio tiene una válvula para regular el caudal de agua, pero solo dos funcionan correctamente. Las demás están destruidas, afectadas por las condiciones climáticas y el cumplimiento de su vida útil. Cruz et al., (2011) recalcan la importancia de evaluar los componentes del sistema de riego para identificar y corregir las averías, prolongando así la vida útil del sistema. Lema (2018) enfatiza en capacitar a los regantes en temas de operación y mantenimiento para garantizar un buen funcionamiento y obtener altas eficiencias en el sistema de riego.

El análisis de los reservorios reveló que solo tres de las ocho fuentes de almacenamiento se hallan en buen estado y sirven para almacenar y distribuir agua a las parcelas. Los otros cinco presentan grietas, deterioros y carecen de condiciones óptimas para conservar el agua. Esto se debe a que algunos se construyeron con mampostería de ladrillo y sin refuerzo de acero, llegaron al final de su vida útil y no recibieron el mantenimiento adecuado. Por lo tanto, es importante realizar un mantenimiento correcto a los reservorios de agua, como señalan Melendez & Ramirez (2022) para lograr un mejor almacenamiento y un servicio más eficaz en el sistema de riego. Asimismo, Sanchez & Gordillo (2020) indican que los reservorios hechos con concreto armado y geomembrana tienen mayor impacto positivo, ya que evitan pérdidas por infiltración y ofrecen una mayor eficiencia de almacenamiento.

7.2.2. Evaluación de la eficiencia del sistema de riego

Eficiencia de conducción

Según la Tabla 14, el sistema de riego tuvo una eficiencia de conducción del 83,9 %, un valor regular debido al deficiente mantenimiento que provocó fugas de agua en la conducción. Vásquez et al., (2018) afirman que las eficiencias de conducción en tuberías

son del 90 al 95 % cuando se mantiene y se opera adecuadamente el sistema de riego. Por su parte, Flores (2019) indica que la eficiencia de conducción es alta cuando la conducción es corta y está a favor de la pendiente, lo que favorece la circulación y evita pérdidas de agua. Vila (2019) recomienda tomar medidas preventivas y correctivas como revisar las averías, identificar los hurtos y derivar caudales mínimos para mantener una velocidad aceptable y así aumentar la eficiencia.

Eficiencia de distribución

El sistema de riego presentó una eficiencia de distribución del 82,6 %, debido a las filtraciones que se produjeron en la conducción principal por las averías, las fugas en las derivaciones de la tubería de distribución y el deficiente funcionamiento de algunas válvulas reguladoras de caudal. Estos resultados coinciden con lo expresado por Flores (2019) y Burbano (2019), quienes señalan que una funcionalidad deficiente de la tubería de distribución se debe a un mantenimiento y operación inadecuados del sistema de riego, y que las pérdidas de eficiencia en tuberías son muy bajas y se originan por averías, filtraciones en la conducción y el mal estado de las válvulas de regulación de caudal.

Eficiencia de aplicación

El método de riego por surcos que se empleó en el sector 1 y 2 tuvo una eficiencia de aplicación muy baja: 13,53 y 12,02 % respectivamente, con un promedio de 12,78 %. Esto se debió a que se aplica caudales demasiado altos y no se diseñó con la pendiente adecuada para los surcos, lo que provocó pérdidas por escorrentía y percolación. Según Guerra (2009) este método podría alcanzar entre el 40 y 85 % de eficiencia con un correcto manejo de riego. Tabarquino et al., (2020) también señalan que la falta de un diseño y cálculo técnico en los sistemas de riego tradicionales reduce la eficiencia de aplicación.

Eficiencia del sistema de riego

El sistema de riego Totorá fue muy ineficiente: solo aprovechó el 8,86 % del agua y perdió el 91,14 % por escorrentía y percolación. Esto se debió a que no hubo un cálculo ni diseño técnico previo. Flores (2019) indica que la eficiencia del riego por surcos debería estar entre el 20 y el 60 %. Según Pérez et al., (2020) para mejorar la eficiencia se necesita capacitar a los usuarios en el mantenimiento y la operación del sistema, sumados al empleo de métodos que garanticen mayor eficiencia en el riego.

Mejoras en la eficiencia de aplicación

Este estudio demuestra que se puede aumentar la eficiencia de aplicación de un sistema de riego por surcos al conocer las características físicas e hidrofísicas del suelo y manejar mejor el riego. Para ello, se evaluaron dos caudales diferentes (0,20 l/s y 0,12 l/s) en surcos de 20 metros de longitud en dos sectores con distintas pendientes. Los resultados muestran que la eficiencia de aplicación se incrementó de un 13,53 % a 47,49 % para el caudal mayor y de un 12,02 % a 45,42 % para el caudal menor, obteniendo un

promedio de 46,46 %, que está dentro del rango aceptable para el método de riego por surcos de 20 a 60 %. Estos datos coinciden con los hallazgos de Berrios (2021) y Corcoll & Malvasio (2020) quienes afirman que el conocimiento de las propiedades físicas e hidrofísicas del suelo, la adecuación de la longitud de surcos y la aplicación de caudales no erosivos son esenciales para lograr altas eficiencias de aplicación y reducir las pérdidas por escorrentía o percolación.

Las eficiencias de aplicación mejoradas se estimaron en función de la pendiente de los surcos de cada sector de estudio. Además, para reducir las pérdidas por escorrentía y percolación, se empleó la fórmula del caudal máximo no erosivo, que dio resultados positivos. Así, se incrementó la eficiencia de aplicación en un 47,49% para un caudal de 0,20 l/s y en un 45,42% para un caudal de 0,12 l/s, en el sector 1 y 2 respectivamente. De este modo, se obtuvo una eficiencia de aplicación promedio de 46,46 % y una eficiencia global del sistema de riego de 32,20 %, valor bajo pero que está dentro del rango aceptable de 20 a 60 % en riego por surcos.

8. Conclusiones

Las dos parcelas analizadas (Sector 1 y 2) presentan diferencias en las propiedades físicas e hidrofísicas de sus suelos, lo que influye en su capacidad de almacenamiento del agua. Estas diferencias determinan la aptitud de los suelos para distintos tipos de cultivos, así como la aplicación de riego por gravedad por medio de surcos, causando problemas de erosión, lavado de nutrientes, percolación y uso ineficiente del recurso hídrico.

El sistema de riego Titora presenta un funcionamiento deficiente debido al deterioro de la infraestructura y al manejo inadecuado de los regantes. Esto se refleja en una baja eficiencia de riego global, que afecta la productividad y la sostenibilidad del sistema, para lo cual, se debe realizar un mantenimiento periódico de los reservorios y las tuberías, así como capacitar a los regantes en el cálculo y diseño técnico del riego por surcos que permitirá mejorar la eficiencia de conducción, distribución y aplicación del agua, optimizando el uso del agua.

Después de realizar un cálculo y diseño técnico, se estimaron las eficiencias de aplicación mejoradas mediante la ecuación del caudal máximo no erosivo y dando la pendiente correcta en el diseño de los surcos. Como resultado, las eficiencias obtenidas fueron bajas (47,49% para el sector 1 y 45,42% para el sector 2), con un promedio general del 46.46%, que sin embargo están dentro del rango esperado en sistemas de riego por surcos.

