

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Evaluación hídrica para optimizar el riego agrícola en el sistema de  
conducción Puma Ccocha, Distrito de Curahuasi – 2024**

**Asesor:**

MSc. Maldonado Mendivil, Angel

**Autor:**

Ramos Olivera, Javier Edison

Para optar el título profesional de: Ingeniero Civil

Abancay- Apurímac – Perú

2025

# Acta de sustentación



## Universidad Tecnológica de los Andes



Transformando vidas  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 028

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de marzo día viernes del 07 siendo las 03:00 de la tarde, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0268-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 28 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Facultad de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Morales Holguin, Marco Antonio
Dictaminante:	Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación hídrica para optimizar el riego agrícola en el sistema de conducción Puma  
Ccocha, Distrito de Curahuasi - 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Ramos Olivera, Javier Edison

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Ramos Olivera, Javier Edison	Aprobado

Siendo las 16:53 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Morales Holguin, Marco Antonio

Dictaminante: Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 07 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 335.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) - Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) - 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de similitud

## 17% Similitud general




El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

---

### Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

---

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y nombres	:	Ramos Olivera Javier Edison
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	76132719
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0001-8191-3156">https://orcid.org/0009-0001-8191-3156</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y nombres	:	Maldonado Mendivil Angel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>
<b>Datos de la investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2023-2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	17%
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo A mis queridos padres, Jesús Ramos Juro y Jesusa Olivera Huamani y hermana Mirian Adriana Ramos Olivera, por su apoyo incondicional y sacrificio constante, que me han permitido alcanzar cada uno de mis objetivos. Gracias por enseñarme el valor de la perseverancia y el compromiso.

A aquellos cuya guía, amor y sacrificio fueron fundamentales en mi formación y a aquellos, aunque hoy no estén necesariamente a mi lado. Su legado de esfuerzo y perseverancia ha sido mi mayor inspiración para seguir adelante y alcanzar esta meta.

Este trabajo es un homenaje a su memoria, con la certeza de que, desde donde están, siguen iluminando mi camino.

## **Agradecimiento**

A la Universidad Tecnológica de los Andes, institución comprometida con la formación de profesionales íntegros, fomentando la investigación como pilar fundamental para el progreso.

A M.Sc. Ángel Maldonado Mendivil, aseso de tesis cuya guía y constante apoyo desde el inicio de este trabajo de investigación fueron cruciales para su desarrollo y culminación. Su orientación no solo enriqueció este proyecto, sino también mi aprendizaje como profesional.

## Resumen

El propósito de la investigación es evaluar la eficiencia hídrica del sistema de conducción de Puma Ccocha, con el fin de optimizar el uso del agua en las áreas agrícolas del distrito de Curahuasi, provincia de Abancay. La captación se localiza en el río Asmayacu, desde donde se distribuye el recurso hídrico hacia distintos sectores de riego, como Tarales, Lucmapata, Ccocharay y Ayaurco. Este sistema cumple una función esencial en el manejo eficiente del agua, impulsando el desarrollo agrícola. El canal está revestido en concreto y se extiende desde la progresiva 0+000 hasta el kilómetro 1+559, conservando una sección constante de 0.60 m por 0.40 m.

La metodología de la investigación, tiene enfoque cuantitativo, nivel de investigación descriptivo y explicativo, tipo de investigación aplicada y diseño de la investigación no experimental. Los resultados de la evaluación del sistema de conducción Puma Ccocha determinó una eficiencia hidráulica del 86.62%, con pérdidas del 13.38% del caudal de entrada (93.33 L/s), atribuidas principalmente a la infiltración (12.41 L/s) y evaporación (0.0782 L/s). Se concluye que es necesario implementar revestimientos impermeables para posteriores proyectos, y un presupuesto estimado de S/ 13,664.99 para rehabilitar el tramo km 00+000 al km 01+559. Además, se recomienda un plan de mantenimiento preventivo que contemple limpieza, reparación de fisuras y control de obstrucciones, optimizando el riego agrícola y garantizando la sostenibilidad del sistema en Curahuasi.

**Palabras clave:** evaluación hídrica, disponibilidad hídrica, canales de riego, caudal de diseño.

## **Abstract**

The purpose of this research is to evaluate the water efficiency of the Puma Ccocha conveyance system, in order to optimize water use in the agricultural areas of the Curahuasi district, Abancay province. The intake is located on the Asmayacu River, from where water is distributed to various irrigation areas, such as Tarales, Lucmapata, Ccocharay, and Ayaurco. This system plays an essential role in efficient water management, promoting agricultural development. The canal is lined with concrete and extends from marker 0+000 to kilometer 1+559, maintaining a constant cross-section of 0.60 m by 0.40 m.

The research methodology is quantitative, with a descriptive and explanatory research level, applied research, and a non-experimental research design. The results of the evaluation of the Puma Ccocha conveyance system determined a hydraulic efficiency of 86.62%, with losses of 13.38% of the inlet flow (93.33 L/s), attributed primarily to infiltration (12.41 L/s) and evaporation (0.0782 L/s). It is concluded that impermeable linings are necessary for future projects, and an estimated budget of S/ 13,664.99 is required to rehabilitate the section from km 00+000 to km 01+559. Furthermore, a preventive maintenance plan is recommended that includes cleaning, crack repair, and blockage control, optimizing agricultural irrigation and ensuring the sustainability of the system in Curahuasi.

**Keywords:** water assessment, water availability, irrigation canals, design flow.

## Índice General

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud</b> .....	<b>iii</b>
<b>Metadatos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice General</b> .....	<b>ix</b>
<b>Indice de tablas</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Indice de Figuras</b> .....	<b>xv</b>
<b>Indice de Anexos</b> .....	<b>xvi</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>17</b>
<b>II. Planteamiento del problema</b> .....	<b>18</b>
2.1. Descripción y formulación del problema .....	18
2.1.1. Problema General .....	20
2.1.2. Problemas Específicos .....	20
2.2. Objetivos .....	20
2.2.1. Objetivo General .....	20
2.2.2. Objetivo Específicos .....	21
2.3. Justificación e importancia .....	21
2.3.1. Justificación Practica .....	21

2.3.2.	Justificación social .....	22
2.3.3.	Justificación Teórica .....	22
2.3.4.	Justificación Metodológica .....	23
2.4.	Hipótesis.....	23
2.4.1.	Hipótesis General .....	23
2.4.2.	Hipótesis Especificas.....	24
2.5.	Variables .....	24
<b>III.</b>	<b>Marco Teórico .....</b>	<b>26</b>
3.1.	Antecedentes.....	26
3.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	26
3.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	29
3.1.3.	Antecedentes Locales .....	33
3.2.	Bases teóricas .....	34
3.2.1.	Canales .....	34
3.2.2.	Tipos de revestimiento de canales.....	35
3.2.3.	Selección del revestimiento .....	36
3.2.4.	Beneficios del revestimiento en canales de conducción. ....	37
3.2.5.	Condición que deben cumplir los canales.....	39
3.2.6.	Método de evaluación de las pérdidas hidráulicas por infiltración. ....	41
3.2.7.	daños en canales .....	43
3.3.	Definición de términos .....	44
<b>IV.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>46</b>
4.1.	Tipo y nivel de Investigación.....	46

4.1.1.	Tipo de investigación .....	46
4.1.2.	Nivel de investigación .....	46
4.1.3.	Diseño de la investigación .....	46
4.1.4.	Método .....	47
4.1.5.	Enfoque de la Investigación.....	47
4.2.	Ámbito temporal y espacial.....	47
4.3.	Población y Muestra .....	47
4.4.	Instrumentos.....	48
4.4.1.	Técnicas .....	48
4.4.2.	Instrumentos.....	49
4.5.	Procedimiento.....	49
4.6.	Análisis de datos .....	51
4.7.	Consideraciones Éticas .....	51
<b>V.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>52</b>
5.1.	Análisis de Datos y Resultados Procesados .....	52
5.1.1.	Características del área de investigación.....	52
5.2.	Estudios previos .....	53
5.2.1.	Estudios en campo .....	53
5.3.	Análisis de datos .....	60
5.3.1.	Estimación del caudal mediante el método de flujo superficial o flotante ....	60
5.3.2.	Cálculo del caudal Método del Vertedero .....	66
5.3.3.	Caudal de Evaporación (Q evp.).....	75
5.3.4.	Evaluación de la variación de caudales de infiltración y evaporación .....	86

5.3.5.	diagnóstico de la evaluación de las condiciones del canal.....	87
5.3.6.	Nivel de eficiencia de conducción del canal.....	89
5.3.7.	Estimación del presupuesto destinado al mantenimiento y reparación .....	90
5.4.	Discusión de resultados.....	90
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>92</b>
<b>VII.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>94</b>
<b>VIII.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>96</b>

## Indice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de Variables .....	25
<b>Tabla 2</b>	Registro de Puntos GPS .....	55
<b>Tabla 3</b>	Estaciones Meteorológicas .....	58
<b>Tabla 4</b>	Aforamiento de canal .....	59
<b>Tabla 5</b>	Aforo hidráulico 14.09.2024 método flotador .....	62
<b>Tabla 6</b>	Aforo hidráulico 15.09.2024 método flotador .....	63
<b>Tabla 7</b>	Aforo hidráulico 16.09.2024 método flotador .....	63
<b>Tabla 8</b>	Aforo hidráulico 17.09.2024 método flotador .....	64
<b>Tabla 9</b>	Aforo hidráulico 18.09.2024 método flotador .....	65
<b>Tabla 10</b>	Resumen de aforo hechos mediante el método del flotador .....	65
<b>Tabla 11</b>	Aforo hidráulico 14.09.2024 método vertedero .....	69
<b>Tabla 12</b>	Aforo hidráulico 15.09.2024 método vertedero .....	69
<b>Tabla 13</b>	Aforo hidráulico 16.09.2024 método vertedero .....	70
<b>Tabla 14</b>	Aforo hidráulico 17.09.2024 método vertedero .....	71
<b>Tabla 15</b>	Aforo hidráulico 18.09.2024 método vertedero .....	72
<b>Tabla 16</b>	resumen de aforo método vertedero.....	72
<b>Tabla 17</b>	análisis comparativo de aforos mediante el vertedero y flotador.....	74
<b>Tabla 18</b>	resumen de caudal de entrada y salida .....	74
<b>Tabla 19</b>	Determinación de la evaporación para el mes de enero del 2024.....	77
<b>Tabla 20</b>	Determinación de la evaporación para el mes de febrero del 2024.....	77
<b>Tabla 21</b>	Determinación de la evaporación para el mes de marzo del 2024.....	78
<b>Tabla 22</b>	Determinación de la evaporación para el mes de abril del 2024.....	79

<b>Tabla 23</b>	Determinación de la evaporación para el mes de mayo del 2024 .....	79
<b>Tabla 24</b>	Determinación de la evaporación para el mes de junio del 2024 .....	80
<b>Tabla 25</b>	Determinación de la evaporación para el mes de julio del 2024 .....	81
<b>Tabla 26</b>	Determinación de la evaporación para el mes de agosto del 2024 .....	81
<b>Tabla 27</b>	Determinación de la evaporación para el mes de setiembre del 2024 .....	82
<b>Tabla 28</b>	Determinación de la evaporación para el mes de octubre del 2024 .....	83
<b>Tabla 29</b>	Determinación de la evaporación para el mes de noviembre del 2024 .....	83
<b>Tabla 30</b>	Determinación de la evaporación para el mes de diciembre del 2024 .....	84
<b>Tabla 31</b>	Cálculo de evaporación a lo largo de 365 días del año .....	85
<b>Tabla 32</b>	perdida de caudales en canal con revestimiento en concreto .....	87
<b>Tabla 33</b>	resumen de las condiciones del canal .....	87
<b>Tabla 34</b>	Condiciones del canal.....	88
<b>Tabla 35</b>	eficiencia de conducción del canal.....	89
<b>Tabla 36</b>	Presupuesto del mantenimiento de canal .....	90

## Indice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Ubicación del canal Puma Ccocha .....	53
<b>Figura 2</b>	medición de bocatoma .....	54
<b>Figura 3</b>	Sección del canal tramo 00+000 a 01+559 .....	62
<b>Figura 4</b>	Gráfico del resumen de aforo método flotador.....	66
<b>Figura 5</b>	Sección del vertedero.....	68
<b>Figura 6</b>	resumen de aforo método vertedero .....	73
<b>Figura 7</b>	Temperatura vs evaporación.....	85

## Indice de Anexos

<b>Anexo 1</b>	Matriz de Consistencias .....	100
<b>Anexo 2</b>	Matriz de operacionalización de variables .....	102
<b>Anexo 3</b>	Instrumento de recolección de datos.....	103
<b>Anexo 4</b>	Panel fotografico .....	105

## **I. Introducción**

El Distrito de Curahuasi, ubicado en la provincia de Abancay, Región Apurímac, se caracteriza por una economía predominantemente agrícola. Este sector depende en gran medida de sistemas de riego eficientes que permitan el uso adecuado del recurso hídrico, particularmente en periodos de estiaje. En este contexto, el sistema de conducción de agua Puma Ccocha es fundamental para garantizar el abastecimiento adecuado para cultivos, permitiendo una mayor productividad y sostenibilidad en la Región.

El estudio tiene por objetivo analizar la eficiencia hidráulica del sistema de conducción Puma Ccocha, con miras a optimizar el uso agrícola del agua en Curahuasi. Dado que el recurso hídrico es limitado y enfrenta una creciente demanda, la gestión eficaz del agua es una prioridad para las comunidades agrícolas locales. Evaluar el rendimiento del sistema de riego permitirá identificar pérdidas y oportunidades de mejora y promover un desarrollo agrícola sostenible.

La investigación abordará aspectos técnicos relacionados con la hidráulica del sistema, como la capacidad de transporte, pérdidas por fricción y posibles fugas. Asimismo, se considerará el contexto climático y geográfico de Curahuasi, factores que influyen en la disponibilidad de agua y, por ende, en la eficiencia de los sistemas de riego. En conclusión, este estudio busca contribuir al conocimiento sobre la gestión eficiente de los recursos hídricos en áreas rurales y su impacto en la productividad agrícola. La optimización del sistema Puma Ccocha no solo beneficiaría a los agricultores locales, sino que también serviría como modelo para otras comunidades en la Región de Apurímac, donde la agricultura es una actividad esencial para el desarrollo económico y social.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

#### Descripción

En el Distrito de Curahuasi, en la Región de Apurímac, Perú, la agricultura constituye la base de la economía local y el principal sustento para numerosas familias. Debido a su clima y geografía, el Distrito presenta una demanda constante y crítica de recursos hídricos para el riego, especialmente en áreas rurales y zonas de cultivo como el maíz, y trigo. La disponibilidad de agua depende en gran medida del sistema de conducción Puma Ccocha, una infraestructura diseñada para distribuir agua hacia los sectores Tarales, Lucmapata, Ccocharay y Ayaurco. Sin embargo, este sistema enfrenta múltiples desafíos que afectan su eficiencia hidráulica, comprometiendo así su capacidad para satisfacer las necesidades agrícolas de la Región.

El sistema Puma Ccocha, que incluye bocatomas, canales de conducción y reservorios, presenta una serie de problemas que afectan su rendimiento y, en última instancia, la productividad agrícola de las zonas que abastece. Uno de los problemas principales es la pérdida de agua debido a fugas en la infraestructura y a la fricción en los canales de conducción, lo cual se debe en parte al deterioro de las instalaciones y al uso de materiales que no cumplen siempre con los estándares necesarios. Estas deficiencias estructurales resultan en una distribución desigual y limitada del recurso hídrico, especialmente en momentos de mayor necesidad, como en la temporada seca. Estas fugas y pérdidas no solo representan un desperdicio significativo de agua, sino que también generan una distribución ineficiente del recurso, dejando a ciertos sectores desabastecidos y afectando la estabilidad económica de los agricultores que dependen de un suministro continuo para mantener sus cultivos.

A pesar de los esfuerzos recientes por mejorar la infraestructura de riego en Curahuasi, incluyendo proyectos de ampliación de canales y construcción de nuevos reservorios

nocturnos, estos intentos no han logrado cubrir la demanda creciente ni solucionar los problemas existentes. Las evaluaciones de proyectos recientes revelan que persisten incumplimientos técnicos y de calidad, como el uso de acero y otros materiales con signos de deterioro o inadecuada disposición en las estructuras de refuerzo. Esta situación ha llevado a intervenciones de control por parte de entidades reguladoras como la Contraloría General de la República, que ha señalado la necesidad de adoptar medidas correctivas para asegurar la funcionalidad de los sistemas de riego y evitar más fallas en la entrega del servicio

La falta de eficiencia en el sistema Puma Ccocha se traduce en una presión adicional sobre el recurso hídrico, que ya es escaso debido a factores climáticos y ambientales. El cambio climático y la estacionalidad en las lluvias agravan la situación, generando periodos de sequía que afectan aún más la disponibilidad de agua para riego. Esto crea una dependencia crítica en la infraestructura hidráulica, la cual debe operar con altos niveles de eficiencia para evitar el agotamiento del recurso y asegurar la sostenibilidad agrícola en el distrito. La situación es especialmente alarmante en las comunidades rurales de difícil acceso, que dependen en mayor medida de este sistema de riego para garantizar su producción agrícola.

Este problema plantea una evaluación de manera integral de la eficiencia hidráulica del sistema Puma Ccocha para identificar las áreas donde ocurren las mayores pérdidas de agua y proponer soluciones viables. La optimización de este sistema no solo beneficiaría a las comunidades abastecidas, mejorando su seguridad hídrica y alimentaria, sino que también podría convertirse en un modelo para otras regiones con problemas similares en la distribución de recursos hídricos. A través de la implementación de medidas técnicas y de mantenimiento adecuado, se espera reducir las pérdidas de agua y mejorar la distribución en función de las necesidades de las distintas áreas agrícolas del distrito, contribuyendo así a la resiliencia y sostenibilidad de la actividad agrícola en Curahuasi.

En conclusión, la problemática relacionada con la eficiencia hidráulica del sistema de conducción Puma Ccocha constituye un desafío que demanda la aplicación de estrategias técnicas, económicas y de gestión articulada. El estudio de este sistema permitirá identificar las causas principales de las pérdidas de agua y establecer un marco metodológico orientado a mejorar su desempeño, asegurando que este recurso vital sea aprovechado de forma eficiente en beneficio de las comunidades agrícolas y del desarrollo sostenible del distrito de Curahuasi.

### **Formulación del Problema de investigación**

#### **2.1.1. Problema General**

- ¿Cómo determinar la evaluación hídrica en el sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024?

#### **2.1.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo determinar la eficiencia de conducción en el sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi -2024?
- ¿Cómo determinar la pérdida de agua en el sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024?
- ¿Cómo realizar la estimación de costo para realizar el mantenimiento necesario en el sistema de conducción Puma Ccocha para la optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024?

### **2.2. Objetivos**

#### **2.2.1. Objetivo General**

- Definir como determinamos la evaluación Hídrica en el sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024.

### **2.2.2. Objetivo Específicos**

- Conocer como determinar la eficiencia de conducción en el sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024.
- Evaluar como determinamos la pérdida de agua en el sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024.
- Analizar los costos de mantenimiento del sistema de conducción Puma Ccocha para optimizar el riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024.

## **2.3. Justificación e importancia**

### **2.3.1. Justificación Practica**

La investigación tiene un impacto práctico inmediato en la mejora del sistema de conducción de agua Puma Ccocha, cuyo rol es esencial para el abastecimiento de agua en las comunidades agrícolas de Curahuasi. Al incrementar su eficiencia hidráulica, se logrará una distribución más efectiva del recurso hídrico, lo que es fundamental en un contexto donde el agua es limitada y altamente demandada. Esto beneficia directamente a agricultores de zonas como Tarales, Lucmapata, Ccocharay y Ayaurco, quienes dependen de un suministro estable y suficiente para mantener sus cultivos y asegurar su producción anual, especialmente durante los periodos de estiaje.

Este estudio también permite identificar y aplicar mejoras específicas en infraestructura, como la reparación de fugas, la reducción de pérdidas por fricción y la implementación de estrategias de mantenimiento. Tales mejoras reducirán el desperdicio de agua y facilitarán un uso racional del recurso. Además, esta optimización puede servir como modelo para gestionar sistemas de riego en otras áreas rurales con condiciones similares, apoyando así a más comunidades y fomentando la sostenibilidad hídrica.

En resumen, el beneficio práctico de esta investigación es el desarrollo de soluciones que aseguren la continuidad de la producción agrícola en Curahuasi y que potencien la seguridad hídrica y alimentaria de la Región, elevando así la calidad de vida de las familias agrícolas locales.

### **2.3.2. Justificación social**

La mejora en la eficiencia del sistema de conducción de agua Puma Ccocha tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades rurales de Curahuasi. La agricultura es una fuente de ingresos fundamental y una base de sustento para muchas familias en la Región, y la disponibilidad de agua es un factor crítico para su estabilidad económica. Al optimizar el uso del recurso hídrico, esta investigación busca asegurar que los sectores de Tarales, Lucmapata, Ccocharay y Ayaurco cuenten con el agua necesaria para sus cultivos.

Desde un enfoque social, esta investigación también analiza los aspectos relacionados con la equidad en la distribución del agua, garantizando que las poblaciones más vulnerables accedan adecuadamente al recurso, sin verse afectadas por las variaciones estacionales. Asimismo, al minimizar las fugas del recurso hídrico y optimizar la administración de la infraestructura existente, se fomenta una cultura de uso racional y sostenible del agua, lo cual resulta fundamental para afrontar los retos derivados del cambio y la inestabilidad climática. En una perspectiva más amplia, el estudio contribuye al fortalecimiento del desarrollo social sostenible, promoviendo la economía rural y brindando a las familias agricultoras las condiciones necesarias con el propósito de elevar su bienestar y ampliar sus perspectivas de desarrollo.

### **2.3.3. Justificación Teórica**

Esta investigación se basa en principios teóricos de la hidráulica y la ingeniería de recursos hídricos, centrándose en la optimización de sistemas de conducción de agua para minimizar pérdidas por fricción y fugas. También se apoya en teorías de sostenibilidad hídrica

y gestión integrada del agua, esenciales para asegurar el uso eficiente del recurso en zonas de alta dependencia agrícola, como Curahuasi. Además, contribuye al marco teórico de resiliencia en infraestructuras de riego en entornos rurales vulnerables, proporcionando conocimientos aplicables a comunidades con desafíos similares en la distribución y conservación del agua.

#### **2.3.4. Justificación Metodológica**

La metodología seleccionada combina un enfoque cuantitativo y herramientas de análisis hidráulico para evaluar la eficiencia del sistema de conducción Puma Ccocha. A través de mediciones precisas de caudal, presión y velocidad en distintos puntos de la infraestructura, se obtiene un diagnóstico técnico que permite identificar pérdidas de agua, fugas y puntos críticos que afectan la eficiencia del sistema. Estos datos se integran con modelos de flujo en canales y tuberías, lo cual es esencial para fundamentar propuestas de mejora basadas en análisis empíricos.

Además, se incluye la observación en campo y entrevistas con actores locales, lo cual permite contextualizar los resultados y adaptar las soluciones a las necesidades específicas de las comunidades agrícolas de Curahuasi. Esta combinación metodológica asegura que las propuestas no solo sean técnicamente viables sino también relevantes y aplicables en el contexto social y operativo de la Región.

### **2.4. Hipótesis**

#### **2.4.1. Hipótesis General**

- La evaluación hídrica en el sistema de conducción Puma Ccocha determina significativamente la optimización del riego agrícola, Distrito de Curahuasi, 2024.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- La eficiencia de conducción del sistema de conducción Puma Ccocha determina significativamente la optimización del riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024.
- La pérdida de agua del sistema de conducción Puma Ccocha determina significativamente la optimización del riego agrícola, Distrito de Curahuasi- 2024.
- Un estudio adecuado de los costos de mantenimiento del sistema de conducción Puma Ccocha para la optimización del riego agrícola, Distrito de Curahuasi - 2024.

