

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación del impacto de la rugosidad en la eficiencia de conducción
del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi - 2024**

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil, Angel

Autor:

Cuba Victorio, Edson Enrique

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°: 058

En la ciudad de Abancay, a los veinte seis días del mes de agosto del 2025, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0708-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 19 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Dictaminante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén
Replicante :	Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación del impacto de la rugosidad en la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi - 2024

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Cuba Victorio, Edson Enrique

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 (**)
Cuba Victorio, Edson Enrique	Aprobado

Siendo las 10:00am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Cayo Baca, Holguer

Dictaminante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Replicante: Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Abancay 28 de agosto del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 357

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, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
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




19% 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

- 16%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 14%  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

Notas del Autor	
Apellidos y nombres	: Cuba Victorio, Edson Enrique
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 44417828
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0003-6757-8544
Notas del Asesor	
Apellidos y nombres	: Maldonado Mendivil, Ángel
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06788424
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Notas de la investigación	
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	: 2024-2025
Fuente de financiamiento	: Propia
Porcentaje de similitud	: 19 % con deposito
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#%202.01.01

Dedicatoria

A Dios por ser mi fortaleza y darme las fuerzas necesarias para alcanzar este logro, Dedico este trabajo a mis padres, en reconocimiento a su esfuerzo, sacrificio y apoyo constante, que han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional. Asimismo, expreso mi gratitud a mis docentes, por su guía académica y por contribuir de manera significativa al desarrollo de esta investigación. También dedico esta tesis a la comunidad del distrito de Curahuasi, cuya realidad y necesidades me motivaron a aportar soluciones para el bienestar colectivo.

Agradecimientos

A mi alma mater, la Universidad Tecnológica de los Andes, institución que con dedicación cumple la misión de formar profesionales comprometidos con el progreso del país, impulsando la investigación y el desarrollo.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil, quienes con entrega y generosidad compartieron su tiempo, conocimientos y experiencias, aportando de manera decisiva a mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, M.Sc. Ángel Maldonado Mendivil, cuya guía y apoyo fueron fundamentales desde el inicio de esta investigación.

Resumen

El estudio evalúa el impacto de la rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de derivación Lucmos, ubicado en Curahuasi, Abancay. El objetivo fue determinar la rugosidad real del canal y compararla con la proyectada en el diseño, analizando su efecto sobre la eficiencia hidráulica.

La eficiencia de conducción obtenida fue de 90.32%, dentro del rango recomendado de 90% a 95% para canales revestidos de concreto, lo que refleja un comportamiento hidráulico eficiente. Sin embargo, el coeficiente de rugosidad promedio fue de 0.0155, superando el valor recomendado de 0.014, lo que indica una mayor resistencia al flujo debido a irregularidades en la superficie del canal.

Durante el estudio, se registraron fluctuaciones en el caudal debido a variaciones en la demanda y las condiciones operativas. El caudal varió entre 0.1139 m³/s y 0.1636 m³/s, lo que resalta la necesidad de establecer un sistema de monitoreo continuo. Las velocidades mínimas registradas oscilaron entre 0.7996 m/s y 0.7858 m/s, superando el rango recomendado de 0.3 a 0.6 m/s, lo que facilita el transporte de sedimentos y evita la acumulación en el fondo del canal.

Se recomienda mejorar los acabados de las superficies internas y rediseñar las juntas de dilatación a intervalos de 9 metros para reducir la rugosidad. Además, es necesario implementar un sistema de monitoreo continuo, realizar mantenimiento preventivo y capacitar al personal para garantizar una operación eficiente y sostenible del canal.

Palabras claves: eficiencia de conducción, rugosidad hidráulica, coeficiente de rugosidad, juntas de dilatación, transporte de sedimentos.

Abstract

This study evaluates the impact of roughness on the conveyance efficiency of the Lucmos diversion canal, located in Curahuasi, Abancay. The objective was to determine the actual roughness of the canal and compare it with the roughness projected in the design, analyzing its effect on hydraulic efficiency.

The conveyance efficiency obtained was 90.32%, within the recommended range of 90% to 95% for concrete-lined canals, reflecting efficient hydraulic behavior. However, the average roughness coefficient was 0.0155, exceeding the recommended value of 0.014, indicating greater resistance to flow due to irregularities in the canal surface.

During the study, fluctuations in flow rate were recorded due to variations in demand and operating conditions. The flow rate varied between 0.1139 m³/s and 0.1636 m³/s, highlighting the need for a continuous monitoring system. The minimum velocities recorded ranged between 0.7996 m/s and 0.7858 m/s, exceeding the recommended range of 0.3 to 0.6 m/s, which facilitates sediment transport and prevents accumulation at the channel bottom.

It is recommended to improve the internal surface finishes and redesign the expansion joints at 9-meter intervals to reduce roughness. Furthermore, it is necessary to implement a continuous monitoring system, perform preventive maintenance, and train personnel to ensure efficient and sustainable operation of the channel.

Keywords: conveyance efficiency, hydraulic roughness, roughness coefficient, expansion joints, sediment transport.

Índice general

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.	vii
Abstract....	viii
Índice general.....	ix
Índice de tablas.....	xii
Indicé de figuras	xiii
Índice de anexos.....	xiv
I. Introducción.....	15
II. Planteamiento del problema.....	16
2.1. Descripción y formulación del problema	16
2.1.1.Problema general	17
2.1.2.Problemas Específicos	17
2.2. Objetivos	18
2.2.1.Objetivo General	18
2.2.2.Objetivos Específicos	18
2.3. Justificación e importancia.....	18
2.3.1.Justificación.....	18
2.3.2.Importancia	20
2.4. Hipótesis	21
2.4.1.Hipótesis General.....	21

2.4.2.Hipótesis Específicas	21
2.5. Variables	21
III. Marco Teórico	23
3.1. Antecedentes	23
3.1.1.A nivel internacional	23
3.1.2.A nivel nacional	25
3.1.3.A nivel regional y local	28
3.2. Bases teóricas.....	30
3.2.1.Evaluación del Impacto de la rugosidad.	30
3.2.2.Eficiencia de conducción del canal.....	35
3.3. Definición de términos.	38
IV. Metodología	40
4.1. Tipo y nivel de investigación	40
4.1.1.Tipo de investigación.....	40
4.1.2.Nivel de investigación.....	40
4.1.3.Diseño de investigación.....	40
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	41
4.2.1.Ámbito temporal	41
4.2.2.Espacial	41
4.3. Población y muestra	41
4.3.1.Población	41
4.3.2.Muestra	42
4.3.3.Muestreo	42
4.4. Instrumentos.....	43
4.5. Procedimientos.....	44

4.6. Análisis de <i>Notas</i>	45
4.7. Consideraciones éticas	46
V. Resultados y discusión.....	48
5.1. Resultados	48
5.1.1. Estudios preliminares	48
5.1.2. Método del Vertedero	51
5.2. Análisis de Resultados	63
5.3. Implicaciones Prácticas	65
VI. Conclusiones	67
VII. Recomendaciones	68
VIII. Referencias	69

Índice de tablas

Tabla 1.	Tabla de operacionalización de variables.....	22
Tabla 2.	Estación meteorológica.....	49
Tabla 3.	Registro de temperatura °C	49
Tabla 4.	resumen de caudal aforado	56
Tabla 5.	Coefficiente de Rugosidad (n) calculado.....	60
Tabla 6.	Coefficiente de Rugosidad (n) para concreto según diferentes autores	60
Tabla 7.	Coefficiente de Rugosidad (n) para concreto calculado	61
Tabla 8.	Parámetros calculados con el coeficiente de Manning calculado	62
Tabla 9.	Velocidades mínimas recomendadas.....	63
Tabla 10.	Eficiencia de conducción del canal	64
Tabla 11.	caudal de aforado en el canal	64
Tabla 12.	coeficiente de rugosidad calculado	64
Tabla 13.	Cálculo de velocidades en el canal	65
Tabla 14.	Caudales en los dos tramos.....	67

Indicé de figuras

Figura 1. Sección rectangular	50
Figura 2. Sección del vertedero	53
Figura 3. Caudal aforado el día 02.12.2024 (km 0+210)	53
Figura 4. Caudal aforado el día 02.12.2024 (km 1+450)	54
Figura 5. Caudal aforado el día 03.12.2024 (km 0+210)	54
Figura 6. Caudal aforado el día 03.12.2024 (km 1+450)	55
Figura 7. Caudal aforado el día 04.12.2024 (km 0+210)	55
Figura 8. Caudal aforado el día 04.12.2024 (km 1+450)	56
Figura 9. Cálculo de la rugosidad día 02.12.2024 (km 0+210)	57
Figura 10. Cálculo de la rugosidad día 02.12.2024 (km 01+450)	57
Figura 11. Cálculo de la rugosidad día 03.12.2024 (km 0+210)	58
Figura 12. Cálculo de la rugosidad día 03.12.2024 (km 01+450)	58
Figura 13. Cálculo de la rugosidad día 04.12.2024 (km 0+210)	59
Figura 14. Cálculo de la rugosidad día 04.12.2024 (km 01+450)	59
Figura 15. Parámetros calculados con el coeficiente de rugosidad recomendado	62

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	75
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables.....	76
Anexo 3. Instrumento de recolecion de datos	77
Anexo 4. Panel fotografico.....	79

I. Introducción

La eficiencia en la conducción del agua es un aspecto crucial en los sistemas de riego agrícola, especialmente en regiones donde la disponibilidad del recurso hídrico es limitada. Uno de los factores más influyentes en esta eficiencia es la rugosidad de las superficies internas de los canales, la cual genera resistencia al flujo del agua. El coeficiente de rugosidad de Manning (n), ampliamente utilizado para evaluar estas condiciones, refleja cómo el estado físico del canal puede afectar el rendimiento hidráulico. Alteraciones en la rugosidad, provocadas por el desgaste, sedimentación o crecimiento de vegetación, pueden disminuir significativamente la aptitud del canal para trasladar el agua de forma óptima.

El canal de concreto Lucmos, ubicado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, región Apurímac, constituye una infraestructura esencial para la actividad agrícola local.

Estudios realizados en canales similares han evidenciado que variaciones mínimas en el coeficiente de rugosidad pueden provocar pérdidas importantes en la capacidad de transporte de agua. Este problema no solo afecta la productividad agrícola, sino que también compromete la sostenibilidad del recurso hídrico en el tiempo. En este contexto, resulta imprescindible realizar una evaluación precisa del impacto de la rugosidad en la eficiencia hidráulica del canal Lucmos, identificando los factores críticos que limitan su desempeño y proponiendo soluciones técnicas que aseguren una distribución eficiente y sostenible del agua.

Esta investigación busca analizar las condiciones actuales del canal de concreto Lucmos, considerando los efectos de la rugosidad en su rendimiento hidráulico. Los hallazgos de esta investigación no solo aportarán a la optimización de su operación, sino que también servirán como referencia para proyectos similares en la región de Apurímac y otras zonas del país con propiedades hidráulicas y climáticas comparables.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

El canal de concreto Lucmos, ubicado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, región Apurímac, es una infraestructura esencial para el sistema de riego agrícola en la zona. Este canal abastece agua a más de 120 hectáreas de cultivo, que representan una fuente vital de sustento para las comunidades campesinas locales. El canal tiene una longitud aproximada de 10 kilómetros y está concebido para conducir un flujo de agua promedio de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, con el paso del tiempo, su capacidad de conducción ha disminuido debido a problemas relacionados con la rugosidad de su superficie interna.

El coeficiente de rugosidad de Manning (n), que es un indicador de la resistencia al flujo del agua, ha incrementado progresivamente debido al desgaste del concreto, acumulación de sedimentos y crecimiento de vegetación en las superficies laterales y el lecho del canal. Para un canal de concreto en buenas condiciones, el coeficiente de rugosidad varía típicamente entre 0.012 y 0.014. No obstante, en tramos deteriorados del canal Lucmos, se estima que este coeficiente podría superar valores de 0.016, lo que genera una mayor pérdida de energía hidráulica y disminuye la eficiencia en la conducción.

Estudios realizados en canales de concreto similares han mostrado que un incremento en el coeficiente de rugosidad del 10% puede reducir el caudal transportado en un 15%, afectando directamente el volumen de agua que alcanza las parcelas agrícolas. En el caso del canal Lucmos, esta situación provoca una reducción en la productividad agrícola, especialmente durante la temporada de estiaje, cuando la demanda de agua es mayor y el recurso es más limitado.

Además, la topografía irregular y las características climáticas de la región de Apurímac agravan el problema. Las lluvias estacionales intensas generan arrastres de sedimentos hacia el canal, mientras que la ausencia de mantenimiento preventivo apropiado contribuye a la acumulación de material y al deterioro progresivo de su estructura. Este problema no solo afecta la eficiencia hidráulica, sino que también

incrementa los gastos de operación y conservación, además de los conflictos sociales entre los usuarios del agua debido a la distribución desigual del recurso.

Actualmente, no se cuenta con un estudio técnico detallado que cuantifique el impacto de la rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de concreto Lucmos. Esta falta de datos restringe la posibilidad de las autoridades locales y los usuarios del sistema para adoptar decisiones fundamentadas respecto a las acciones requeridas. Además, la falta de soluciones técnicas adecuadas podría llevar a una mayor ineficiencia en el aprovechamiento del recurso hídrico, comprometiendo la sostenibilidad del sistema de distribución de riego.

En este contexto, es fundamental realizar una evaluación integral del impacto de la rugosidad en la eficiencia hidráulica del canal Lucmos. Este análisis permitirá identificar las principales causas de las pérdidas en la conducción y proponer medidas correctivas que optimicen la operación del canal, asegurando un reparto justo y sostenible del recurso hídrico para las comunidades agrícolas de Curahuasi.

2.1.1. Problema general

¿Cómo evaluar el impacto de la Rugosidad en la Eficiencia de Conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi -2024?