La propuesta de operación y mantenimiento se ha realizado en base a los resultados de la evaluación del sistema actual que permitirá mejorar el uso y el aprovechamiento del recurso hídrico del sistema de riego.

9. Recomendaciones

Realizar más estudios para diseñar e instalar una red de conducción y distribución que optimice el uso del recurso hídrico y se adapte a la topografía del terreno.

Establecer una estación de bombeo que asegure el suministro de agua durante el periodo de verano, cuando la demanda es mayor.

Utilizar sistemas de riego presurizados, como goteo, microaspersión o aspersión, que aumenten la eficiencia de aplicación y reduzcan las pérdidas por evaporación o infiltración.

Capacitar a los usuarios en el manejo adecuado de los equipos y en las prácticas de operación y mantenimiento que garanticen un riego eficiente y sostenible.

10. Bibliografía

- Abréu, E. O., Brown, O., Girmachew, & Rodriguez, B. (2003). Evaluación y manejo del riego por surcos con flujo continuo en parcela experimental de la UCT; de la Universidad de Ciego de Ávila. *Ingeniería hidráulica y Ambiental*, 24(1), 28-34.
- Agostini, M. D. L. Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del suelo*, 32(2), 171-176.
- Aguirre, M. (2012). *Evaluación, mejora y ampliación del sistema de riego por aspersión Miraflores de la parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe* [BachelorThesis, QUITO, 2012.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5155>
- Alega, A. M. G. (2018). Evaluación de tres modelos en la estimación de la infiltración acumulada. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3), Article 3.
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(1), 85-94.
- Alvarez, W. (2015). Evaluación expost del sistema de riego Cabanilla—Lampa. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4589>
- Angella, G., Prieto Garra, D., Salgado, R., Salvatierra, J., Wintten, C., Anabell, L., Coronel, Sarria, C., & Ybarra, R. (2017). *La evaluación del desempeño de los sistemas de riego como una herramienta para la mejora de su gestión*.
- Arroyo, M. M. (2017). *El Riego Inteligente en la agricultura* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>
- Bautista, F., Zermeño-González, A., Álvarez-Reyna, V., Cano-Ríos, P., Rivera-González, M., & Siller-González, M. (2015). Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 131-140.

- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García-Lamohte, A. (2014). Análisis de textura del suelo con hidrómetro: Modificaciones al método de Bouyoucos. *Ciencia e investigación agraria*, 41(2), 263-271. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202014000200013>
- Berrios, J. E. (2021). *Análisis de los parámetros hidráulicos de la forma del surco en la fase de avance y receso*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9975>
- Briceño, M. A. (2015). Comparación de la eficiencia del Sistema de Riego Tradicional por Gravedad y del Riego Tecnificado por Mangas a Nivel de Campo en El Cultivo de Caña de Azúcar (*saccharum officinarum*) en las Empresas de Casa Grande S.A.A y Cartavio S.A.A. *Universidad Nacional de Trujillo*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2993611>
- Burbano, L. (2019). *Evaluación del Sistema de Riego Superficial practicado en la Comunidad la Portada, Cantón Mira Provincia del Carchi*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6399>
- Burbano, L., Puentes, & Guerrero, H. (1999). *Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión liviana*. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1105>
- Cadena, V. H. (2011). *Mejoramiento de la capacidad de organización y gestión de los usuarios del sistema de riego en el Valle del Chota*. [MasterThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1237>
- Calva, A. D. S. (2019). *Evaluación del sistema de riego por goteo en la finca Shagüindo de la parroquia San Pedro de la Bendita*. 89.
- Carhuachin, A. J. (2020). Evaluación de la eficiencia de la aplicación del agua de riego intermitente y riego por gravedad en el cultivo de palto, centro de investigación y experimentación Cañasbamba-Yungay-2018. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4467>

- Cayetano, R. (2019). *Predicción de caudales mediante redes neuronales artificiales empleando información de sensores remotos en la cuenca experimental del río Ichu*.
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3203>
- Corcoll, M., & Malvasio, M. (2020). *Efecto de diferentes láminas de riego sobre algunos de los parámetros hidráulicos del riego por Melgas*.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/31332>
- Coyago, C. C., & Valencia, E. K. (2022). *Evaluación hidráulica del sistema de riego en la comunidad molino alto*. [BachelorThesis, Quito, 2022].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22230>
- Cruz, J. de la, Ramírez, G., Sánchez, I., Lomas, C. T., & Cano, A. de J. (2011). Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el distrito 048 Ticul, Yucatán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(SPE1), 5-18.
- Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. 34.
- Duque, L. (2009). *Determinación de La Curva | PDF | Precipitación | Permeabilidad (Ciencias de la Tierra)*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/361112654/Dterminacion-de-La-Curva>
- FAO. (2012). *FAO - Noticias: Agua: clave de la seguridad alimentaria*.
<https://www.fao.org/news/story/es/item/87009/icode/?fbclid=IwAR1r0CRHeOlvyqRV%20Gi9rn6Mf1r8HdVkf4iX5YqbEQAzlvreK5VB9JNAtrJY>
- Fernández, R., Milla, M., & Ávila, R. (2010). *Manual de Riego para Agricultores en riego por superficie. Plataforma de asesoramiento y transferencia del conocimiento agrario y pesquero en Andalucía*.
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/66940250-0abd-44df-bbdb-1d82f987d615>
- Flores, C. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de riego en el sector Tasta, comunidad de Huarapite, Ayacucho—2018*.
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3535>

- Flores, H., Sifuentes, E., Flores, H., Ojeda, W., & Ramos, C. R. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(2), 241-252.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos. Física de Suelos*. <https://docplayer.es/6383660-Manual-de-procedimientos-analiticos-fisica-de-suelos.html>
- Frolla, F., Zilio, J. P., Kruger, H., Frolla, F., Zilio, J. P., & Kruger, H. (2020). Selección de bandas e índices espectrales relacionados con la profundidad efectiva de los suelos en la región Pampeana Austral de Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 46(3), 404-413.
- Girón, J. (2019). Evaluación documental de los métodos de restauración de suelos salinos, con influencia en el distrito de riego Usochicamocha, departamento de Boyacá. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1170
- Gómez, G. C., Cerrón, R. M., Capcha, T. M., & Villavicencio, C. O. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 4(2), 8.
- Gomez, N. R. (2019). Absorción de metales en la planta *Senecio collinus* en suelos disturbados y no disturbados en la zona de la Laguna Yanamate, con la finalidad de realizar una remediación ambiental. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1445>
- Guerra, A. (2009). *Manual de diseño de sistemas de riego a gravedad y por aspersión*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1003>
- Gutiérrez, M. J., & Díaz, G. N. (2016). *Evaluación del sistema de riego, por aspersión en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología INTA-CNIAB*. [Other, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://ribuni.uni.edu.ni/1749/>