### **2.5. Variables**

Tabla 1

## Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Independiente:</b> Evaluación hídrica en el sistema de conducción.	Está destinada a transportar agua desde un punto de captación hasta los sitios de almacenamiento, tratamiento o distribución. conducción: por gravedad y por bombeo. Las líneas de conducción por gravedad aprovechan la pendiente natural del terreno para transportar el agua sin necesidad de equipos mecanizados, siendo ideales para terrenos con desniveles. (ISAASA, 2024; Todos Los Hechos, 2024).	La variable se operacionaliza con sus siguientes dimensiones: Canal de derivación, Canal de conducción y Canal de distribución y cada uno se subdivide en tres dimensiones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Canal de irrigación.</li> <li>- Recubrimiento del canal.</li> <li>- Estado del canal.</li> <li>- Anchura y profundidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área hidráulica.</li> <li>- Velocidad admisible.</li> <li>- Estado de juntas.</li> <li>- F'c de concreto.</li> <li>- Junta de dilatación.</li> <li>- Irregularidades en el canal.</li> <li>- Comportamiento de laterales.</li> <li>- Estado de piso del canal.</li> <li>- Tipo de sistema de canal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- m<sup>2</sup>.</li> <li>- m/s.</li> <li>- l.</li> <li>- F'c.</li> <li>- l.</li> <li>- m.</li> <li>- m.</li> <li>- malo.</li> <li>- rectangular</li> </ul>
<b>Dependiente:</b> Optimización del riego agrícola.	Es la capacidad del sistema para maximizar el flujo de agua con el menor uso posible de energía y pérdidas. En este contexto, un canal eficiente minimiza la fricción y mantiene un flujo uniforme para garantizar un transporte óptimo del agua. Esto implica el diseño de secciones transversales que reduzcan el perímetro mojado y maximicen el área de flujo, optimizando el uso del recurso en sistemas de riego y conducciones de agua (universidad continetal,2024).	es una infraestructura que transporta agua desde una fuente a un punto de distribución, manteniendo el flujo adecuado con el mínimo de pérdidas por fricción o fugas, utilizando bombeo o gravedad según el terreno.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pendiente y Caudal.</li> <li>- Velocidades.</li> <li>- Tirante.</li> <li>- Pérdida por fricción.</li> <li>- Forma de sección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal de entrada.</li> <li>- Caudal de salida.</li> <li>- Método del vertedero.</li> <li>- Pendiente.</li> <li>- Agrietamiento del Concreto.</li> <li>- Costo de mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- m/s.</li> <li>- m.</li> <li>- m<sup>3</sup>.</li> <li>- %.</li> <li>- m.</li> <li>- s/.</li> </ul>

**Nota.** Las variables fueron definidas en función de los objetivos de la investigación y se midieron mediante observación técnica y cálculos

hidráulicos. *Elaboración propia.*

### **III. Marco Teórico**

#### **3.1. Antecedentes**

##### **3.1.1. Antecedentes Internacionales**

La investigación hecha por Caba (2023), en la investigación titulada Evaluación de la eficiencia del sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental de Cota, tiene como meta evaluar la eficiencia de un sistema de riego por aspersión mediante el cultivo de beterraga, con el fin de identificar el funcionamiento óptimo del sistema tiene por Objetivo General: Determinar la eficiencia del sistema de riego en el Centro Experimental de Cota para mejorar el uso del agua en el cultivo agrícola. Y su Metodología: La evaluación incluyó el uso de pluviómetros, registros de presión, y medición de caudales en las entradas del sistema para medir la eficiencia de conducción, distribución, y aplicación del agua. Los datos se analizaron en base a estos factores de eficiencia, con pruebas complementarias en las condiciones agronómicas del cultivo y como Resultados: La investigación mostró una eficiencia de conducción del 53.8%, eficiencia de distribución del 91.66%, y eficiencia de aplicación del 57.25%, resultando en una eficiencia total del sistema del 67.57%. Además, el cultivo logró una altura promedio de 25.84 cm y un rendimiento de 5.32 t/Ha, indicando la rentabilidad del sistema así su Conclusiones: La eficiencia del sistema de riego en el centro mostró potencial de mejora en conducción y aplicación del agua para optimizar la rentabilidad y calidad del cultivo y Se recomienda mejorar la infraestructura del sistema de riego y ajustar el manejo de riego para reducir pérdidas de agua y mejorar la eficiencia.

En el estudio realizado por Pazmiño (2020), en la investigación titulada Análisis de la eficiencia de uso del agua de riego por unidad de producción agropecuaria, con base en los requerimientos hídricos de cuatro cultivos, en la parroquia rural Cangahua, cantón Cayambe, tiene como meta evaluar la eficiencia del uso de agua de riego para mejorar la productividad agrícola en unidades productivas como Objetivo General Analizar la eficiencia del uso de agua en el riego de cultivos mediante un balance entre las entradas de agua (precipitación y

riego) y los requerimientos hídricos de cultivos clave en la zona su Metodología de estudio se basó en el balance hídrico para cuatro cultivos seleccionados. Incluye mediciones de caudal, monitoreo de riego y estimación de necesidades hídricas de cada cultivo, evaluando los factores de eficiencia en relación con las características de la infraestructura de riego y las condiciones climáticas y tubo como Resultados de La investigación mostró que la eficiencia del riego fue baja en relación con el aporte total necesario, indicando la necesidad de ajustes en el manejo del agua y mejoras en la infraestructura. Los resultados sugieren un aprovechamiento insuficiente del recurso debido a pérdidas por evaporación e infiltración en áreas no cultivadas y se concluyó que optimizar la distribución del agua y adaptar el sistema de riego a las necesidades de los cultivos puede aumentar la productividad y mejorar la sostenibilidad en la Región. Este estudio establece que una gestión adecuada del riego es fundamental para satisfacer las demandas hídricas y maximizar el rendimiento agrícola en áreas vulnerables a la sequía y Recomendaciones implementar tecnologías de riego más eficientes y realizar capacitaciones en manejo hídrico para los agricultores, con el fin de reducir las pérdidas y aumentar el rendimiento.

El estudio realizado por Ramos y Ibañes (2023), en la investigación titulada Evaluar la eficiencia de la conducción principal del sistema de riego Santiago, realizada en la Universidad Nacional de Loja, Ecuador, tiene como meta evaluar la eficiencia de conducción del sistema de riego en el canal principal del sistema Santiago, analizando las pérdidas y su impacto en la disponibilidad de agua para riego agrícola tuvo como Objetivo General Evaluar la eficiencia en la conducción del agua en el sistema de riego Santiago, identificando pérdidas volumétricas y su efecto en la distribución hacia áreas de cultivo utilizo como Metodología donde Se llevó a cabo un levantamiento topográfico y la medición geométrica de secciones transversales del canal. Utilizando métodos de medición de caudal, como el método del flotador y software especializado como Hcanales, se cuantificaron los caudales en diferentes tramos. Las pérdidas se calcularon usando modelos hidráulicos como los de Davis-Wilson y Moritz como Resultados Se detectaron pérdidas de agua significativas en el sistema debido a

la erosión y deterioro de las paredes del canal, con una eficiencia de conducción promedio de 75.57%. Estas pérdidas resultaron en una reducción del agua disponible para riego en aproximadamente 3.6 hectáreas de cultivos a si mismo su Conclusiones de La investigación concluye que las pérdidas de agua en el canal Santiago son elevadas, principalmente por el desgaste del revestimiento de hormigón. La mejora de este sistema requeriría un plan de mantenimiento y reparación para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia hídrica.

El estudio realizado por Barrera y Piña (2020), en la investigación titulada Estudios para el mejoramiento del sistema de riego en las comunidades de La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata y Salacota, Cantón Nabón: Sustitución de canal abierto por tuberías a presión, tiene como meta optimizar el sistema de riego en las mencionadas comunidades ecuatorianas mediante la sustitución de canales abiertos por tuberías a presión, mejorando así la eficiencia en la distribución de agua y reduciendo las pérdidas tuvo como Objetivo General Mejorar la eficiencia del sistema de riego mediante el reemplazo de los canales abiertos con tuberías a presión, minimizando así las pérdidas de agua y asegurando un mejor abastecimiento para la agricultura local utilizo la Metodología en La investigación incluyó un análisis hidráulico del nuevo diseño de red de tuberías y un sistema de riego por aspersión en una parcela tipo. Adicionalmente, se realizaron encuestas para identificar los cultivos y sus necesidades hídricas en la zona, y se elaboró un manual de operación y mantenimiento junto con un cronograma de uso donde su Resultados fue La implementación de tuberías a presión permitió reducir significativamente las pérdidas de agua, optimizando la eficiencia de distribución en el sistema de riego y mejorando la capacidad de abastecimiento a los cultivos y así concluye que la sustitución del canal abierto por tuberías presurizadas es una solución efectiva para aumentar la eficiencia del riego, con beneficios directos a la productividad agrícola de las comunidades beneficiadas lo cual Recomendaciones: Se recomienda mantener el sistema actualizado mediante inspecciones regulares y capacitar a los agricultores en el uso adecuado de la tecnología de riego para maximizar su eficiencia.

El estudio realizado Jácome y Vela (2023), en la tesis titulada Evaluación y mejoramiento hidráulico de la infraestructura del sistema de riego biprovincial Ambuquí, realizada en la Universidad Politécnica Salesiana, tiene como meta mejorar la eficiencia hidráulica en la infraestructura de riego en las provincias de Carchi e Imbabura tuvo como objetivo General Optimizar la conducción del agua en el sistema de riego mediante un análisis de las condiciones actuales y la implementación de mejoras en el diseño, con el fin de reducir pérdidas y garantizar un suministro eficiente para el uso agrícola en su Metodología Se realizaron estudios topográficos y se evaluaron las condiciones hidrológicas y meteorológicas en el sistema de riego, además de un diseño actualizado de las obras de captación, incluyendo el sifón del río Chota. El análisis también evaluó el impacto de estas mejoras en la sostenibilidad del sistema. Así tuvo como resultados donde se mostraron que las mejoras propuestas en el diseño, como la optimización de las aperturas de compuertas, lograron reducir las pérdidas de agua y aumentaron la eficiencia de distribución, mejorando así la disponibilidad de agua para riego en las áreas atendidas por el sistema así concluye que actualizar la infraestructura y realizar una gestión adecuada del sistema de compuertas son esenciales para garantizar un funcionamiento sostenible del sistema de riego y apoyar la producción agrícola en la Región.

### **3.1.2. Antecedentes Nacionales**

El estudio realizado por Capcha y Martínez (2021), en la tesis titulada Evaluación de eficiencia hidráulica de canales de riego por gravedad - canal Huayao, Chupaca, Junín, tiene como meta determinar la eficiencia en el canal de riego Huayao en Junín para proponer mejoras que optimicen el uso del agua en la agricultura local tuvo como Objetivo General Evaluar la eficiencia hidráulica en el canal de riego Huayao y realizar recomendaciones para reducir pérdidas, principalmente causadas por infiltración debido a daños en la infraestructura del canal. Como Metodología de estudio utilizó un diseño no experimental, midiendo la eficiencia a lo largo de varios tramos del canal mediante la recopilación de datos de caudal y velocidad. Los análisis incluyeron secciones trapezoidales y rectangulares, permitiendo

identificar variaciones en la eficiencia de conducción. Tuvo como Resultados La eficiencia promedio en secciones trapezoidales fue de 58.36% a 71.53%, mientras que en secciones rectangulares alcanzó hasta un 95%, destacando que las pérdidas ocurren principalmente en áreas con infraestructura dañada en Conclusiones La investigación concluye que se necesita un nuevo revestimiento en el canal Huayao y un aumento en la sección de los tramos trapezoidales para mejorar la eficiencia y satisfacer la demanda de los agricultores locales.

La investigación realizada por Asalde (2020), en la tesis titulada Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, tramo km 0+000 al km 3+085, en el Distrito de Salas, Región Lambayeque, tiene como meta mejorar la eficiencia de un canal de riego utilizando herramientas de modelado hidráulico para optimizar la sección y pendiente del canal tuvo como Objetivo General Determinar cómo el software HEC-RAS puede influir en el diseño de un canal para lograr la máxima eficiencia hidráulica, minimizando pérdidas y mejorando la distribución del agua para el riego agrícola en la Región de Lambayeque con su Metodología empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo. Se utilizó el software HEC-RAS para modelar la eficiencia del flujo a lo largo del canal en secciones de pendiente variable, aplicando criterios del U.S. Bureau of Reclamation y simulando el perfil de flujo tuvo como Resultados: El estudio demostró que el uso de HEC-RAS permite un diseño de canal más eficiente, logrando minimizar el perímetro mojado y optimizar el flujo. Esto se traduce en una mejor distribución de agua y una reducción significativa de las pérdidas en el sistema en Conclusiones sugiere Implementar software de modelado como HEC-RAS es beneficioso para optimizar el diseño de canales de riego, permitiendo alcanzar una eficiencia máxima en la conducción del agua.

La investigación realizada por Delgado (2020), en la tesis titulada Análisis de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la ecoeficiencia y la huella hídrica de la producción agrícola, analiza cómo la infraestructura hidráulica de la cuenca Chancay-Lambayeque afecta la eficiencia del uso del agua en cultivos agrícolas, como arroz y caña de azúcar, y su impacto en la huella hídrica de la Región tuvo como Objetivo

General Evaluar el impacto de la infraestructura hidráulica en la eficiencia y ecoeficiencia de los recursos hídricos en el sistema de riego Chancay-Lambayeque, con el fin de identificar mejoras tecnológicas y operativas para optimizar el uso del agua en la agricultura en su Metodología de La investigación utilizó simulaciones mediante el software CROPWAT 8.0 para calcular la huella hídrica teórica y compararla con datos empíricos de pérdidas de agua en las estructuras existentes. Además, se aplicaron indicadores económicos y análisis de ecoeficiencia entre comisiones de regantes para identificar áreas de mejora en la infraestructura y sus Los resultados revelaron que la infraestructura hidráulica actual presenta deficiencias en la distribución y conservación del agua, lo cual afecta negativamente la eficiencia de riego y la sostenibilidad agrícola. Las pérdidas de agua en el sistema fueron causadas principalmente por problemas en la infraestructura menor, como compuertas y canales deteriorados, y el estudio recomendó mejoras en estas estructuras para reducir la huella hídrica y mejorar la productividad en Conclusiones El estudio concluye que la mejora de la infraestructura hidráulica en el sistema Chancay-Lambayeque es fundamental para optimizar la ecoeficiencia del riego y reducir la huella hídrica, lo que permitirá un uso más sostenible de los recursos hídricos en el sector agrícola.

La investigación realizada por Quiliche (2021), en la tesis titulada Eficiencia de la infraestructura hidráulica del canal la Collpa, Cajamarca 2021, se enfoca en el análisis de la eficiencia hidráulica de un canal de riego por gravedad. Este estudio evalúa la captación, conducción y distribución del agua en el sistema de riego La Collpa, identificando problemas de infiltración y deterioro en las estructuras que afectan el rendimiento de la infraestructura y limitan el uso eficiente del agua durante la temporada de sequía tuvo Objetivo General Calcular y analizar la eficiencia de la infraestructura hidráulica del canal La Collpa para identificar puntos de mejora que optimicen la distribución y conducción del recurso hídrico en periodos críticos de uso y su Metodología Se aplicaron métodos documentales y observación en campo, empleando inventarios de infraestructura y fichas de análisis para evaluar las condiciones de captación y conducción. También se analizaron las estructuras laterales y

puntos de control del canal para identificar las principales áreas de pérdida así tuvo como Resultados encontró que el sistema presenta una eficiencia de conducción limitada debido a la infiltración y al deterioro de las compuertas y puntos de control. Se recomienda aumentar la frecuencia de mantenimiento y reemplazar las compuertas rústicas por metálicas para mejorar el control de flujo y reducir pérdidas en Conclusiones La tesis concluye que un mantenimiento más frecuente y mejoras en la infraestructura de control pueden aumentar significativamente la eficiencia del sistema de riego, optimizando el uso del agua durante las temporadas de mayor demanda agrícola.

La investigación realizada por Jiménez (2020), en su tesis titulada Diseño hidráulico para mejorar la eficiencia del canal de riego Cceñuaran en Apurímac, analiza la situación actual del canal Cceñuaran, que presenta un alto nivel de pérdida de agua debido a la falta de revestimiento. Este canal, ubicado en las comunidades de Occollo y Soccospata, enfrenta problemas de filtración, lo cual afecta la producción agrícola de la Región su Objetivo General es mejorar la eficiencia de conducción del canal Cceñuaran mediante un diseño hidráulico que optimice el flujo y minimice las pérdidas por infiltración así en su Metodología Se utilizó un diseño no experimental, recopilando datos de caudal y condiciones del canal a través de técnicas de topografía y medición en campo. Además, se aplicó el software HEC-RAS para modelar el flujo y evaluar posibles mejoras en la estructura del canal el cual su Resultados determinó que el canal necesita un revestimiento de concreto y la implementación de compuertas de control en puntos críticos. Se concluyó que estas mejoras reducirían significativamente la pérdida de agua y permitirían abastecer más áreas agrícolas en la Región en Conclusiones sugiere. La implementación de un revestimiento adecuado y de controles hidráulicos es fundamental para optimizar el uso de agua en el canal de riego Cceñuaran, lo cual podría incrementar la productividad agrícola en las comunidades beneficiadas.

### **3.1.3. Antecedentes Locales**

El estudio realizado por Torre y Vega (2021), en la tesis titulada Diseño hidráulico de sifón invertido del cruce canal de riego quebrada Sonccoyuma, Antabamba, Apurímac, se evaluó y rediseñó la infraestructura del sifón invertido para mejorar la eficiencia hidráulica en el canal de riego. Mediante un diseño que incluyó tuberías de PVC-O y hierro dúctil, se buscó optimizar la conducción del agua desde la quebrada Sonccoyuma hacia áreas agrícolas, beneficiando a comunidades locales que dependen de esta infraestructura tiene como Objetivo General Mejorar la eficiencia hidráulica del canal en Sonccoyuma mediante un rediseño del sifón invertido para reducir pérdidas y mejorar el flujo de agua en su Metodología El estudio utilizó un diseño aplicado y cuantitativo, con análisis de datos topográficos y modelación hidráulica para calcular el flujo y diseñar la infraestructura adecuada así tuvo como Resultados Con el rediseño, el sifón invertido logró una distribución de presión y flujo constante, lo cual mejoró el abastecimiento de agua para riego en la Región, contribuyendo a la producción agrícola local. así en Conclusiones La mejora en la infraestructura hidráulica del canal incrementó la eficiencia de riego, permitiendo un uso óptimo del recurso hídrico y apoyo al desarrollo agrícola de la zona.

El estudio realizado por Muñoz (2020), en su tesis titulada Eficiencia hidráulica en el sistema de agua potable en la localidad de Umaccata - Abancay - Apurímac 2020, evaluó la eficiencia hidráulica del sistema de agua potable en Umaccata, considerando la infraestructura, operación y gestión administrativa. La investigación reveló una eficiencia de infraestructura del 79.97% y una eficiencia operativa del 72.28%, indicando un proceso de deterioro en la capacidad del sistema para satisfacer las necesidades locales tuvo como Objetivo General: Determinar la eficiencia hidráulica y evaluar la infraestructura del sistema de agua potable en Umaccata, ofreciendo recomendaciones para mejorar la sostenibilidad del servicio en su Metodología Se utilizó un diseño descriptivo con un enfoque cuantitativo, y la recolección de datos se realizó mediante formatos y software computacionales específicos para la evaluación de eficiencia así sus Resultados Se identificó que el sistema requería

mejoras tanto en la infraestructura como en la gestión, con recomendaciones para optimizar el mantenimiento y reducir las pérdidas de agua como Conclusiones Mejorar el mantenimiento y actualizar componentes críticos del sistema resultará en un servicio más confiable y eficiente, beneficiando la comunidad en términos de acceso al agua potable.

El estudio realizado por Monzón (2022), en su tesis titulada Diseño hidráulico del canal Cceñuaran, utilizando técnica del software HEC-RAS para irrigar áreas agrícolas, Occollo, Soccospata, Andahuaylas - Apurímac, desarrolló un análisis detallado de la eficiencia hidráulica en el canal de riego Cceñuaran. El estudio empleó el software HEC-RAS para simular el flujo y optimizar el diseño estructural del canal, buscando mejorar la capacidad de riego en las zonas agrícolas de Occollo y Soccospata tuvo como Objetivo General Evaluar y optimizar el diseño hidráulico del canal para maximizar la eficiencia de conducción de agua destinada al riego de cultivos en las áreas mencionadas en su Metodología Se realizó una modelación del flujo con HEC-RAS, incluyendo análisis de energía, tirantes críticos y remansos en diversas secciones del canal. Esta metodología permitió identificar cambios necesarios para reducir pérdidas de agua por infiltración y mejorar la distribución así tuvo como resultados la investigación concluyó que el rediseño propuesto del canal, con mejoras en el revestimiento y estructura, incrementa significativamente la eficiencia hidráulica, mejorando el suministro de agua para la agricultura en la Región.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Canales**

Un canal es un conducto creado artificialmente para trasladar agua desde una fuente natural, como un río, hasta un área destinada para usos específicos, como el riego agrícola, el abastecimiento de agua o la generación hidroeléctrica. Su diseño considera factores como la pendiente, el caudal y la estructura del revestimiento, buscando minimizar la pérdida de agua y optimizar el flujo. Estos sistemas funcionan generalmente gracias a la gravedad y no requieren presión adicional, dado que el agua se mueve en contacto directo con el aire a través de su superficie libre (Swamee & Chahar, 2015; Liria Montañés, 2006).

### **3.2.2. Tipos de revestimiento de canales**

Cada tipo de canal está diseñado para cumplir una función específica y suele contar con características estructurales distintas en función del propósito, la topografía y las condiciones climáticas de la Región donde se construyen. (Liria Montañés, J. 2006).

**Canal Revestimiento de Concreto:** Este es uno de los revestimientos más duraderos y eficaces para reducir la infiltración y asegurar una conducción eficiente del agua. Se usa especialmente en canales de riego y suministro de agua potable. Su superficie lisa permite que el agua fluya rápidamente, pero es costoso y puede requerir mantenimiento para prevenir grietas.

**canal de Asfalto:** Este material es una alternativa menos costosa y más flexible que el concreto. El revestimiento de asfalto es impermeable y adecuado para reducir la infiltración en áreas donde el presupuesto es más limitado. Sin embargo, su durabilidad puede verse afectada en condiciones extremas de temperatura.

**Canal de Geomembranas (Polietileno o PVC)** Estas láminas sintéticas se colocan sobre la base del canal para evitar la pérdida de agua en suelos permeables. Son fáciles de instalar y económicas, pero su durabilidad depende del clima y la exposición a elementos externos.

**Canal de Piedra o Mampostería:** Utilizado en áreas rurales o de bajo presupuesto, el revestimiento de piedra proporciona una solución robusta y accesible. Sin embargo, su superficie rugosa puede aumentar la sedimentación y reducir la velocidad del flujo de agua.

**Canal de Tierra Compactada:** Este es el método más básico y económico, donde el suelo se compacta para reducir la infiltración. Aunque es menos efectivo que otros revestimientos, es adecuado para canales de bajo costo y menor exigencia en términos de eficiencia.

### **3.2.3. Selección del revestimiento**

La elección del tipo de revestimiento para un canal depende de varios factores técnicos, económicos y ambientales lo cual se estos se basan en ciertos criterios para seleccionar el revestimiento más adecuado. (Swamee y Chahar 2015).