2.1.2. Problemas Específicos

a. ¿Cómo determinar el caudal en condiciones operativas del canal de concreto Lucmos, Curahuasi- 2024?

b. ¿Cómo influye el coeficiente de rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de concreto Lucmos, Curahuasi -2024?

c. ¿Cómo influye la velocidad del flujo en la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi -2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Evaluar el impacto de la Rugosidad en la Eficiencia de Conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

2.2.2. Objetivos Específicos

a. Medir el caudal en las condiciones operativas del canal de concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

b. Analizar la influencia del coeficiente de rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

c. Analizar la influencia de la velocidad del flujo en la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Justificación

La investigación se centra en el análisis del impacto de la rugosidad sobre la eficiencia hidráulica del canal de concreto Lucmos, ubicado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, región Apurímac. Este canal, con una longitud aproximada de 10 kilómetros, abastece de agua a más de 120 hectáreas de cultivos agrícolas, principalmente de pequeños agricultores que dependen de este recurso para su sustento.

La problemática se delimita al tramo crítico del canal que presenta mayores niveles de desgaste, acumulación de sedimentos y vegetación, identificados como factores que incrementan el coeficiente de rugosidad (n) por encima de los valores óptimos para canales de concreto. Estos incrementos en la rugosidad generan una reducción en la rapidez del flujo y pérdidas en la conducción del agua, afectando directamente la productividad agrícola, especialmente en épocas de estiaje, cuando la demanda hídrica supera la disponibilidad.

Desde una perspectiva práctica, esta investigación busca proporcionar una solución técnica y aplicable que permita mejorar la eficiencia hidráulica del canal. Para ello, se analizarán los factores que contribuyen a las variaciones en la rugosidad y se diseñarán estrategias de mantenimiento y rehabilitación adecuadas. Además, se propondrán medidas correctivas basadas en herramientas de modelamiento hidráulico que optimicen el rendimiento del canal, asegurando una mejor distribución del recurso hídrico.

El impacto práctico de este estudio radica en garantizar un aprovechamiento eficaz del agua en la actividad agrícola, reducir las pérdidas por conducción y favorecer el desarrollo sostenible de las comunidades agrícolas de Curahuasi. Los resultados servirán como base para implementar políticas de conservación preventiva y correctiva en sistemas de riego similares en Apurímac y otras áreas con propiedades hidráulicas comparables.

El canal de concreto Lucmos, cumple una función esencial en el suministro de agua para actividades agrícolas, siendo un recurso clave para el sustento de más de 300 familias campesinas que dependen directamente de la agricultura. Este sistema de riego es indispensable para el desarrollo socioeconómico local, ya que permite el cultivo de productos básicos como maíz, papa y hortalizas, los cuales representan tanto una fuente de ingreso como de alimento para la comunidad.

Sin embargo, el deterioro de las condiciones del canal debido al incremento de la rugosidad en sus paredes y fondo ha reducido la eficiencia hidráulica, afectando la cantidad de agua que llega a las parcelas agrícolas. Esta situación agrava los conflictos sociales entre los usuarios del agua, especialmente en épocas de estiaje, cuando la distribución se vuelve desigual y la disponibilidad es insuficiente para cubrir la demanda. La inequidad en el acceso al agua genera tensiones en las comunidades campesinas, perjudicando la convivencia y el desarrollo de estrategias colectivas de gestión del recurso hídrico.

Desde una perspectiva social, la presente investigación busca abordar este problema identificando soluciones que garanticen una distribución equitativa y eficiente del agua, promoviendo así el bienestar de las familias beneficiarias. Al optimizar la eficiencia del sistema de riego, se busca favorecer la seguridad alimentaria y disminuir los niveles de

pobreza en la región. Además, los resultados de este estudio proporcionarán herramientas técnicas y estratégicas para fomentar una administración más equitativa y sostenible del recurso hídrico, fortaleciendo la cohesión social y la capacidad de las comunidades para afrontar los desafíos climáticos y económicos.

El impacto social de esta investigación es significativo, ya que garantizará un acceso más equitativo al agua, mejorará el bienestar de los agricultores y promoverá el impulso de prácticas de gestión colectiva del sistema de riego, generando un modelo que pueda ser replicado en otras comunidades de la región de Apurímac y del país.

El impacto de la rugosidad en la eficiencia hidráulica de canales se explica mediante el coeficiente de Manning (n), que mide la resistencia al flujo y depende del estado de las superficies internas del canal. En el caso del canal de concreto Lucmos, las variaciones en la rugosidad, causadas por desgaste, sedimentos y vegetación, pueden aumentar el valor de n más allá del rango óptimo (0.012-0.014), disminuyendo la capacidad de transporte de agua.

Esta investigación aplica principios de hidráulica y modelamiento numérico para analizar cómo las condiciones actuales del canal afectan su eficiencia. Al fundamentarse en teorías hidráulicas, la investigación aportará al saber técnico sobre el diseño y mantenimiento de sistemas de riego, proporcionando información útil para mejorar la operación de infraestructuras hidráulicas en contextos rurales y agrícolas.

El análisis del impacto de la rugosidad en la eficiencia hidráulica del canal de concreto Lucmos requiere un enfoque metodológico riguroso que combine la recopilación de *Notas* de campo, análisis matemático y modelamiento hidráulico. Este enfoque permite identificar con precisión las condiciones actuales del canal y evaluar cómo los factores físicos, como el desgaste del concreto, la acumulación de sedimentos y el crecimiento de vegetación, afectan su desempeño hidráulico.

2.3.2. Importancia

Desde el enfoque metodológico, el estudio utilizará herramientas como levantamientos topográficos, mediciones in situ del caudal y velocidad del flujo, y pruebas

de rugosidad en tramos seleccionados del canal. Estos *Notas* serán procesados mediante el uso de ecuaciones hidráulicas, como la fórmula de Manning, y complementados con simulaciones en software especializado. Este enfoque mixto garantiza resultados precisos y replicables, permitiendo comparar el estado actual del canal con condiciones ideales o de diseño.

Además, la metodología propuesta no solo se centra en el diagnóstico, sino también en la generación de soluciones técnicas. Los resultados obtenidos servirán para diseñar estrategias de mantenimiento y rehabilitación basadas en *Notas* reales, asegurando la sostenibilidad del sistema de riego. Este enfoque metodológico tiene un alto grado de aplicabilidad, ya que puede ser replicado en otros canales con características similares.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La rugosidad elevada afecta la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

2.4.2. Hipótesis Específicas

a. Las condiciones operativas del canal influyen en el aforo del caudal en el canal de concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

b. El coeficiente de rugosidad superior al valor recomendado reduce la eficiencia de conducción del canal de concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

c. Las velocidades fuera del valor recomendado generan sedimentación o erosión, reduciendo la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Lucmos, Curahuasi -2024.

2.5. Variables

VARIABLE DEPENDIENTE

VD: Eficiencia de conducción del canal.

VARIABLE INDEPENDIENTE

VI: Evaluación del Impacto de la rugosidad.

Tabla 1

Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable I: Evaluación del impacto de la rugosidad	La rugosidad hidráulica se refiere a las irregularidades o asperezas presentes en las paredes de un canal que generan resistencia al flujo de agua, afectando la velocidad y la eficiencia del transporte. Según Chanson (2004), la rugosidad se mide a través de parámetros como el coeficiente de Manning (n), el número de Reynolds y las características geométricas del canal.	La evaluación de la rugosidad se realizará mediante la medición del coeficiente de Manning (n) a partir de <i>Notas</i> obtenidos en campo (pendiente, sección transversal, caudal y velocidad). Se empleará el método de Manning para el cálculo y análisis de la rugosidad y su impacto en la eficiencia hidráulica del canal (Chow, 1959).	Coeficiente de Manning ('n')	-Coeficiente de rugosidad ('n')	Adimensional	
			Condición de la superficie del canal	Velocidades admisibles	Cualitativa	Aforo hidráulico
			Acumulación de sedimentos	Presencia de sedimentos	L %	
			Desgaste del revestimiento	Índice de deterioro del concreto		
			Tipología de irregularidades	Clasificación de defectos	Cualitativa	Software HEC-RAS
			Longitud del tramo afectado	Extensión del canal deteriorado	M AÑO-MES	
Variable D: Eficiencia de conducción del canal lucmos.	La eficiencia de conducción hidráulica mide la capacidad de un canal para transportar el agua con la mínima pérdida de energía y volumen, considerando factores como rugosidad, sección transversal y pendiente. Según Chow (1959), la eficiencia hidráulica depende directamente de la rugosidad y las características geométricas del canal.	La eficiencia de conducción se calculará mediante la fórmula de Manning, analizando el caudal transportado (Q), la velocidad del flujo (V) y las pérdidas por fricción. Se tomarán mediciones de campo y se compararán los valores obtenidos con los valores teóricos esperados (Chanson, 2004).	Caudal transportado	Caudal de entrada y salida (m ³ /s)	m ³ /s	Revisión de registros históricos, fichas de aforo
			Pérdidas de carga	Pérdidas por fricción (m/m)	m/m	
			Velocidad del flujo	Velocidad media del flujo (m/s)	m/s	
			Uniformidad del flujo	Variación de tirantes	Cualitativa	Aforo de caudales en distintos tramos, planillas de cálculo
			Pérdidas totales	Volumen perdido por infiltración	m ³	
			Capacidad de transporte	Relación entre caudal conducido y diseñado	(%)	Aforo hidráulico, balance hídrico con fichas técnicas
			Rendimiento del canal	Relación caudal de salida / caudal de entrada	(%)	Software HEC-RAS

Nota. Las variables fueron determinadas en función de los objetivos de la investigación y se evaluaron mediante procedimientos de observación técnica y análisis hidráulico.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Una investigación desarrollada por Salazar y Dayana (2020), titulada “Evaluación de la eficiencia de conducción del canal de conducción Ambato-Huachi-Pelileo”. En esta investigación, se realizó un análisis detallado del canal de conducción Ambato-Huachi-Pelileo, con el objetivo de evaluar su eficiencia hidráulica. La metodología incluyó la medición de caudales en diferentes tramos del canal y la determinación de los coeficientes de rugosidad de Manning (n) mediante observaciones in situ y análisis de las condiciones físicas del canal. Los resultados revelaron que el coeficiente de rugosidad varió entre 0.013 y 0.015 en distintos segmentos del canal, lo que influyó directamente en la velocidad del flujo y, por ende, en la eficiencia de conducción. Por ejemplo, en secciones con un coeficiente de rugosidad de 0.013, la velocidad promedio del flujo fue de 1.2 m/s, mientras que, en áreas con un coeficiente de 0.015, la velocidad disminuyó a 1.0 m/s. Se determina que la rugosidad del canal ejerce una influencia considerable en su capacidad de conducción, y que el mantenimiento adecuado y la reducción de la rugosidad pueden mejorar la eficiencia hidráulica del sistema.

Una investigación desarrollada por Toapanta (2021), titulada “Análisis del comportamiento del flujo en canales abiertos bajo condiciones no permanentes”. Esta investigación se enfocó en el estudio del flujo en canales abiertos sometidos a condiciones no permanentes, considerando cómo las variaciones en la rugosidad y otras variables hidráulicas afectan la eficiencia de conducción. La metodología incluyó la realización de simulaciones numéricas utilizando modelos matemáticos que representan el comportamiento del flujo en condiciones transitorias, así como la evaluación de diferentes escenarios de rugosidad y su impacto en variables como la profundidad y la rapidez del flujo. Los resultados mostraron que incrementos en la rugosidad del canal provocaron aumentos en la profundidad del flujo de hasta un 15% y reducciones en la velocidad del

flujo de aproximadamente un 10%, lo que afectó negativamente la efectividad en la conducción. Se infiere que es fundamental considerar la rugosidad en el diseño y mantenimiento de canales abiertos para garantizar su eficiencia operativa y minimizar las pérdidas de energía asociadas a la resistencia al flujo.

Una investigación desarrollada por Sánchez (2023), titulada “Diagnóstico y rehabilitación del canal de riego Pucará, Ecuador”. La investigación evaluó un canal trapezoidal de concreto de 10 km con una pendiente de 0,003, afectado por acumulación de sedimentos y pérdidas de eficiencia. Se midieron caudales y velocidades en tramos críticos mediante aforos volumétricos, y se determinaron las pérdidas por fricción y filtración. Los resultados mostraron que las pérdidas por filtración alcanzaron hasta 5 l/s en ciertos tramos, y el espesor de los sedimentos acumulados llegó a 12 cm. La eficiencia de conducción en las secciones críticas fue de 75%, mientras que en las secciones limpias alcanzó hasta 92%. Se concluye que la acumulación de sedimentos y la ausencia de mantenimiento disminuye la efectividad en la conducción. Se recomienda implementar desarenadores y reforzar el revestimiento para restaurar la capacidad de transporte.

Una investigación desarrollada por Martínez (2020), titulada “Determinación experimental del coeficiente de Manning en canales de concreto”. El estudio se realizó en un canal de concreto de sección rectangular de 10,5 m de longitud, 0,5 m de ancho y pendiente de 0,004. Se hicieron pruebas a caudales constantes de 0,04 m³/s y 0,06 m³/s. El coeficiente de Manning calculado fue de 0,040, superior al valor teórico de 0,012 debido a irregularidades en la superficie y uniones entre secciones. La velocidad de flujo medida fue de 0,33 m/s en el canal nuevo y bajó a 0,29 m/s en el canal deteriorado. Las pérdidas por fricción aumentaron en 10% tras tres años de operación. Se concluye que el mantenimiento y la corrección de imperfecciones en el concreto son fundamentales para mantener la eficiencia hidráulica.

Una investigación desarrollada por Kaya (2023), titulada “Influencia de la rugosidad en la capacidad de flujo en canales de concreto”. La investigación examinó el vínculo entre la rugosidad y la capacidad de transporte en canales de concreto mediante simulación

hidráulica y pruebas de laboratorio. Se probaron diferentes configuraciones de lecho y paredes del canal, variando la rugosidad y la pendiente. Los resultados mostraron que la rugosidad incrementada reduce la velocidad de flujo y la capacidad de transporte hasta en 40%, dependiendo de la pendiente y el estado de las paredes. Se concluye que el uso de revestimientos lisos y el mantenimiento periódico son esenciales para mantener alta eficiencia hidráulica y reducir las pérdidas por fricción.