- Hernández, J. (2019). *Determinación de propiedades de suelos agrícolas a partir de mediciones eléctricas realizadas en campo y laboratorio*.
<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/5080>
- Israelsen, O. W., & Hansen, V. E. (2021). *Principios y aplicaciones del riego*. Reverte.
- Jácome, L. E., & Vela, G. F. (2021). *Evaluación y mejoramiento hidráulico de la infraestructura del sistema de riego biprovincial Ambuquí*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20728>
- Japa, N. S., & Rodríguez, J. E. (2016). Evaluación del balance hídrico en la línea de distribución n° 02 del sistema de riego por aspersion en la comunidad de Astobamba—Región Pasco. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/99>
- Kirkham, M. B. (2014). *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Academic Press.
- Lema, M. M. (2018). Estructuras hidráulicas para riego: Conducción, medición, distribución y mantenimiento. *Universidad Católica de Cuenca*.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/13141>
- López, F., Duval, M., Martínez, J., & Galantini, J. (2016). Porosidad de ustoles bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del suelo*, 34(2), 137-184.
- López, M. (2016). *Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífugas para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente*. [BachelorThesis, Quito: UCE].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8068>
- Mamani, C. A. (2018). *Evaluación del riego tradicional por superficie a través del programa winsrfr en cultivos de haba (Vicia faba) y arveja (Pisum sativum) en el municipio de Palca* [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/17153>
- Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., & García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2018.11.005>

- Mariño, Y. A. M., & Rodríguez, M. A. R. (2010). El punto de marchitez permanente (PMP) en melina (*Gmelina arborea* L. Roxb) para la Costa Caribe colombiana ¿una característica para la selección de clones? *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 116-121. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num2_art:201
- Martinez, F. (2014). *Introducción al riego*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/67110>
- Melendez, R. A., & Ramirez, C. I. (2022). Evaluación de la eficiencia hidráulica del reservorio del sistema de agua potable rural de la localidad de Cajen, distrito de sucre, provincia de Celendín, Cajamarca—2022. *Universidad Científica del Perú*. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2088>
- Moreno, H., Ibañez, S., & Gisbert, J. M. (2015, junio 15). Implicaciones ambientales y agronómicas de la salinidad de las aguas superficiales y freáticas de la zona arrocera de la albufera de valencia. XXXIII Congreso nacional de riegos. Valencia 16-18 junio de 2015. <https://doi.org/10.4995/CNRiegos.2015.1507>
- Nasimba, J., & Masabanda, M. (2021). Evaluación y rediseño del sistema de agua potable entre el parque central de Cotogchoa y la cooperativa Eloy Alfaro, cantón Rumiñahui. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 2(4), 12. <https://doi.org/10.24133/rcsd.V2N4.2017.08>
- Orozco, O. L. (2016). *Diagnóstico de la densidad aparente, estabilidad de agregados, porosidad del suelo y su relación con el estado actual de degradación química en el distrito de riego RUT*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/15990>
- Ortiz, J. G., & Godoy, V. H. (2022). *Velocidad de infiltración del agua empleando tres infiltrómetros en la finca experimental a maría—Cantón Mocache*. Quevedo: UTEQ 2022. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6751>
- PDOT. (2015). *Plan de ordenamiento y desarrollo territorial de Nambacola*. 286.
- Pérez, R., Jiménez, E. R., & Silveira, J. L. (2020). Evaluación de modelos de infiltración en riego por surcos en suelos oscuros plásticos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1), 43-55.

- Polo, L. A. T., & Hernández, J. D. (2016). *Capacidad de campo y punto de marchitez permanente*.
- Poma, I. B., & Chipana, G. (2016). Estudio del comportamiento hidráulico relacionado a la uniformidad de aplicación, mediante el método de riego por aspersión en la Estación Experimental Choquenaira. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(1), 18-29.
- Pupiales, I. D. (2019). *Determinación de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal "El Pueblo" del Sistema de Riego Tumbaco*. 88.
- Quisbert, M., Aguilar, R., & Mendoza, J. (2022). *Actualización y Análisis de la Información Hidrométrica y Régimen Hidrológico de la Cuenca alta del río Pilcomayo*.
<https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/317>
- Ramos, M. P., & Báez, D. F. (2013). *Diseño y Construcción de un Sistema de Riego por Aspersión en una Parcela Demostrativa en el Cantón Cevallos*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2677>
- Rojas, C. A., & Enciso, E. (2015). *Cálculo del caudal del Río Cauca en la Estación Tres Cruces y cálculo del caudal del Río del caudal del Río Vichada en la Estación de Santa Rita, por el método de la máxima entropía*.
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2147>
- Salazar, L. F., & Veliz, D. (2019). *Caracterización y georreferenciación espacial de las propiedades físicas en los suelos eutric fluvisols de uso agropecuario en la finca experimental La María del cantón Mocache* [BachelorThesis].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3234>
- Salcedo, E., Galvis, A., Hernández, T. M., Rodríguez, R., Zamora, F., & Bugarin, R. (2007). *La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo*. 8.
- Sanchez, C., & Gordillo, D. (2020). Evaluación ex-post de sistemas de riego familiares con reservorios (atajados) en la comunidad Llallaguita, municipio de Chayanta, departamento de Potosí. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 4(1), Article 1.

- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). *Efecto de la disponibilidad de agua de riego en el intercambio gaseoso, rendimiento de semillas, biomasa y eficiencia del uso del agua en dos fenotipos de chífa establecidos en el valle de Azapa, Arica, Chile*. 86.
- Tabarquino, G. S. L., Delgado, T. E., & Arias, N. A. A. (2020). *Evaluación de la eficiencia de aplicación de un sistema de riego por superficie instalado en cultivo de palma de aceite bajo condiciones de Zona Norte*. 1.
- Valarezo, L., Valarezo, C., & Mancino, M. (2020). *Producción agropecuaria sostenible en suelos arcillosos del piso temperado andino del Sur del Ecuador—Caso Sistema de Riego*. Santiago. Universidad Nacional de Loja. <https://unl.edu.ec/investigacion/produccion-cientifica/produccion-agropecuaria-sostenible-en-suelos-arcillosos-del>
- Vargas, E. R., & Céspedes, R. (2019). Clasificación de suelos según la aptitud de riego en la estación experimental Patacamaya. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 72-80.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2018). *Fundamentos de la Ingeniería de Riego PDF - InfoAgronomo*. <https://infoagronomo.net/fundamentos-ingenieria-de-riego-pdf/>
- Vásquez, J. C. (2017). *Evaluar el caudal máximo no erosivo en el riego por surcos en la parroquia urbana San José del cantón Catamayo*. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/18825>
- Velasco, E. P. V. (2013). *Evaluación de uniformidad y eficiencia de riego en tres módulos de riego por aspersion en el cultivo del cacao, en el sector de Maranniyoc—Echarati*. 106.
- Vila, J. (2019). Estimación de la eficiencia del sistema de riego por surcos en el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*), en el fundo Tanón, Región Cajamarca. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4209>

- Villacorta, E. F. (2009). Evaluación de la eficiencia del riego por surcos a nivel parcelario en el Valle Virú. *Universidad Nacional de Trujillo*.
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9895>
- Yujra, S. M. (2014). *Levantamiento topográfico georeferenciado para proyecto de diseño final para riego (Comunidad de Batallas)* [Thesis].
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/11583>
- Zilio, J. (2015). *Aspectos de calidad de suelos representativos del sur de la provincia de Buenos Aires y efectos de la actividad agropecuaria sobre la misma*.
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2417>

11. Anexos

Anexo 1.

Fotografía del levantamiento de la infraestructura del sistema de riego.