**Revestimiento de Concreto:** Este es un revestimiento muy utilizado en canales de riego debido a su capacidad de evitar pérdidas de agua por infiltración, asegurando una alta eficiencia de conducción. El concreto se selecciona generalmente en zonas donde la durabilidad es clave, y la infraestructura debe soportar condiciones extremas de flujo y erosión (Swamee & Chahar, 2015). Además, su superficie lisa minimiza la fricción, permitiendo un flujo rápido y controlado (Liria Montañés, 2006).

**Geomembranas de Polietileno o PVC:** Este tipo de revestimiento es elegido en suelos altamente permeables, donde la prevención de infiltraciones es prioritaria. Las geomembranas son económicas y fáciles de instalar, pero su resistencia depende de factores ambientales, como la exposición al sol y el tipo de agua que transportan. Son una opción ideal en sistemas de riego agrícola, ya que mantienen la eficiencia en zonas con presupuesto limitado (Albaji, 2022).

**Asfalto:** Elegido por su flexibilidad y costo reducido, el asfalto es adecuado en canales donde el concreto es demasiado costoso. Aunque menos duradero que otros revestimientos, es ideal para climas moderados y su aplicación es relativamente rápida y sencilla. Este tipo de revestimiento puede encontrarse en canales de uso temporal o en áreas donde el agua no se transporta continuamente, evitando una inversión elevada (Chahar, 2015).

**Piedra o Mampostería:** En zonas rurales o donde los materiales locales están fácilmente disponibles, la piedra es una opción viable. Aunque es menos eficiente en términos de impermeabilidad, ofrece una resistencia estructural aceptable y es relativamente fácil de reparar. Este tipo de revestimiento es común en proyectos de bajo presupuesto, y su uso se recomienda en canales donde la velocidad de flujo no es un factor crítico (Villón, 2008).

**Tierra Compactada:** Esta opción es la más económica y se utiliza donde los recursos son limitados. Si bien la compactación del suelo ayuda a reducir la infiltración, su eficiencia es limitada en comparación con otros revestimientos. Es común en canales de drenaje o en proyectos temporales donde no se espera una alta exigencia en la retención de agua (Swamee & Chahar, 2015).

#### **3.2.4. Beneficios del revestimiento en canales de conducción.**

El revestimiento para eliminar las pérdidas por infiltración sobre todo depende del material que se utiliza.

**Reducción de Pérdidas por Infiltración:** Los revestimientos minimizan la infiltración de agua en el suelo, lo cual es esencial en zonas donde la conservación del agua es crítica. Al reducir la pérdida de agua, el revestimiento permite que un mayor volumen llegue a su destino, optimizando la eficiencia del canal para fines agrícolas o de abastecimiento de agua. Esta ventaja es particularmente relevante en suelos arenosos o permeables que, de otra manera, absorberían gran parte del flujo. (Swamee & Chahar, 2015).

**Incremento en la Velocidad del Flujo:** Los materiales de revestimiento, como el concreto o el asfalto, ofrecen una superficie lisa que reduce la fricción entre el agua y las paredes del canal. Esto permite que el agua se mueva con mayor rapidez y de forma más controlada, lo cual es fundamental en canales de gran longitud o con altas demandas de flujo. Esta ventaja es clave en canales que buscan maximizar el caudal sin necesidad de aumentar la sección del canal. (Liria Montañés, 2006).

**Disminución de la Erosión y el Mantenimiento:** Al crear una barrera resistente entre el flujo de agua y el suelo, los revestimientos protegen al canal de la erosión, especialmente en terrenos con pendientes pronunciadas o suelos sueltos. Esto extiende la vida útil de la infraestructura y reduce los costos asociados con reparaciones y mantenimiento frecuentes. Además, al disminuir la erosión, el canal se mantiene en mejores condiciones, lo cual evita la pérdida de su capacidad de transporte. (Villón, 2008).

**Control de Maleza y Sedimentación:** Los revestimientos son una barrera física que impide el crecimiento de maleza y minimiza la acumulación de sedimentos. Esto es crucial para mantener la capacidad del canal y evitar obstrucciones que puedan interrumpir el flujo de agua. La menor acumulación de sedimentos implica también una reducción en la necesidad de limpieza y mantenimiento, optimizando así la operación del canal. (Swamee & Chahar, 2015).

**Mejor Control y Manejo del Agua:** El revestimiento facilita un flujo regulado y permite una distribución más precisa del agua a lo largo del sistema, lo cual es fundamental en redes de riego o sistemas de abastecimiento complejos. Al tener un mayor control del flujo, es posible satisfacer de manera más efectiva las necesidades de los usuarios en momentos de alta demanda (Liria Montañés, 2006).

**Prevención de Inundaciones y Control de Desbordes:** los revestimiento en canales ayuda a mantener estabilidad en la estructura, lo que previene el desbordamiento en zonas propensas a inundaciones. Los revestimientos fuertes, como el concreto, reducen el riesgo de erosión en suelos débiles y disminuyen la probabilidad de rupturas en condiciones de alto flujo (The Constructor, 2019; AboutCivil, 2017).

**Ampliación del Área de Cultivo:** Al minimizar las pérdidas de agua y mantener un flujo controlado, los canales revestidos permiten irrigar una mayor extensión de tierra de manera eficiente, lo cual es beneficioso en regiones con limitaciones hídricas (CivilConcept, 2019; Made Easy, 2017).

**Reducción de Costos de Mantenimiento:** Con un revestimiento adecuado, los canales presentan menos problemas de sedimentación y crecimiento de vegetación, reduciendo la frecuencia y los costos de mantenimiento a largo plazo (CivilConcept, 2019; AboutCivil, 2017).

### **3.2.5. Condición que deben cumplir los canales**

Para asegurar la eficiencia y durabilidad de un canal, existen ciertas condiciones esenciales que deben cumplirse durante su diseño y construcción.

**Estabilidad Estructural:** El canal debe tener una estructura robusta que soporte el flujo del agua sin riesgo de erosión o colapso. Esto incluye el diseño de taludes adecuados y el uso de revestimientos apropiados para evitar que el agua dañe las paredes o el fondo del canal (Swamee & Chahar, 2015).

**Impermeabilidad:** A fin de reducir las fugas de agua hacia el subsuelo, el canal debe contar con un revestimiento impermeable, especialmente en suelos altamente permeables. Materiales como concreto, geomembranas o asfalto son recomendados para minimizar la pérdida de agua y asegurar que la mayor cantidad posible llegue a su destino (Liria Montañés, 2006).

**Capacidad de Conducción Adecuada:** El canal debe estar diseñado para manejar el volumen máximo de flujo sin desbordarse o causar daños. Esto implica ajustar la sección transversal y pendiente del canal para acomodar tanto flujos bajos como máximos sin comprometer la seguridad (Villón, 2008).

**Resistencia a la Erosión:** El revestimiento y diseño del canal deben protegerlo de la erosión causada por el flujo de agua, especialmente en canales de alta velocidad o en áreas con pendientes pronunciadas. La resistencia a la erosión ayuda a prolongar la vida útil del canal y a reducir los costos de mantenimiento (The Constructor, 2019).

**Eficiencia Hidráulica:** Un canal bien diseñado debe tener una superficie lo más lisa posible para reducir la fricción del agua y mejorar la eficiencia del flujo. Esto ayuda a que el agua se transporte rápidamente y sin grandes pérdidas de energía (CivilConcept, 2019).

**Fácil Mantenimiento y Reparabilidad:** Los materiales y el diseño del canal deben permitir reparaciones y mantenimientos regulares con facilidad. Es importante seleccionar

revestimientos que no solo sean duraderos, sino que también se puedan reparar sin mayores complicaciones (AboutCivil, 2017).

**Compatibilidad con el Tipo de Suelo y Condiciones Climáticas:** Los materiales y el diseño del canal deben adaptarse a las características del suelo y al clima local. En climas áridos o suelos expuestos a erosión, es fundamental que el revestimiento sea duradero y resistente a la sequedad o la expansión del suelo (FAO, 2021). La elección de materiales debe considerar también la susceptibilidad del terreno a la infiltración y otros fenómenos como el asentamiento de suelos, especialmente en zonas sísmicas o inestables.

**Capacidad de Mantenimiento de la Estabilidad en Pendientes y Alturas:** Los canales en áreas de pendiente o a diferentes niveles requieren una inclinación adecuada y estabilidad estructural para evitar deslizamientos o colapsos. Las estructuras deben diseñarse para soportar la presión del agua, y las inclinaciones de taludes deben ajustarse según el tipo de suelo, ya que la compactación y el revestimiento pueden prevenir problemas de estabilidad (Canal Partnership, 2011).

**Cumplimiento de Parámetros Hidráulicos:** Es importante que el diseño del canal permita el flujo adecuado bajo condiciones variables. Esto incluye el cálculo de un freeboard o margen de seguridad para evitar el desbordamiento, y la adecuación de las pendientes para asegurar el correcto flujo y evitar la acumulación de sedimentos o el crecimiento de maleza (University of Illinois, 2021).

**Aptitud para la Integración Ambiental:** Los canales deben construirse para minimizar el impacto ambiental, por ejemplo, utilizando métodos de construcción que permitan la regeneración de la vegetación en las áreas circundantes. En muchos casos, es preferible optar por diseños que favorezcan la biodiversidad y eviten el uso de materiales tóxicos o que dificulten la recuperación ecológica (Wilts & Berks Canal Trust, 2011).

### **3.2.6. Método de evaluación de las pérdidas hidráulicas por infiltración.**

Método Directo

Método de Tramos de Prueba

Este método implica medir el caudal en dos puntos a lo largo de un tramo específico del canal. La pérdida de agua por infiltración se calcula restando el caudal de salida del caudal de entrada.

Perdida por infiltración= $Q_{in}-Q_{out}$

Donde:

- $Q_{in}$ : Caudal de entrada en el tramo ( $m^3/s$ ).
- $Q_{out}$ : Caudal de salida en el tramo ( $m^3/s$ ).

Este método es útil en tramos de canal donde no hay otras fuentes de entrada o salida de agua.

Uso de Lysímetros:

En este método directo, se instala un lysímetro en el fondo del canal para capturar el agua que se infiltra en el suelo. La cantidad de agua recogida en el lysímetro representa directamente la pérdida por infiltración. Aunque no tiene una fórmula específica, la infiltración se mide en unidades de volumen ( $m^3$ ) o flujo ( $m^3/s$ ).

a) Método basado en la variación de caudales entre el ingreso y la salida.

El método de diferencia de caudales, también conocido como método volumétrico, se basa en la comparación del caudal de entrada y salida en un tramo del canal. Es adecuado para estimaciones rápidas en campo.

Perdida por infiltración= $Q_{in}-Q_{out}$

Donde:

- $Q_{in}$ : Caudal de entrada en el tramo ( $m^3/s$ ).

- $Q_{out}$ : Caudal de salida en el tramo ( $m^3/s$ ).

Este método es sencillo, pero debe aplicarse en tramos sin otras influencias de entrada o salida. La diferencia entre los dos caudales representa la pérdida de agua por infiltración.

### Métodos Analíticos y Empíricos

#### Ecuación de Darcy

Esta ecuación de Darcy es fórmula estándar en hidráulica para suelos y se expresa de la siguiente manera:

$$Q_i = K \cdot A \cdot i$$

Donde:

- $Q_i$ : Pérdida de agua por infiltración ( $m^3/s$ ).
- $K$ : Coeficiente de permeabilidad del suelo ( $m/s$ ), determinado según el tipo de suelo y pruebas de laboratorio.
- $A$ : Área de contacto entre el agua y el suelo ( $m^2$ ).
- $i$ : Gradiente hidráulico.

#### Modelo de Green-Ampt:

Este método se utiliza para estimar la infiltración en suelos no saturados y considera cómo disminuye la tasa de infiltración a medida que el suelo se va saturando. Su fórmula es:

$$Q = K_s \cdot (\theta_s - \theta_i) / L$$

Donde:

- $Q$ : Tasa de infiltración ( $m/s$ ).
- $K_s$ : Conductividad hidráulica del suelo saturado.
- $\theta_s$ : Humedad en saturación del suelo.
- $\theta_i$ : Humedad inicial del suelo.
- $L$ : Longitud del frente de humedad en el suelo.

Método Empírico de Harza:

Este método utiliza un coeficiente empírico de infiltración, que depende del tipo de suelo, para calcular la pérdida de agua en función del área de contacto. La fórmula es:

$$Q_i = C \cdot A$$

Donde:

- $Q_i$ : Pérdida de agua por infiltración ( $m^3/s$ ).
- $C$ : Coeficiente empírico de infiltración, basado en tablas para cada tipo de suelo.
- $A$ : Área mojada del canal ( $m^2$ ).

### **3.2.7. daños en canales**

**Erosión de las Paredes y el Fondo:** Se entiende por erosión el desgaste paulatino de las paredes y el fondo del canal, originado por el movimiento constante del agua. no revestidos o en aquellos con pendientes pronunciadas que aumentan la velocidad del agua. Este desgaste disminuye la capacidad de conducción del canal y puede provocar colapsos en las paredes y el fondo si no se controla (Swamee & Chahar, 2015; Liria Montañés, 2006). La erosión es un proceso continuo que también facilita la acumulación de sedimentos, lo cual complica el flujo del agua.

**Asentamientos y Fisuras en el Revestimiento:** Los asentamientos diferenciales ocurren cuando el suelo debajo del canal se compacta de manera desigual, provocando que el revestimiento se agriete o fisure. Estas fisuras permiten que el agua se infiltre en el suelo, lo cual no solo reduce el caudal que llega al destino final, sino que también debilita la estructura al erosionar la base del canal (FAO, 2021). Este tipo de daño es común en canales construidos sobre suelos poco compactados o en zonas con alta actividad sísmica.

**Crecimiento de Maleza y Sedimentación:** En canales no revestidos, la vegetación y el sedimento tienden a acumularse en el fondo y las paredes, creando obstáculos que aumentan la resistencia al flujo y reducen las capacidades del canal en el transporte de agua. Esta acumulación se debe a la deposición de partículas de suelo en suspensión y al

establecimiento de vegetación acuática, que también puede desviar el flujo de agua fuera del canal si no se retira (Villón, 2008).

**Desbordamientos y Filtraciones:** Los desbordamientos pueden ocurrir en canales cuya capacidad de diseño es insuficiente para manejar picos de flujo, lo que da lugar a derrames en los márgenes del canal. Por otro lado, las filtraciones suceden cuando el revestimiento del canal presenta grietas o es inadecuado, permitiendo que el agua se escape hacia el suelo circundante. Estos problemas reducen la eficiencia del canal y pueden causar daños adicionales al suelo, como la erosión de los bordes y la pérdida de nutrientes en suelos agrícolas (Swamee & Chahar, 2015; Liria Montañés, 2006).

**Daños por Actividades Humanas y Animales:** El tránsito de maquinaria o vehículos cerca de los canales puede afectar su estructura, especialmente si el revestimiento no está diseñado para soportar cargas pesadas. Además, el paso de animales grandes puede causar compactación desigual o rotura de las paredes del canal. Estos daños suelen requerir reparaciones frecuentes para mantener la funcionalidad y evitar fugas (FAO, 2021).

### 3.3. Definición de términos

**Eficiencia del riego:** La eficiencia del riego se define como la relación entre el volumen de agua efectivamente aprovechado por los cultivos y el volumen total suministrado a un sistema de riego. Su optimización permite reducir el desperdicio de agua y aumentar la productividad agrícola (FAO, 2017).

**Disponibilidad hídrica:** hace referencia al volumen de agua que puede ser aprovechado en una zona específica para cubrir las necesidades agrícolas, domésticas e industriales. Este parámetro está condicionado por variables climáticas como la precipitación, la infiltración que alimenta los acuíferos y la gestión integral del recurso (SENAMHI, 2020).

**Gestión integrada del recurso hídrico (GIRH):** es un enfoque que busca coordinar el desarrollo y la gestión del agua, (GWP, 2000).

**Sistema de conducción de agua:** es un conjunto de estructuras hidráulicas diseñadas para el transporte de agua desde su fuente hasta un punto de distribución o consumo, garantizando su disponibilidad para distintos usos (Chow, 1988).

**Canales de riego:** son infraestructuras utilizadas para transportar agua desde fuentes naturales o artificiales hacia las áreas de cultivo, permitiendo un suministro controlado y eficiente (Mays, 2011).

**Pérdidas de agua en riego:** se refieren a la cantidad de agua que no llega a ser utilizada por los cultivos debido a infiltración, evaporación o escorrentía, lo que reduce la eficiencia del sistema de riego (Allen et al., 1998).

**Caudal de diseño:** es la cantidad de agua que una infraestructura hidráulica debe transportar para satisfacer la demanda esperada, considerando factores como la variabilidad climática y el consumo proyectado (Ven Te Chow, 1988).

**Eficiencia hidráulica:** La eficiencia hidráulica mide la capacidad de un sistema de conducción de agua para minimizar las pérdidas de energía y garantizar un flujo óptimo, reduciendo la fricción y turbulencia dentro de las estructuras (Mays, 2010).

**Tecnologías de riego:** Las tecnologías de riego incluyen herramientas y métodos diseñados para mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, como el riego por goteo, aspersión y automatización de sistemas de riego (Howell, 2003).

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de Investigación**

#### ***4.1.1. Tipo de investigación***

Es un diseño de investigación no experimental es aquel en el que el investigador observa fenómenos en su contexto natural sin manipular las variables de manera deliberada. En este tipo de estudio, se busca identificar y analizar las relaciones entre variables tal como ocurren, permitiendo describir su comportamiento o, en algunos casos, establecer correlaciones. Esto es ideal para estudios descriptivos y correlacionales, donde el objetivo no es modificar las condiciones de la investigación, sino entender el fenómeno en su estado actual. (Hernández Sampieri, 2014)

Esta investigación tiene enfoque no experimental es adecuado, ya que permite analizar la eficiencia del sistema en su estado actual sin intervenir directamente sobre las variables, sino observando y midiendo datos existentes para determinar áreas de mejora en el uso agrícola.

#### ***4.1.2. Nivel de investigación***

Es de tipo Descriptivo Este nivel es fundamental para tu investigación, ya que describirá el estado actual del sistema de conducción Puma Ccocha, su estructura, funcionamiento y nivel de eficiencia hidráulica. La investigación descriptiva permite documentar las características y condiciones del sistema de manera detallada (Hernández, 2014).

#### ***4.1.3. Diseño de la investigación***

Es un diseño de investigación no experimental es aquel en el que el investigador observa los fenómenos tal como ocurren, sin manipular deliberadamente las variables. En este tipo de investigación, las variables se analizan en su estado natural para identificar posibles relaciones o patrones. Este diseño es adecuado cuando no es posible, ético, o

necesario manipular las condiciones de estudio, permitiendo al investigador obtener información sobre cómo se relacionan las variables en el contexto real. (Hernández, 2014)..

#### **4.1.4. Método**

El método de la presente investigación acorde lo indicado por Borja S. (2016) corresponde al no experimental, ya que no se manipulan de manera directa las variables del estudio. En este tipo de método, las observaciones se realizan sobre los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, permitiendo examinar la relación entre los factores de estudio sin alterar las condiciones del entorno ni intervenir en los resultados.

#### **4.1.5. Enfoque de la Investigación**

Según la teoría indicada por Borja S. ( 2016) el estudio presenta un **enfoque cuantitativo**, debido a que el análisis se basa en la obtención de datos expresados numéricamente.

### **4.2. Ámbito temporal y espacial**

Ámbito temporal

Respecto al progreso de este estudio, se inició en abril de 2024.

Ámbito espacial

La presente investigación se realizará en el Distrito de Curahuasi, Provincia Abancay, departamento Apurímac 2024.

### **4.3. Población y Muestra**

población

estaría compuesta por todos los elementos que forman parte del sistema de conducción de agua en Puma Ccocha. Esto incluye tramos de canal, puntos de distribución, estructuras de control de flujo y áreas agrícolas que reciben el agua para riego.

Según Hernández Sampieri, la población debe definirse claramente para garantizar que los resultados del estudio sean aplicables a todo el sistema en estudio y que se puedan hacer inferencias válidas sobre su eficiencia hidráulica (Hernández, 2014).

#### Muestra

la muestra representará una selección de tramos específicos o componentes clave dentro del sistema de conducción de agua de Puma Ccocha que sean representativos de toda la población. La muestra debe ser lo suficientemente significativa para analizar la eficiencia hidráulica y obtener resultados aplicables al sistema completo. (Hernández, 2014).

una muestra representativa es crucial para obtener conclusiones válidas que puedan aplicarse a todo el sistema de conducción de agua en Curahuasi.

#### Muestreo

el muestreo es el proceso de selección de una parte de la población que representa al conjunto total, los tramos comprendidos están desde el km 0+000 al km 1+559 permitiendo que los resultados obtenidos puedan generalizarse dentro de ciertos márgenes de error. Arias (2016).

## **4.4. Instrumentos**

### **4.4.1. Técnicas**

Observación Es una técnica que consiste en captar los aspectos relevantes de los fenómenos tal y como ocurren, sin intervenir en ellos. Arias destaca que puede ser participante (cuando el investigador se involucra en el contexto) o no participante (cuando el investigador solo observa). (Arias, 2020)

#### **4.4.2. Instrumentos**

Según Arias (2016), los instrumentos de investigación son herramientas que permiten recoger datos de manera sistemática y precisa en un estudio. Algunos de los instrumentos clave que menciona incluyen:

Fichas de Observación: Utilizadas en estudios observacionales, estas fichas permiten al investigador registrar aspectos específicos del fenómeno observado. Las fichas incluyen categorías y espacios para anotar detalles importantes, facilitando la sistematización de la observación.

#### **4.5. Procedimiento**

##### a) Información Preliminar

- Descripción: Esta fase incluye la recopilación de datos históricos del canal Puma Ccocha.
- Objetivo: Entender el estado inicial del canal y detectar puntos críticos para el estudio.
- Técnicas e Instrumentos: Análisis documental mediante fichas de registro de datos históricos.

##### b) Medición del Caudal

- Descripción: aforo de caudal en diferentes secciones del canal usando caudalímetros en épocas de lluvia y sequía.
- Objetivo: Evaluar el flujo de agua para detectar variaciones significativas y pérdidas.
- Técnicas e Instrumentos: Caudalímetros portátiles para medir el flujo; registro mensual en fichas o tablas que permitan un análisis comparativo.

c) Inspección de Infraestructura

- Descripción: Consiste en inspecciones visuales y fichas técnicas que documenten el estado físico del canal.
- Objetivo: Identificar problemas estructurales, como grietas, obstrucciones y desgaste, que afecten la eficiencia.
- Técnicas e Instrumentos: Inspección directa con fichas técnicas detalladas para anotar observaciones de campo.

d) Levantamiento Topográfico

- Descripción: elaborar un levantamiento del canal y el entorno mediante una estación total.
- Objetivo: Obtener perfiles longitudinales y transversales que permitan identificar sus pendientes.
- Técnicas e Instrumentos: Uso de una estación total (como la Topcom ES 105) y software de análisis topográfico para procesar datos.

e) Procedimiento Computacional

- Descripción: procesar el comportamiento hidráulico en distintas condiciones, usando programas computacionales.
- Objetivo: Prever el rendimiento futuro y evaluar escenarios bajo diferentes caudales y condiciones climáticas.
- Técnicas e Instrumentos: Software de simulación hidráulica que permita crear modelos y predecir resultados en escenarios variados.

**f) Análisis de los Resultados**

- Descripción: Análisis entre datos en campo y los resultados en simulaciones.
- Objetivo: Identificar mejoras y formular recomendaciones para optimizar la eficiencia del canal.
- Técnicas e Instrumentos: Análisis estadístico y comparación de resultados en informes que integren observaciones de campo con datos de simulación.