3.1.2. A nivel nacional

Una investigación desarrollada por Gutiérrez (2023), titulada "Comportamiento hidráulico del flujo en canal de riego alto andino por cambio de rugosidades del revestimiento – Canal Plan Merys, 2021". En cuanto a la metodología, fue de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental-transversal. Se realizaron mediciones de caudal, velocidad y régimen de flujo en tramos con distintos niveles de rugosidad debido al deterioro del revestimiento. Se usaron equipos de medición in situ (correntómetros) para determinar las variaciones en la velocidad y profundidad del flujo. Además, se realizaron simulaciones computacionales utilizando HEC-RAS para calibrar los valores del "n". Los resultados mostraron que las velocidades variaron de 0.271 m/s a 1.059 m/s y los tirantes entre 0.195 m a 0.60 m. Las secciones más deterioradas (con vegetación y sedimentos) presentaron coeficientes de rugosidad de hasta 0.025, muy por encima del valor teórico de diseño (0.014). El número de Froude varió entre 0.141 y 0.572, confirmando un régimen de flujo subcrítico. El valor promedio del coeficiente de rugosidad fue 0.019 en tramos revestidos y 0.025 en tramos deteriorados. Se concluye que: La rugosidad elevada causada por falta de mantenimiento y acumulación de vegetación reduce significativamente la capacidad de conducción, limitando la capacidad del canal a aproximadamente 32% de su capacidad potencial. El mantenimiento periódico y la eliminación de vegetación son esenciales para restaurar la eficiencia hidráulica del canal.

Una investigación desarrollada por Ticona (2024), titulada "Evaluación de las pérdidas de conducción y mejoramiento de la eficiencia hidráulica en el canal de riego Yesera, Magollo, Vilacollo – Quilahuani – Candarave – Tacna". En cuanto a la metodología,

fue de tipo descriptiva con diseño no experimental. Se registró el caudal tanto de ingreso como de salida en un tramo de 1 km y se determinó el coeficiente de rugosidad y las pérdidas por infiltración. Los resultados indicaron que el caudal de ingreso alcanzó 0.072 m³/s y el de salida 0.064 m³/s, con pérdidas de 0.008 m³/s y una eficiencia de conducción del 88.79%. La rugosidad promedio fue de 0.018 en los tramos mejor conservados y de 0.026 en las zonas deterioradas. Se concluye que: Las pérdidas por infiltración y sedimentación afectan la eficiencia del canal. Mejorar el revestimiento y corregir las pendientes inadecuadas permitirá elevar la eficiencia por encima del 95%. La instalación de sistemas de drenaje y la aplicación de tratamientos en las paredes del canal son necesarias para reducir la rugosidad y mejorar la capacidad de transporte.

Una investigación desarrollada por Peralta y Vásquez (2025), titulada "Evaluación de la eficiencia por conducción y distribución en el canal Serquén en el subsector hidráulico Ferreñafe, 2023". Respecto a la metodología, esta fue de carácter aplicado y con un diseño no experimental. Se realizaron aforos en 17 canales laterales para calcular la eficiencia de conducción y distribución. Los hallazgos mostraron que la eficiencia de conducción promedio fue del 75%, con pérdidas por infiltración de hasta 1.2 L/s en ciertos tramos. La rugosidad promedio fue de 0.020 en las secciones revestidas y de 0.028 en las zonas deterioradas. Se concluye que: La baja eficiencia de conducción está vinculada a la falta de revestimiento y mantenimiento de las estructuras laterales. La implementación de un nuevo revestimiento podría elevar la eficiencia por encima del 90%.

Una investigación desarrollada por Quinto (2021), titulada "Variabilidad del coeficiente de rugosidad en canales abiertos a más de 3500 m.s.n.m. en la región Puno". La metodología, fue una investigación descriptiva-analítica basada en recopilación de *Notas* de canales de riego en la región Puno que operan en altitudes superiores a 3500 m.s.n.m. Se seleccionaron 5 canales de riego de concreto y tierra en diferentes comunidades, con longitudes entre 800 m y 1200 m. Se realizaron mediciones de velocidad y tirante mediante aforos y correntómetros, y se analizaron factores como aspereza superficial, vegetación, sedimentación y deformaciones estructurales. También se

aplicaron simulaciones hidráulicas usando el software HEC-RAS para determinar el “n” real en cada canal y comparar los resultados con valores tabulados. Los resultados evidenciaron que el coeficiente de rugosidad varió entre 0.014 en canales revestidos de concreto y 0.035 en canales sin revestimiento o con deterioro estructural. En canales con vegetación y sedimentos acumulados, n llegó hasta 0.045, afectando negativamente la capacidad de conducción. La velocidad promedio en canales revestidos fue de 0.42 m/s, mientras que en canales deteriorados fue de 0.28 m/s. La eficiencia de conducción promedio en canales revestidos fue de 92%, mientras que en canales sin revestimiento o con rugosidad elevada, la eficiencia bajó hasta 75%. Se concluye que: La rugosidad de los canales de concreto en zonas altoandinas aumenta con el tiempo debido al desgaste natural y la acumulación de vegetación y sedimentos, reduciendo la eficiencia de conducción hasta en un 30%. El mantenimiento regular y la eliminación de vegetación y sedimentos son esenciales para mantener alta eficiencia. El estudio recomienda recalibrar el coeficiente de Manning cada 2 a 3 años para reflejar las condiciones reales del canal y planificar intervenciones de mantenimiento oportunas.

Una investigación desarrollada por Polo (2021), titulada "Determinación de la eficiencia de conducción de canales de riego – Caso Puerto El Cura, margen derecha del río Tumbes (2020)". En cuanto a la metodología, fue un estudio aplicado-cuantitativo con diseño no experimental. Se seleccionó un tramo de 1 km del canal de riego Puerto El Cura, con sección trapezoidal de base 1.5 m y pendiente de 0.003. Se midieron caudales de entrada y salida mediante un correntómetro y se realizaron aforos con el método del flotador. Se establecieron las velocidades del flujo y los valores de Manning para distintos tramos. Los resultados evidenciaron que el coeficiente de rugosidad promedio fue de 0.017 en tramos bien conservados y de 0.032 en tramos deteriorados. La eficiencia promedio de conducción fue de 80% en tramos revestidos y de 65% en tramos con fisuras y vegetación adherida. El caudal de ingreso fue de 0.078 m³/s y el de salida de 0.064 m³/s, mostrando una pérdida de 18% debido a filtraciones y rugosidad incrementada. Se concluye que: La rugosidad y las fisuras en el canal provocan pérdidas de caudal y reducen la eficiencia

hidráulica. La rehabilitación de los tramos deteriorados y la aplicación de un revestimiento adicional podrían aumentar la eficiencia a valores superiores al 90%. También se sugiere establecer un sistema de monitoreo permanente que permita identificar incrementos en la rugosidad y realizar mantenimiento preventivo.

3.1.3. A nivel regional y local

Una investigación desarrollada por Rojas (2021), titulada "Comportamiento del flujo en canales abiertos por cambios de rugosidad – canal Sahuinto, Abancay, Apurímac, 2021". En cuanto a la metodología, fue de tipo aplicada a nivel explicativo-descriptivo, con diseño no experimental. Se evaluó un tramo de 1.05 km del canal Sahuinto en Abancay, analizando parámetros hidráulicos como el caudal, la velocidad y el "n" de Manning. Se realizaron 7 aforos en diferentes secciones del canal utilizando correntómetros para determinar la velocidad y el tirante en cada tramo. Además, se analizaron las condiciones físicas del canal (fisuras, sedimentación y vegetación adherida) para correlacionarlas con las variaciones de rugosidad. Los resultados evidenciaron que el coeficiente de rugosidad de Manning osciló entre 0.011 en tramos revestidos y 0.058 en zonas deterioradas por acumulación de sedimentos y vegetación. Los valores del número de Froude variaron entre 0.395 (flujo subcrítico) y 1.107 (flujo supercrítico) dependiendo de la rugosidad local. En los tramos con mayor rugosidad, la velocidad media del flujo se redujo en aproximadamente 38% comparado con las secciones con menor rugosidad. Se concluye que: La rugosidad en el canal Sahuinto afecta directamente el régimen de flujo. En tramos con mayor rugosidad (por fisuras y sedimentación), el flujo tiende a ralentizarse, adoptando régimen subcrítico ($Fr = 0.395$), mientras que, en zonas con menor rugosidad, el flujo alcanza régimen supercrítico ($Fr = 1.107$). La ausencia de mantenimiento y el cúmulo de sedimentos generan un incremento en el coeficiente de rugosidad, provocando pérdidas en el caudal y reducción en la eficiencia de conducción. Se recomienda implementar programas de limpieza y revestimiento para mantener la rugosidad en valores óptimos ($\sim 0.014-0.017$).

Una investigación desarrollada por Ayvar (2024), titulada "Evaluación comparativa del coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven Te Chow en el río Rontoccocha – Abancay – Apurímac 2022". En cuanto a la metodología, fue de tipo cuantitativa aplicada, de alcance descriptivo-comparativo y diseño no experimental. Se realizaron 12 aforos en diferentes puntos del río Rontoccocha para determinar la velocidad y el tirante del flujo. El "n" fue calculado mediante las fórmulas de Manning y Ven Te Chow, y se compararon los resultados utilizando herramientas estadísticas como el coeficiente de variación y el error relativo. También se efectuó un análisis de regresión para examinar la relación entre rugosidad y profundidad del flujo. Los resultados mostraron que el "n" promedio empleando la fórmula de Manning fue de 0.071 (con una variabilidad de 13%), en tanto que con la metodología de Ven Te Chow fue de 0.056 (con una variabilidad de 5.4%). La fórmula de Ven Te Chow mostró mayor estabilidad y precisión en comparación con la de Manning, con una diferencia de error de aproximadamente 1.7%. El número de Froude osciló entre 0.374 y 0.519, confirmando régimen subcrítico en la mayoría de las situaciones. Se infiere que: La fórmula de Ven Te Chow mostró mejores resultados con respecto a precisión y estabilidad en contraste con la fórmula de Manning. La menor variabilidad de los resultados obtenidos con Ven Te Chow indica que esta metodología es más adecuada para cuerpos de agua naturales con fondo irregular y variaciones en la sección hidráulica. La investigación recomienda el uso de Ven Te Chow en el diseño y evaluación de canales naturales en zonas montañosas, ya que la metodología de Manning es más adecuada para canales de sección regular y revestimiento uniforme.

Una investigación desarrollada por Velazque (2024), titulada "Análisis de la eficiencia hidráulica en la estructura del canal de irrigación distrito de Toraya, provincia de Aymaraes, departamento Apurímac – 2022". En cuanto a la metodología, fue una investigación de tipo aplicada, con diseño no experimental. Se analizó un canal de irrigación revestido de concreto de aproximadamente 3.78 km de longitud en el distrito de Toraya. Se realizaron mediciones de caudal de entrada y salida mediante vertederos calibrados y sensores de nivel instalados en diferentes puntos del canal. Adicionalmente,

se aplicó el modelo hidráulico HEC-RAS para simular la dinámica del flujo bajo distintas circunstancias de rugosidad y pendiente. Se empleó también el método empírico de Benedetti-Petrini para verificar los hallazgos obtenidos en el modelo. Los resultados mostraron que la eficiencia de conducción promedio del canal fue de 88.25%. Las pérdidas por infiltración y rugosidad alcanzaron un promedio de 11.75% del caudal total transportado. En los tramos iniciales, la eficiencia fue de 90.2%, mientras que, en los tramos finales, donde se evidenciaron fisuras y sedimentación, la eficiencia bajó hasta 84.1%. El coeficiente de rugosidad promedio (n) fue de 0.017 en los tramos revestidos y de 0.023 en tramos con fisuras o vegetación. Se concluye que: El canal de irrigación de Toraya presenta una eficiencia hidráulica moderada a causa de las pérdidas generadas por infiltración y rugosidad en los tramos finales. La acumulación de sedimentos y la aparición de vegetación han incrementado el coeficiente de rugosidad en los tramos finales, reduciendo la capacidad de transporte del canal. Para aumentar la eficiencia, se recomienda realizar trabajos de limpieza, rehabilitación de las juntas y aplicación de un revestimiento adicional en las zonas afectadas. La puesta en marcha de un sistema de monitoreo continuo de las condiciones hidráulicas del canal también permitirá detectar problemas de rugosidad y mejorar el rendimiento general del canal.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Evaluación del Impacto de la rugosidad.

La rugosidad en canales hidráulicos se refiere a las irregularidades presentes en las superficies internas que están en contacto con el flujo de agua. Estas irregularidades generan resistencia al flujo, afectando la eficiencia de conducción del canal. El coeficiente de rugosidad de Manning (n) es comúnmente utilizado para cuantificar esta resistencia, y su valor está determinado por el material y las condiciones de la superficie del canal (Chow, 1959).

A. Definición de Rugosidad Hidráulica

- La rugosidad hidráulica hace alusión a las propiedades de la superficie de un canal que influyen en la resistencia al flujo de agua. Superficies más ásperas aumentan la resistencia, lo que puede reducir la velocidad del flujo y la eficiencia del canal (Chow, 1959).

B. Coeficiente de Rugosidad de Manning

- “n” es un parámetro utilizado en ingeniería hidráulica para cuantificar la resistencia al flujo en canales y tuberías. Este coeficiente depende del material y las condiciones de la superficie interna del conducto. Por ejemplo, para canales de concreto, los valores típicos de n varían entre 0.012 y 0.020, dependiendo de la suavidad de la superficie (Chow, 1959).