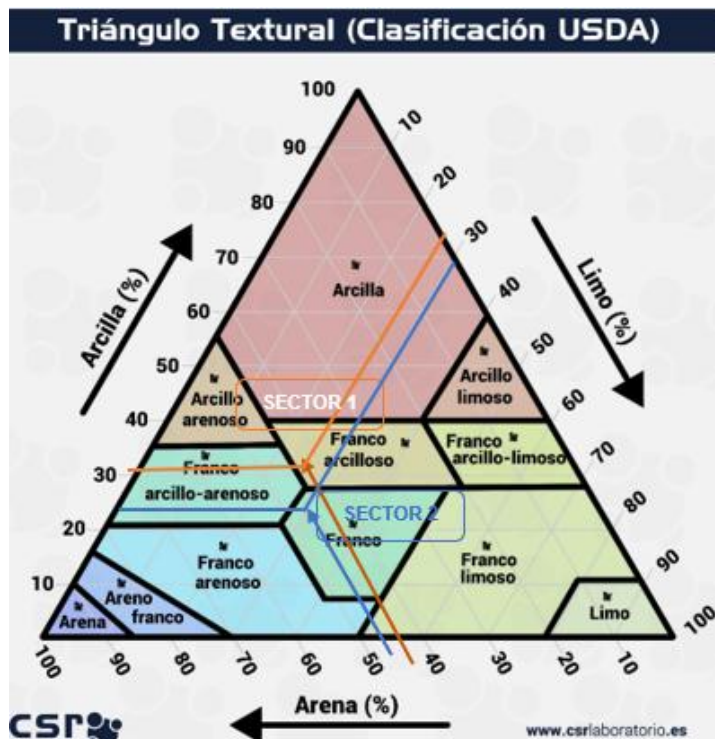
Anexo 2.

Calicata para la respectiva descripción el suelo.



Anexo 3.

Determinación de la clase textural del suelo de las zonas de estudio.



Anexo 4.

Tabla de datos de las pruebas de infiltración.

WILFRIDO MATAILO						AGENOR QUITO					
REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3		REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
TIEMPO	LÁMINA	TIEMPO	LÁMINA	TIEMPO	LÁMINA	TIEMPO	LÁMINA	TIEMPO	LÁMINA	TIEMPO	LÁMINA
6:42	0,0	7:45	0,0	6:42	0	11:35	0,0	11:55	0,0	12:05	0
6:47	12,2	7:50	5	6:47	8,6	11:40	1,7	12:00	0,5	12:10	1,1
6:47	0	7:55	9	6:47	9,5	11:45	2,5	12:05	0,6	12:15	1,5
6:52	11,0	8:00	12,0	6:52	11,5	11:50	3,0	12:10	0,9	12:20	1,2
6:57	19,0	8:05	14,5	6:57	16,8	11:55	3,5	12:15	1,0	12:25	2,3
6:57	0	8:10	16,5	6:57	0	12:00	3,7	12:20	1,1	12:30	2,4
7:02	12,5	8:10	0,0	7:02	6,3	12:05	4,3	12:25	1,3	12:35	2,8
7:07	18	8:15	3,2	7:07	10,6	12:10	4,9	12:30	1,4	12:40	3,2
7:07	0	8:20	6,3	7:07	11,3	12:15	5,1	12:35	1,5	12:45	3,3
7:12	11,5	8:25	9	7:12	13,5	12:20	5,4	12:40	1,6	12:50	3,5
7:17	17	8:30	11,2	7:17	14,1	12:25	5,6	12:45	1,7	12:55	3,7
7:17	0	8:35	13,4	7:17	0	12:30	5,9	12:50	1,8	13:00	3,9
7:22	6	8:40	15,2	7:22	6,5	12:35	6,2	12:55	2	13:05	4,1
7:27	10,5	8:40	0	7:27	10,2	12:45	6,7	13:05	2,1	13:15	4,4
7:32	14,2	8:45	1,8	7:32	13,2	12:55	7,3	13:15	2,2	13:25	4,8
7:37	17,1	8:55	7,1	7:37	15,6	13:05	7,9	13:25	2,4	13:35	5,2
7:37	0	9:05	11,2	7:37	0	13:15	8,2	13:35	2,5	13:45	5,4
7:42	3,5	9:15	14,4	7:42	8,9	13:25	8,6	13:45	2,7	13:55	5,7
7:52	9,1	9:25	18,2	7:52	13,7	13:35	9,1	13:55	3,0	14:05	6,1
8:02	13,0	9:25	0,0	8:02	15,2	13:50	9,8	14:10	3,1	14:20	6,5
8:12	16,2	9:35	4	8:12	17,5	14:05	10,2	14:25	3,3	14:35	6,8
8:12	0	9:45	8	8:12	0	14:20	11	14:40	3,5	14:50	7,3
8:22	3,9	10:00	12	8:22	7,9	14:35	11,5	14:55	3,7	15:05	7,6
8:32	7,2	10:15	15,5	8:32	11,4	15:05	12,7	15:25	4,1	15:35	8,4
8:42	10,2	10:15	0,0	8:42	13,5	15:35	13,6	15:55	4,5	16:05	9,1
8:57	13,2	10:30	5	8:57	16,2						
9:12	16,7	10:45	9,3	9:12	0						
9:12	0,0	11:15	15,5	9:12	7,8						
9:27	3,5	11:15	0	9:27	9,2						
9:42	7	11:45	6,6	9:42	11,6						
10:12	12,2			10:12	13,5						
10:42	16,4			10:42	17,2						

Anexo 5.

Evaluación de la infraestructura del sistema de riego.

**Anexo 6.**

Aforo de caudales para determinar eficiencias en el sistema de riego.



Anexo 7.

Instalación de cilindros para pruebas de infiltración.

**Anexo 8.**

Pruebas de eficiencia de aplicación en surcos.



Anexo 9.

Aforo de caudal (entrada y salida) en pruebas de eficiencia de aplicación.

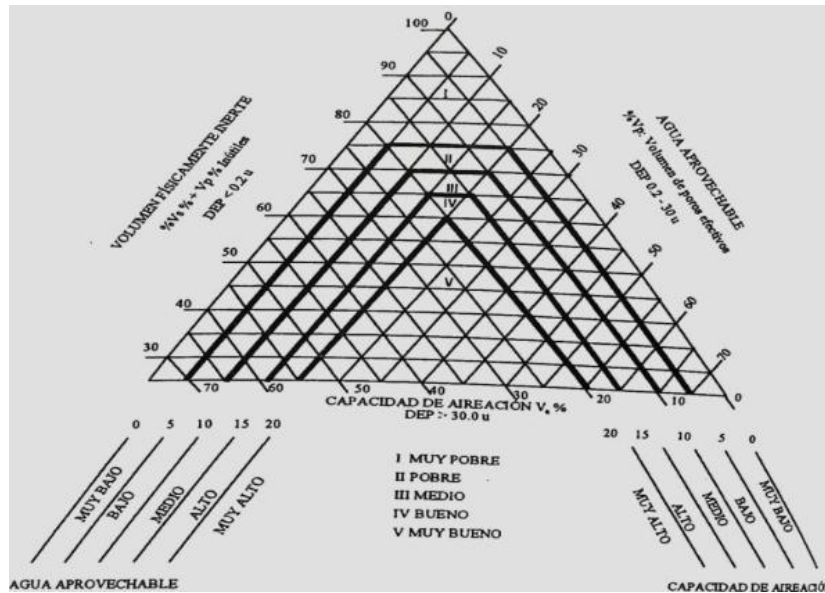
**Anexo 10.**

Diseño de surcos para aplicación de mejoras en la eficiencia de aplicación.