**4.6. Análisis de datos**

Para el procesamiento, se aplicaron técnicas estadísticas a la información obtenida a través de un análisis descriptivo. Este procedimiento permitió comprobar la hipótesis y determinar el nivel de relevancia existente en la relación entre el flujo de infiltración y los desplazamientos de taludes. La información de las fichas de registro se volcó en una hoja de cálculo, donde se generaron gráficos de líneas y barras para facilitar la interpretación. Para asegurar la precisión en el análisis y la comprobación de hipótesis, se utilizaron herramientas como Microsoft Excel para el manejo de datos y SPSS para el análisis estadístico...

**4.7. Consideraciones Éticas**

la investigación representa el compromiso de respeto, transparencia y protección de los derechos y el bienestar de las personas, así como del entorno natural involucrado. Estas incluyen la obtención de un consentimiento informado para los participantes, la confidencialidad y protección de datos personales, la integridad en la recolección y análisis de datos sin manipulación, el respeto al entorno para evitar impactos negativos en el sistema natural y la comunicación honesta y transparente de los resultados, asegurando que la información generada contribuya al conocimiento sin poner en riesgo los principios éticos fundamentales.

## **V. Resultados y discusión**

### **5.1. Análisis de Datos y Resultados Procesados**

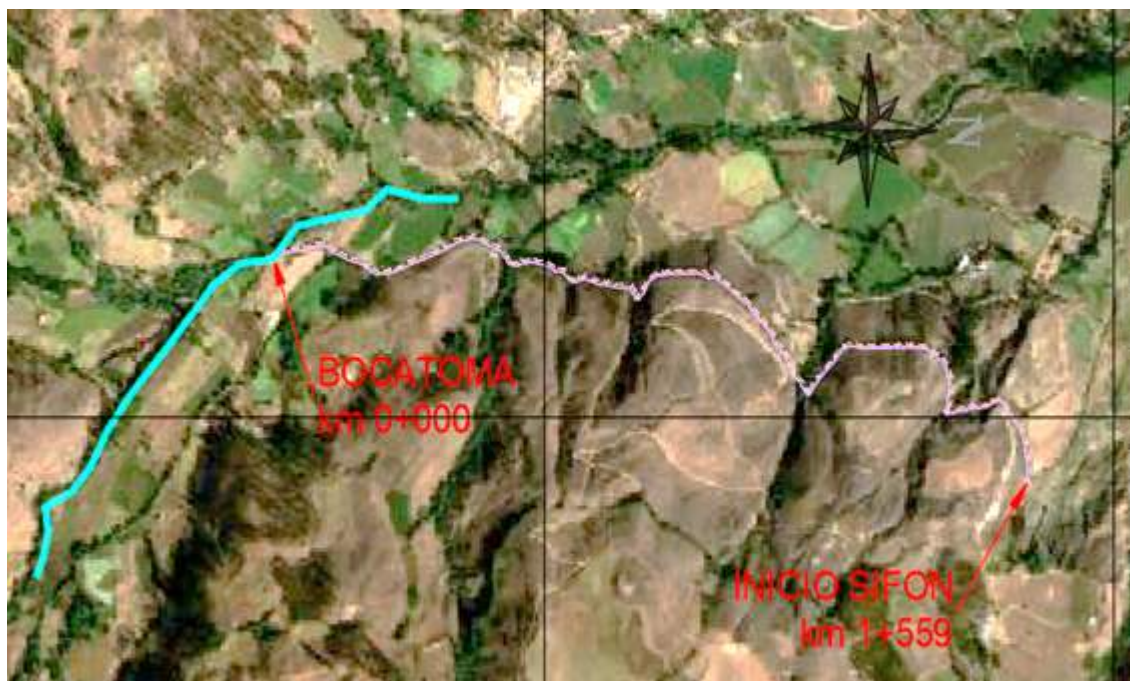
El canal de riego de Puma Ccocha se encuentra ubicado en el Distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, en la Región de Apurímac. Este canal atraviesa los sectores de Asmayacu, Tarales, Ccocharay y Ayaurco. Su punto de captación se localiza en el sector de Puma Ccocha, dentro de Asmayacu, y finaliza en el canal de evacuación de aguas pluviales situado en la calle Occoracca de la ciudad de Curahuasi.

#### **5.1.1. Características del área de investigación**

El canal de riego Puma Ccocha se extiende a lo largo de más de 19 km y tiene una antigüedad de 28 años. Su construcción y revestimiento, realizados con mampostería de piedra y concreto, fueron llevados a cabo por el Proyecto Especial Plan MERISS. La captación de agua se ubica en el río Asmayacu, dentro del mismo sector, y marca el inicio del recorrido del canal. En el kilómetro 1+559, comienza un sifón de 150 metros de longitud, construido en 2020 por el Gobierno Regional de Apurímac a través de la Unidad Ejecutora Pro Desarrollo. A partir de este punto, se han dispuesto varias tomas de agua destinadas al riego de parcelas en los sectores de Tarales, Lucmapata, Ccocharay y Ayaurco. Finalmente, el canal desemboca en el sistema de evacuación de aguas pluviales ubicado en la calle Occoracca en la ciudad de Curahuasi.

## Figura 1

### Ubicación del canal Puma Ccocha



**Nota.** Mapa editado con base en imágenes de *Google Earth* (2024).

## 5.2. Estudios previos

### 5.2.1. Estudios en campo

#### 5.2.1.1. Estudio topográfico

El canal de riego Puma Ccocha, se empleó un GPS Garmin 64s y un GPS diferencia FOIF A90 para registrar los puntos a lo largo del canal, la cual comprende un total de 1559 metros. A través del GPS, se capturaron coordenadas específicas en lugares de interés y puntos críticos donde se algún detalle que comprometiera el canal, aparte de los puntos que se tomaron para configurar el eje del canal. Estos puntos fueron posteriormente exportados y procesados en Google Earth y el Civil 3D, lo que permitió una visualización precisa del recorrido del canal en un entorno de mapa satelital.

Durante el recorrido de campo, se tomaron medidas con una cinta métrica de 50 metros (wincha) para validar las distancias entre puntos, asegurando la precisión de los segmentos críticos y la concordancia con los datos georreferenciados. Adicionalmente, se

utilizó una cámara fotográfica para documentar en imágenes las principales deficiencias estructurales del canal, como grietas y problemas en las juntas de concreto. Estas fotografías se asocian a las coordenadas específicas obtenidas, aportando una representación visual que complementa los datos cuantitativos y permite una comprensión detallada de las condiciones actuales del canal.

## Figura 2

### *medición de bocatoma*



**Nota.** Esta imagen se muestra la medición de bocatoma ubicada en el sector de Puma Ccocha .

En total, se registraron coordenadas de más de 100 puntos a lo largo del canal, cada uno de ellos proporcionando datos precisos de su ubicación en términos de latitud, longitud y elevación. Estos puntos incluyen, entre otros, áreas donde se observó pérdida de material de recubrimiento, deterioro en la estructura, y acumulación de sedimentos, factores que afectan negativamente la eficiencia hidráulica del canal. Las observaciones en campo indican que el deterioro progresivo y las deficiencias en el revestimiento podrían estar contribuyendo significativamente a la pérdida de caudal, lo cual se analiza en detalle en la discusión de resultados de esta tesis.

Este levantamiento topográfico aporta una base sólida para evaluar las necesidades de mantenimiento y rehabilitación del canal de riego Puma Ccocha, proporcionando datos objetivos para respaldar la toma de decisiones orientadas a mejorar la eficiencia del sistema de riego.

**Tabla 2**

*Registro de Puntos GPS*

<b>N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura</b>
213	745846	8497688	3073
214	745846	8497691	3073
212	745851	8497664	3074
211	745854	8497657	3073
215	745854	8497707	3074
193	745856	8497452	3080
192	745856	8497441	3079
210	745856	8497655	3073
194	745857	8497452	3082
209	745860	8497645	3071
191	745861	8497429	3080
190	745864	8497418	3077
189	745864	8497406	3076
216	745865	8497732	3074
188	745865	8497396	3077
195	745865	8497464	3082
187	745866	8497390	3077
208	745868	8497629	3072
186	745870	8497384	3076
177	745870	8497364	3073
196	745870	8497475	3082
172	745870	8497364	3045
171	745871	8497365	3045
176	745871	8497363	3046
173	745871	8497364	3046
174	745871	8497363	3046
175	745872	8497363	3046
185	745872	8497377	3076
184	745873	8497374	3076
183	745874	8497371	3077
178	745874	8497366	3076
206	745874	8497610	3072
179	745874	8497366	3076
182	745874	8497369	3076
207	745875	8497610	3073
181	745875	8497367	3076

<b>N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura</b>
180	745875	8497366	3076
197	745879	8497496	3081
220	745880	8497780	3075
198	745881	8497507	3081
219	745881	8497767	3075
205	745882	8497590	3074
217	745882	8497743	3073
221	745883	8497796	3075
218	745885	8497754	3075
222	745886	8497807	3076
199	745888	8497518	3081
204	745889	8497574	3077
223	745892	8497816	3076
203	745893	8497564	3079
224	745894	8497829	3075
200	745894	8497528	3081
202	745896	8497548	3080
241	745896	8498043	3072
240	745896	8498000	3073
201	745897	8497534	3080
242	745898	8498052	3072
239	745898	8497986	3072
238	745898	8497980	3073
244	745901	8498070	3072
243	745903	8498057	3072
228	745903	8497863	3075
245	745904	8498075	3072
246	745905	8498075	3073
225	745905	8497838	3076
237	745907	8497965	3073
227	745908	8497849	3075
226	745909	8497845	3075
229	745911	8497884	3075
230	745912	8497898	3074
231	745916	8497915	3073
232	745917	8497935	3074
236	745923	8497957	3074
247	745927	8498103	3073
233	745927	8497941	3074
234	745930	8497946	3074
235	745933	8497948	3074
248	745936	8498115	3072
249	745944	8498124	3072
250	745956	8498135	3072
251	745978	8498155	3071
252	745995	8498164	3073
266	745999	8498283	3074

N°	Este	Norte	Altura
269	746001	8498381	3075
267	746002	8498301	3075
270	746002	8498397	3075
268	746002	8498320	3076
271	746003	8498404	3075
265	746005	8498269	3072
253	746007	8498175	3073
264	746010	8498266	3072
272	746010	8498414	3075
254	746015	8498181	3072
263	746020	8498259	3073
273	746022	8498428	3075
274	746028	8498434	3075
255	746033	8498190	3072
262	746036	8498244	3073
256	746044	8498196	3072
257	746047	8498200	3073
275	746049	8498440	3077
261	746049	8498232	3073
260	746055	8498227	3073
276	746066	8498439	3077
258	746068	8498214	3074
259	746069	8498219	3073
285	746076	8498520	3077
284	746078	8498514	3075
277	746081	8498437	3077
283	746087	8498497	3075
282	746087	8498489	3076
281	746088	8498477	3076
278	746090	8498434	3077
286	746091	8498531	3075
280	746091	8498463	3076
279	746097	8498433	3076
287	746101	8498538	3076
288	746120	8498552	3077
289	746131	8498557	3077
290	746144	8498560	3077
291	746150	8498560	3078
292	746172	8498563	3077
293	746180	8498564	3078
294	746191	8498560	3078
295	746195	8498562	3079

**Nota.** Esta tabla muestra La nube de puntos levantados a partir de equipos topográficos realizados en campo para el procesamiento de datos para este trabajo.

### 5.2.1.2. Estudio Hidrometeorológicos

**Tabla 3**

*Estaciones Meteorológicas*

ESTACIÓN: CURAHUASI	
Departamento:	APURIMAC
Provincia:	ABANCAY
Distrito:	CURAHUASI
Latitud:	13°33'9.11"
Longitud:	72°44'5.53"
Altitud:	2741 msnm.
Tipo:	CO - Meteorológica
Código:	113029

**Nota.** Elaboración propia a partir de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024).

La presente investigación utilizó información procedente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), correspondiente al año 2024. Para estimar la evaporación, se aplicó la ecuación de Penman, la cual permite determinar con precisión las pérdidas de agua por evaporación a lo largo del periodo anual en la zona de análisis. Esta herramienta posibilita obtener valores confiables del proceso evaporativo, considerando variables climáticas esenciales como la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento. Dichos factores se integran en el modelo para generar resultados representativos del comportamiento del recurso hídrico en el ámbito de estudio.

Asimismo, se empleó la plataforma Google Earth para definir con exactitud las coordenadas geográficas de la zona, ya que la posición espacial incide directamente en las condiciones atmosféricas empleadas en el cálculo. Estas coordenadas fueron indispensables para la aplicación precisa del modelo de Penman, asegurando la fiabilidad de los resultados.

Con los datos meteorológicos obtenidos y las coordenadas establecidas, se procedió a estimar la tasa de evaporación correspondiente al área de estudio. Finalmente, se presentan los valores calculados de evaporación diaria estimada para el año 2024, los cuales reflejan el comportamiento climático del sector analizado.

### 5.2.1.3. Aforamiento de canales

Para realizar el estudio del aforo se utilizaron los siguientes métodos: método del flotador y método de vertedero. Con el fin de determinar el verdadero caudal del canal, estos procedimientos permitieron obtener y análisis de datos del caudal. Los puntos de intersección se ubicaron en los kilómetros 0+020 (entrada) y 01+559 (salida). El punto kilométrico 0+000 fue rechazado debido a imperfecciones ya sea por presencia de maleza e infiltraciones que limitaban la precisión del aforo, y se eligió el kilómetro 0+020 como una ubicación más adecuada. Por otra parte, el canal conecta con la entrada del sifón que está ubicado en el km 01+559.

Para el método de corriente libre se utilizaron materiales como flotador, cinta métrica, cronómetro, pernos y hojas de registro de datos. Diseñado y construido sobre una placa metálica de 1/4 de pulgada de espesor.

Para la recolección de datos se tuvo que programar 5 fechas donde se realizaron los aforos correspondientes a continuación se muestra el cuadro siguiente.

**Tabla 4**

*Aforamiento de canal*

N°	Fecha	tramo		Hora	Condición climática
		Entrada	Salida		
1	14/09/2024	Km 00+020	Km 01+550	03:00 p. m.	Cielo despejado
2	15/09/2024	Km 00+020	Km 01+551	10:00 a. m.	Cielo despejado
3	16/09/2024	Km 00+020	Km 01+552	10:30 a. m.	Cielo despejado
4	17/09/2024	Km 00+020	Km 01+553	09:20 a. m.	Cielo despejado
5	18/09/2024	Km 00+020	Km 01+554	09:10 a. m.	Cielo despejado

**Nota.** Esta tabla muestra los registros obtenidos durante los aforos hidráulicos efectuados entre los kilómetros 0+020 y 0+554 del canal, en el periodo del 14 al 18 de septiembre de 2024, considerando las condiciones climáticas observadas en cada jornada.

#### **5.2.1.4. Análisis del recubrimiento y de las juntas en el canal.**

La infraestructura del canal fue analizada de manera minuciosa durante la etapa de inspección y reconocimiento. El propósito de esta evaluación consistió en identificar y clasificar las diferentes condiciones del recubrimiento y las juntas presentes en toda la extensión del sistema de conducción. problema encontrado como grietas, roturas, fisuras y estado del revestimiento y las juntas, identificando sus características específicas y analizando las condiciones en que se manifiesta. El procedimiento permitió comprender detalladamente la situación estructural del canal, que servirá como base para un análisis posterior de las imperfecciones identificadas.

### **5.3. Análisis de datos**

#### **5.3.1. Estimación del caudal mediante el método de flujo superficial o flotante**

El cálculo de caudal en el canal se realizó aplicando el método de corriente libre o de flotadores, siguiendo los pasos detallados a continuación:

- a) Marcado de los puntos de partida y llegada: los puntos de inicio y finalización se establecen separados por la distancia de 10 metros en el canal. Se utilizó una cinta métrica para verificar y asegurar la precisión de la distancia entre estos puntos, que fueron pintados y fijados con jalones. Para garantizar la representatividad del caudal medido, caudal medido, la longitud de la traza representativa y las condiciones del canal determinan la distancia entre puntos.
- b) La posición de los flotadores fue determinada al colocarlos en la deriva, siguiendo la corriente natural del agua, en el punto de partida. Para evitar perturbaciones del flujo y proporcionar una buena respuesta a la velocidad del agua, se recomienda utilizar flotadores de material impermeable más ligero y con una densidad cercana a la del agua.
- c) tiempo de desplazamiento: Utilizando un cronómetro de precisión, donde se registra el tiempo que tardaba cada flotador al recorrer la distancia entre un punto de partida y

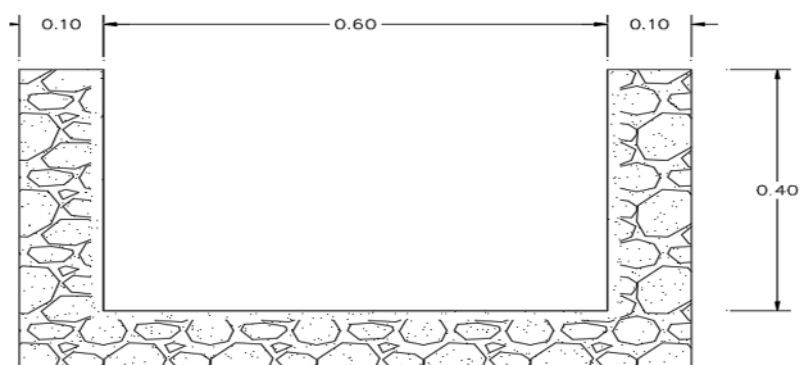
el punto de llegada. Se registraron los tiempos en una libreta y se llevó a cabo 10 mediciones (replicadas) para asegurar la confiabilidad de los datos. Con estos diversos controles, se puede calcular un promedio de tiempo de funcionamiento tiempo de ejecución, minimizando los errores causados por variaciones en el flujo o movimientos no lineales del flotador. Se puede calcular, minimizando los errores causados por variaciones en el flujo o movimientos no lineales del flotador.

- d)** Se determinó la velocidad del flujo dividiendo la longitud recorrida del tramo de prueba ( $L = 10 \text{ m}$ ) entre el tiempo promedio registrado ( $t$ ) durante cada serie de mediciones, obteniendo así la velocidad promedio del agua ( $V$ ). La expresión empleada para el cálculo fue:  $V = L / t$ , donde  $V$  representa la velocidad expresada en metros por segundo (m/s),  $L$  corresponde a la distancia medida en metros y  $t$  al tiempo promedio expresado en segundos.
- e)** El caudal fue calculado aplicando la ecuación de continuidad:  $Q = A \times V$ , donde  $Q$  representa el caudal expresado en metros cúbicos por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $A$  corresponde al área de la sección transversal del canal ( $\text{m}^2$ ) y  $V$  indica la velocidad promedio del flujo (m/s). En el tramo evaluado, la sección transversal ( $A$ ) se mantuvo constante, habiéndose medido con antelación para garantizar exactitud en la estimación del caudal.

Sección del canal tramo 00+000 a 01+559, se aclara que la sección es constante y el canal se encuentra revestido con concreto.

**Figura 3**

Sección del canal tramo 00+000 a 01+559



**Nota.** Esta figura fue elaborada a partir de los levantamientos y mediciones realizadas en campo durante el mes de septiembre de 2024.

**Tabla 5**

Aforo hidráulico 14.09.2024 método flotador

Tiempo (seg) =	Datos	
	Entrada	Salida
t1 =	11.11	10.56
t2 =	10.55	10.02
t3 =	11.28	10.72
t4 =	11.42	10.85
t5 =	11.36	10.79
t6 =	11.65	11.07
t7 =	11.72	11.13
t8 =	11.32	10.75
t9 =	11.36	10.79
t10 =	11.35	10.78
<b>Promedio =</b>	<b>11.31</b>	<b>10.75</b>
Distancia (m) =	10	10
Velocidad (m/s)	0.88	0.93
=		
Sección (m <sup>2</sup> ) =	0.105	0.087
Ancho (m) =	0.60	0.60
Alto (m) =	0.175	0.145
Caudal (m <sup>3</sup> /s) =	0.093	0.081
Caudal (l/s) =	92.82	80.96

**Nota.** Esta tabla muestra los registros obtenidos durante el aforo realizado el 14 de septiembre de 2024 mediante el método del flotador, en el tramo comprendido entre las secciones de entrada y salida del canal.

**Tabla 6***Aforo hidráulico 15.09.2024 método flotador*

Tiempo (seg) =	Datos	
	Entrada	Salida
t1 =	11.55	11.07
t2 =	10.86	10.62
t3 =	11.67	11.32
t4 =	11.70	11.33
t5 =	11.70	11.28
t6 =	11.94	11.73
t7 =	12.07	11.76
t8 =	11.71	11.32
t9 =	11.86	11.44
t10 =	11.85	11.43
<b>Promedio =</b>	<b>11.69</b>	<b>11.33</b>
Distancia (m) =	10	10
Velocidad (m/s)		
=	0.86	0.88
Sección (m <sup>2</sup> ) =	0.105	0.087
Ancho (m) =	0.60	0.60
Alto (m) =	0.175	0.145
Caudal (m <sup>3</sup> /s) =	0.090	0.077
Caudal (l/s) =	89.82	76.80

**Nota.** Esta tabla muestra los registros obtenidos durante el aforo realizado el 15 de septiembre de 2024 mediante el método del flotador, en el tramo comprendido entre las secciones de entrada y salida del canal.

**Tabla 7***Aforo hidráulico 16.09.2024 método flotador*

Tiempo (seg) =	Datos	
	Entrada	Salida
t1 =	10.83	10.07
t2 =	10.23	9.46
t3 =	10.88	10.05
t4 =	10.95	10.23
t5 =	10.84	10.29
t6 =	11.35	10.56
t7 =	11.36	10.50
t8 =	10.92	10.09
t9 =	10.96	10.29
t10 =	10.89	10.12
<b>Promedio =</b>	<b>10.92</b>	<b>10.17</b>
Distancia (m) =	10	10
Velocidad (m/s)	0.92	0.98

Tiempo (seg) =	Datos	
	Entrada	Salida
Sección (m <sup>2</sup> ) =	0.105	0.087
Ancho (m) =	0.60	0.60
Alto (m) =	0.175	0.145
Caudal (m <sup>3</sup> /s) =	0.096	0.086
Caudal (l/s) =	96.15	85.57

**Nota.** Esta tabla muestra los registros obtenidos durante el aforo realizado el 16 de septiembre de 2024 mediante el método del flotador, en el tramo comprendido entre las secciones de entrada y salida del canal.

**Tabla 8**

*Aforo hidráulico 17.09.2024 método flotador*

Tiempo (seg) =	Datos	
	Entrada	Salida
t1 =	13.61	12.93
t2 =	12.26	11.65
t3 =	13.58	12.90
t4 =	14.03	13.33
t5 =	13.44	12.77
t6 =	14.96	14.21
t7 =	13.10	12.45
t8 =	13.15	12.50
t9 =	13.68	13.00
t10 =	14.58	13.85
<b>Promedio =</b>	<b>13.64</b>	<b>12.96</b>
Distancia (m) =	10	10
Velocidad (m/s)		
=	0.73	0.77
Sección (m <sup>2</sup> ) =	0.099	0.082
Ancho (m) =	0.60	0.60
Alto (m) =	0.165	0.136
Caudal (m <sup>3</sup> /s) =	0.073	0.063
Caudal (l/s) =	72.58	62.97

**Nota.** Esta tabla muestra los registros obtenidos durante el aforo realizado el 17 de septiembre de 2024 mediante el método del flotador, en el tramo comprendido entre las secciones de entrada y salida del canal.