C. Impacto de la Rugosidad en la Eficiencia de Conducción

- La rugosidad de las paredes de los canales de concreto afecta directamente la eficiencia de conducción del agua. Un aumento en la rugosidad incrementa la resistencia al flujo, lo que puede reducir la capacidad de transporte del canal. Por ejemplo, en un estudio realizado en el canal de riego Jarroñán, se observó que la variación de la rugosidad en un período de 5 años produjo una disminución de la velocidad del flujo en un promedio cercano al 20 % en la mayoría de los sectores (Hancoccallo Achircana, 2018).

D. Factores que Afectan la Rugosidad en Canales de Concreto

- Condiciones del Revestimiento: El deterioro del revestimiento de concreto, debido a factores como la erosión, la corrosión o la acumulación de sedimentos, puede aumentar la rugosidad del canal. En un estudio sobre el canal de riego Laguna Viva, se identificó que las pérdidas de conducción estaban asociadas a la rugosidad del canal, afectando la eficiencia del sistema de riego (Ticona Parihuana, 2024).

- **Mantenimiento y Limpieza:** La falta de mantenimiento adecuado puede llevar a la acumulación de materiales y al crecimiento de vegetación en el canal, incrementando su rugosidad y disminuyendo la eficiencia de conducción. Por ejemplo, en el canal principal Cachi, se encontró que la eficiencia de conducción era del 66.49%, con pérdidas equivalentes a 0.028 m³/s/km, atribuibles a la falta de mantenimiento (Carhuancho Gutiérrez, 2019).
- **Irregularidades del Cauce:** Las variaciones en la sección transversal, forma, tamaño y alineamiento del canal pueden incrementar la rugosidad y afectar la eficiencia del flujo (Universidad Nacional de Colombia, 2005).
- **Presencia de Sedimentos y Vegetación:** La acumulación de sedimentos y el crecimiento de vegetación en el canal aumentan la rugosidad y reducen la capacidad de conducción (Santiago, 2019).

E. Métodos para Evaluar la Rugosidad en Canales

- **Inspección Visual:** Consiste en la observación directa de la superficie del canal para identificar irregularidades, acumulación de sedimentos o daños en el revestimiento que puedan afectar la rugosidad. Este método es fundamental para detectar áreas que requieren mantenimiento o rehabilitación (Universidad Nacional de Colombia, 2005).
- **Mediciones Hidráulicas:** La realización de aforos y mediciones de parámetros hidráulicos, como la velocidad del flujo y el caudal, permite calcular el coeficiente de rugosidad y evaluar su impacto en la eficiencia del canal. En el estudio del canal de riego Jarroñán, se realizaron 61 aforos para determinar el valor de la rugosidad, obteniendo un coeficiente de Manning promedio de $n=0.01574$, lo que indica una rugosidad mayor a la esperada para concreto revestido (Hancoccallo Achircana, 2018).

- **Métodos Experimentales:** La construcción de modelos físicos a escala permite estudiar el comportamiento del flujo en canales con diferentes materiales y condiciones de rugosidad, facilitando la evaluación y optimización del diseño (Santiago, 2019).

F. Estrategias para Mitigar el Impacto de la Rugosidad

- **Rehabilitación del Revestimiento:** La reparación o reemplazo del revestimiento deteriorado del canal puede reducir la rugosidad y mejorar la eficiencia de conducción. En el canal de riego Laguna Viva, se propuso el mejoramiento del revestimiento para reducir las pérdidas de conducción y aumentar la eficiencia del sistema de riego (Ticona Parihuana, 2024).
- **Programas de Mantenimiento:** Implementar planes de mantenimiento regular que incluyan la limpieza y la inspección del canal ayuda a mantener bajos niveles de rugosidad y garantiza una operación eficiente. La FAO recomienda prácticas de mantenimiento rutinario para asegurar la eficiencia de los canales de riego (FAO, s.f.).
- **Control de Sedimentos y Vegetación:** La implementación de medidas para prevenir la acumulación de sedimentos y el crecimiento de vegetación en el canal es esencial para mantener una baja rugosidad.

3.2.1.1 El Coeficiente de Manning (n): Naturaleza y Variabilidad

“n” es un valor empírico que cuantifica la rugosidad de un canal. "El coeficiente de Manning, n, es un factor de resistencia que representa el efecto de la rugosidad de las paredes y el fondo del canal en la velocidad del flujo." (French, R. H. (1985). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill).

Su valor varía significativamente según el tipo de concreto, el acabado de la superficie, la presencia de vegetación y otros factores.

Valores típicos para concreto:

- Concreto muy liso: 0.011-0.013.

- Concreto rugoso: 0.015-0.020 o más.

Es crucial comprender que el valor de Manning no es una constante absoluta, sino que puede variar con el tiempo debido al desgaste, la sedimentación y el crecimiento de algas. (Ingeciv, s.f.).

3.2.1.2 Impacto de la Rugosidad en el Flujo y la Pérdida de Energía

La rugosidad aumenta el rozamiento entre el agua y las superficies del canal, lo que resulta en una pérdida de energía. "La pérdida de energía por fricción en un canal es directamente proporcional a la rugosidad de la superficie y al cuadrado de la velocidad del flujo." (Henderson, F. M. (1966). Open channel flow. Macmillan).

- Esto se refleja en una menor velocidad del agua y en una disminución de la capacidad de conducción del canal.
- La rugosidad también puede afectar la variación de la velocidad a lo largo de la sección transversal del canal, lo que influye en la eficiencia del transporte de sedimentos.

3.2.1.3 Factores que Influyen en la Rugosidad del Concreto

- **Acabado de la Superficie:** El método de acabado del concreto (alisado, frotachado, etc.) tiene un impacto significativo en la rugosidad. "El acabado de la superficie del concreto es un factor determinante en la rugosidad del canal. Un acabado liso reduce la resistencia al flujo, mientras que un acabado rugoso la aumenta." (USBR. (1987). Design of small canal structures. U.S. Bureau of Reclamation).
- **Desgaste y Erosión:** El flujo de agua, la abrasión por sedimentos y los procesos de meteorización pueden aumentar la rugosidad con el tiempo.
- **Crecimiento de Vegetación:** Algas, musgo y otras vegetaciones acuáticas aumentan la rugosidad y reducen la eficiencia hidráulica.
- **Calidad del Concreto:** La Porosidad del concreto, y el correcto curado del mismo son factores que afectan la rugosidad.

3.2.1.4 Consideraciones de Diseño y Mantenimiento

- **Selección del Coeficiente de Manning:** Es crucial seleccionar un valor de "n" adecuado durante el diseño del canal, teniendo en cuenta el tipo de concreto, el acabado de la superficie y las condiciones de operación esperadas.
- **Mantenimiento Regular:** La limpieza periódica de los canales para eliminar sedimentos y vegetación es esencial para mantener la eficiencia hidráulica.
- **Recubrimientos:** En aplicaciones que requieren una baja rugosidad, se pueden aplicar recubrimientos especiales al concreto para mejorar la suavidad de la superficie.
- **Control de sedimentos:** Implementar medidas para controlar la entrada de sedimento a los canales, ya que este aumenta la rugosidad.

3.2.2. Eficiencia de conducción del canal

Se refiere a la proporción entre el volumen de agua que alcanza el extremo del canal principal y el volumen extraído en la bocatoma. Esta eficiencia es crucial con el fin de asegurar un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico en sistemas de riego (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, s.f.).

A. Definición de Eficiencia de Conducción

Es el porcentaje del caudal de agua que, tras ser extraído en la bocatoma, llega efectivamente al final del canal principal, considerando las pérdidas ocurridas durante el trayecto debido a infiltración, evaporación, fugas y otros factores (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, s.f.).

B. Factores que Afectan la Eficiencia de Conducción

- Estado del Revestimiento del Canal: Canales con revestimientos deteriorados presentan mayores pérdidas por infiltración. Por ejemplo, el canal de riego Santiago mostró una eficiencia promedio de conducción del

75.57%, considerada baja en comparación con otros estudios similares, debido al deterioro del hormigón de revestimiento (González, 2022).

- **Mantenimiento y Operación:** a ausencia de un mantenimiento apropiado y una gestión ineficiente pueden aumentar las pérdidas de agua. Estudios de la FAO indican que entre los factores principales de las pérdidas de agua en los canales se encuentran el estado técnico deficiente de los canales y el incumplimiento en el mantenimiento de los sistemas (FAO, 2017).
- **Diseño y Construcción del Canal:** Diseños inadecuados o construcciones deficientes pueden conducir a pérdidas significativas de agua. Por ejemplo, el canal de irrigación Turuco-Bellavista presentó una eficiencia de conducción del 80%, considerada como baja, debido a grietas, roturas y juntas en mal estado (López, 2021).
- **Condiciones del Suelo:** La naturaleza del suelo influye en las pérdidas por infiltración. Suelos franco-arenosos, por ejemplo, permiten una mayor infiltración que suelos arcillosos, afectando la eficiencia de conducción (Plantae Garden, 2019).
- **Presencia de Vegetación y Sedimentos:** La acumulación de sedimentos y el crecimiento de vegetación en los canales pueden obstruir el flujo y aumentar la pérdida de agua. Un manejo inadecuado del agua de riego puede llevar a la acumulación de sales y afectar la eficiencia del sistema (Wikipedia, 2023).

C. Métodos para Evaluar la Eficiencia de Conducción

- **Medición Directa de Caudales:** Consiste en medir los caudales de entrada y salida del canal para determinar las pérdidas y calcular la eficiencia. Por ejemplo, en el canal de riego Huayrapongo, se obtuvo una eficiencia de conducción del 91.40% mediante este método (Chiclote Aquino, 2017).
- **Inspección Visual:** Evaluar físicamente el estado del canal para identificar posibles fuentes de pérdidas, como grietas o fugas. La inspección de

canales secundarios en la red de riego de Mayor Buratovich reveló serios problemas de conducción debido a la falta de mantenimiento (Ilgner, 2024).

- Uso de Tecnologías Avanzadas: La adopción de métodos de control predictivo podría incrementar la gestión del agua en canales de riego, optimizando la eficiencia de conducción (Fele et al., 2025).

D. Estrategias para Mejorar la Eficiencia de Conducción

- Rehabilitación de Canales: Reparar o revestir nuevamente los canales para reducir las pérdidas por infiltración. La actualización del sistema de riego en los canales de Ines y Eza, en España, contempla una inversión de 15,5 millones de euros, busca mejorar la eficiencia técnica y económica del riego, minimizando el impacto ambiental (Cadena SER, 2025).
- Mantenimiento Regular: Implementar programas de mantenimiento que incluyan la limpieza y reparación de canales para prevenir y corregir pérdidas. La falta de mantenimiento en la infraestructura de riego ha sido identificada como una causa principal de baja eficiencia en el manejo del agua (SEMARNAT, 2022).
- Capacitación del Personal: Formar al personal encargado en prácticas óptimas de funcionamiento y conservación con el fin de garantizar un uso eficiente del recurso hídrico. La eficiencia de conducción puede ser determinada por operadores capacitados, lo que permite optimizar el manejo del agua (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, s.f.).
- Uso de Tecnologías de Monitoreo: La ejecución de sensores y mecanismos de seguimiento instantáneo puede ayudar a detectar y corregir pérdidas del flujo de agua en las redes de riego, mejorando la eficiencia de conducción (Plantae Garden, 2019).

3.3. Definición de términos.

Rugosidad Hidráulica: Hace alusión a las anomalías presentes en las superficies internas de canales y tuberías que están en contacto con el flujo de agua. Estas irregularidades generan resistencia al flujo, afectando el rendimiento del canal en el traslado del agua. El coeficiente de rugosidad de Manning (n) es comúnmente utilizado para cuantificar esta resistencia, y su valor depende del material y las condiciones de la superficie del canal (Chow, 1959).

Eficiencia de Conducción en Canales de Riego: Se refiere a la proporción entre el volumen de agua que alcanza el extremo del canal y el volumen de agua extraído en la bocatoma, considerando las pérdidas ocurridas durante el trayecto debido a infiltración, evaporación, fugas y otros factores (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, s.f.).

Coefficiente de Rugosidad de Manning (n): Es un parámetro utilizado en ingeniería hidráulica para cuantificar la resistencia al flujo en canales y tuberías. Este coeficiente depende del material y las condiciones de la superficie interna del conducto. Por ejemplo, para canales de concreto, los valores típicos de n varían entre 0.012 y 0.020, dependiendo de la suavidad de la superficie (Chow, 1959).

Pérdidas por Infiltración: Las pérdidas por infiltración ocurren cuando el agua se filtra desde el canal hacia el suelo circundante, reduciendo la cantidad de agua destinada al riego. Estas pérdidas dependen de factores como el tipo de suelo, el estado del revestimiento del canal y el nivel freático (González, 2022).

Pérdidas por Evaporación: Las pérdidas por evaporación se refieren a la cantidad de agua que se desperdicia debido a la conversión del agua líquida en vapor, especialmente en regiones con altas temperaturas y baja humedad relativa. Estas pérdidas pueden afectar significativamente la eficiencia de conducción en canales abiertos (FAO, 2017).

Pérdidas por Fugas: Las pérdidas por fugas son aquellas que ocurren debido a defectos estructurales en el canal, como grietas, juntas mal selladas o daños en el revestimiento, permitiendo que el agua escape del conducto. Estas pérdidas pueden ser significativas si no se realizan mantenimientos adecuados (González, 2022).

Mantenimiento de Canales: El mantenimiento de canales implica actividades como la limpieza de sedimentos, reparación de revestimientos, control de vegetación y monitoreo de estructuras, con el objetivo de asegurar una operación eficiente y extender la duración operativa del sistema de riego (Ticona Parihuana, 2024).

Diseño y Construcción de Canales: Se refiere al proceso de organización y edificación de canales de riego, considerando aspectos como la capacidad de conducción, materiales de construcción, pendiente, forma de la sección transversal y medidas para minimizar pérdidas de agua (FAO, 2017).

Condiciones del Suelo: Abarcan características como la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica, las cuales afectan en la infiltración y, por ende, en las pérdidas del flujo de agua dentro de los canales de riego (Plantae, 2019).