Anexo 11.

Diagrama triangular para evaluar las condiciones físicas del suelo.



Anexo 12.

Determinación de tiempos de riego para aplicación de riego por pulsos.

AGENOR QUITO		WILFRIDO MATAILO	
Calcular h (cm)		Calcular h (cm)	
$h = \frac{CC - PMP}{100} * da * Z$		$h = \frac{CC - PMP}{100} * da * Z$	
H=	10,554	H=	5,066
Calcular hf (cm)		Calcular hf (cm)	
hf= h*UR (%)		hf= h*UR (%)	
hf=	5,277	hf=	2,533
Tiempo de Infiltración (min)		Tiempo de Infiltración (min)	
$hf = \left(\frac{h}{c}\right)^{1/m}$		$hf = \left(\frac{h}{c}\right)^{1/m}$	
Ti=	94,869	Ti=	25,286
Tiempo de riego (min)		Tiempo de riego (min)	
$TR = \frac{5}{4} * Ti$		$TR = \frac{5}{4} * Ti$	
TR=	118,59	TR=	31,61
DATOS		DATOS	
CC=	28,36	CC=	30,4
PMP=	15,41	PMP=	16,52
Da (g/cm3)=	1,63	Da (g/cm3)=	1,46
Z (cm)=	50	Z (cm)=	25
c=	0,3771	c=	0,4193
m=	0,5796	m=	0,5568

Anexo 13.

Diseño y dimensionamiento de mangas (tuberías y válvulas reguladoras de caudal).

DISEÑO HIDRAULICO PARA LA TUBERIA DE ABASTECIMIENTO			
DATOS			
Longitud (m)	80	13,33	tubos
Q (l/h)	20160,00	5,6	0,005600 l/s
C	150		
D (mm)	73	0,073	tubería 75 mm
B coeficiente de velocidad	1,75		espesor 1.1
Área (m2)	0,004185		
n	28		diámetro interno
J (Pérdida de carga por fricción)		Factor Crist	goteo
$J = 1,21 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87}$		$F = \left[\frac{2n}{2n-1} \right] \left[\frac{1}{B+1} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2} \right]$	
J=	0,02312	F=	0,37
Pérdida de fricción de la tubería (Hf)		Pérdida Presión máxima admisible	
$hf = J * L * F$		10%(Ps)	
Hf (m)=	0,6848	p (m)=	10
		Hf <	ΔZ
		0,6848	1,00
Velocidad media del flujo 0,5 a 2,5			
Diámetro(mm)	Hf	$V = \frac{Q}{A}$	
73	0,68	1,34	

Anexo 14.

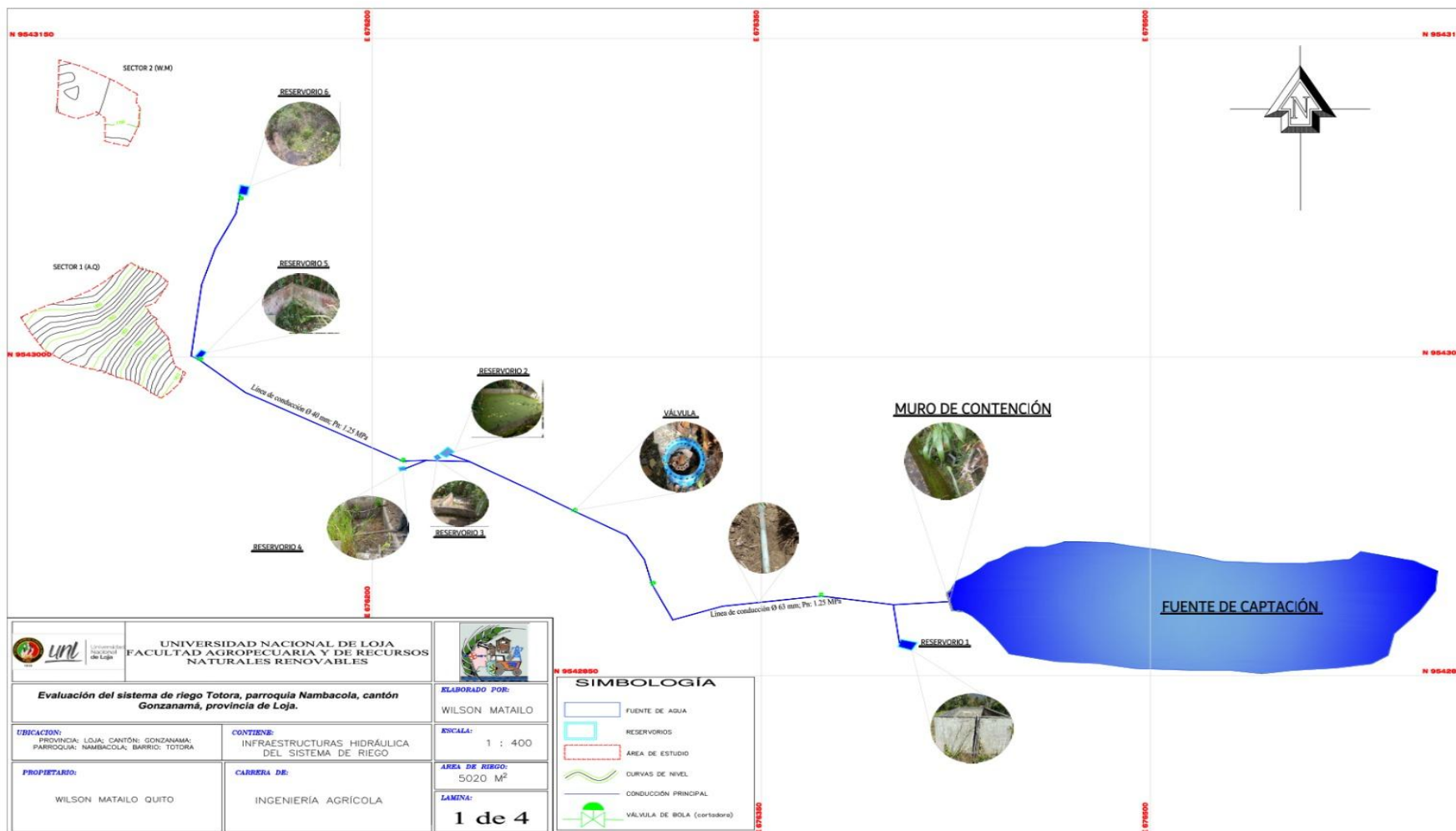
Presupuesto para riego por pulsos mediante mangas para el sector 1 y 2.