**Tabla 9***Aforo hidráulico 18.09.2024 método flotador*

Tiempo (seg) =	Datos	
	Entrada	Salida
t1 =	9.94	9.44
t2 =	9.50	9.02
t3 =	10.28	9.76
t4 =	10.53	10.00
t5 =	10.03	9.53
t6 =	10.55	10.02
t7 =	10.68	10.14
t8 =	10.44	9.91
t9 =	10.35	9.83
t10 =	10.22	9.71
<b>Promedio =</b>	<b>10.25</b>	<b>9.74</b>
Distancia (m) =	10	10
Velocidad (m/s)		
=	0.98	1.03
Sección (m <sup>2</sup> ) =	0.098	0.080
Ancho (m) =	0.60	0.60
Alto (m) =	0.164	0.133
Caudal (m <sup>3</sup> /s) =	0.096	0.082
Caudal (l/s) =	96.00	81.95

**Nota.** Esta tabla muestra a los registros obtenidos durante el aforo realizado el 18 de septiembre de 2024 mediante el método del flotador, en el tramo comprendido entre las secciones de entrada y salida del canal.

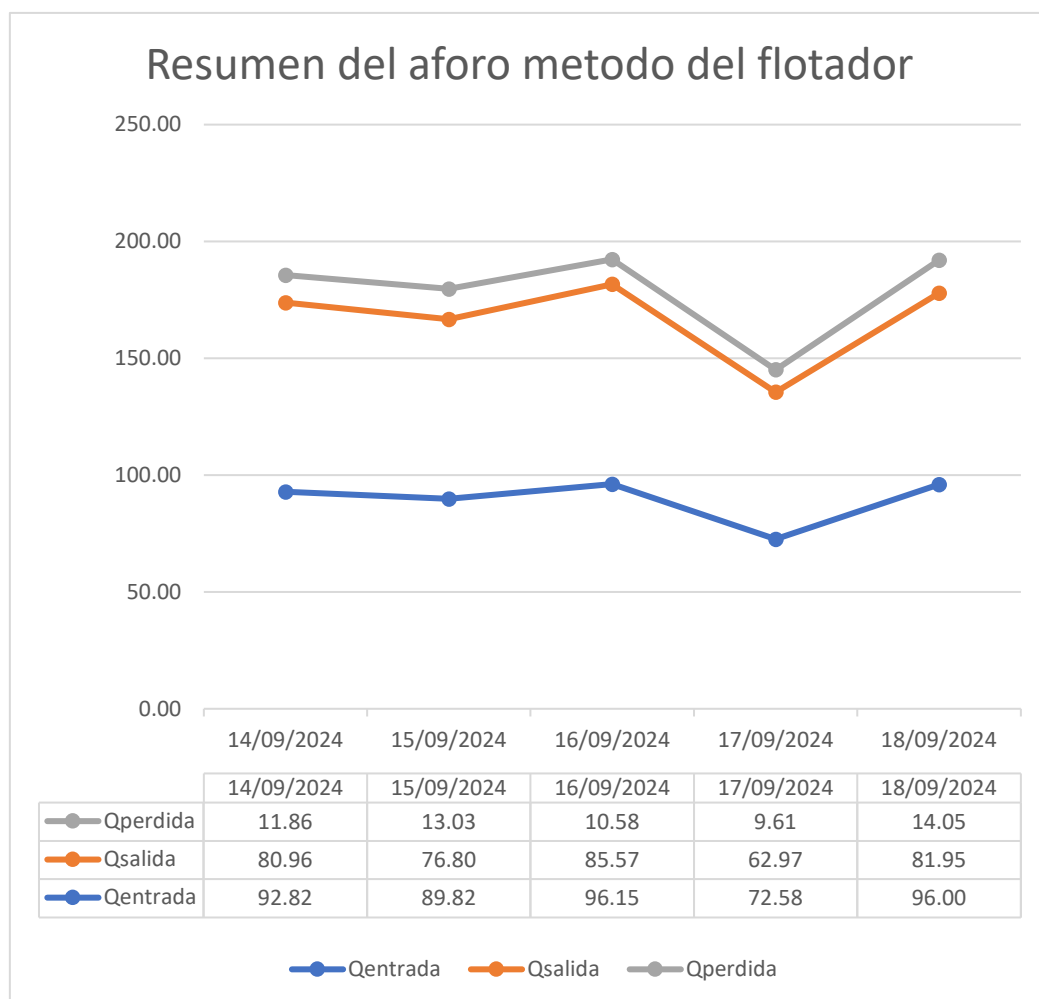
**Tabla 10***Resumen de aforo hechos mediante el método del flotador*

N°	Fecha	Caudal (lit/seg)		Perdida (lit/seg)
		Ingreso	Salida	
1	14/09/2024	92.82	80.96	11.86
2	15/09/2024	89.82	76.80	13.03
3	16/09/2024	96.15	85.57	10.58
4	17/09/2024	72.58	62.97	9.61
5	18/09/2024	96.00	81.95	14.05
<b>Promedio =</b>		<b>89.48</b>	<b>77.65</b>	<b>11.82</b>

**Nota.** Esta tabla muestra los registros obtenidos durante el aforo realizado mediante el método del flotador, entre el 14 y el 18 de septiembre de 2024. Donde se observa que el caudal promedio de ingreso es 84.48 lit/seg, y el caudal promedio de salida es 77.65 lit/seg, y la pérdida de caudal es 11.82 lit/seg.

**Figura 4**

*Gráfico del resumen de aforo método flotador*



**Nota.** Esta figura muestra el comportamiento de los caudales medidos mediante el método del flotador, registrando los valores promedio de entrada y salida durante los aforos realizados en campo entre el 14 y el 18 de septiembre de 2024. Los resultados muestran la variación diaria del caudal, determinada a partir de mediciones de tiempo, distancia y sección transversal del canal, bajo condiciones climáticas de cielo despejado y flujo uniforme.

### **5.3.2. Cálculo del caudal Método del Vertedero**

El cálculo del caudal en el canal se realizó aplicando el método del vertedero rectangular, siguiendo los pasos detallados a continuación:

- a) Colocación del vertedero:** Se instaló un vertedero rectangular fabricado en una placa de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor en el punto

designado para la medición del caudal. Se instaló una placa de acero en el punto designado para la medición del caudal. Para proporcionar una instalación robusta y hermética, el vertedero se fijó con una mezcla de cemento y yeso, sellando todas las uniones con el canal y evitando cualquier posible filtración que pudiera afectar la precisión de la medición. Para controlar de manera confiable el nivel de agua, este tipo de vertedero es perfecto para medir caudales en canales abiertos con flujo uniforme.

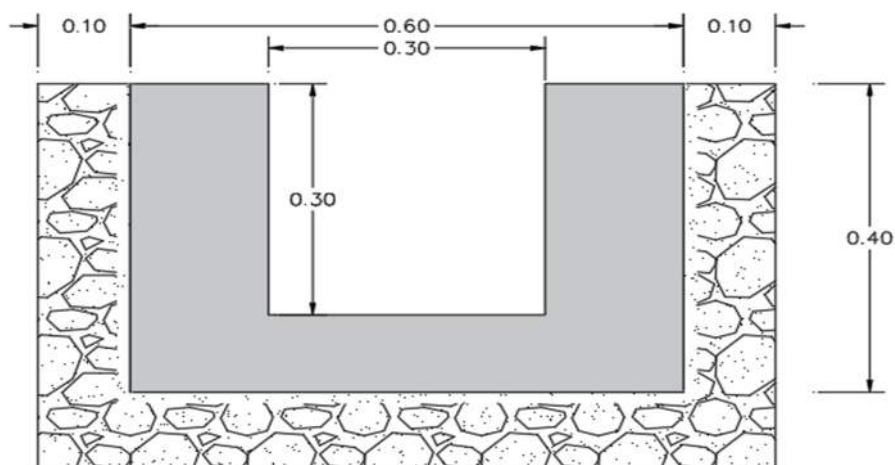
**b) Medición de la altura del agua:** La lectura se realizó de forma perpendicular desde la superficie libre del flujo hasta la cresta del vertedero, garantizando precisión en la determinación del nivel hidráulico.

**c) fórmula del vertedero rectangular:** A partir de los datos obtenidos, se procedió a aplicar la ecuación correspondiente para estimar el caudal a través del vertedero rectangular, según la expresión:

$$Q = C \times L \times h^{2/3}$$

donde:

- Q: representa el caudal en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s),.
- C es el coeficiente de descarga, un factor adimensional que depende de la geometría y las condiciones particulares del vertedero. Este coeficiente se deriva de
- L: longitud de cresta del vertedero (mts).
- H: es la altura del agua sobre la cresta del vertedero (mts).

**Figura 5***Sección del vertedero*

$$Q = \frac{2}{3} C_d \times b \times \sqrt{2g} \times h^{2/3}$$

$Q =$  Caudal que fluye por el vertedero ( $m^3 / s$ )

$C_d =$  coeficiente de gasto

$b =$  ancho de la parte superior

$h =$  carga sobre el vertedero

$C_d = 0.60$

$$C_d = 0.611 + 0.075 \times \frac{h}{w}$$

**Nota.** Esta figura muestra la sección transversal de un vertedero de pared delgada rectangular utilizado para la medición del caudal en canal abierto. Incluye las dimensiones geométricas de la estructura y la ecuación general de descarga, expresada en función del coeficiente de gasto y la carga hidráulica sobre el vertedero.

**Tabla 11***Aforo hidráulico 14.09.2024 método vertedero*

DATOS	UNIDAD	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>1. CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.27	0.26	0.27
Coeficiente de gasto (Cd)		0.81	0.80	0.81
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.10	0.09	0.10
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.10	
Caudal promedio (Q)	l/s		97.91	
<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.25	0.24	0.24
Coeficiente de gasto (Cd)		0.80	0.79	0.79
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.09	0.08	0.08
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.08	
Caudal promedio (Q)	l/s		84.20	

**Nota.** Esta tabla muestra los datos obtenidos en el aforo del 14 de septiembre de 2024 mediante el método del vertedero, con tres mediciones consecutivas en las secciones de ingreso y salida. Se registraron las variables hidráulicas de carga, coeficiente de gasto y caudal, cuyos valores promedio evidencian un flujo estable bajo condiciones climáticas favorables.

**Tabla 12***Aforo hidráulico 15.09.2024 método vertedero*

DATOS	UNIDAD	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>1. CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.27	0.25	0.27
Coeficiente de gasto (Cd)		0.81	0.80	0.81
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.10	0.09	0.10
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.10	
Caudal promedio (Q)	l/s		95.08	

<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.24	0.24	0.24
Coefficiente de gasto (Cd)		0.79	0.79	0.79
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.09	0.08	0.08
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.08	
Caudal promedio (Q)	l/s		81.79	

**Nota.** Esta tabla muestra los datos obtenidos en el aforo del 15 de septiembre de 2024 mediante el método del vertedero, con tres mediciones consecutivas en las secciones de ingreso y salida. Se registraron las variables hidráulicas de carga, coeficiente de gasto y caudal, cuyos valores promedio evidencian un flujo estable bajo condiciones climáticas favorables.

**Tabla 13**

*Aforo hidráulico 16.09.2024 método vertedero*

DATOS	UNIDAD	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>1. CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.27	0.26	0.27
Coefficiente de gasto (Cd)		0.82	0.80	0.82
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.10	0.09	0.10
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.10	
Caudal promedio (Q)	l/s		100.20	
<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.25	0.24	0.24
Coefficiente de gasto (Cd)		0.80	0.79	0.79
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.09	0.08	0.08
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.09	
Caudal promedio (Q)	l/s		86.15	

**Nota.** Esta tabla muestra los datos obtenidos en el aforo del 16 de septiembre de 2024 mediante el método del vertedero, con tres mediciones consecutivas en las secciones de ingreso y salida. Se registraron las variables hidráulicas de carga, coeficiente de gasto y

caudal, cuyos valores promedio evidencian un flujo estable bajo condiciones climáticas favorables.

**Tabla 14**

*Aforo hidráulico 17.09.2024 método vertedero*

DATOS	UNIDAD	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>1. CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.23	0.22	0.23
Coefficiente de gasto (Cd)		0.79	0.78	0.79
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.08	0.07	0.08
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.08	
Caudal promedio (Q)	l/s		76.41	
<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Carga hidráulica (h)	m	0.22	0.21	0.21
Coefficiente de gasto (Cd)		0.77	0.77	0.77
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.07	0.06	0.06
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.07	
Caudal promedio (Q)	l/s		65.85	

**Nota.** Esta tabla muestra los datos obtenidos en el aforo del 17 de septiembre de 2024 mediante el método del vertedero, con tres mediciones consecutivas en las secciones de ingreso y salida. Se registraron las variables hidráulicas de carga, coeficiente de gasto y caudal, cuyos valores promedio evidencian un flujo estable bajo condiciones climáticas favorables.

**Tabla 15***Aforo hidráulico 18.09.2024 método vertedero*

DATOS	UNIDAD	N° DE AFOROS		
		1	2	3
<b>1. CAUDAL DE INGRESO</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.27	0.26	0.27
Coefficiente de gasto (Cd)		0.82	0.80	0.82
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.10	0.09	0.10
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.10	
Caudal promedio (Q)	l/s		99.63	
<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Base del vertedero	m	0.60	0.60	0.60
Umbral del vertedero (w)	m	0.10	0.10	0.10
<b>2. CAUDAL DE SALIDA</b>				
Ancho de la cresta (b)	m	0.30	0.30	0.30
Carga hidráulica (h)	m	0.25	0.24	0.24
Coefficiente de gasto (Cd)		0.80	0.79	0.79
Caudal calculado (Q)	m <sup>3</sup> /s	0.09	0.08	0.08
Caudal promedio (Q)	m <sup>3</sup> /s		0.09	
Caudal promedio (Q)	l/s		85.66	

**Nota.** Esta tabla muestra los datos obtenidos en el aforo del 18 de septiembre de 2024 mediante el método del vertedero, con tres mediciones consecutivas en las secciones de ingreso y salida. Se registraron las variables hidráulicas de carga, coeficiente de gasto y caudal.

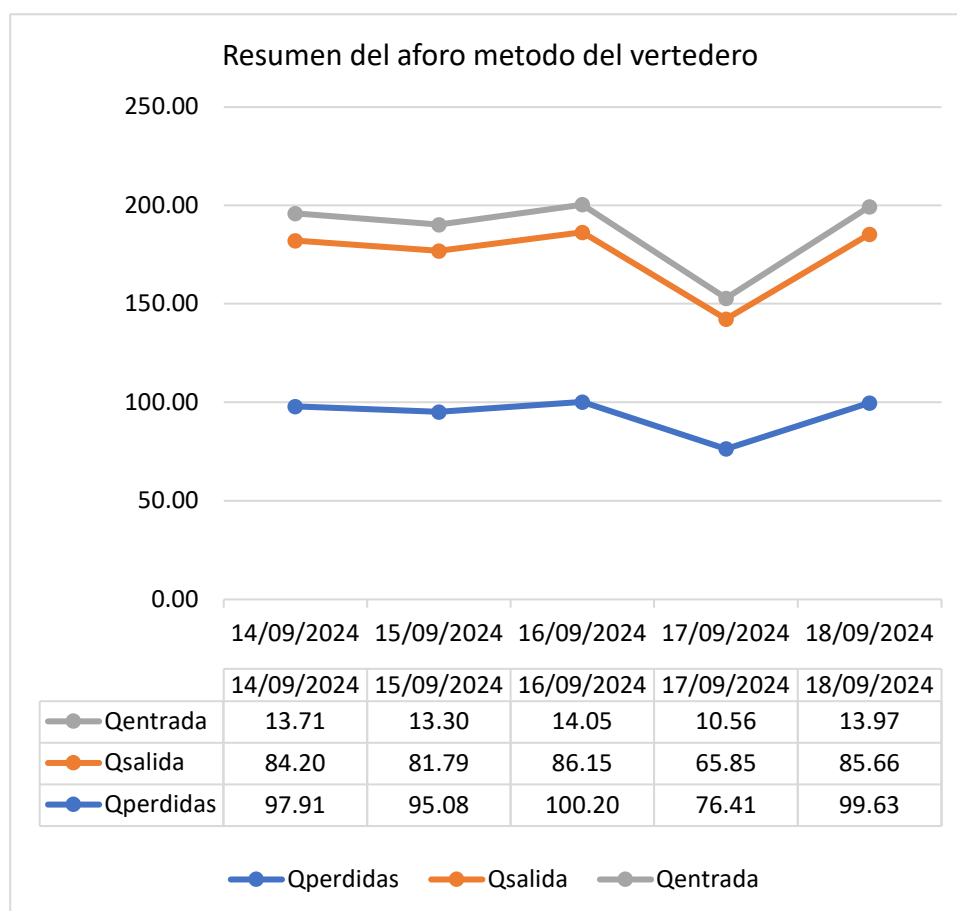
**Tabla 16***resumen de aforo método vertedero*

N°	Fecha	Caudal		Perdida
		(lit/seg)		
		Ingreso	Salida	
1	14/09/2024	97.91	84.20	13.71
2	15/09/2024	95.08	81.79	13.30
3	16/09/2024	100.20	86.15	14.05
4	17/09/2024	76.41	65.85	10.56
5	18/09/2024	99.63	85.66	13.97
<b>Promedio =</b>		<b>93.85</b>	<b>80.73</b>	<b>13.12</b>

**Nota.** Esta tabla muestra los resultados de los aforos realizados del 14 al 18 de septiembre de 2024 por el método del vertedero, donde se comparan los caudales de ingreso y salida y se determina la pérdida hidráulica promedio del canal.

**Figura 6**

resumen de aforo método vertedero



**Nota.** Esta figura muestra el comportamiento comparativo de los caudales de ingreso, salida y las pérdidas hidráulicas obtenidas mediante el método del vertedero de pared delgada, durante los aforos realizados entre el 14 y el 18 de septiembre de 2024. Los valores muestran una tendencia estable del flujo con ligeras variaciones diarias asociadas a las condiciones hidráulicas del canal y al régimen de operación durante las mediciones.

En la evaluación de los resultados se ha detectado una discrepancia entre los caudales medidos por el método del vertedero y el método de corriente libre (flotador). Es relevante señalar que el caudal calculado mediante el método del vertedero superó lo obtenido por el método de corriente libre.

**Tabla 17**

*análisis comparativo de aforos mediante el vertedero y flotador*

N°	Fecha	Caudal Ingreso (lit/seg)			Caudal Salida (lit/seg)		
		Vertedero	Flotador	Prom	Vertedero	Flotador	Prom
1	14/09/2024	97.91	92.82	<b>95.37</b>	84.20	80.96	<b>82.58</b>
2	15/09/2024	95.08	92.82	<b>93.95</b>	81.79	80.96	<b>81.37</b>
3	16/09/2024	100.20	92.82	<b>96.51</b>	86.15	80.96	<b>83.55</b>
4	17/09/2024	76.41	92.82	<b>84.62</b>	65.85	80.96	<b>73.40</b>
5	18/09/2024	99.63	92.82	<b>96.22</b>	85.66	80.96	<b>83.31</b>
<b>Promedio =</b>		<b>93.85</b>	<b>92.82</b>	<b>93.33</b>	<b>80.73</b>	<b>80.96</b>	<b>80.84</b>

**Nota.** Esta tabla muestra el comparamiento de los resultados de caudal obtenidos mediante los métodos del vertedero y del flotador durante los aforos efectuados entre el 14 y el 18 de septiembre de 2024. Los valores promedio reflejan pequeñas diferencias asociadas a las condiciones de flujo y al tipo de medición empleada.

**Tabla 18**

*resumen de caudal de entrada y salida*

N°	Fecha	Caudal Ingreso (lit/seg)	Caudal Salida (lit/seg)	Perdida (lit/seg)
1	14/09/2024	<b>95.37</b>	<b>82.58</b>	12.79
2	15/09/2024	<b>93.95</b>	<b>81.37</b>	12.58
3	16/09/2024	<b>96.51</b>	<b>83.55</b>	12.96
4	17/09/2024	<b>84.62</b>	<b>73.40</b>	11.21
5	18/09/2024	<b>96.22</b>	<b>83.31</b>	12.92
<b>Promedio =</b>		<b>93.33</b>	<b>80.84</b>	<b>12.49</b>

**Nota.** Esta tabla muestra el resumen de los resultados obtenidos a partir de los aforos realizados en campo entre el 14 y el 18 de septiembre de 2024, donde se registraron los valores de caudal de ingreso, caudal de salida y pérdida hidráulica. Los resultados promedio reflejan un comportamiento estable del flujo, con ligeras variaciones atribuibles a las condiciones hidráulicas del canal y a la precisión de los métodos aplicados.

De la tabla anterior, podemos observar que el caudal de ingreso promedio es de 93.33 lit/seg y el caudal de salida promedio es de 80.84 lit/seg. Las mediciones fueron tomadas el mismo día y en la misma sección del canal, por lo que se puede inferir que la pérdida del caudal, ocasionada por la infiltración y evaporación, es de 12.49 lit/seg.

Donde:

$$Q_t = Q_e - Q_s$$

$$Q_t = 93.33L/s - 80.84L/s = 12.49 L/s$$

$$PORCENTAJE DE PERDIDA = \left( \frac{12.49}{93.33} \right) * 100 = 13.38\%$$

### 5.3.3. Caudal de Evaporación (Q evp.)

Se llevará a cabo la estimación de la evaporación durante un período de 365 días del año 2023, utilizando la fórmula de Penman, considerando las temperaturas diarias de los años 2023 y 2024 según los datos del Senamhi. Adicionalmente, se toma en cuenta la altitud del Distrito de Curahuasi de  $h=3660$  msnm.

#### - Temperatura diaria (T)

$$T = \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2}$$

$$T = \frac{(26.4 + 13.0)}{2}$$

$$T = 19.70^\circ$$

#### - Rango de temperatura diaria (R)

$$R = (T_{\max} - T_{\min})$$

$$R = (26.4 - 13.3)$$

$$R = 13.4^\circ$$

#### - Tm

$$T_m = T + 0.006h$$

$$T_m = 19.70 + 0.006 \times 3084.75$$

$$T_m = 38.207^\circ$$

#### - Diferencia de temperatura medias de los meses más cálidos y más fríos (Rann).

$$T_{prom \times dia \times 365} = \frac{(T_1 + T_2 + \dots + T_{365})}{365}$$

$$T_{prom \times dia \times 365} = 17.543^\circ$$

$$T_{frio} < T_{prom \times dia \times 365} < T_{calido}$$

$$T_{frio} < 17.543^\circ < T_{calido}$$

Se observa que los meses cálidos son enero, febrero, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, y los meses más fríos son marzo, junio, julio, agosto y setiembre.

$$T_{calido} = \frac{(18.58 + 17.77 + 17.70 + 17.70 + 19.12 + 18.31 + 18.23)}{7}$$

$$T_{calido} = 18.20^{\circ}$$

$$T_{frio} = \frac{(17.45 + 15.55 + 15.80 + 16.77 + 17.50)}{5}$$

$$T_{frio} = 16.62^{\circ}$$

- Rann

$$R_{rann} = T_{calido} - T_{frio}$$

$$R_{rann} = 1.587$$

- (T-Td)

$$(T - T_d) = 0.0023h + 0.37T + 0.53R + 0.35R_{ann} - 10.9^{\circ}$$

$$(T - T_d) = 11.141$$

Reemplazando en la ecuación de evaporación

$$E_0 = \frac{700T_m / (100 - A) + 15(T - T_d)}{(80 - T)} \text{ (mm/dia)}$$

$$E_0 = 7.904 \text{ mm/dia}$$

Por lo que, para el día 01 de enero del 2024 se tiene una evaporación de 7.904 mm/día, este cálculo se repetirá para los 365 días del año.