Presencia de Vegetación y Sedimentos: La presencia de vegetación y sedimentos en los canales puede obstruir el flujo de agua, aumentar la rugosidad y reducir la capacidad de conducción. La acumulación de sedimentos y el crecimiento de vegetación en los canales pueden obstruir el flujo y aumentar las pérdidas de agua (Santiago, 2019).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, dado que su finalidad es resolver un problema técnico concreto relacionado con la conducción del recurso hídrico en un canal de concreto utilizado para riego agrícola. El estudio se orienta a precisar cómo la variación del “n” afecta directamente la eficiencia hidráulica del canal Lucmos, con el fin de proponer alternativas técnicas que mejoren el transporte del agua. La investigación aplicada se caracteriza por generar conocimiento que pueda ser utilizado para la mejora de procesos, servicios o infraestructuras existentes, como en este caso el sistema de riego (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

4.1.2. Nivel de investigación

Es correlacional-explicativo. En la fase correlacional, se busca identificar el vínculo que existe entre dos variables cuantificables: rugosidad hidráulica (expresada mediante el coeficiente de Manning) y eficiencia de conducción de agua (determinada por el porcentaje de caudal que llega al punto final respecto al caudal de entrada). En la fase explicativa, se busca determinar cómo y por qué la rugosidad influye en la eficiencia, considerando elementos como el deterioro del concreto, el crecimiento de algas o sedimentos, que modifican la resistencia al flujo dentro del canal. Este tipo de investigación permite comprender los fenómenos en profundidad, más allá de describirlos, proporcionando fundamentos técnicos para la toma de decisiones (Sampieri, 2018).

4.1.3. Diseño de investigación

Es no experimental, transversal y correlacional. Es no experimental porque no se manipularán las variables deliberadamente; estas serán observadas en su estado natural, tal como se presentan en el canal Lucmos. Es transversal porque los *Notas* serán recolectados en un solo momento del tiempo, específicamente durante la temporada de riego del año 2024. Es correlacional porque se analizará el grado de asociación entre el

nivel de rugosidad del canal y la eficiencia hidráulica de conducción, buscando evidencias numéricas que confirmen o descarten una relación significativa. Este diseño es adecuado para investigaciones de ingeniería aplicada donde se examinan fenómenos físicos reales sin intervención experimental directa (Arias, 2012).

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

Se desarrollará durante el año 2024, abarcando desde septiembre hasta diciembre. Durante este periodo se realizarán las etapas de planificación, recolección de *Notas*, análisis y presentación de resultados. La investigación considerará tanto la temporada de estiaje como la de lluvias, para evaluar integralmente el impacto de la rugosidad en la eficiencia hidráulica del canal de concreto Lucmos, mediante mediciones de campo, modelamiento hidráulico y análisis técnico, garantizando así la obtención de resultados representativos y aplicables.

4.2.2. Espacial

Se llevará a cabo en el canal de concreto Lucmos, ubicado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, región Apurímac, Perú. Este canal forma parte de un sistema de riego esencial para la actividad agrícola local, abasteciendo a diversas comunidades campesinas. La investigación se centrará en evaluar diferentes tramos del canal, considerando las condiciones físicas y operativas actuales, con el objetivo de analizar el impacto de la rugosidad en su eficiencia hidráulica y proponer medidas para optimizar su desempeño en este contexto geográfico.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Está constituida por la infraestructura total del canal de concreto Lucmos, ubicado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, región Apurímac. Este canal forma parte del sistema de riego que abastece a diversas parcelas agrícolas de la zona. Se considera

como población todos los tramos físicos y funcionales del canal que intervienen en la conducción del agua, incluyendo sus secciones transversales, estructuras de control, zonas de captación y entrega, así como las condiciones de su revestimiento. En investigación, la población comprende el conjunto total de elementos que comparten una o más características similares y que son objeto de análisis (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

4.3.2. Muestra

La muestra estará conformada por tramos representativos del canal Lucmos, seleccionados estratégicamente en función de su estado de conservación, tipo de revestimiento, accesibilidad y variabilidad hidráulica. Se elegirán sectores con diferentes grados de rugosidad observable (por ejemplo, secciones con concreto liso, erosionado o con presencia de sedimentos y vegetación), a fin de analizar comparativamente su impacto en la eficiencia de conducción. La muestra abarcará aproximadamente entre los kilómetros 00+210 y 01+450 del canal, con el objetivo principal de determinar la rugosidad real del canal luego de su construcción, comparándola con la rugosidad recomendada durante la etapa de diseño., dividido en tramos homogéneos de estudio. En metodología cuantitativa, la muestra representa una parte del universo que conserva sus características y permite generalizar los resultados (Sampieri, 2018)

El presente estudio se llevará a cabo en el canal de concreto Lucmos, ubicado en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, región Apurímac.

4.3.3. Muestreo

Será no probabilístico por criterio intencional. Este tipo de muestreo se emplea cuando el investigador elige los elementos muestrales con base en criterios técnicos específicos. En este caso, los tramos serán elegidos considerando el estado visible del concreto, la accesibilidad para mediciones hidráulicas, la presencia de rugosidad superficial, y el impacto potencial en el flujo. Esta metodología permite evaluar en

profundidad condiciones reales que afectan el rendimiento del canal, sin requerir una selección aleatoria (Arias, 2012).

La investigación comprendió el sector ubicado entre los kilómetros 00+210 y 01+450 del canal, con el propósito principal de establecer la rugosidad real del canal luego de su construcción, comparándola con la rugosidad recomendada durante la etapa de diseño.

4.4. Instrumentos

Esta investigación hace necesaria la recopilación de *Notas*, para lo cual se emplearon como instrumentos de recolección de datos la ficha de observación y los protocolos de ensayo, debidamente sustentados en función de los indicadores que permitirán evidenciar los resultados. Las fichas utilizadas para la recolección de información y los protocolos.

Se utilizarán instrumentos tanto físicos como documentales. Entre los instrumentos físicos destacan:

- Cinta métrica y estadal: para determinar dimensiones y distancias del canal.
- Nivel topográfico (óptico o automático): para medir pendientes del canal.
- Fichas de observación técnica: diseñadas para registrar el estado superficial del concreto y su rugosidad.
- Cámara fotográfica digital: para documentar visualmente las condiciones del canal.
- Fórmulas hidráulicas como la de Manning, para estimar el coeficiente de rugosidad con base en los *Notas* recolectados.

Estos instrumentos permitirán recolectar información precisa sobre la variable independiente (rugosidad) y su impacto sobre la variable dependiente (eficiencia de conducción). Los instrumentos deben ser validados por expertos y aplicados de manera sistemática, asegurando su confiabilidad (Sampieri, 2018).

4.5. Procedimientos

A. Levantamiento de información preliminar:

- Compilación de registros históricos relacionados con el canal de Lucmos, abarcando aspectos como su construcción, labores de mantenimiento y desempeño durante las temporadas de riego.
- Determinación de los puntos críticos del canal que serán objeto de análisis.

B. Mediciones de caudal:

- Empleo de caudalímetros portátiles para la medición del flujo de agua en diversos tramos del canal durante distintas temporadas (lluvia y sequía).
- Monitoreo y registro mensual de los caudales en puntos estratégicos: entrada, zona intermedia y salida del canal.

C. Inspección de infraestructura:

- Realización de inspecciones visuales y registro en fichas técnicas sobre el estado estructural del canal, considerando aspectos como grietas, obstrucciones y signos de desgaste.
- Detección y documentación de los problemas que inciden en la eficiencia hidráulica del sistema.

D. Levantamiento topográfico:

- Empleo de una estación total Topcon ES 105 para efectuar un levantamiento topográfico detallado del canal y su entorno.
- Estudio del perfil longitudinal y transversal con el propósito de identificar pendientes, posibles estancamientos y áreas de riesgo.

E. Simulación computacional:

- Modelado del comportamiento hidráulico del canal mediante el uso de software especializado.
- Simulación de diversos escenarios con distintos caudales y condiciones climáticas, con el fin de prever el rendimiento futuro del sistema.

F. Análisis de resultados:

- Comparación de las *Notas* de campo obtenidas durante el estudio con los resultados arrojados por las simulaciones.
- Detección de los puntos críticos que requieren mejoras y elaboración de recomendaciones orientadas a optimizar la eficiencia del canal.

4.6. Análisis de *Notas*

El método de análisis que se empleará será de tipo cuantitativo, correlacional y comparativo, dado que se busca establecer la relación entre el coeficiente de rugosidad del canal (variable independiente) y la eficiencia hidráulica de conducción (variable dependiente). Para ello, se aplicarán fórmulas hidráulicas como la ecuación de Manning y la fórmula de eficiencia de conducción, que permitirán cuantificar el comportamiento hidráulico del canal en distintos tramos.

EC- 1 *Manning*

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

Donde:

Q= caudal (m³/s)

N= coeficiente de rugosidad de Manning

A= área hidráulica (m²)

R= radio hidráulico (m)

S= pendiente del canal (m/m)

Asimismo, se utilizará la fórmula:

EC- 2 *eficiencia de conducción*

$$E_c = \left(\frac{Q_s}{Q_e} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Qe= caudal de entrada

Qs= caudal de salida

Ec= eficiencia hidráulica (%)

Los datos obtenidos en campo serán tabulados en hojas de cálculo (Microsoft Excel), y organizados en cuadros comparativos para observar la variación de la eficiencia en función del valor del coeficiente de rugosidad. Además, se elaborarán gráficos de dispersión para evaluar el comportamiento de ambas variables y analizar visualmente la correlación existente. En caso necesario, se podrá aplicar un análisis estadístico básico como el coeficiente de correlación de Pearson.

El enfoque cuantitativo permite identificar patrones y relaciones causales entre variables físicas, brindando un marco riguroso para sustentar conclusiones objetivas (Sampieri, 2018; Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

4.7. Consideraciones éticas

La presente investigación se rige por los principios éticos fundamentales aplicables a todo estudio académico y técnico, garantizando el respeto por las personas, el entorno y la veracidad científica. Al tratarse de una investigación de campo enfocada en la infraestructura hidráulica, se prioriza la integridad en la recolección de *Notas*, el uso responsable de la información y el respeto por las comunidades beneficiarias del sistema de riego.

Se asegurará la autenticidad y confiabilidad de las *Notas* recolectados, evitando cualquier tipo de alteración, falsificación o manipulación intencional de la información. Todos los *Notas* de caudal, velocidad, rugosidad y eficiencia hidráulica serán medidos con rigurosidad técnica y reportados de forma transparente, siguiendo principios de objetividad científica (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

Asimismo, en caso de requerirse colaboración de técnicos, usuarios o comuneros, se obtendrá su consentimiento informado, garantizando el respeto a su privacidad, confidencialidad y participación voluntaria. No se recopilará información personal sensible, y toda opinión o *Nota* expresado será utilizado exclusivamente con fines académicos.

Se respetará el marco normativo ambiental y legal vigente, asegurando que la actividad de campo no genere ningún tipo de alteración en la infraestructura hidráulica ni en el ecosistema local. El canal Lucmos será evaluado mediante observaciones no invasivas y técnicas de aforo que no impliquen riesgos para el entorno ni para los usuarios.

V. Resultados y discusión

Este capítulo expone y analiza los resultados de la investigación realizada sobre cómo la rugosidad influye en la eficiencia de conducción del canal de derivación Lucmos, localizado en el sector de Lucmos, distrito de Curahuasi, provincia de Abancay, en la región de Apurímac. El estudio abarcó el tramo comprendido entre los kilómetros 00+210 y 01+450 del canal, con el objetivo principal de determinar la rugosidad real del canal luego de su construcción, comparándola con la rugosidad recomendada durante la etapa de diseño. Asimismo, se investigó cómo las variaciones en la rugosidad afectan la eficiencia de conducción del canal, considerando parámetros como las velocidades de flujo. Los resultados de investigación permitirán entender mejor las consecuencias de las diferencias entre la rugosidad prevista y la observada en el canal, y cómo estas diferencias impactan en la eficiencia del canal.

Evaluar la rugosidad recomendada en la etapa de diseño y compararla con la rugosidad observada durante la operación del canal permite identificar posibles deficiencias que podrían influir en su eficiencia de conducción. Este análisis es fundamental para tomar decisiones que optimicen las condiciones operativas del canal y garanticen que cumpla su función original de manera efectiva. Además, esta investigación no solo contribuye el conocimiento técnico en hidráulica, sino que también tiene un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades locales. Al examinar las condiciones reales en la fase operativa, se busca prevenir y resolver problemas que puedan afectar el funcionamiento adecuado del canal, fortaleciendo así la gestión del agua en la región.

5.1. Resultados

5.1.1. Estudios preliminares

5.1.1.1 Caracterización hidrometeorológica de la zona

La caracterización hidrometeorológica es un componente clave en la etapa de diseño de los canales, ya que brinda información detallada sobre las condiciones climáticas e hidrológicas que influyen en el comportamiento del agua dentro del canal. Este análisis

considera parámetros como las precipitaciones, la temperatura y la humedad, los cuales tienen un impacto directo en el caudal diseñado en gabinete. Factores como una alta evaporación o desbordes provocados por lluvias intensas pueden modificar el caudal calculado, afectando la eficiencia en la conducción del agua. Para este estudio, se empleó la estación meteorológica Curahuasi, operada por SENAMHI, garantizando así que las condiciones meteorológicas locales sean representadas con precisión y proporcionando una evaluación más realista del comportamiento del canal.

Tabla 2

Estación meteorológica

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. Esta tabla muestra los datos meteorológicos registrados por la estación Curahuasi, los cuales fueron utilizados para analizar las condiciones climáticas. (SENAMHI, 2024).