DATOS SECTOR 1 (A.Q)			
Cultivo	Maíz	Distancia entre surcos (m)	1,2
Longitud de parcela (m)	50	Cantidad de surcos	41,6667
PRESUPUESTO			
Descripción	Unidades	Precio Unitario \$	Total \$
Rollo de manguera de 100 m (63mm)	1,00	186,51	186,51
Válvula tipo bola (63 mm)	1,00	8,48	8,48
Collarín (montura 63 mm, salida a 3/4)	42,00	1,7	71,4
Neplo 3/4	42,00	0,38	15,96
Válvula tipo bola (3/4)	42	2,1	88,2
Instalación	2	20	40
Seguro de comprensión (63 mm)	1	8,1	8,1
VALOR TOTAL \$			418,65

DATOS SECTOR 2 (W.M)			
Cultivo	Maíz	Distancia entre surcos (m)	1,2
Longitud del terreno (m)	80	Cantidad de surcos	66,6667
PRESUPUESTO			
Descripción	Unidades	Precio Unitario	Total
Rollo de manguera de 50 m (75 mm)	2,00	155,5	311
Válvula tipo bola (75 mm)	1,00	14,5	14,5
Collarín (montura 75 mm, salida a 1")	67,00	1,7	113,9
Neplo 1"	67,00	0,52	34,84
Válvula tipo bola (3/4)	42	3,6	151,2
Instalación	2	20	40
Seguro de comprensión (75 mm)	1	13,7	13,7
VALOR TOTAL \$			679,14

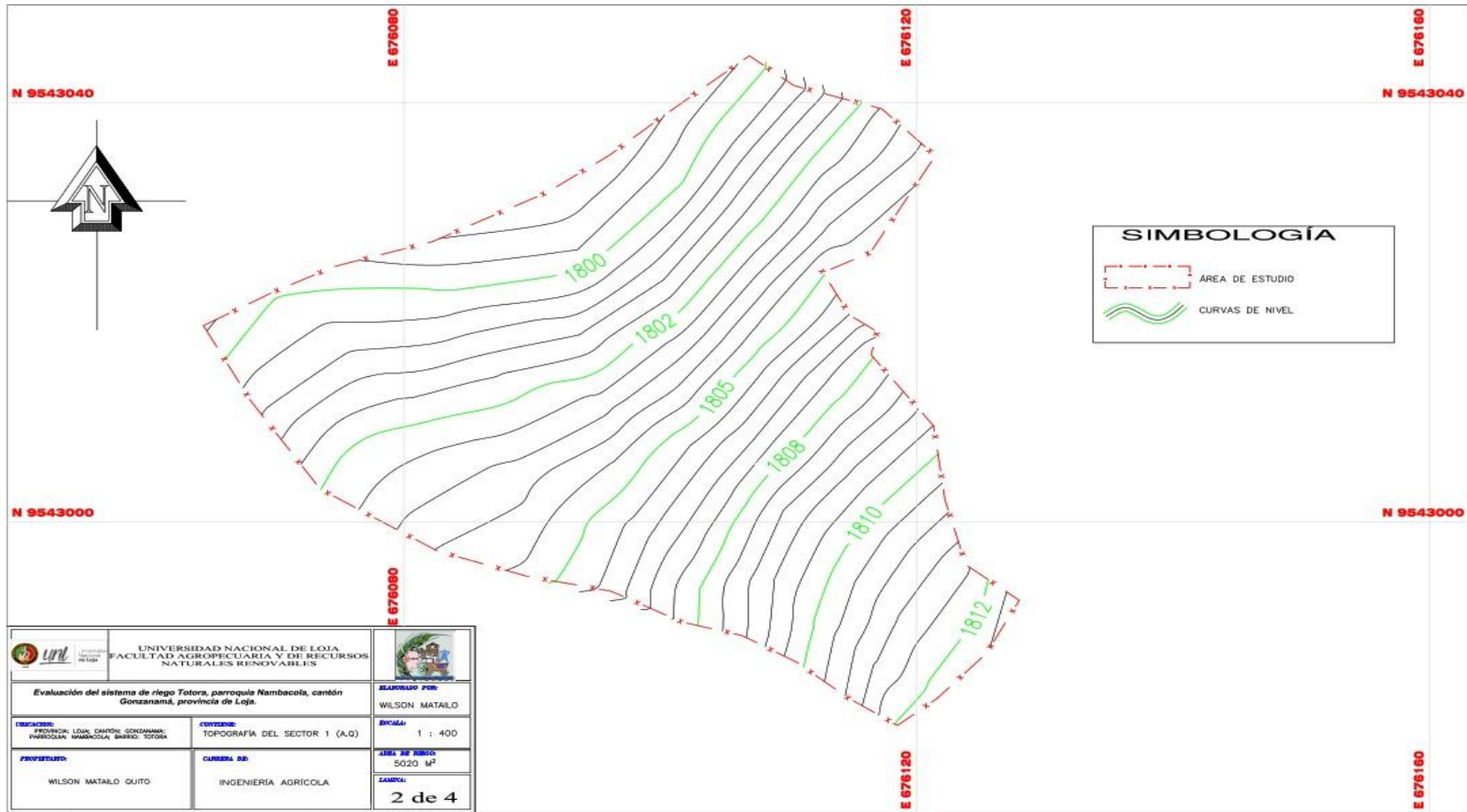
Anexo 15.

Plano de la infraestructura del sistema de riego Totora.



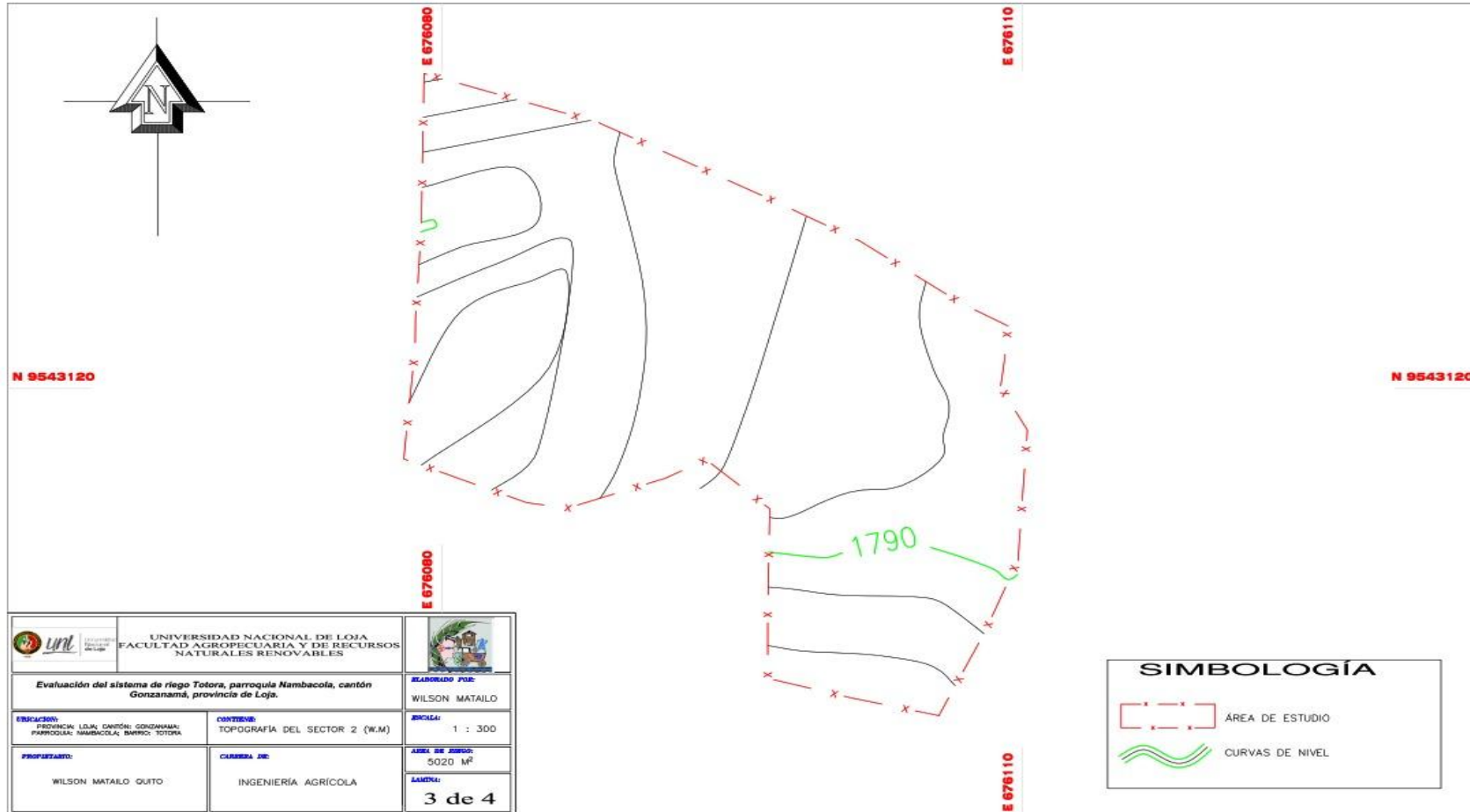
Anexo 16.