Tabla 19

*Determinación de la evaporación para el mes de enero del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/01/2024	26.4	13	19.7	13.4	1.587	38.207	3084.5	13.58	11.1409414	7.904
02/01/2024	18.8	13.8	16.3	5	1.587	34.807	3084.5	13.58	5.43094136	5.705
03/01/2024	24	11	17.5	13	1.587	36.007	3084.5	13.58	10.1149414	7.094
04/01/2024	22.6	11	16.8	11.6	1.587	35.307	3084.5	13.58	9.11394136	6.688
05/01/2024	22.8	12.2	17.5	10.6	1.587	36.007	3084.5	13.58	8.84294136	6.789
06/01/2024	22.2	12	17.1	10.2	1.587	35.607	3084.5	13.58	8.48294136	6.608
07/01/2024	23	13	18	10	1.587	36.507	3084.5	13.58	8.70994136	6.877
08/01/2024	25.2	12	18.6	13.2	1.587	37.107	3084.5	13.58	10.6279414	7.492
09/01/2024	25.4	14.8	20.1	10.6	1.587	38.607	3084.5	13.58	9.80494136	7.676
10/01/2024	27.4	13.8	20.6	13.6	1.587	39.107	3084.5	13.58	11.5799414	8.257
11/01/2024	24.6	12.8	18.7	11.8	1.587	37.207	3084.5	13.58	9.92294136	7.345
12/01/2024	27.4	11.2	19.3	16.2	1.587	37.807	3084.5	13.58	12.4769414	8.128
13/01/2024	26.6	13	19.8	13.6	1.587	38.307	3084.5	13.58	11.2839414	7.966
14/01/2024	24.2	10.8	17.5	13.4	1.587	36.007	3084.5	13.58	10.3269414	7.145
15/01/2024	23.8	12.8	18.3	11	1.587	36.807	3084.5	13.58	9.35094136	7.105
16/01/2024	24.8	13.8	19.3	11	1.587	37.807	3084.5	13.58	9.72094136	7.447
17/01/2024	24.4	12.2	18.3	12.2	1.587	36.807	3084.5	13.58	9.98694136	7.260
18/01/2024	20.2	13.6	16.9	6.6	1.587	35.407	3084.5	13.58	6.50094136	6.090
19/01/2024	25	12	18.5	13	1.587	37.007	3084.5	13.58	10.4849414	7.431
20/01/2024	25.6	14	19.8	11.6	1.587	38.307	3084.5	13.58	10.2239414	7.702
21/01/2024	25.6	13.6	19.6	12	1.587	38.107	3084.5	13.58	10.3619414	7.684
22/01/2024	26	13.8	19.9	12.2	1.587	38.407	3084.5	13.58	10.5789414	7.817
23/01/2024	26	12.6	19.3	13.4	1.587	37.807	3084.5	13.58	10.9929414	7.762
24/01/2024	26	12.4	19.2	13.6	1.587	37.707	3084.5	13.58	11.0619414	7.753
25/01/2024	26	12.2	19.1	13.8	1.587	37.607	3084.5	13.58	11.1309414	7.744
26/01/2024	21	13	17	8	1.587	35.507	3084.5	13.58	7.27994136	6.298
27/01/2024	24	13	18.5	11	1.587	37.007	3084.5	13.58	9.42494136	7.173
28/01/2024	26	12.6	19.3	13.4	1.587	37.807	3084.5	13.58	10.9929414	7.762
29/01/2024	27.2	13	20.1	14.2	1.587	38.607	3084.5	13.58	11.7129414	8.154
30/01/2024	24	12.8	18.4	11.2	1.587	36.907	3084.5	13.58	9.49394136	7.165
31/01/2024	23	11	17	12	1.587	35.507	3084.5	13.58	9.39994136	6.803

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de agosto, una temperatura media mensual de 16.78 °C y una tasa de evaporación promedio de 7.422 mm por día.

Tabla 20

*Determinación de la evaporación para el mes de febrero del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/02/2024	22.4	13.2	17.8	9.2	1.587	36.307	3084.5	13.58	8.21194136	6.708
02/02/2024	23.6	13.2	18.4	10.4	1.587	36.907	3084.5	13.58	9.06994136	7.062
03/02/2024	22	12.8	17.4	9.2	1.587	35.907	3084.5	13.58	8.06394136	6.578
04/02/2024	25.4	12.6	19	12.8	1.587	37.507	3084.5	13.58	10.5639414	7.578
05/02/2024	23.2	11.8	17.5	11.4	1.587	36.007	3084.5	13.58	9.26694136	6.891
06/02/2024	23.8	10.2	17	13.6	1.587	35.507	3084.5	13.58	10.2479414	7.005
07/02/2024	21.8	12.2	17	9.6	1.587	35.507	3084.5	13.58	8.12794136	6.500
08/02/2024	22	12	17	10	1.587	35.507	3084.5	13.58	8.33994136	6.551
09/02/2024	26	11	18.5	15	1.587	37.007	3084.5	13.58	11.5449414	7.690
10/02/2024	26	11	18.5	15	1.587	37.007	3084.5	13.58	11.5449414	7.690
11/02/2024	24	11.6	17.8	12.4	1.587	36.307	3084.5	13.58	9.90794136	7.117
12/02/2024	25.2	11.4	18.3	13.8	1.587	36.807	3084.5	13.58	10.8349414	7.466
13/02/2024	23.6	11	17.3	12.6	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.82894136	6.977
14/02/2024	21.2	13	17.1	8.2	1.587	35.607	3084.5	13.58	7.42294136	6.355

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
15/02/2024	23.6	13.4	18.5	10.2	1.587	37.007	3084.5	13.58	9.00094136	7.069
16/02/2024	24.8	13.4	19.1	11.4	1.587	37.607	3084.5	13.58	9.85894136	7.430
17/02/2024	24.8	12.4	18.6	12.4	1.587	37.107	3084.5	13.58	10.2039414	7.388
18/02/2024	26.6	13.8	20.2	12.8	1.587	38.707	3084.5	13.58	11.0079414	8.004
19/02/2024	19.2	14.4	16.8	4.8	1.587	35.307	3084.5	13.58	5.50994136	5.833
20/02/2024	21.4	12.6	17	8.8	1.587	35.507	3084.5	13.58	7.70394136	6.399
21/02/2024	24.2	11	17.6	13.2	1.587	36.107	3084.5	13.58	10.2579414	7.153
22/02/2024	24.2	10.8	17.5	13.4	1.587	36.007	3084.5	13.58	10.3269414	7.145
23/02/2024	26.8	10.2	18.5	16.6	1.587	37.007	3084.5	13.58	12.3929414	7.897
24/02/2024	21.2	10.2	15.7	11	1.587	34.207	3084.5	13.58	8.38894136	6.266
25/02/2024	19.6	13	16.3	6.6	1.587	34.807	3084.5	13.58	6.27894136	5.905
26/02/2024	19.4	13	16.2	6.4	1.587	34.707	3084.5	13.58	6.13594136	5.849
27/02/2024	24.2	13	18.6	11.2	1.587	37.107	3084.5	13.58	9.56794136	7.233
28/02/2024	24	12.4	18.2	11.6	1.587	36.707	3084.5	13.58	9.63194136	7.149
29/02/2024	24.2	11.8	18	12.4	1.587	36.507	3084.5	13.58	9.98194136	7.184

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de febrero, una temperatura media mensual de 17.77

°C y una tasa de evaporación promedio de 6.968 mm por día.

**Tabla 21**

*Determinación de la evaporación para el mes de marzo del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/03/2024	21	11.8	16.4	9.2	1.587	34.907	3084.5	13.58	7.69394136	6.260
02/03/2024	21	12	16.5	9	1.587	35.007	3084.5	13.58	7.62494136	6.267
03/03/2024	24.6	12.8	18.7	11.8	1.587	37.207	3084.5	13.58	9.92294136	7.345
04/03/2024	22.8	12	17.4	10.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	8.91194136	6.782
05/03/2024	18.8	11.8	15.3	7	1.587	33.807	3084.5	13.58	6.12094136	5.651
06/03/2024	23	11.6	17.3	11.4	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.19294136	6.825
07/03/2024	22	13.4	17.7	8.6	1.587	36.207	3084.5	13.58	7.85694136	6.599
08/03/2024	23.4	13.4	18.4	10	1.587	36.907	3084.5	13.58	8.85794136	7.010
09/03/2024	26.8	12	19.4	14.8	1.587	37.907	3084.5	13.58	11.7719414	7.981
10/03/2024	20	11.8	15.9	8.2	1.587	34.407	3084.5	13.58	6.97894136	5.981
11/03/2024	23.4	11.2	17.3	12.2	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.61694136	6.926
12/03/2024	25.8	11	18.4	14.8	1.587	36.907	3084.5	13.58	11.4019414	7.629
13/03/2024	25.6	13	19.3	12.6	1.587	37.807	3084.5	13.58	10.5689414	7.657
14/03/2024	25.6	11	18.3	14.6	1.587	36.807	3084.5	13.58	11.2589414	7.569
15/03/2024	24.4	11	17.7	13.4	1.587	36.207	3084.5	13.58	10.4009414	7.212
16/03/2024	23.4	13.4	18.4	10	1.587	36.907	3084.5	13.58	8.85794136	7.010
17/03/2024	20	13	16.5	7	1.587	35.007	3084.5	13.58	6.56494136	6.016
18/03/2024	21	13.2	17.1	7.8	1.587	35.607	3084.5	13.58	7.21094136	6.305
19/03/2024	22	11.6	16.8	10.4	1.587	35.307	3084.5	13.58	8.47794136	6.537
20/03/2024	26	10.4	18.2	15.6	1.587	36.707	3084.5	13.58	11.7519414	7.664
21/03/2024	23	11.4	17.2	11.6	1.587	35.707	3084.5	13.58	9.26194136	6.818
22/03/2024	23.6	12.6	18.1	11	1.587	36.607	3084.5	13.58	9.27694136	7.038
23/03/2024	23	12.2	17.6	10.8	1.587	36.107	3084.5	13.58	8.98594136	6.847
24/03/2024	24.8	13	18.9	11.8	1.587	37.407	3084.5	13.58	9.99694136	7.413
25/03/2024	24	13	18.5	11	1.587	37.007	3084.5	13.58	9.42494136	7.173
26/03/2024	20.6	12.4	16.5	8.2	1.587	35.007	3084.5	13.58	7.20094136	6.166
27/03/2024	20.2	12.4	16.3	7.8	1.587	34.807	3084.5	13.58	6.91494136	6.054
28/03/2024	18	12.6	15.3	5.4	1.587	33.807	3084.5	13.58	5.27294136	5.455
29/03/2024	22.6	10.8	16.7	11.8	1.587	35.207	3084.5	13.58	9.18294136	6.681
30/03/2024	23.4	11.6	17.5	11.8	1.587	36.007	3084.5	13.58	9.47894136	6.941
31/03/2024	22.6	12.2	17.4	10.4	1.587	35.907	3084.5	13.58	8.69994136	6.731

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de marzo, una temperatura media mensual de 17.45 °C

y una tasa de evaporación promedio de 6.792 mm por día.

Tabla 22

*Determinación de la evaporación para el mes de abril del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/04/2024	23.2	11.8	17.5	11.4	1.587	36.007	3084.5	13.58	9.26694136	6.891
02/04/2024	21.2	12.6	16.9	8.6	1.587	35.407	3084.5	13.58	7.56094136	6.342
03/04/2024	22.6	11	16.8	11.6	1.587	35.307	3084.5	13.58	9.11394136	6.688
04/04/2024	24	10.4	17.2	13.6	1.587	35.707	3084.5	13.58	10.3219414	7.071
05/04/2024	24	10.6	17.3	13.4	1.587	35.807	3084.5	13.58	10.2529414	7.079
06/04/2024	24	12.2	18.1	11.8	1.587	36.607	3084.5	13.58	9.70094136	7.141
07/04/2024	24.4	12.2	18.3	12.2	1.587	36.807	3084.5	13.58	9.98694136	7.260
08/04/2024	24	11.4	17.7	12.6	1.587	36.207	3084.5	13.58	9.97694136	7.110
09/04/2024	24.6	12	18.3	12.6	1.587	36.807	3084.5	13.58	10.1989414	7.312
10/04/2024	19.6	13.6	16.6	6	1.587	35.107	3084.5	13.58	6.07194136	5.922
11/04/2024	23.2	12.4	17.8	10.8	1.587	36.307	3084.5	13.58	9.05994136	6.913
12/04/2024	22.8	10	16.4	12.8	1.587	34.907	3084.5	13.58	9.60194136	6.710
13/04/2024	23.6	10.2	16.9	13.4	1.587	35.407	3084.5	13.58	10.1049414	6.947
14/04/2024	26.4	11.8	19.1	14.6	1.587	37.607	3084.5	13.58	11.5549414	7.848
15/04/2024	27.6	10.8	19.2	16.8	1.587	37.707	3084.5	13.58	12.7579414	8.171
16/04/2024	25.8	10	17.9	15.8	1.587	36.407	3084.5	13.58	11.7469414	7.586
17/04/2024	23.8	11	17.4	12.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	9.97194136	7.036
18/04/2024	25.2	11	18.1	14.2	1.587	36.607	3084.5	13.58	10.9729414	7.449
19/04/2024	23	13.6	18.3	9.4	1.587	36.807	3084.5	13.58	8.50294136	6.899
20/04/2024	22.2	11.4	16.8	10.8	1.587	35.307	3084.5	13.58	8.68994136	6.588
21/04/2024	26.2	10.6	18.4	15.6	1.587	36.907	3084.5	13.58	11.8259414	7.733
22/04/2024	22.8	10.2	16.5	12.6	1.587	35.007	3084.5	13.58	9.53294136	6.717
23/04/2024	23.4	10.2	16.8	13.2	1.587	35.307	3084.5	13.58	9.96194136	6.889
24/04/2024	24.4	10	17.2	14.4	1.587	35.707	3084.5	13.58	10.7459414	7.172
25/04/2024	24.8	10	17.4	14.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	11.0319414	7.290
26/04/2024	25	11	18	14	1.587	36.507	3084.5	13.58	10.8299414	7.390
27/04/2024	26	10	18	16	1.587	36.507	3084.5	13.58	11.8899414	7.646
28/04/2024	26.4	11.6	19	14.8	1.587	37.507	3084.5	13.58	11.6239414	7.839
29/04/2024	25	11.8	18.4	13.2	1.587	36.907	3084.5	13.58	10.5539414	7.423
30/04/2024	25.4	12.4	18.9	13	1.587	37.407	3084.5	13.58	10.6329414	7.569

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de abril, una temperatura media mensual de 17.70 °C

y una tasa de evaporación promedio de 7.154 mm/día.

Tabla 23

*Determinación de la evaporación para el mes de mayo del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/05/2024	23.8	10.8	17.3	13	1.587	35.807	3084.5	13.58	10.0409414	7.028
02/05/2024	24.6	11.2	17.9	13.4	1.587	36.407	3084.5	13.58	10.4749414	7.279
03/05/2024	24.8	12.4	18.6	12.4	1.587	37.107	3084.5	13.58	10.2039414	7.388
04/05/2024	22.8	10.6	16.7	12.2	1.587	35.207	3084.5	13.58	9.39494136	6.731
05/05/2024	26.2	11.2	18.7	15	1.587	37.207	3084.5	13.58	11.6189414	7.760
06/05/2024	25.8	10.8	18.3	15	1.587	36.807	3084.5	13.58	11.4709414	7.621
07/05/2024	26	11.6	18.8	14.4	1.587	37.307	3084.5	13.58	11.3379414	7.717
08/05/2024	25.4	11.2	18.3	14.2	1.587	36.807	3084.5	13.58	11.0469414	7.518
09/05/2024	25.4	10	17.7	15.4	1.587	36.207	3084.5	13.58	11.4609414	7.467
10/05/2024	24.4	11	17.7	13.4	1.587	36.207	3084.5	13.58	10.4009414	7.212
11/05/2024	25.4	10.4	17.9	15	1.587	36.407	3084.5	13.58	11.3229414	7.484
12/05/2024	26.6	11.4	19	15.2	1.587	37.507	3084.5	13.58	11.8359414	7.891
13/05/2024	24.6	11	17.8	13.6	1.587	36.307	3084.5	13.58	10.5439414	7.271
14/05/2024	22.2	11	16.6	11.2	1.587	35.107	3084.5	13.58	8.82794136	6.574
15/05/2024	23.8	11	17.4	12.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	9.97194136	7.036
16/05/2024	21.8	11.4	16.6	10.4	1.587	35.107	3084.5	13.58	8.40394136	6.474

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
17/05/2024	22	12.4	17.2	9.6	1.587	35.707	3084.5	13.58	8.20194136	6.565
18/05/2024	26	12	19	14	1.587	37.507	3084.5	13.58	11.1999414	7.735
19/05/2024	25.8	9.2	17.5	16.6	1.587	36.007	3084.5	13.58	12.0229414	7.552
20/05/2024	25.8	11.4	18.6	14.4	1.587	37.107	3084.5	13.58	11.2639414	7.647
21/05/2024	26.4	9.8	18.1	16.6	1.587	36.607	3084.5	13.58	12.2449414	7.758
22/05/2024	26.4	9	17.7	17.4	1.587	36.207	3084.5	13.58	12.5209414	7.722
23/05/2024	27	9	18	18	1.587	36.507	3084.5	13.58	12.9499414	7.902
24/05/2024	26.6	9.4	18	17.2	1.587	36.507	3084.5	13.58	12.5259414	7.800
25/05/2024	26.2	8.8	17.5	17.4	1.587	36.007	3084.5	13.58	12.4469414	7.654
26/05/2024	26.8	8.8	17.8	18	1.587	36.307	3084.5	13.58	12.8759414	7.833
27/05/2024	26.6	8.8	17.7	17.8	1.587	36.207	3084.5	13.58	12.7329414	7.773
28/05/2024	24.8	10	17.4	14.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	11.0319414	7.290
29/05/2024	22.6	9	15.8	13.6	1.587	34.307	3084.5	13.58	9.80394136	6.619
30/05/2024	24.6	8.8	16.7	15.8	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.3029414	7.184
31/05/2024	24	9	16.5	15	1.587	35.007	3084.5	13.58	10.8049414	7.018

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de mayo, una temperatura media mensual de 17.70 °C

y una tasa de evaporación promedio de 7.317 mm/día.

**Tabla 24**

*Determinación de la evaporación para el mes de junio del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/06/2024	25.2	8.2	16.7	17	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.9389414	7.334
02/06/2024	24.4	7.4	15.9	17	1.587	34.407	3084.5	13.58	11.6429414	7.072
03/06/2024	25	7	16	18	1.587	34.507	3084.5	13.58	12.2099414	7.229
04/06/2024	25	7	16	18	1.587	34.507	3084.5	13.58	12.2099414	7.229
05/06/2024	25	7	16	18	1.587	34.507	3084.5	13.58	12.2099414	7.229
06/06/2024	24.8	7.2	16	17.6	1.587	34.507	3084.5	13.58	11.9979414	7.179
07/06/2024	24.6	6	15.3	18.6	1.587	33.807	3084.5	13.58	12.2689414	7.077
08/06/2024	24.2	5.4	14.8	18.8	1.587	33.307	3084.5	13.58	12.1899414	6.942
09/06/2024	23.8	4.2	14	19.6	1.587	32.507	3084.5	13.58	12.3179414	6.789
10/06/2024	24.4	5.4	14.9	19	1.587	33.407	3084.5	13.58	12.3329414	6.998
11/06/2024	23.4	5.2	14.3	18.2	1.587	32.807	3084.5	13.58	11.6869414	6.713
12/06/2024	24.8	7	15.9	17.8	1.587	34.407	3084.5	13.58	12.0669414	7.172
13/06/2024	26.4	8.2	17.3	18.2	1.587	35.807	3084.5	13.58	12.7969414	7.687
14/06/2024	26.6	8.2	17.4	18.4	1.587	35.907	3084.5	13.58	12.9399414	7.747
15/06/2024	24.8	8.4	16.6	16.4	1.587	35.107	3084.5	13.58	11.5839414	7.226
16/06/2024	21.8	8.2	15	13.6	1.587	33.507	3084.5	13.58	9.50794136	6.370
17/06/2024	24.4	8.8	16.6	15.6	1.587	35.107	3084.5	13.58	11.1599414	7.126
18/06/2024	21.4	10	15.7	11.4	1.587	34.207	3084.5	13.58	8.60094136	6.316
19/06/2024	12.8	9	10.9	3.8	1.587	29.407	3084.5	13.58	2.79694136	4.054
20/06/2024	15	8.8	11.9	6.2	1.587	30.407	3084.5	13.58	4.43894136	4.594
21/06/2024	17.4	9.4	13.4	8	1.587	31.907	3084.5	13.58	5.94794136	5.220
22/06/2024	23.6	5	14.3	18.6	1.587	32.807	3084.5	13.58	11.8989414	6.761
23/06/2024	24.6	6.4	15.5	18.2	1.587	34.007	3084.5	13.58	12.1309414	7.092
24/06/2024	25	9	17	16	1.587	35.507	3084.5	13.58	11.5199414	7.308
25/06/2024	24.8	8.4	16.6	16.4	1.587	35.107	3084.5	13.58	11.5839414	7.226
26/06/2024	25.6	9.2	17.4	16.4	1.587	35.907	3084.5	13.58	11.8799414	7.493
27/06/2024	24.8	9.2	17	15.6	1.587	35.507	3084.5	13.58	11.3079414	7.258
28/06/2024	24.8	8.6	16.7	16.2	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.5149414	7.234
29/06/2024	24.4	9	16.7	15.4	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.0909414	7.133
30/06/2024	20.4	9	14.7	11.4	1.587	33.207	3084.5	13.58	8.23094136	6.010

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de junio, una temperatura media mensual de 15.55 °C

y una tasa de evaporación promedio de 6.827 mm/día.

Tabla 25

*Determinación de la evaporación para el mes de julio del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/07/2024	25.4	9.6	17.5	15.8	1.587	36.007	3084.5	13.58	11.5989414	7.450
02/07/2024	25.2	9	17.1	16.2	1.587	35.607	3084.5	13.58	11.6629414	7.367
03/07/2024	25.2	8.2	16.7	17	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.9389414	7.334
04/07/2024	24.6	9.2	16.9	15.4	1.587	35.407	3084.5	13.58	11.1649414	7.199
05/07/2024	22	8.8	15.4	13.2	1.587	33.907	3084.5	13.58	9.44394136	6.444
06/07/2024	24.6	8	16.3	16.6	1.587	34.807	3084.5	13.58	11.5789414	7.153
07/07/2024	24.8	8.6	16.7	16.2	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.5149414	7.234
08/07/2024	25.2	8.6	16.9	16.6	1.587	35.407	3084.5	13.58	11.8009414	7.350
09/07/2024	25	7.6	16.3	17.4	1.587	34.807	3084.5	13.58	12.0029414	7.252
10/07/2024	24.6	8	16.3	16.6	1.587	34.807	3084.5	13.58	11.5789414	7.153
11/07/2024	24.4	7	15.7	17.4	1.587	34.207	3084.5	13.58	11.7809414	7.057
12/07/2024	23	8.2	15.6	14.8	1.587	34.107	3084.5	13.58	10.3659414	6.704
13/07/2024	24.6	7.2	15.9	17.4	1.587	34.407	3084.5	13.58	11.8549414	7.122
14/07/2024	25.8	7	16.4	18.8	1.587	34.907	3084.5	13.58	12.7819414	7.460
15/07/2024	22.8	7	14.9	15.8	1.587	33.407	3084.5	13.58	10.6369414	6.608
16/07/2024	25	9.6	17.3	15.4	1.587	35.807	3084.5	13.58	11.3129414	7.332
17/07/2024	23.8	5	14.4	18.8	1.587	32.907	3084.5	13.58	12.0419414	6.817
18/07/2024	24	4.4	14.2	19.6	1.587	32.707	3084.5	13.58	12.3919414	6.851
19/07/2024	24.4	4.2	14.3	20.2	1.587	32.807	3084.5	13.58	12.7469414	6.955
20/07/2024	24.2	4.2	14.2	20	1.587	32.707	3084.5	13.58	12.6039414	6.899
21/07/2024	24.4	4.2	14.3	20.2	1.587	32.807	3084.5	13.58	12.7469414	6.955
22/07/2024	23.6	4	13.8	19.6	1.587	32.307	3084.5	13.58	12.2439414	6.727
23/07/2024	22.8	4.2	13.5	18.6	1.587	32.007	3084.5	13.58	11.6029414	6.516
24/07/2024	24.6	6.2	15.4	18.4	1.587	33.907	3084.5	13.58	12.1999414	7.084
25/07/2024	24.8	6.2	15.5	18.6	1.587	34.007	3084.5	13.58	12.3429414	7.141
26/07/2024	26.2	7.6	16.9	18.6	1.587	35.407	3084.5	13.58	12.8609414	7.602
27/07/2024	26.4	7.6	17	18.8	1.587	35.507	3084.5	13.58	13.0039414	7.661
28/07/2024	25.4	7.6	16.5	17.8	1.587	35.007	3084.5	13.58	12.2889414	7.368
29/07/2024	25	7.4	16.2	17.6	1.587	34.707	3084.5	13.58	12.0719414	7.245
30/07/2024	22.4	7.2	14.8	15.2	1.587	33.307	3084.5	13.58	10.2819414	6.503
31/07/2024	25	8.8	16.9	16.2	1.587	35.407	3084.5	13.58	11.5889414	7.300

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de julio, una temperatura media mensual de 15.80 °C y

una tasa de evaporación promedio de 7.902 mm/día.