Tabla 3

Registro de temperatura °C

REGISTRO DE TEMPERATURA (°C)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAXIMA	27.4	26.8	26.8	27.6	27	26.6	26.4	28	29.2	29.8	29	27.4	27.67
MINIMA	10.8	10.2	10.4	10	8.8	4.2	4	6.2	8	8.6	9	10	8.35
MEDIA	19.1	18.5	18.6	18.8	17.9	15.4	15.2	17.1	18.6	19.2	19	18.7	18.01

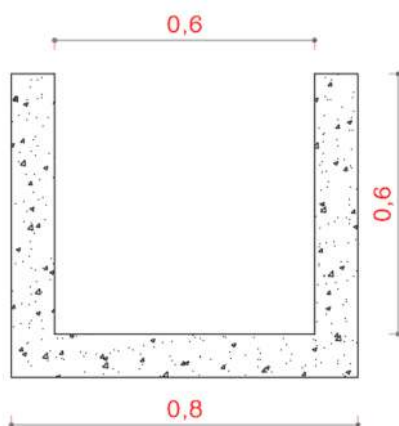
Nota. Esta tabla muestra la temperatura máxima registrada corresponde al mes de octubre, con un valor de 29.80 °C, mientras que la temperatura mínima se observó en el mes de julio, con 4.00 °C. Las tablas completas proporcionadas por el SENAMHI se encuentran en los anexos, y la tabla actual es un extracto de dichas fuentes. (SENAMHI 2024).

5.1.1.2 Caracterización del canal

El canal, con 32 años de antigüedad y una longitud total de 17.63 kilómetros, está construido en concreto simple. Su trayecto comienza en el río Lucmos, en el sector de Corralpampa, y culmina en el canal de evacuación de aguas pluviales ubicado en el sector de Cañabamba. Fue desarrollado por el proyecto especial Plan Meriss. Este canal se extiende desde la bocatoma situada en Corralpampa, en el kilómetro 0+000, hasta el kilómetro 17.63, donde finaliza en Cañabamba. Su sección es de tipo rectangular, con dimensiones constantes de 0.60 metros de base y 0.60 metros de altura a lo largo de todo su recorrido. Además, en el kilómetro 01+460 se encuentra un reservorio con una capacidad de 4,000 m³.

Figura 1

Sección rectangular



Nota. Esta figura muestra las dimensiones del canal Lucmos del distrito de Curahuasi. El estudio se realizó en un tramo del canal de concreto con sección rectangular, en las progresivas el kilómetro 00+210 y el kilómetro 01+450, donde se identificó una pendiente de 0.002 m/m.

Para llevar a cabo este análisis, se empleó un nivel topográfico calibrado. Este tramo fue seleccionado debido a que estaba libre de vegetación, en regulares condiciones

estructurales y sin elementos que pudieran comprometer la precisión de los resultados, como pérdidas por infiltración, compuertas metálicas deterioradas u otros factores que pudieran alterar el caudal. Estas condiciones mejoraron la fiabilidad y precisión de los *Notas* obtenidos durante el estudio.

5.1.1.3 Aforo de caudal

Para el aforo del caudal se seleccionaron dos puntos, el km 00+210 y el km 01+450, para ambos puntos el aforo se realizó mediante el método del vertedero, el cual fue preparado previamente, a continuación, se detalla el proceso de aforado.

5.1.2. Método del Vertedero

Para medir el caudal en un vertedero, primero se debe identificar y recopilar los parámetros necesarios. Este tipo de vertedero utiliza una fórmula estándar que depende de varios factores como la longitud de la cresta (L), la altura del agua sobre la cresta (h), el coeficiente de descarga (Cd) y el número de contracciones (n).

El primer paso para calcular el caudal en un vertedero es medir la longitud de la cresta (L), que corresponde al ancho efectivo del vertedero. Este valor se define como la longitud horizontal de la parte superior del vertedero, a través de la cual fluye el agua.

A continuación, se mide la altura del agua sobre la cresta (h), que es la distancia vertical desde la superficie del agua, aguas arriba, hasta el nivel de la cresta del vertedero.

Posteriormente, se determina el número de contracciones (n). Si el vertedero ocupa todo el ancho del canal y no existen espacios entre el vertedero y las paredes laterales del canal, no hay contracciones, y $n=0$. En cambio, si hay espacios laterales que permiten contracciones del flujo hacia el vertedero, se considera $n=2$. En la mayoría de los vertederos, especialmente en instalaciones diseñadas para medir caudales, se asume $n=0$, ya que el vertedero generalmente se ajusta al ancho del canal.

Con estas *Notas*, se procede a aplicar la fórmula adecuada para calcular el caudal (Q). En el caso de un vertedero sin contracciones ($n=0$), se utiliza la fórmula simplificada:

EC- 3 Eficiencia de conducción

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

donde:

Q= caudal en metros cúbicos por segundo (m³/s),

C= coeficiente de descarga, que para vertederos de cresta aguda es típicamente 1.84

L= longitud de cresta del vertedero (m).

H= altura del agua sobre la cresta del vertedero (m).

Si $n > 0$, es decir, si hay contracciones laterales, la fórmula se ajusta para reflejar el efecto de estas contracciones:

EC- 4 *eficiencia de conducción*

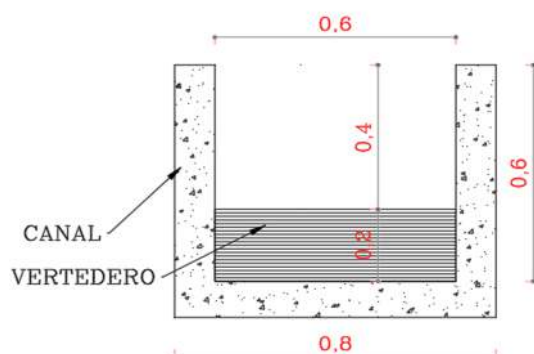
$$Q = C_d \times (L - 0.1 \times n \times h) \times h^{2/3} \quad (4)$$

Cálculo de caudal

A continuación, se detallan los resultados de los aforos realizados en el canal. Estos se llevaron a cabo mediante la medición de caudales utilizando un vertedero rectangular de pared delgada, diseñado para esta investigación. Las mediciones se efectuaron en dos puntos del canal, localizados en los kilómetros 0+210 y 01+450, realizando tres mediciones diarias durante los días programados: lunes 2, martes 3, y miércoles 4 de diciembre de 2024. Los *Notas* obtenidos se emplearon para estudiar el comportamiento hidráulico del canal, con el objetivo de evaluar su capacidad de conducción y determinar ajustes necesarios que mejoren su eficiencia operativa.

Figura 2

Sección del vertedero



Nota. Esta figura muestra el tipo de vertedero que depende de varios factores como la longitud de la cresta (L), la altura del agua sobre la cresta (h), el coeficiente de descarga (C_d).

Figura 3

Caudal aforado el día 02.12.2024 (km 0+210)

Vetedero rectangular
Vertedero triangular
Vertedero trapezoidal

Datos del vertedero:

Longitud de cresta (L): m

Carga sobre el vertedero (h): m

Número de contracciones (n):

Coefficiente de descarga (Cd):

Tipo:

Cresta aguda

Perfil Creager

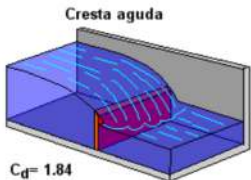
Cresta ancha

Calcular:

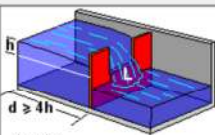
Caudal (Q)

Carga (h)

Cresta aguda



C_d = 1.84



Ecuación:

$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{\frac{3}{2}}$$

donde:

- Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s
- L = longitud de cresta del vertedero, m
- h = carga sobre el vertedero, m
- n = número de contracciones (0, 1 ó 2)
- C_d = coeficiente de descarga

Resultados:

Caudal (Q): m³/s

l/seg

Calcular

Limpiar Pantalla

Imprimir

Menú Principal

Calculadora

Nota. Esta figura muestra el caudal registrado el día 02.12.2024 en el kilómetro 0+210 es de 0.1464 m³/s, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 4

Caudal aforado el día 02.12.2024 (km 1+450)

Vetedero rectangular Vertedero triangular Vertedero trapezoidal

Datos del vertedero:

Longitud de cresta (L): m

Carga sobre el vertedero (h): m

Número de contracciones (n):

Coeficiente de descarga (Cd):

Tipo:

Cresta aguda

Perfil Creager

Cresta ancha

Calcular:

Caudal (Q)

Carga (h)

Cresta aguda

$C_d = 1.84$

Resultados:

Caudal (Q): m³/s

l/seg

Ecuación:

$$Q = C_d (L - 0.1n h) h^{\frac{3}{2}}$$

donde:

Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s

L = longitud de cresta del vertedero, m

h = carga sobre el vertedero, m

n = número de contracciones (0, 1 ó 2)

C_d = coeficiente de descarga

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Nota. Esta figura muestra el caudal registrado el día 02.12.2024 en el kilómetro 1+450 es de 0.1298 m³/s, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 5

Caudal aforado el día 03.12.2024 (km 0+210)

Vetedero rectangular Vertedero triangular Vertedero trapezoidal

Datos del vertedero:

Longitud de cresta (L): m

Carga sobre el vertedero (h): m

Número de contracciones (n):

Coeficiente de descarga (Cd):

Tipo:

Cresta aguda

Perfil Creager

Cresta ancha

Calcular:

Caudal (Q)

Carga (h)

Cresta aguda

$C_d = 1.84$

Resultados:

Caudal (Q): m³/s

l/seg

Ecuación:

$$Q = C_d (L - 0.1n h) h^{\frac{3}{2}}$$

donde:

Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s

L = longitud de cresta del vertedero, m

h = carga sobre el vertedero, m

n = número de contracciones (0, 1 ó 2)

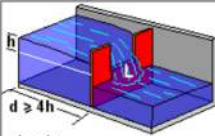
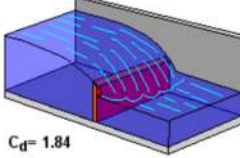





C_d = coeficiente de descarga

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Nota. Esta figura muestra el caudal registrado el día 03.12.2024 en el kilómetro 0+210 es de 0.1139 m³/s, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 6

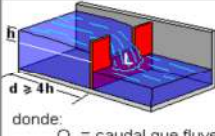
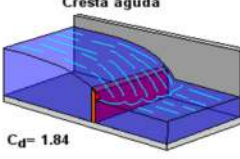





Caudal aforado el día 03.12.2024 (km 1+450)

Vetadero rectangular	Vetadero triangular	Vetadero trapezoidal
Datos del vertedero: Longitud de cresta (L): <input type="text" value="0.6"/> m Carga sobre el vertedero (h): <input type="text" value="0.21"/> m Número de contracciones (n): <input type="text" value="0"/> Coeficiente de descarga (Cd): <input type="text" value="1.84"/>		
Tipo: <input checked="" type="radio"/> Cresta aguda <input type="radio"/> Perfil Creager <input type="radio"/> Cresta ancha		
Calcular: <input checked="" type="radio"/> Caudal (Q) <input type="radio"/> Carga (h)		
 <p>Ecuación: $Q = C_d (L - 0.1nh) h^{3/2}$ </p> <p>donde: Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s L = longitud de cresta del vertedero, m h = carga sobre el vertedero, m n = número de contracciones (0, 1 ó 2) C_d = coeficiente de descarga</p>		Cresta aguda  C _d = 1.84
Resultados: Caudal (Q): <input type="text" value="0.1062"/> m ³ /s <input type="text" value="106.2424"/> V/seg		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> Calcular</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> <div> Calculadora</div> </div>		

Nota. Esta figura muestra el caudal registrado el día 03.12.2024 en el kilómetro 1+450 es de 0.1064 m³/s, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 7

Caudal aforado el día 04.12.2024 (km 0+210)

Vetadero rectangular	Vetadero triangular	Vetadero trapezoidal
Datos del vertedero: Longitud de cresta (L): <input type="text" value="0.6"/> m Carga sobre el vertedero (h): <input type="text" value="0.28"/> m Número de contracciones (n): <input type="text" value="0"/> Coeficiente de descarga (Cd): <input type="text" value="1.84"/>		
Tipo: <input checked="" type="radio"/> Cresta aguda <input type="radio"/> Perfil Creager <input type="radio"/> Cresta ancha		
Calcular: <input checked="" type="radio"/> Caudal (Q) <input type="radio"/> Carga (h)		
 <p>Ecuación: $Q = C_d (L - 0.1nh) h^{3/2}$ </p> <p>donde: Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s L = longitud de cresta del vertedero, m h = carga sobre el vertedero, m n = número de contracciones (0, 1 ó 2) C_d = coeficiente de descarga</p>		Cresta aguda  C _d = 1.84
Resultados: Caudal (Q): <input type="text" value="0.1636"/> m ³ /s <input type="text" value="163.5709"/> V/seg		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> Calcular</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> <div> Calculadora</div> </div>		

Nota. Esta figura muestra el caudal registrado el día 04.12.2024 en el kilómetro 0+210 es de 0.1636 m³/s, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 8

Caudal aforado el día 04.12.2024 (km 1+450)

Vetadero rectangular Vertedero triangular Vertedero trapezoidal

Datos del vertedero:

Longitud de cresta (L): 0.6 m
 Carga sobre el vertedero (h): 0.265 m
 Número de contracciones (n): 0
 Coeficiente de descarga (Cd): 1.84

Tipo:

Cresta aguda
 Perfil Creager
 Cresta ancha

Calcular:

Caudal (Q)
 Carga (h)

Cresta aguda

$C_d = 1.84$

Resultados:

Caudal (Q): 0.1506 m³/s
 150.6045 l/seg

Ecuación:

$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{\frac{3}{2}}$$

donde:

Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s
 L = longitud de cresta del vertedero, m
 h = carga sobre el vertedero, m
 n = número de contracciones (0, 1 ó 2)
 C_d = coeficiente de descarga

Botones: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

Nota. Esta figura muestra el caudal registrado el día 04.12.2024 en el kilómetro 1+450 es de 0.1506 m³/s, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Tabla 4

resumen de caudal aforado

N°	Fecha	Caudal (m3/seg)	
		Km 0+210	Km 01+450
1	02/12/2024	0.1464	0.1298
2	03/12/2024	0.1139	0.1062
3	04/12/2024	0.1636	0.1506

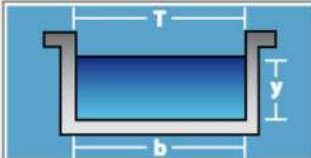

Nota. Esta tabla muestra el resumen de los caudales aforados en las progresivas 0+210 y 1+450, calculados mediante el software H-Canales V3.1.