Plano topográfico del sector 1 (A.Q).



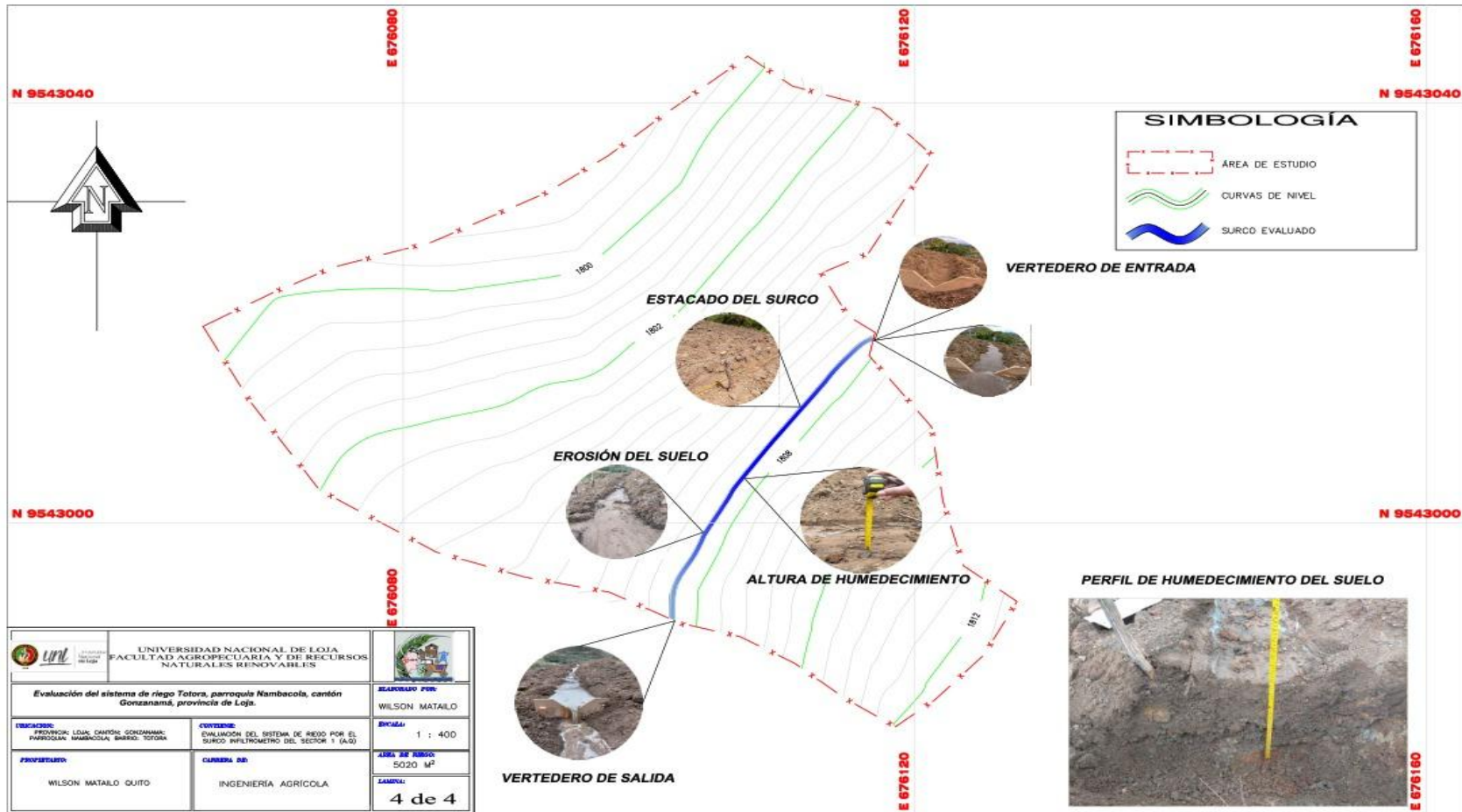
Anexo 17.

Plano topográfico del sector 2 (W.M).



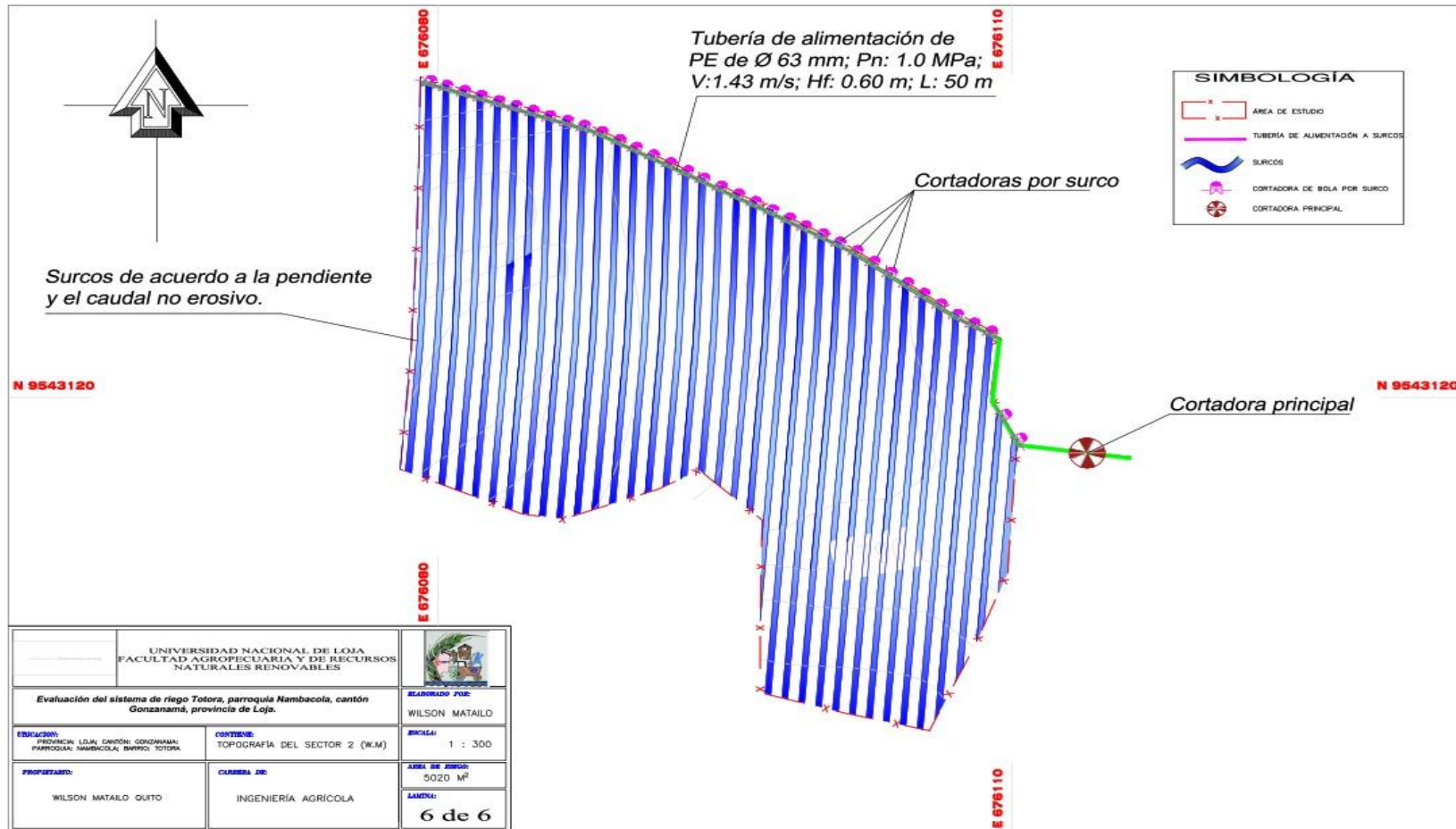
Anexo 18.