Tabla 26

*Determinación de la evaporación para el mes de agosto del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/08/2024	24	8	16	16	1.587	34.507	3084.5	13.58	11.1499414	6.981
02/08/2024	26.4	7.8	17.1	18.6	1.587	35.607	3084.5	13.58	12.9349414	7.670
03/08/2024	24.4	7	15.7	17.4	1.587	34.207	3084.5	13.58	11.7809414	7.057
04/08/2024	23.8	7	15.4	16.8	1.587	33.907	3084.5	13.58	11.3519414	6.887
05/08/2024	24.8	6.8	15.8	18	1.587	34.307	3084.5	13.58	12.1359414	7.164
06/08/2024	24.6	6.8	15.7	17.8	1.587	34.207	3084.5	13.58	11.9929414	7.107
07/08/2024	25	6.8	15.9	18.2	1.587	34.407	3084.5	13.58	12.2789414	7.221
08/08/2024	25	7.6	16.3	17.4	1.587	34.807	3084.5	13.58	12.0029414	7.252
09/08/2024	24.8	7.8	16.3	17	1.587	34.807	3084.5	13.58	11.7909414	7.203
10/08/2024	24.6	8	16.3	16.6	1.587	34.807	3084.5	13.58	11.5789414	7.153
11/08/2024	25.2	8	16.6	17.2	1.587	35.107	3084.5	13.58	12.0079414	7.326
12/08/2024	23.2	7.8	15.5	15.4	1.587	34.007	3084.5	13.58	10.6469414	6.747
13/08/2024	24.4	7.6	16	16.8	1.587	34.507	3084.5	13.58	11.5739414	7.080
14/08/2024	26.2	7.4	16.8	18.8	1.587	35.307	3084.5	13.58	12.9299414	7.594
15/08/2024	25.6	7	16.3	18.6	1.587	34.807	3084.5	13.58	12.6389414	7.402

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
16/08/2024	25.6	6.8	16.2	18.8	1.587	34.707	3084.5	13.58	12.7079414	7.394
17/08/2024	25.4	6.2	15.8	19.2	1.587	34.307	3084.5	13.58	12.7719414	7.313
18/08/2024	25.8	6.2	16	19.6	1.587	34.507	3084.5	13.58	13.0579414	7.428
19/08/2024	26	6.2	16.1	19.8	1.587	34.607	3084.5	13.58	13.2009414	7.486
20/08/2024	25.8	9	17.4	16.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	12.0919414	7.544
21/08/2024	27.4	7.2	17.3	20.2	1.587	35.807	3084.5	13.58	13.8569414	7.941
22/08/2024	28	9	18.5	19	1.587	37.007	3084.5	13.58	13.6649414	8.207
23/08/2024	27.2	9.8	18.5	17.4	1.587	37.007	3084.5	13.58	12.8169414	8.000
24/08/2024	26.8	11.2	19	15.6	1.587	37.507	3084.5	13.58	12.0479414	7.943
25/08/2024	25.8	12	18.9	13.8	1.587	37.407	3084.5	13.58	11.0569414	7.673
26/08/2024	26.4	10.8	18.6	15.6	1.587	37.107	3084.5	13.58	11.8999414	7.802
27/08/2024	26.8	10.4	18.6	16.4	1.587	37.107	3084.5	13.58	12.3239414	7.906
28/08/2024	26.6	10.8	18.7	15.8	1.587	37.207	3084.5	13.58	12.0429414	7.863
29/08/2024	25.6	7.8	16.7	17.8	1.587	35.207	3084.5	13.58	12.3629414	7.435
30/08/2024	24.8	7.6	16.2	17.2	1.587	34.707	3084.5	13.58	11.8599414	7.195
31/08/2024	24.6	7.2	15.9	17.4	1.587	34.407	3084.5	13.58	11.8549414	7.122

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de agosto una temperatura media mensual de 16.78 °C

y una tasa de evaporación promedio de 7.422 mm/día.

**Tabla 27**

*Determinación de la evaporación para el mes de setiembre del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/09/2024	23.4	11.4	17.4	12	1.587	35.907	3084.5	13.58	9.54794136	6.934
02/09/2024	25.6	8	16.8	17.6	1.587	35.307	3084.5	13.58	12.2939414	7.443
03/09/2024	25	11.4	18.2	13.6	1.587	36.707	3084.5	13.58	10.6919414	7.406
04/09/2024	27.6	9.2	18.4	18.4	1.587	36.907	3084.5	13.58	13.3099414	8.094
05/09/2024	24	12.6	18.3	11.4	1.587	36.807	3084.5	13.58	9.56294136	7.157
06/09/2024	17.2	10.6	13.9	6.6	1.587	32.407	3084.5	13.58	5.39094136	5.195
07/09/2024	25.2	8.2	16.7	17	1.587	35.207	3084.5	13.58	11.9389414	7.334
08/09/2024	26	8.2	17.1	17.8	1.587	35.607	3084.5	13.58	12.5109414	7.569
09/09/2024	26.2	9.8	18	16.4	1.587	36.507	3084.5	13.58	12.1019414	7.697
10/09/2024	25.4	9.4	17.4	16	1.587	35.907	3084.5	13.58	11.6679414	7.442
11/09/2024	27	10.2	18.6	16.8	1.587	37.107	3084.5	13.58	12.5359414	7.958
12/09/2024	24	10	17	14	1.587	35.507	3084.5	13.58	10.4599414	7.056
13/09/2024	26	8.4	17.2	17.6	1.587	35.707	3084.5	13.58	12.4419414	7.577
14/09/2024	26.2	8.4	17.3	17.8	1.587	35.807	3084.5	13.58	12.5849414	7.637
15/09/2024	25	8	16.5	17	1.587	35.007	3084.5	13.58	11.8649414	7.268
16/09/2024	26.6	9.4	18	17.2	1.587	36.507	3084.5	13.58	12.5259414	7.800
17/09/2024	21.4	9.2	15.3	12.2	1.587	33.807	3084.5	13.58	8.87694136	6.290
18/09/2024	24.4	9.2	16.8	15.2	1.587	35.307	3084.5	13.58	11.0219414	7.141
19/09/2024	23	11.4	17.2	11.6	1.587	35.707	3084.5	13.58	9.26194136	6.818
20/09/2024	26.8	9.4	18.1	17.4	1.587	36.607	3084.5	13.58	12.6689414	7.860
21/09/2024	24.8	12.6	18.7	12.2	1.587	37.207	3084.5	13.58	10.1349414	7.396
22/09/2024	24.6	9.2	16.9	15.4	1.587	35.407	3084.5	13.58	11.1649414	7.199
23/09/2024	26.2	9.4	17.8	16.8	1.587	36.307	3084.5	13.58	12.2399414	7.680
24/09/2024	24.2	10.2	17.2	14	1.587	35.707	3084.5	13.58	10.5339414	7.122
25/09/2024	28	9.4	18.7	18.6	1.587	37.207	3084.5	13.58	13.5269414	8.226
26/09/2024	29.2	10.4	19.8	18.8	1.587	38.307	3084.5	13.58	14.0399414	8.653
27/09/2024	25.8	10	17.9	15.8	1.587	36.407	3084.5	13.58	11.7469414	7.586
28/09/2024	26	10	18	16	1.587	36.507	3084.5	13.58	11.8899414	7.646
29/09/2024	26.2	9.8	18	16.4	1.587	36.507	3084.5	13.58	12.1019414	7.697
30/09/2024	26.2	9.8	18	16.4	1.587	36.507	3084.5	13.58	12.1019414	7.697

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de setiembre una temperatura media mensual de 17.50

°C y una tasa de evaporación promedio de 7.419 mm/día.

Tabla 28

*Determinación de la evaporación para el mes de octubre del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/10/2024	27.4	9.6	18.5	17.8	1.587	37.007	3084.5	13.58	13.0289414	8.052
02/10/2024	27.4	9.8	18.6	17.6	1.587	37.107	3084.5	13.58	12.9599414	8.061
03/10/2024	29.2	8.6	18.9	20.6	1.587	37.407	3084.5	13.58	14.6609414	8.558
04/10/2024	26.4	12.6	19.5	13.8	1.587	38.007	3084.5	13.58	11.2789414	7.885
05/10/2024	28.8	14.2	21.5	14.6	1.587	40.007	3084.5	13.58	12.4429414	8.730
06/10/2024	29.8	11	20.4	18.8	1.587	38.907	3084.5	13.58	14.2619414	8.877
07/10/2024	23.2	15	19.1	8.2	1.587	37.607	3084.5	13.58	8.16294136	7.012
08/10/2024	29.2	12.2	20.7	17	1.587	39.207	3084.5	13.58	13.4189414	8.750
09/10/2024	26	13	19.5	13	1.587	38.007	3084.5	13.58	10.8549414	7.780
10/10/2024	27	12	19.5	15	1.587	38.007	3084.5	13.58	11.9149414	8.043
11/10/2024	27.4	11.8	19.6	15.6	1.587	38.107	3084.5	13.58	12.2699414	8.158
12/10/2024	27.4	12	19.7	15.4	1.587	38.207	3084.5	13.58	12.2009414	8.167
13/10/2024	27.4	13.6	20.5	13.8	1.587	39.007	3084.5	13.58	11.6489414	8.247
14/10/2024	22.4	11	16.7	11.4	1.587	35.207	3084.5	13.58	8.97094136	6.631
15/10/2024	25.6	11	18.3	14.6	1.587	36.807	3084.5	13.58	11.2589414	7.569
16/10/2024	26.6	10	18.3	16.6	1.587	36.807	3084.5	13.58	12.3189414	7.827
17/10/2024	26.6	12	19.3	14.6	1.587	37.807	3084.5	13.58	11.6289414	7.919
18/10/2024	25.4	12	18.7	13.4	1.587	37.207	3084.5	13.58	10.7709414	7.552
19/10/2024	26.6	10	18.3	16.6	1.587	36.807	3084.5	13.58	12.3189414	7.827
20/10/2024	24	12.2	18.1	11.8	1.587	36.607	3084.5	13.58	9.70094136	7.141
21/10/2024	21.2	12.2	16.7	9	1.587	35.207	3084.5	13.58	7.69894136	6.330
22/10/2024	26.8	11.2	19	15.6	1.587	37.507	3084.5	13.58	12.0479414	7.943
23/10/2024	28	10.4	19.2	17.6	1.587	37.707	3084.5	13.58	13.1819414	8.276
24/10/2024	25.4	13.8	19.6	11.6	1.587	38.107	3084.5	13.58	10.1499414	7.631
25/10/2024	22.8	12.6	17.7	10.2	1.587	36.207	3084.5	13.58	8.70494136	6.803
26/10/2024	26	12.8	19.4	13.2	1.587	37.907	3084.5	13.58	10.9239414	7.771
27/10/2024	27.4	12	19.7	15.4	1.587	38.207	3084.5	13.58	12.2009414	8.167
28/10/2024	27.4	11.6	19.5	15.8	1.587	38.007	3084.5	13.58	12.3389414	8.148
29/10/2024	28.4	10.8	19.6	17.6	1.587	38.107	3084.5	13.58	13.3299414	8.421
30/10/2024	29.2	9.2	19.2	20	1.587	37.707	3084.5	13.58	14.4539414	8.589
31/10/2024	28.4	10.2	19.3	18.2	1.587	37.807	3084.5	13.58	13.5369414	8.390

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de octubre una temperatura media mensual de 19.12

°C y una tasa de evaporación promedio de 7.911 mm/día.

Tabla 29

*Determinación de la evaporación para el mes de noviembre del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/11/2024	29	9.2	19.1	19.8	1.587	37.607	3084.5	13.58	14.3109414	8.527
02/11/2024	29	9	19	20	1.587	37.507	3084.5	13.58	14.3799414	8.516
03/11/2024	29	11	20	18	1.587	38.507	3084.5	13.58	13.6899414	8.621
04/11/2024	29	10.8	19.9	18.2	1.587	38.407	3084.5	13.58	13.7589414	8.610
05/11/2024	24	10.8	17.4	13.2	1.587	35.907	3084.5	13.58	10.1839414	7.086
06/11/2024	26.4	12.8	19.6	13.6	1.587	38.107	3084.5	13.58	11.2099414	7.894
07/11/2024	27.4	12	19.7	15.4	1.587	38.207	3084.5	13.58	12.2009414	8.167
08/11/2024	27.4	12.8	20.1	14.6	1.587	38.607	3084.5	13.58	11.9249414	8.207
09/11/2024	18.2	12.4	15.3	5.8	1.587	33.807	3084.5	13.58	5.48494136	5.504
10/11/2024	23.2	12.2	17.7	11	1.587	36.207	3084.5	13.58	9.12894136	6.905
11/11/2024	27.4	11.6	19.5	15.8	1.587	38.007	3084.5	13.58	12.3389414	8.148
12/11/2024	26.2	11.4	18.8	14.8	1.587	37.307	3084.5	13.58	11.5499414	7.769
13/11/2024	23.8	12.2	18	11.6	1.587	36.507	3084.5	13.58	9.55794136	7.082

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
14/11/2024	23	11.6	17.3	11.4	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.19294136	6.825
15/11/2024	23.8	10.2	17	13.6	1.587	35.507	3084.5	13.58	10.2479414	7.005
16/11/2024	26.2	12.2	19.2	14	1.587	37.707	3084.5	13.58	11.2739414	7.805
17/11/2024	28.6	12.2	20.4	16.4	1.587	38.907	3084.5	13.58	12.9899414	8.557
18/11/2024	28	11.8	19.9	16.2	1.587	38.407	3084.5	13.58	12.6989414	8.346
19/11/2024	25.4	11.8	18.6	13.6	1.587	37.107	3084.5	13.58	10.8399414	7.543
20/11/2024	26	13	19.5	13	1.587	38.007	3084.5	13.58	10.8549414	7.780
21/11/2024	24.2	13	18.6	11.2	1.587	37.107	3084.5	13.58	9.56794136	7.233
22/11/2024	27.8	9.2	18.5	18.6	1.587	37.007	3084.5	13.58	13.4529414	8.155
23/11/2024	26	10.8	18.4	15.2	1.587	36.907	3084.5	13.58	11.6139414	7.681
24/11/2024	23.6	11	17.3	12.6	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.82894136	6.977
25/11/2024	17.4	10.8	14.1	6.6	1.587	32.607	3084.5	13.58	5.46494136	5.252
26/11/2024	22.2	10.4	16.3	11.8	1.587	34.807	3084.5	13.58	9.03494136	6.554
27/11/2024	20.4	13.8	17.1	6.6	1.587	35.607	3084.5	13.58	6.57494136	6.153
28/11/2024	25	10	17.5	15	1.587	36.007	3084.5	13.58	11.1749414	7.348
29/11/2024	22.8	12	17.4	10.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	8.91194136	6.782

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de noviembre una temperatura media mensual de 18.31

°C y una tasa de evaporación promedio de 7.484 mm/día.

**Tabla 30**

*Determinación de la evaporación para el mes de diciembre del 2024*

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		Temperatura media (T)	Rango R	Rann	Tm	h	A	T-Td	E0 (mm/día)
	MAX	MIN								
01/12/2024	22.8	12	17.4	10.8	1.587	35.907	3084.5	13.58	8.91194136	6.782
02/12/2024	23.6	11	17.3	12.6	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.82894136	6.977
03/12/2024	25.6	12.8	19.2	12.8	1.587	37.707	3084.5	13.58	10.6379414	7.648
04/12/2024	26	10	18	16	1.587	36.507	3084.5	13.58	11.8899414	7.646
05/12/2024	25.4	13	19.2	12.4	1.587	37.707	3084.5	13.58	10.4259414	7.596
06/12/2024	25	11	18	14	1.587	36.507	3084.5	13.58	10.8299414	7.390
07/12/2024	25.8	11	18.4	14.8	1.587	36.907	3084.5	13.58	11.4019414	7.629
08/12/2024	26.4	11.2	18.8	15.2	1.587	37.307	3084.5	13.58	11.7619414	7.821
09/12/2024	20.8	10.6	15.7	10.2	1.587	34.207	3084.5	13.58	7.96494136	6.167
10/12/2024	24.6	10.8	17.7	13.8	1.587	36.207	3084.5	13.58	10.6129414	7.263
11/12/2024	25.2	10.4	17.8	14.8	1.587	36.307	3084.5	13.58	11.1799414	7.424
12/12/2024	25.4	10.6	18	14.8	1.587	36.507	3084.5	13.58	11.2539414	7.492
13/12/2024	25.4	10.6	18	14.8	1.587	36.507	3084.5	13.58	11.2539414	7.492
14/12/2024	25.4	10.2	17.8	15.2	1.587	36.307	3084.5	13.58	11.3919414	7.475
15/12/2024	25.2	12	18.6	13.2	1.587	37.107	3084.5	13.58	10.6279414	7.492
16/12/2024	23.6	13.6	18.6	10	1.587	37.107	3084.5	13.58	8.93194136	7.077
17/12/2024	23.6	11	17.3	12.6	1.587	35.807	3084.5	13.58	9.82894136	6.977
18/12/2024	25.2	11	18.1	14.2	1.587	36.607	3084.5	13.58	10.9729414	7.449
19/12/2024	25.2	10.8	18	14.4	1.587	36.507	3084.5	13.58	11.0419414	7.441
20/12/2024	22.8	10.8	16.8	12	1.587	35.307	3084.5	13.58	9.32594136	6.739
21/12/2024	23.4	10.6	17	12.8	1.587	35.507	3084.5	13.58	9.82394136	6.904
22/12/2024	23.6	10.4	17	13.2	1.587	35.507	3084.5	13.58	10.0359414	6.955
23/12/2024	24.8	10.2	17.5	14.6	1.587	36.007	3084.5	13.58	10.9629414	7.298
24/12/2024	23	12.8	17.9	10.2	1.587	36.407	3084.5	13.58	8.77894136	6.869
25/12/2024	27.4	12.8	20.1	14.6	1.587	38.607	3084.5	13.58	11.9249414	8.207
26/12/2024	27.2	12.6	19.9	14.6	1.587	38.407	3084.5	13.58	11.8509414	8.134
27/12/2024	23.8	15.4	19.6	8.4	1.587	38.107	3084.5	13.58	8.45394136	7.210
28/12/2024	26.4	13	19.7	13.4	1.587	38.207	3084.5	13.58	11.1409414	7.904
29/12/2024	26.4	13	19.7	13.4	1.587	38.207	3084.5	13.58	11.1409414	7.904
30/12/2024	26.4	12	19.2	14.4	1.587	37.707	3084.5	13.58	11.4859414	7.857
31/12/2024	26.4	11.6	19	14.8	1.587	37.507	3084.5	13.58	11.6239414	7.839

**Nota.** Esta tabla muestra para el mes de diciembre una temperatura media mensual de 18.23

°C y una tasa de evaporación promedio de 7.389 mm/día.

**Tabla 31**

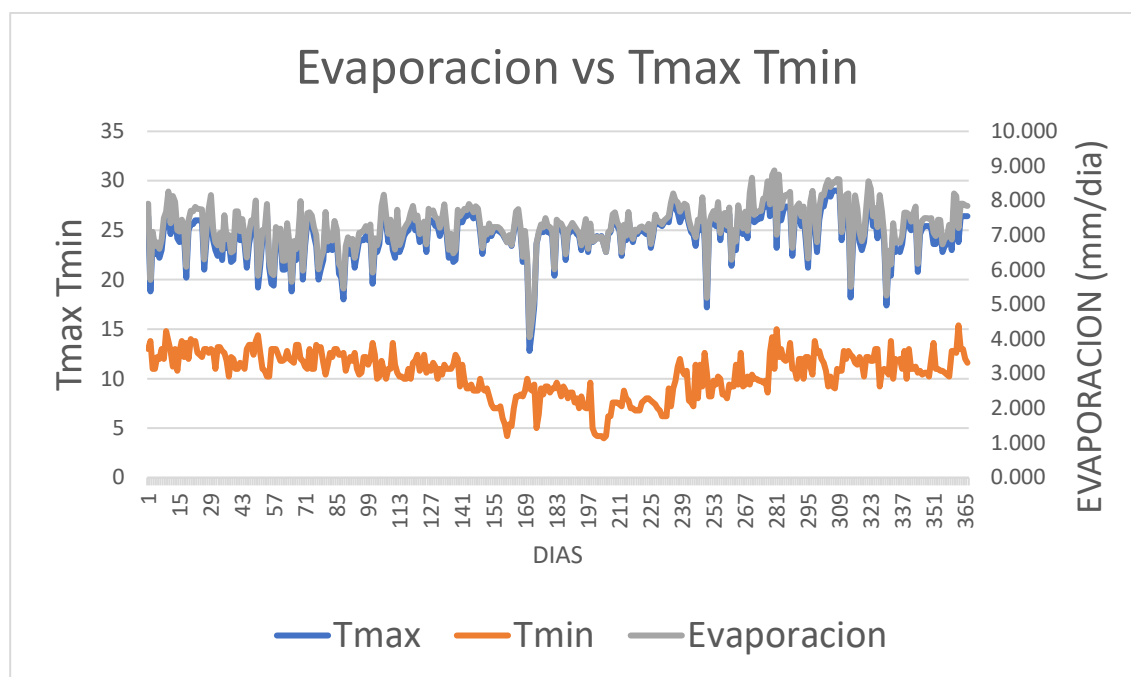
*Cálculo de evaporación a lo largo de 365 días del año*

fecha	Mayor temperatura	menor temperatura	Mayor evaporación	Menor evaporación
octubre	19.12°C		7.911 mm/día	
junio		15.55°C.		6.827mm/día

**Nota.** Esta tabla muestra los valores de temperatura y evaporación se calcularon a partir de los datos recopilados en las tablas de observación diaria y mensual de la estación meteorológica de Curahuasi durante el año 2024.

**Figura 7**

*Temperatura vs evaporación*



**Nota.** Esta figura muestra la variación diaria de las temperaturas máxima y mínima en función de la evaporación promedio anual registrada en la estación meteorológica de Curahuasi durante el año 2024. Los datos reflejan la correlación entre los cambios térmicos y la tasa de evaporación observada en el periodo analizado.