5.1.3 Cálculo de la rugosidad

Para el cálculo de la rugosidad se utilizó el software H canales, con los parámetros determinados anteriormente, el cálculo de la rugosidad se realizó para cada día que se efectuó el aforo del caudal.

Figura 9



Cálculo de la rugosidad día 02.12.2024 (km 0+210)

Cálculo del ancho solera (b)		Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
Datos:					
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1464"/>	m ³ /s			
Tirante (y):	<input type="text" value="0.30"/>	m			
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.6"/>	m			
Talud (Z):	<input type="text"/>				
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m			
					
Resultados:					
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0155"/>		Perímetro (p):	<input type="text" value="1.2000"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1800"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1500"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8133"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4741"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3337"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				
					

Nota. Esta figura muestra una rugosidad (n) de 0.0155, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 10







Cálculo de la rugosidad día 02.12.2024 (km 01+450)

Cálculo del ancho solera (b)		Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
Datos:					
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1298"/>	m ³ /s			
Tirante (y):	<input type="text" value="0.275"/>	m			
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.6"/>	m			
Talud (Z):	<input type="text"/>				
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m			
					
Resultados:					
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0156"/>		Perímetro (p):	<input type="text" value="1.1500"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1650"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1435"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.7867"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4789"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3065"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				
					

Nota. Esta figura muestra una rugosidad (n) de 0.0156, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 11







Cálculo de la rugosidad día 03.12.2024 (km 0+210)

Cálculo del ancho solera (b)		Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
Datos:					
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1139"/>	m ³ /s			
Tirante (y):	<input type="text" value="0.25"/>	m			
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.6"/>	m			
Talud (Z):	<input type="text"/>				
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m			
					
Resultados:					
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0156"/>		Perímetro (p):	<input type="text" value="1.1000"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1500"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1364"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.7593"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4849"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.2794"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				
 Calcular		 Limpiar Pantalla		 Imprimir	
 Menú Principal				 Calculadora	

Nota. Esta figura muestra una rugosidad (n) de 0.0156, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 12


Cálculo de la rugosidad día 03.12.2024 (km 01+450)

Cálculo del ancho solera (b)		Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
Datos:					
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1062"/>	m ³ /s			
Tirante (y):	<input type="text" value="0.235"/>	m			
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.6"/>	m			
Talud (Z):	<input type="text"/>				
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m			
					
Resultados:					
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0154"/>		Perímetro (p):	<input type="text" value="1.0700"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1410"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1318"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.7532"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4961"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.2639"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				
 Calcular		 Limpiar Pantalla		 Imprimir	
 Menú Principal				 Calculadora	

Nota. Esta figura muestra una rugosidad (n) de 0.0154, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 13

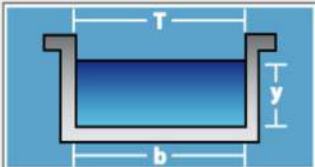
Cálculo de la rugosidad día 04.12.2024 (km 0+210)

Cálculo del ancho solera (b)		Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
Datos:					
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1636"/>	m ³ /s			
Tirante (y):	<input type="text" value="0.33"/>	m			
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.6"/>	m			
Talud (Z):	<input type="text"/>				
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m			
					
Resultados:					
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0158"/>		Perímetro (p):	<input type="text" value="1.2600"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1980"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1571"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8263"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4592"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3648"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpiar Pantalla"/> <input type="button" value="Imprimir"/> <input type="button" value="Menú Principal"/> <input type="button" value="Calculadora"/>					

Nota. Esta figura muestra una rugosidad (n) de 0.0158, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Figura 14

Cálculo de la rugosidad día 04.12.2024 (km 01+450)

Cálculo del ancho solera (b)		Cálculo de la pendiente (S)		Cálculo de la rugosidad (n)	
Datos:					
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1506"/>	m ³ /s			
Tirante (y):	<input type="text" value="0.307"/>	m			
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.6"/>	m			
Talud (Z):	<input type="text"/>				
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.002"/>	m/m			
					
Resultados:					
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0156"/>		Perímetro (p):	<input type="text" value="1.2140"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1842"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1517"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.6000"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8176"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4711"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3411"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpiar Pantalla"/> <input type="button" value="Imprimir"/> <input type="button" value="Menú Principal"/> <input type="button" value="Calculadora"/>					

Nota. Esta figura muestra una rugosidad (n) de 0.0156, obtenido mediante el software H canales V 3.1.

Tabla 5*Coefficiente de Rugosidad (n) calculado*

Días	Coefficiente (n) km 0+210	Coefficiente (n) km 01+450	Promedio
02.11.2024	0.0155	0.0156	0.0155
03.11.2024	0.0156	0.0154	0.0155
04.11.2024	0.0158	0.0156	0.0157
Promedio	0.0156	0.0155	0.0155

Nota. Esta tabla muestra los coeficientes de rugosidad calculados en las progresivas 0+210 y 1+450, obtenidos mediante el software H-Canales V3.1.

Presentación de los resultados

Tal como se explicó anteriormente, se calculó el coeficiente de rugosidad correspondiente a los distintos días en que se llevó a cabo el aforo. A continuación, se presentan los coeficientes de rugosidad recomendado por varios autores, junto con el coeficiente calculado.

Tabla 6*Coefficiente de Rugosidad (n) para concreto según diferentes autores*

Condición	Valor de n	Referencias
Concreto sin acabado o rugoso	0.015	-
	0.022	Chow, V.T. (1959). <i>Open-Channel Hydraulics</i> .
	0.013	-
Concreto pulido	0.015	-
	0.017	-
	0.020	USDA (1971). <i>Soil Conservation Service Engineering Field Manual</i> .
Concreto rugoso	0.013	-
	0.015	-
	0.015	-
Concreto sin tratar o rugoso	0.017	Linsley, R.K., Kohler, M.A., & Paulhus, J.L. (1977). <i>Hydrology for Engineers</i> .
	0.013	-
	0.016	-
Concreto rugoso o texturizado	0.014	-
	0.017	Hager, W.H. (2005). <i>Hydraulic Resistance of Concrete Channels</i> .
	0.012	-
Concreto muy pulido o con recubrimiento liso	0.015	-
	0.014	-
	0.018	Brater, E.F. & King, H.W. (1976). <i>Handbook of Hydraulics</i> .
Concreto rugoso	0.013	-
	0.015	-
	0.015	-
Concreto con superficie lisa o recubierta	0.018	Mays, L.W. (2001). <i>Hydraulic Design Handbook</i> .
	0.014	-
	0.016	-

Condición	Valor de n	Referencias
Concreto sin acabado o rugoso	0.015	-
	0.017	Serrano, J.L., et al. (1994). <i>Hidráulica de Canales</i> .
	0.014	-
Concreto pulido	0.016	-
	0.016	-
Concreto rugoso o envejecido	0.018	Terzaghi, K. (1943). <i>Theoretical Soil Mechanics</i> .
	0.012	-
Concreto liso o pulido	0.014	-

Nota. Esta tabla muestra los canales revestidos con concreto de diferentes autores, los valores más comunes del coeficiente de rugosidad de Manning (n) se encuentran en el rango de 0.013 a 0.015, siendo el valor más utilizado 0.014.

Tabla 7

Coeficiente de Rugosidad (n) para concreto calculado

Días	Coeficiente n recomendado	Coeficiente n calculado	Eficiencia (n_{rec} / n_{cal})
02.11.2024	0.014	0.0155	90.32%
03.11.2024	0.014	0.0155	90.32%
04.11.2024	0.014	0.0157	89.17%
Promedio	0.014	0.0155	90.32%

Nota. Esta tabla muestra el coeficiente de rugosidad (n) calculado que tiene un valor promedio de 0.0155. y el coeficiente recomendado durante la etapa de diseño es 0.014.

A continuación, se realizará el cálculo del caudal empleando dos valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n). El primero corresponde al valor promedio obtenido, que es 0.0155, mientras que el segundo es el valor recomendado para diseño en gabinete, que asciende a 0.014. Para este cálculo, se considerará un tirante máximo estimado, derivado de la diferencia entre la altura total del canal (0.60 m) y el bordo libre (0.10 m). Cabe destacar que este tirante representa el nivel máximo que el agua puede alcanzar antes de desbordar. En este caso, el tirante máximo asumido será de 0.50 m. Con dicho tirante, se procederá a calcular el caudal para ambas condiciones de rugosidad, manteniendo constantes otros parámetros, como la sección del canal y la pendiente, según las características actuales del canal en estudio

Tabla 8

Parámetros calculados con el coeficiente de Manning calculado

Días	Coeficiente Calculado (n)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
02.12.2024	0.0155	0.2836	0.9452
03.12.2024	0.0155	0.2836	0.9452
04.12.2024	0.0157	0.2799	0.9331
Promedio	0.0155	0.2836	0.9452

Nota. Esta tabla muestra el coeficiente de Manning calculado en donde la velocidad mínima recomendada para los canales recubiertos con concreto debe oscilar entre 0.30 y 0.60 m/s para garantizar un flujo eficiente, prevenir la sedimentación y asegurar el correcto funcionamiento del canal. No obstante, las Notas obtenidos en las tablas anteriores muestran una velocidad mínima promedio de 0.9452 m/s, lo que indica que este valor excede el rango recomendado.

Figura 15

Parámetros calculados con el coeficiente de rugosidad recomendado

Datos:

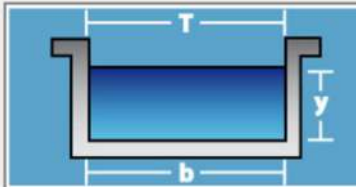
Tirante (y): m

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Coeficiente de rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m



Resultados:

Caudal (Q): <input type="text" value="0.3139"/> m ³ /s	Velocidad (v): <input type="text" value="1.0465"/> m/s
Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.3000"/> m ²	Perímetro (p): <input type="text" value="1.6000"/> m
Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1875"/> m	Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.6000"/> m
Número de Froude (F): <input type="text" value="0.4725"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.5558"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>	

Nota. Esta figura muestra el caudal calculado de 0.3139 m³/s y una velocidad de 1.0465 m/s, ambos parámetros calculados con el coeficiente de 0.014.

Tabla 9*Velocidades mínimas recomendadas*

Velocidad mínima (m/s)	Referencia Completa
0.60	Chow, V.T. (1959). <i>Open-Channel Hydraulics</i> .
0.60	Koutsoyiannis, D. (2006). <i>Hydrologic Modeling: Statistical Methods and Applications</i> .
0.30 – 0.60	Manning, R. (1889). <i>On the Flow of Water in Open Channels and Pipes</i> .
0.60	Henderson, F.M. (1966). <i>Open-Channel Flow</i> .
0.60	Snyder, G. (2005). <i>Hydraulic Design Handbook</i> .
0.30 – 0.50	Linsley, R.K., Kohler, M.A., & Paulhus, J.L. (1980). <i>Hydrology for Engineers</i> .

Nota. Esta tabla muestra, la velocidad mínima recomendada para los canales recubiertos con concreto debe estar entre 0.30 y 0.60 m/s, con el fin de garantizar un flujo eficiente, evitar la acumulación de sedimentos y asegurar el correcto funcionamiento del canal. Según los cálculos presentados en tablas previas, se determinó una velocidad mínima promedio de 0.9452 m/s, lo que evidencia que este valor supera el rango recomendado.

5.2. Análisis de Resultados

Objetivo General:

La eficiencia de conducción del canal de derivación Lucmos, con un promedio calculado del 90.32%, se encuentra dentro del rango recomendado de 90% a 95% para este tipo de sistemas hidráulicos. Este porcentaje refleja que las condiciones físicas del canal son óptimas, lo que implica un mantenimiento adecuado y la ausencia de obstrucciones importantes que puedan afectar el flujo hidráulico. No obstante, la rugosidad del canal varía debido a la erosión continua de su superficie de concreto, provocada por el constante flujo de agua.

Cabe destacar que el canal tiene más de 30 años de antigüedad, lo cual ha generado superficies más lisas o irregulares. Asimismo, la presencia de musgos y algas ha modificado la textura de las paredes y el fondo del canal, alterando la rugosidad de su superficie.

Tabla 10*Eficiencia de conducción del canal*

Días	Coeficiente		Eficiencia (n_{rec} / n_{cal})
	$n_{recomendado}$	$n_{calculado}$	
02.11.2024	0.014	0.0155	90.32%
03.11.2024	0.014	0.0155	90.32%
04.11.2024	0.014	0.0157	89.17%
Promedio	0.014	0.0155	90.32%

Nota. Esta tabla muestra la comparación de datos recomendados y calculados en donde al dividirlos obtenemos la eficiencia en porcentajes y sacar los promedios.

Objetivos Específicos:

A continuación, se muestran los resultados en las tablas que corresponden al caudal aforado, el coeficiente de rugosidad y la velocidad, los cuales fueron calculados previamente.

Tabla 11*caudal de aforado en el canal*

N°	Fecha	Caudal (m3/seg)	
		Km 0+210	Km 01+450
1	02/12/2024	0.1464	0.1298
2	03/12/2024	0.1139	0.1062
3	04/12/2024	0.1636	0.1506

Nota. Esta tabla muestra los datos del caudal aforados en el canal en las progresivas de 0+210 y 01+450.

Tabla 12*coeficiente de rugosidad calculado*

Días	Coeficiente		Eficiencia (n_{rec} / n_{cal})
	$n_{recomendado}$	$n_{calculado}$	
02.12.2024	0.014	0.0155	90.32%
03.12.2024	0.014	0.0155	90.32%
04.12.2024	0.014	0.0157	89.17%
Promedio	0.014	0.0155	90.32%

Nota. Esta tabla muestra el cálculo de las rugosidades se procedió a estructurar la tabla a partir de los cálculos efectuados en el software H canales.