Plano de la evaluación de la eficiencia de aplicación.



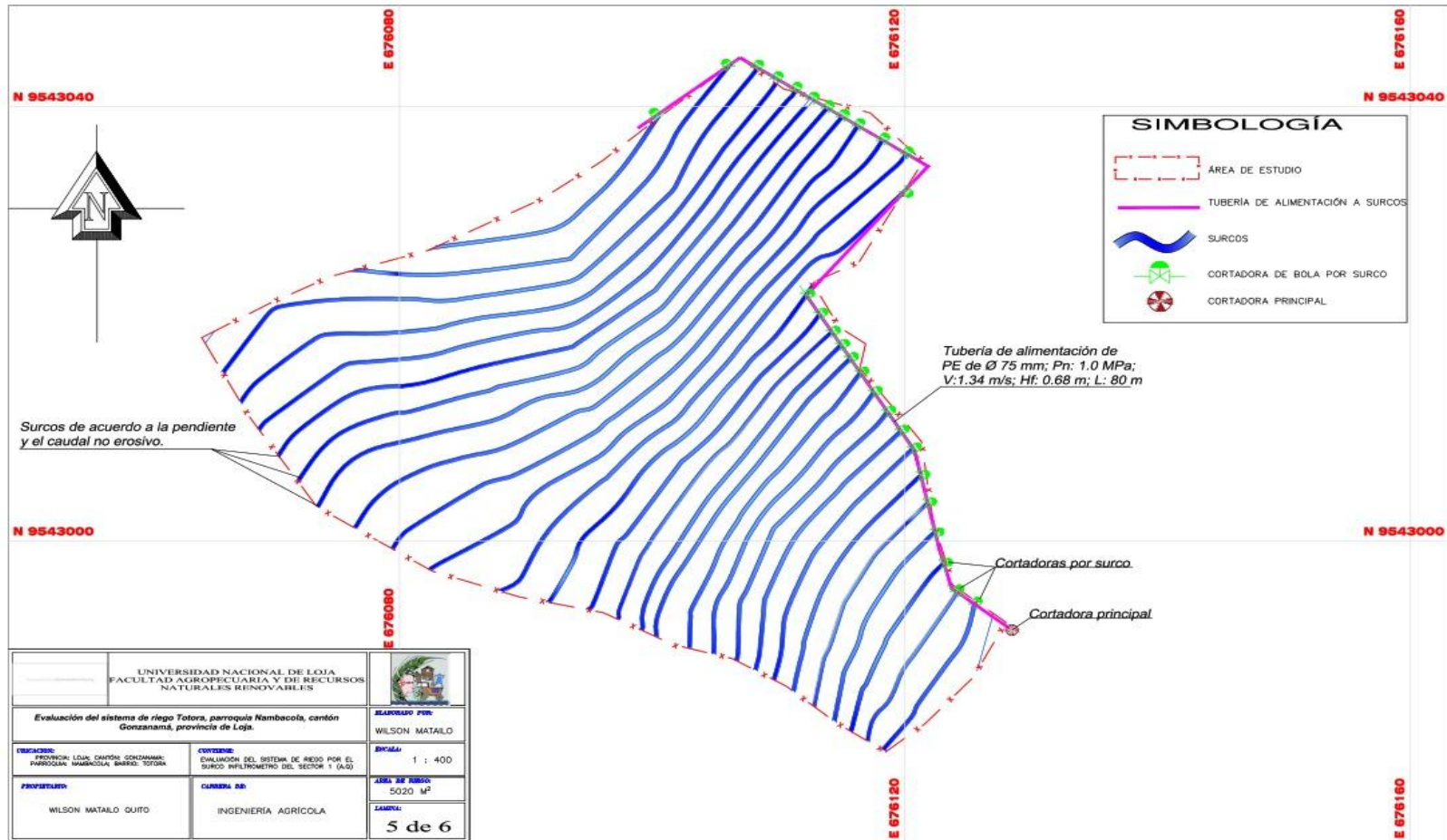
Anexo 19.

Plano de mejoras (tuberías con válvulas reguladoras de caudal) para el sector 1.



Anexo 20.

Plano de mejoras (tuberías con válvulas reguladoras de caudal) para el sector 2.



Anexo 21.

Certificación de traducción Abstract.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 6 de julio del 2023

Yo, **Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval**, con cédula de identidad **1104226913**, como traductora certificada por el Ministerio de trabajo del Ecuador con licencia número MDT-3104-CCL- 252643, certifico que la traducción del resumen del trabajo de integración curricular titulado "**Evaluación del sistema de riego Totorá, parroquia Nambacola, provincia de Loja**" es precisa en mis capacidades como traductora certificada.

El trabajo en mención es de autoría del señor **Wilson Alfredo Matailo Quito**, con cédula de identidad **1105244808**, estudiante de la carrera de **Ingeniería Agrícola** de la Universidad Nacional de Loja.

I, Xilena Aldeán Sandoval, certify that I am fluent in the English and Spanish language and that the abstract of the thesis belonging to **Wilson Alfredo Matailo Quito** is an accurate translation of its original Spanish version.



XILENA ELIZABETH
ALDEÁN SANDOVAL

Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, Mg.

Traductora/Translator

Traductor/Translator: Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval

Número de licencia/Acreditation number: MDT-3104-CCL-252643

Correo electrónico/E-mail: xaldeans@gmail.com

Teléfono/Phone number: +593 989491170