### 5.3.4. Evaluación de la variación de caudales de infiltración y evaporación

Se determinaron las pérdidas de caudal ocasionadas por procesos de infiltración y evaporación en el canal, aplicando estimaciones basadas en los registros de temperatura diaria correspondientes a los 365 días del año 2024.

El cálculo se efectuó mediante la ecuación de Penman. Los valores obtenidos de evaporación, expuestos en las tablas previas, se expresan en milímetros por día (mm/día); en consecuencia, se realizó la conversión respectiva a caudal (m<sup>3</sup>/s) utilizando la siguiente expresión para determinar el caudal evaporado.

$$Q = T \times L \times E \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Donde:

Q: caudal por evaporación

T: espejo de agua (m)

L: longitud de canal (m)

E: evaporación (mm/día)

Por lo que se procede a estimar el cálculo del caudal m<sup>3</sup>/s para el día 14/09/2024

Donde:

T = 0.60 m

L = 1559 m

E = 7.637 mm/día

Reemplazando

$$Q = 0.60 \times 1559 \times 7.637 \times \frac{0.001}{86400}$$

$$Q = 0.0000827(m^3/seg)$$

$$Q = 0.082(lit/seg)$$

Por medio del proceso de conversión de la evaporación expresada en mm/día a m<sup>3</sup>/s, se obtuvo para el 14/09/2024 un caudal equivalente a 0.082 L/s. Con base en ello, se realizó

la estimación correspondiente para los 365 días del año, considerando como parámetros el área del espejo de agua, la longitud total del canal y los valores diarios de evaporación en mm/día.

**Tabla 32**

*perdida de caudales en canal con revestimiento en concreto*

N°	Fecha	Caudal (lit/seg)			
		ingreso	infiltración	evaporación	salida
1	14/09/2024	95.37	12.71	0.0827	82.58
2	15/09/2024	93.95	12.50	0.0787	81.37
3	16/09/2024	96.51	12.87	0.0844	83.55
4	17/09/2024	84.62	11.14	0.0681	73.40
5	18/09/2024	96.22	12.84	0.0773	83.31
<b>Promedio =</b>		<b>93.33</b>	<b>12.41</b>	<b>0.0782</b>	<b>80.84</b>

**Nota.** Esta tabla muestra los valores de caudal de ingreso, infiltración, evaporación y salida registrados en el canal revestido con concreto. En el cuadro anterior se observa que el caudal de infiltración varía entre 11.14 L/s y 12.87 L/s, una variabilidad directamente relacionada con el estado del canal.

### 5.3.5. diagnóstico de la evaluación de las condiciones del canal

Durante el estudio de campo se observaron las condiciones del recubrimiento y las juntas del canal, de donde se observó los siguientes detalles.

**Tabla 33**

*resumen de las condiciones del canal*

Tipo	Cantidad por tramo	longitud (m)
Resane agrieta	6	10.02
Resane Rotura	4	6.4
Junta de dilatación	14	19.6
Compuerta metálica	8	8
limpieza de canal	1	0+000 al 1+559

**Nota.** Esta tabla muestra el resume las condiciones estructurales y operativas identificadas en el tramo inspeccionado del canal. En el proceso de evaluación del tramo en estudio comprendido entre el Km 0+000.00 y el Km 01+559, se llevó a cabo un análisis detallado de las fisuras, grietas, roturas y juntas presentes en la estructura.

Tabla 34

## Condiciones del canal

N°	Progre siva km	tipo				Prof (cm)	Espeso r (cm)	Longitu d (m)	Observaciones y/o carga
		Griet a	rotur a	junt a	compuert a				
1	00+030		x			10	2.3	1.45	presencia de raíces
2	00+032		x			10	3.1	1.6	presencia de raíces, rocas
3	00+060			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y piedras
4	00+072			x		10	2.5	1.4	Bordes colmatados
5	00+110			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y piedras
6	00+115				x				compuerta deteriorada
7	00+160	x				10	1.1	1.47	presencia de rocas
8	00+214	x				10	1.1	1.7	presencia de rocas y maleza
9	00+260			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación
10	00+275				x				compuerta deteriorada
11	00+310			x		10	2.5	1.4	presencia de raíces
12	00+420				x				Compuerta Deteriorada
13	00+428	x				10	1.1	1.5	presencia de rocas y maleza
14	00+450				x				Compuerta Deteriorada
15	00+453		x			10	3.1	1.7	presencia de raíces, rocas
16	00+480				x				Compuerta Deteriorada
17	00+500			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y raíces
18	00+580			x		10	2.5	1.4	presencia de rocas
19	00+600			x		10	2.5	1.4	presencia de rocas
20	00+640	x				10	1.1	1.75	presencia de rocas y maleza
21	00+740				x				Compuerta Deteriorada
22	00+762			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y piedras
23	00+765		x			10	3.1	1.65	presencia de raíces, rocas
24	00+780			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y piedras
25	00+820			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación
26	00+842	x				10	1.1	1.85	presencia de raíces
27	00+880	x				10	0.8	1.75	presencia de raíces
28	01+040				x				Compuerta Deteriorada
29	01+130			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y raíces
30	01+210			x		10	2.5	1.4	presencia de vegetación y raíces
31	01+220			x		10	2.5	1.4	Presencia de arbustos
32	01+420				x				Compuerta Deteriorada

**Nota.** Esta tabla muestra las condiciones estructurales observadas a lo largo de las progresivas del canal inspeccionado, identificando grietas, roturas, deterioro de juntas,

espesor del revestimiento y observaciones complementarias del estado físico. Estos datos corresponden al diagnóstico técnico realizado en campo para la evaluación de las condiciones del canal.

Se establece que la condición del canal está directamente relacionada con la pérdida de caudal debido a la infiltración, como se muestra en los cuadros anteriores.

### 5.3.6. Nivel de eficiencia de conducción del canal

Con los cálculos efectuados y los resultados obtenidos se procedió a determinar la eficiencia de conducción del canal, para lo cual se detalló en el siguiente cuadro:

**Tabla 35**

*eficiencia de conducción del canal*

N°	Fecha	Caudal (lit/seg)				Eficiencia
		ingreso	infiltración	evaporación	salida	
1	14/09/2024	95.37	12.71	0.0827	82.58	86.59%
2	15/09/2024	93.95	12.50	0.0787	81.37	86.61%
3	16/09/2024	96.51	12.87	0.0844	83.55	86.57%
4	17/09/2024	84.62	11.14	0.0681	73.40	86.75%
5	18/09/2024	96.22	12.84	0.0773	83.31	86.58%
<b>Promedio =</b>		<b>93.33</b>	<b>12.4129</b>	<b>0.0782</b>	<b>80.84</b>	<b>86.62%</b>

**Nota.** Esta tabla muestra la eficiencia de conducción para cada uno de los días en los que se realizaron los aforos, con valores que oscilan entre el 86.57% y el 86.75%. La variación observada en el caudal de entrada y salida se atribuye a pérdidas por infiltración y evaporación, las cuales están relacionadas tanto con el deterioro del canal como con las condiciones climáticas de la Región. La eficiencia de conducción promedio durante los días evaluados es de 86.62%. Es importante destacar que, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la eficiencia de conducción en canales revestidos debería alcanzar un mínimo del 95%.

La discrepancia entre la eficiencia observada y el estándar recomendado se debe principalmente a pérdidas provocadas por juntas mal selladas y grietas en el canal. Estas deficiencias estructurales, junto con las condiciones ambientales adversas, pueden tener un impacto significativo en la capacidad del canal para transportar agua de manera eficiente.

### 5.3.7. Estimación del presupuesto destinado al mantenimiento y reparación

Durante el procedimiento de elaboración del presupuesto, se efectuó el desarrollo del sustento de metrados, el cual se fundamentó en la información obtenida a partir del diagnóstico de campo. Posteriormente, se realizó la evaluación de precios unitarios, considerando que el valor de la mano de obra se encuentra ajustado al régimen de construcción civil vigente para el año 2024. Cabe destacar que los rendimientos de la fuerza laboral fueron establecidos conforme a los parámetros definidos por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).

**Tabla 36**

#### *Presupuesto del mantenimiento de canal*

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	Precio	Parcial	Sub Total
<b>1.0</b>	<b>MANTENIMIENTO DEL CANAL DE RIEGO DE PUMAHUACHO, ABANCAY. CURAHUASI</b>					<b>13664.99</b>
1.1	RESANE DE GRIETAS					1156.43
1.1.1	picado y eliminación de losa de concreto	m	10.02	70.14	702.8	
1.1.2	mortero cemento: arena	m <sup>2</sup>	1	206.2	206.2	
1.1.3	concreto FC=175 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0.5	494.85	247.43	
<b>1.2</b>	<b>RESANE DE ROTURAS</b>					<b>902.53</b>
1.2.1	picado y eliminación de losa de concreto	m	6.4	70.14	448.9	
1.2.2	concreto FC=175 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0.5	494.85	247.43	
1.2.3	mortero cemento: arena	m <sup>2</sup>	1	206.2	206.2	
<b>1.3</b>	<b>JUNTA DE DILATACION ELASTOMERICA DE 1"</b>					<b>559.78</b>
1.3.1	junta de dilatación elastomerica	m	19.6	28.56	559.78	
<b>1.4</b>	<b>COMPUERTA METALICA</b>					<b>5200</b>
1.4.1	suministro e instalación de compuerta	und	8	650	5200	
<b>1.5</b>	<b>LIMPIEZA DE CANAL</b>					<b>5846.25</b>
1.5.1	limpieza, desbroce y eliminación de vegetación	m	1559	1.41	2198.19	
1.5.2	descolmatación y extracción de sedimentos	h	1559	2.34	3648.06	

**Nota.** Esta tabla muestra un presupuesto de s/ **13664.99** para un mantenimiento para un tramo de km 1+1559 y se detalla el presupuesto estimado para las actividades de mantenimiento del canal de riego, considerando la reparación de grietas, resane de roturas, sellado de juntas, reposición de compuertas y limpieza general. Los costos fueron determinados de acuerdo con los estándares de precios unitarios de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).

### 5.4. Discusión de resultados

La eficiencia de conducción del canal de riego Puma Ccocha, está en el 86.62%, revela una notable discrepancia con el estándar recomendado para canales revestidos de concreto simple, que debería rondar el 95% en condiciones óptimas (FAO, 2015; Kizito & Yari, 2022).

Este déficit indica que el canal opera por debajo de las expectativas de eficiencia y destaca la influencia de múltiples factores en su rendimiento, como la infiltración y evaporación del agua, aspectos exacerbados por las condiciones climáticas y el deterioro estructural observado (Allen et al., 1998; López, 2020).

La principal causa de la baja eficiencia en el canal Puma Ccocha es el deterioro del revestimiento de concreto y el mal estado de las juntas de unión, que afectan tanto la capacidad de transporte de agua como la durabilidad del canal (García, 2008). Estudios adicionales subrayan que la integridad estructural de los canales de riego es crucial para optimizar la eficiencia hidráulica y reducir las pérdidas, particularmente en áreas donde las condiciones climáticas elevan la tasa de evaporación (Hanjra & Qureshi, 2010).

La eficiencia de conducción observada en el canal Puma Ccocha podría mejorarse mediante un programa de mantenimiento periódico y la reparación de las juntas defectuosas. Según Hanjra y Qureshi (2010), una estrategia de mantenimiento adecuada puede ser fundamental para prolongar la vida útil de los sistemas de riego, mejorando así la sostenibilidad y la funcionalidad del canal en el largo plazo. Estos aspectos son esenciales no solo para cumplir con los estándares de eficiencia establecidos, sino también para optimizar los recursos hídricos en la Región, garantizando que el sistema de riego cumpla con las demandas agrícolas actuales y futuras (Pérez, 2023; FAO, 2015).

## **VI. Conclusiones**

### **a) Objetivo general**

#### Conclusión general

Se implementó un enfoque metodológico riguroso para evaluar la eficiencia hídrica del sistema de conducción Puma Ccocha, integrando mediciones de caudales de entrada y salida, cuantificación de pérdidas hídricas por infiltración y evaporación, y un análisis de costos para intervenciones correctivas. Los aforos realizados indicaron un caudal promedio de entrada ( $Q_e$ ) de 93.33 L/s y un caudal promedio de salida ( $Q_s$ ) de 80.84 L/s, reflejando una eficiencia de conducción del 86.62%, valor que se encuentra por debajo del rango recomendado de 90% y 95%. Las pérdidas se distribuyeron en 12.41 L/s por infiltración y 0.0782 L/s por evaporación, siendo la infiltración el factor predominante que afecta la eficiencia del sistema. Se calculará que un presupuesto de S/ 13,664.99 sería necesario para la reparación del tramo comprendido entre el km 00+000 y el km 01+559, permitiendo mejorar la eficiencia hídrica y garantizar un suministro óptimo para el riego agrícola en el distrito de Curahuasi.

### **b) Objetivo específico N°01**

#### Conclusión específica

La eficiencia de conducción del sistema de riego Puma Ccocha fue determinada mediante aforos realizados en los puntos estratégicos ubicados en el km 0+000 y el km 01+550, utilizando equipos de medición de caudal que permitieron registrar valores precisos. El análisis arrojó un caudal promedio de entrada ( $Q_e$ ) de 93.33 L/s y un caudal promedio de salida ( $Q_s$ ) de 80.84 L/s, lo que corresponde a una eficiencia hidráulica del 86.62%. Este resultado se encuentra por debajo del rango recomendado de 90% a 95%, indicando pérdidas significativas a lo largo del canal. Este nivel de eficiencia refleja la necesidad de implementar mejoras técnicas orientadas a minimizar las pérdidas y garantizar la sostenibilidad del sistema.

**c) Objetivo específico N°02****Conclusión específica**

La evaluación de las pérdidas de agua en el sistema de conducción Puma Ccocha calcula un caudal promedio de entrada de 93.33 L/s y un caudal promedio de salida de 80.84 L/s, lo que representa una pérdida del 13.38%. Las pérdidas, principalmente por infiltración (12.41 L/s) y en menor medida por evaporación (0.0782 L/s), evidencian un impacto significativo en la eficiencia del sistema. Estos resultados confirman la necesidad de implementar medidas de control, como revestimientos, para optimizar la conducción hídrica y mejorar la eficiencia en el riego agrícola.

**d) Objetivo específico N°03****Conclusión específica**

El análisis de costos del sistema de conducción Puma Ccocha determinó un presupuesto de S/ 13,664.99 para rehabilitar el tramo km 00+000 al km 01+559. La inversión se centra en reducir pérdidas por infiltración, que representan el 13.38% del caudal, y mejorar la eficiencia hidráulica, actualmente en 86.62%, hacia los estándares recomendados de 90%-95%. El mantenimiento proyectado es técnicamente necesario y económicamente viable para optimizar el riego agrícola en Curahuasi.

## **VII. Recomendaciones**

A continuación, se presentan algunas recomendaciones basadas en los resultados y conclusiones obtenidas del presente estudio:

### **A. Recomendación general**

Se recomienda la implementación de revestimientos impermeables en los tramos más críticos del sistema de conducción Puma Ccocha, con el objetivo de reducir las pérdidas por infiltración, principal causa de la disminución de eficiencia hidráulica. Paralelamente, se debe establecer un programa de monitoreo hidrométrico continuo mediante aforos en puntos estratégicos para evaluar el comportamiento del caudal a lo largo del canal y detectar anomalías en tiempo real. Además, resulta indispensable elaborar y ejecutar un plan de mantenimiento preventivo que contemple actividades como limpieza sistemática, reparación de fisuras y control de obstrucciones, optimizando el uso del presupuesto técnico estimado de S/ 13,664.99. Estas medidas, complementadas con la capacitación de los usuarios en gestión eficiente del recurso hídrico, asegurarán una eficiencia hídrica dentro del rango recomendado (90%-95%) y la sostenibilidad del riego agrícola en el distrito de Curahuasi.

### **B. Recomendación específica N°01**

se recomienda priorizar la implementación de revestimientos impermeables en los tramos más críticos del canal. Esta medida tiene como objetivo reducir las pérdidas por infiltración, que representan el principal factor de disminución de eficiencia. Asimismo, es esencial complementar estas acciones con un programa de monitoreo continuo, utilizando equipos de medición de caudal de alta precisión, para registrar periódicamente los caudales de entrada y salida en los puntos km 0+000 y km 01+550. Estas intervenciones técnicas contribuirán a alcanzar los niveles de eficiencia recomendados, garantizando un sistema de conducción hídrica sostenible y eficiente en beneficio del riego agrícola del distrito de Curahuasi.

C. Recomendación de la conclusión específica N°02

Ante las pérdidas significativas en el sistema de conducción Puma Ccocha, calculadas en un 13.38% del caudal de entrada, principalmente atribuidas a la infiltración (12.41 L/s) y en menor medida a la evaporación (0.0782 L/s), se recomienda la implementación de revestimientos impermeables en los tramos más críticos del canal. Estos revestimientos, preferiblemente de concreto o geomembranas, deben ser seleccionados considerando la naturaleza del terreno y las condiciones operativas del sistema.

D. Recomendación de la conclusión específica N°03

Con base en el presupuesto estimado de S/ 13,664.99 para la rehabilitación del tramo km 00+000 al km 01+559 del sistema de conducción Puma Ccocha, se recomienda implementar revestimientos impermeables de concreto reforzado en los tramos críticos para reducir las pérdidas por infiltración (13.38%) y mejorar la eficiencia hidráulica (86.62%) hacia el rango óptimo de 90%-95%. Las intervenciones deben ejecutarse bajo supervisión técnica estricta, garantizando la calidad mediante pruebas de permeabilidad y controles estructurales. Adicionalmente, se debe establecer un plan de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones periódicas, limpieza y reparaciones menores para asegurar la sostenibilidad del sistema y la optimización del riego agrícola en Curahuasi.

## VIII. Referencias

- Albaji, M. (2022). *Introduction to water engineering, hydrology, and irrigation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003293507>.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Evapotranspiración de los cultivos: Directrices para calcular los requerimientos de agua de los cultivos* (Documento de Riego y Drenaje n.º 56). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>.
- Arias, F. G. (2016). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (7.ª ed.). Episteme. <https://archive.org/details/2012ElProyectoDeInvestigacion>
- Asalde Yupton, J. W. (2020). *Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS, tramo km 0+000 al km 3+085, en el distrito de Salas, región Lambayeque* [Tesis de licenciatura, Universidad San Martín de Porres]. Repositorio Institucional USMP. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6368>.
- Asociación Mundial para el Agua (GWP). (2000). *Gestión integrada de los recursos hídricos* (Documento de antecedentes del Comité Asesor Técnico n.º 4). Global Water Partnership. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf>.
- Barrera Torres, V. M., & Piña Portoviejo, E. M. (2020). *Estudios para el mejoramiento del sistema de riego en las comunidades de La Cruz, Membrillo, Patadel, Trancapata y Salacota, cantón Nabón: Sustitución de canal abierto por tuberías a presión* [Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional UDA. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10044>
- Caba Calle, S. (2023). *Evaluación de la eficiencia del sistema de riego por aspersión en el Centro Experimental de Cota Cota* [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San

Andrés]. Repositorio Institucional UMSA.

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/34558>.

Capcha Ricaldi, G. S., & Martínez Chuquillanqui, F. J. (2021). *Evaluación de eficiencia hidráulica de canales de riego por gravedad – canal Huayao, Chupaca, Junín* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

<https://hdl.handle.net/20.500.12394/11093>

Chow, V. T. (1988). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.

[https://books.google.com/books/about/Hidráulica de canales abiertos.html?id=O-](https://books.google.com/books/about/Hidráulica de canales abiertos.html?id=O-3AOgAACAAJ)

[3AOgAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Hidráulica de canales abiertos.html?id=O-3AOgAACAAJ).

Chow, V. T. (1988). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.

[https://books.google.com/books/about/Hidrolog%C3%ADa aplicada.html?id=O-](https://books.google.com/books/about/Hidrolog%C3%ADa aplicada.html?id=O-3AOgAACAAJ)

[3AOgAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Hidrolog%C3%ADa aplicada.html?id=O-3AOgAACAAJ).

Delgado Mansilla, J. A. (2020). *Análisis de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la ecoeficiencia y la huella hídrica de la producción agrícola* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16141>.

Delgado Mansilla, J. A. (2020). *Análisis de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la ecoeficiencia y la huella hídrica de la producción agrícola* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16141>

FAO. (2017). *Eficiencia en el uso del agua en la agricultura: El desafío de aumentar la producción y reducir el desperdicio*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i7090s/i7090s.pdf>.

FAO. (2021). *Soils engineering for design of ponds, canals and dams in aquaculture*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/4/x5744e/x5744e00.htm>.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education. <https://archive.org/details/hernandez-sampieri-metodologia-de-la-investigacion>
- Howell, T. A. (2003). *Irrigation efficiency*. In T. A. Howell (Ed.), *Encyclopedia of water science* (pp. 467–472). Marcel Dekker. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3112816>.
- ISAASA. (2024). *Líneas de conducción de agua*. <https://isaasa.com/lineas-de-conduccion-de-agua>.
- Jácome Terán, L. E., & Vela Iza, G. F. (2023). *Evaluación y mejoramiento hidráulico de la infraestructura del sistema de riego biprovincial Ambuquí* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20728>.
- Jiménez, J. R. (2020). *Diseño hidráulico para mejorar la eficiencia del canal de riego Cceñuaran en Apurímac* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11093>.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold. <https://search.worldcat.org/title/709836180>.
- Liria Montañés, J. (2006). *Hydraulic canals: Design, construction, regulation and maintenance*. CRC Press. <https://www.routledge.com/Hydraulic-Canals-Design-Construction-Regulation-and-Maintenance/Liria-Montanes/p/book/9780367446406>.
- Mays, L. W. (2011). *Hydraulic design handbook*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070411524>.
- Muñoz Pérez, J. (2020). *Eficiencia hidráulica en el sistema de agua potable en la localidad de Umaccata – Abancay – Apurímac 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional UTEA. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/d058f144-ba79-485f-88cd-5003bacfe4dc>.
- Pazmiño Chinacalle, E. M. (2020). *Análisis de la eficiencia de uso del agua de riego por unidad de producción agropecuaria, con base en los requerimientos hídricos de cuatro*

- cultivos, en la parroquia rural Cangahua, cantón Cayambe* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/3481f751-20a7-4b06-a403-2ed676a292b1>
- Quiliche Palacios, M. E. (2021). *Eficiencia de la infraestructura hidráulica del canal La Collpa, Cajamarca 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://hdl.handle.net/11537/29076>.
- Ramos Hurtado, M. R., & Ibañes Aguilar, J. D. (2023). *Evaluación de la eficiencia de la conducción principal del sistema de riego Santiago* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional UNL. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/28335>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2020). *Evaluación de la disponibilidad hídrica en el Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe>.
- Swamee, P. K., & Chahar, B. R. (2015). *Design of canals*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-81-322-2322-1>.
- Todos Los Hechos. (2024). *¿Qué es una línea de aducción y conducción?* <https://todosloshechos.es/que-es-una-linea-de-aduccion-y-conduccion>.
- Torre Pérez, W. C., & Vega Quispe, J. J. (2021). *Diseño hidráulico de sifón invertido del cruce canal de riego quebrada Sonccooyuma, de distritos Antabamba, provincia Antabamba – departamento de Apurímac* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75784>.
- Universidad Continental. (2024). *Sílabo de hidráulica de canales abiertos*. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9828>
- Villón Béjar, M. (2007). *Hidráulica de canales* (2.<sup>a</sup> ed.). Editorial Villón. <https://es.scribd.com/document/370821111/HIDRAULICA-DE-CANALES-MAXIMO-VILLON-pdf>