Tabla 13*Cálculo de velocidades en el canal*

Días	Velocidades (m/s)	
	km 0+210	km 01+450
02.12.2024	0.8133	0.7867
03.12.2024	0.7593	0.7532
04.12.2024	0.8263	0.8176
Promedio	0.7996	0.7858

Nota. Esta tabla muestra las velocidades registradas que superan los valores recomendados, lo que se atribuye principalmente a la inclinación del canal, que es de 0.002 m/m. Esta pendiente fue elegida en la etapa de diseño con el propósito de garantizar un flujo eficiente, evitando que las velocidades sean tan altas como para causar turbulencias indeseadas. De este modo, se favorece que el agua mantenga los sedimentos en suspensión, previniendo su acumulación excesiva en el fondo del canal.

5.3. Implicaciones Prácticas

Los objetivos alcanzados en este estudio han revelado que los diseños realizados en gabinete suelen mostrar discrepancias con la realidad una vez que los canales están construidos. Por ello, se recomienda calcular un coeficiente de rugosidad más preciso, considerando un acabado más liso durante la construcción de los canales de concreto. Para lograrlo, es esencial implementar controles de calidad en la preparación del concreto y acabado de las paredes y el fondo del canal.

Estos controles deben estar programados como actividades durante la ejecución del canal y contemplados en la estructura del presupuesto de obra. Cabe destacar que en esta fase se realiza el diseño en gabinete del canal.

Asimismo, las condiciones laborales varían considerablemente en diferentes regiones del país, por lo que es necesario tomar en cuenta medidas específicas relacionadas con los procesos de mano de obra, los rendimientos, los materiales y las condiciones climáticas al formular el expediente técnico. Estas consideraciones son cruciales para garantizar que la ejecución de los canales cumpla con la eficiencia de

conducción planeada en el diseño de gabinete y para evitar deficiencias que puedan poner en riesgo la inversión y la funcionalidad a largo plazo de los proyectos.

5.1.4 Limitaciones del Estudio

Para determinar los caudales en canales abiertos, es necesario emplear métodos más precisos. Sin embargo, debido a que la implementación de técnicas avanzadas puede resultar costosa, en este estudio se optó por realizar el aforo de los caudales mediante métodos directos, como el método del vertedero. Este enfoque es adecuado, pero se recomienda considerar el uso de equipos especializados, como el molinete hidráulico o el correntómetro, los cuales permiten medir la velocidad del flujo de manera directa en el canal. Estos dispositivos proporcionan mediciones más precisas de la velocidad, lo que a su vez mejora la estimación del caudal y, por lo tanto, la calidad del estudio.

Asimismo, existen métodos más avanzados, como el aforo automático, que emplea tecnologías como radares y sensores para calcular directamente el caudal. Aunque estos equipos son costosos, su implementación podría proporcionar una mayor precisión y eficiencia en el proceso de medición, lo que resulta especialmente beneficioso para investigaciones de alta exigencia técnica. A pesar de su costo, su uso podría justificar la mejora en la exactitud de los *Notas* y en la fiabilidad de los resultados obtenidos en el estudio.

VI. Conclusiones

1. Del objetivo general. La eficiencia de conducción del canal de derivación Lucmos, tiene una eficiencia de conducción del 90.32%, se encuentra dentro del rango recomendado de 90% a 95% para este tipo de sistemas hidráulicos.

2. Del objetivo específico 1. El flujo registrado durante los tres días de medición evidencia fluctuaciones, debido a que no se mantiene constante diariamente, lo cual está vinculado a cambios en las condiciones operativas del canal, como las variaciones en la demanda.

Tabla 14

Caudales en los dos tramos

N°	Fecha	Caudal (m ³ /seg)	
		Km 0+210	Km 01+450
1	02/12/2024	0.1464	0.1298
2	03/12/2024	0.1139	0.1062
3	04/12/2024	0.1636	0.1506

Nota. Esta tabla muestra los resultados de los aforos efectuados en los tramos 0+210 y 1+450, donde se presentan los valores de caudal medidos durante los días señalados en el estudio.

3. Del objetivo específico 2. El coeficiente de rugosidad promedio calculado para el canal es de 0.0155, superando el valor recomendado de 0.014 para canales revestidos con concreto. Esto sugiere que la superficie del canal es más rugosa de lo esperado, lo que podría generar mayor resistencia al flujo del agua y, en consecuencia, afectar la eficiencia en la conducción del canal.

4. Del objetivo específico 3. La velocidad mínima registrada en la canal varía entre 0.7996 y 0.7858 m/s, superando el rango recomendado de 0.3 a 0.6 m/s. Este valor asegura un flujo eficiente, evitando velocidades excesivas que podrían generar turbulencias no deseadas y permitiendo que el agua mantenga los sedimentos en suspensión, lo que previene su acumulación excesiva en el fondo del canal.

VII. Recomendaciones

1. Del objetivo general. A partir de la evaluación del impacto de la rugosidad en la eficiencia de conducción del Canal de Derivación Lucmos, se recomienda adoptar un enfoque integral que abarque desde la fase de diseño hasta la operación y mantenimiento del canal. Es fundamental mejorar los acabados de las superficies interiores y optimizar las juntas de dilatación para reducir la rugosidad, lo que directamente incrementará la eficiencia de conducción hacia el nivel recomendado del 95%. Además, se sugiere implementar sistemas de monitoreo continuo del flujo y programas de mantenimiento preventivo, así como capacitar a los beneficiarios en prácticas operativas y de conservación, para asegurar que la infraestructura funcione de manera óptima y sostenible a lo largo del tiempo, minimizando los efectos negativos de la rugosidad y maximizando la eficiencia del transporte de agua.

2. Del objetivo específico 1. Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo del caudal a lo largo del Canal de Derivación Lucmos para detectar variaciones diarias y asociarlas con cambios en la demanda o condiciones operativas, integrando estos *Notas* en futuros estudios de diseño para mitigar fluctuaciones bruscas y optimizar la capacidad del canal.

3. Del objetivo específico 2. Es fundamental mejorar los acabados de concreto y rediseñar las juntas de dilatación con especial atención a intervalos de 9 metros, minimizando las irregularidades y la rugosidad superficial que elevan el coeficiente de rugosidad por encima del valor recomendado, lo cual se traducirá en una reducción de la resistencia al flujo y en un incremento de la eficiencia de conducción.

4. Del objetivo específico 3. Se recomienda realizar periódicamente el mantenimiento del canal para mantener velocidades de flujo en un rango eficiente, optimizando así el arrastre de sedimentos gruesos y evitando la sedimentación en el lecho, lo que a su vez previene obstrucciones y mejora la eficiencia operativa, además de integrar capacitación y mantenimiento preventivo para los operadores y beneficiarios, garantizando el manejo adecuado del sistema y prolongando la vida útil del canal.

VIII. Referencias

- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación: *Introducción a la metodología científica* (6.^a ed.). Editorial Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Ayvar, J. (2024). *Evaluación comparativa del coeficiente de rugosidad mediante la metodología de Robert Manning y Ven Te Chow en el río Rontoccocha – Abancay – Apurímac 2022* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio UTA. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/805>
- Cadena SER. (2025, 5 de marzo). El Gobierno de España licita la obra de modernización del regadío de los canales de Ines y de Eza, por 15,5 millones de euros. *Cadena SER*. <https://cadenaser.com/castillayleon/2025/03/05/el-gobierno-de-espana-licita-la-obra-de-modernizacion-del-regadio-de-los-canales-de-ines-y-de-eza-por-155-millones-de-euros-ser-soria/>
- Chanson, H. (2004). *Hydraulics of open channel flow: An introduction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. https://www.researchgate.net/profile/Bachir_Achour/post/Any_good_book_on_fluid_flow_through_channel/attachment/59d6464d79197b80779a156a/AS%3A457286104686594%401486036911407/download/the%2Bhydraulic%2Bof%2Bopen%2Bchannel%2Bflow.pdf
- Chiclote Aquino, O. (2017). *Evaluación de la eficiencia de conducción del canal de riego El Progreso Mayanal - Jaén - Cajamarca, tramo: km 00+000 - 01+000* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1522>

- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill. Recuperado de <https://ostad.nit.ac.ir/payaidea/ospic/file674.pdf>
- Fele, F., Maestre, J. M., Hashemy Shahdany, M., Muñoz de la Peña, D., & Camacho, E. F. (2025). *Coalitional model predictive control of an irrigation canal*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2501.17561>
- French, R. H. (1985). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill. <https://archive.org/details/openchannelhydra0000fren>
- González, M. (2022). *Evaluar la eficiencia de la conducción principal del sistema de riego del canal de riego Santiago* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital UNL. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/28335>
- Gutiérrez Contreras, A. (2023). *Comportamiento hidráulico del flujo en canal de riego alto andino por cambio de rugosidades del revestimiento – Canal Plan Merys, 2021* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12894/9868>
- Hancoccallo Achircana, M. O. (2017). *Análisis de la rugosidad en canal de concreto, para la evaluación de la variabilidad de la velocidad de flujo de diseño del Proyecto de Riego Jarroñán Sector Pautina — Comunidad Querocollana, Distrito de Coporaque, Espinar — Cusco* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPeU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/b6d1c4f4-6ae1-4c85-9b8c-c1c6d1400a66>
- Henderson, F. M. (1966). *Open channel flow*. Macmillan. <https://search.worldcat.org/title/711750>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Ilgnier, P. (2024). *Evaluación de la eficiencia de conducción en la red de riego de Mayor Buratovich* [Trabajo de investigación/informe técnico]. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586262756002/html/>
- Ingeciv. (s. f.). Valores de rugosidad “n” de Manning en canales | Ingeciv. Recuperado de <https://ingeciv.com/valores-de-rugosidad-n-de-manning-en-canales/>
- Kaya, O. (2023). *Influencia de la rugosidad en la capacidad de flujo en canales de concreto* [Tesis de maestría, Universidad de Estambul]. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/373144016>
- López, J. (2021). *Análisis de la eficiencia de conducción en el canal de irrigación Turuco-Bellavista* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNP. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3456>
- Martínez, J. R. (2020). *Determinación experimental del coeficiente de Manning en canales de concreto* [Artículo]. *Revista Agunkuyâa*, 10(2). <https://revia.areandina.edu.co/index.php/Cc/article/view/1935>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (s.f.). *Manual para el cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Eficiencia en el uso del agua en la agricultura de regadío: Análisis y diagnóstico de*

la situación actual en América Latina y el Caribe. FAO.
<https://www.fao.org/3/i6788s/i6788s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.).
Estructuras de conducción del agua. Recuperado de
https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm

Peralta Mondragón, J., & Vásquez Gil, L. (2025). *Evaluación de la eficiencia por conducción y distribución en el canal Serquén en el subsector hidráulico Ferreñafe, 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
<http://hdl.handle.net/20.500.12893/14208>

Plantae Garden. (2019). *Factores que afectan la eficiencia de conducción en canales de riego.* Plantae Garden. <https://plantae.garden/factores-que-afectan-la-eficiencia-de-conduccion-en-canales-de-riego/>

Polo Yengle, M. (2021). *Determinación de la eficiencia de conducción de canales de riego – Caso Puerto El Cura, margen derecha del río Tumbes (2020)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <http://hdl.handle.net/20.500.12874/2225>

Quinto Yucra, C. (2021). *Variabilidad del coeficiente de rugosidad en canales abiertos a más de 3500 m s. n. m. en la región Puno* [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/5373>

Rojas, C. (2021). *Comportamiento del flujo en canales abiertos por cambios de rugosidad – Canal Sahuinto, Abancay, Apurímac, 2021* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83130>

Salazar Hidalgo, K. D. (2020). *Evaluación de la eficiencia de conducción del canal de conducción Ambato-Huachi-Pelileo* [Tesis de grado, Universidad Técnica de

Ambato, Ecuador].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30174/3/Tesis%20I.%20C.%201349%20-%20Salazar%20Hidalgo%20Katherine%20Dayana.pdf>

Sampieri, R. H., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
<https://bellasartes.upn.edu.co/wp-content/uploads/2024/11/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-Sampieri-Mendoza-2018.pdf>

Sánchez, P. A. (2023). *Diagnóstico y rehabilitación del canal de riego Pucará, Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24279>

Santiago, J. (2019). *Evaluación de la rugosidad en canales de riego y su impacto en la eficiencia hidráulica*. *Revista de Ingeniería Hidráulica*, 25(3), 45-53.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). *Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental*.
https://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/informe_situacion_medio_ambiente_2022.pdf

Ticona Parihuana, M. (2024). *Evaluación de las pérdidas de conducción y mejoramiento de la eficiencia hidráulica en el canal de riego Yesera, Magollo, Vilacollo – Quilahuani – Candarave – Tacna (Tramo km 004+200 al 006+700)*
Tesis de grado, Universidad Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/15846>.

Ticona Parihuana, W. (2024). *Evaluación de las pérdidas de conducción y mejoramiento de la eficiencia hidráulica del canal de riego Laguna Viva, distrito de Ilave, Puno*

[Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/16040>

Toapanta, L. C. E. (2021). *Análisis del comportamiento del flujo en canales abiertos bajo condiciones no permanentes* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].
Repositorio Institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38170/1/Tesis%20I.C.%201763%20-Toapanta%20Laura%20Carolina%20Estefania.pdf>

United States Bureau of Reclamation (USBR). (1987). *Design of small canal structures: Engineering technology pertinent to agricultural water conveyance system*. U.S. Department of the Interior. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallCanal.pdf>

Universidad Nacional de Colombia. (2005). *Manual de diseño de canales de riego*.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/12345>.

Velazque, A. (2024). *Análisis de la eficiencia hidráulica en la estructura del canal de irrigación distrito de Toraya, provincia de Aymaraes, departamento Apurímac – 2022* Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes.
<https://hdl.handle.net/20.500.14512/816>.

Wikipedia. (2023). *Riego*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Riego>