

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

Análisis del Impacto de la rugosidad en la eficiencia de Conducción del canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac, 2024

Asesor:

Mg. Sc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autores:

Cusi Aguilar, Fernando

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°: 069

En la ciudad de Abancay, a los veintinueve días del mes de agosto del 2025, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0732-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 21 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Dictaminante :	Mag. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo
Replicante :	Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis del Impacto de la Rugosidad en la Eficiencia de Conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Cusi Aguilar, Fernando

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 (**)
Cusi Aguilar, Fernando	Aprobado

Siendo las 9:55am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidenta: Ing. Cayo Baca Holguer

Dictaminante: Mag. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo

Replicante: Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Abancay 23 de octubre del 2025

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 365

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.




24% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 24%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  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.

Reporte de similitud



Fuentes principales

- 24%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.utea.edu.pe	22%
2	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
3	Internet	hdl.handle.net	<1%
4	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
5	Internet	vsip.info	<1%
6	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Cusi Aguilar Fernando
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	41955589
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0008-2729-8536
Datos 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
Datos 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	:	24%
URL de OCDE	:	https://purl.org/perepo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, por su amor incondicional, su esfuerzo y sus sacrificios que han sido el motor y la inspiración constante para alcanzar mis metas.

A mi familia, por el apoyo y las palabras de aliento en los momentos de dificultad.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron con su tiempo, conocimiento y motivación para que este trabajo de investigación fuera posible..

Agradecimientos

A mi casa de estudios la Universidad Tecnológica de los Andes, la universidad que con mucho esmero tiene la tarea de formar profesionales, contribuyendo con la sociedad y el país, contribuyendo a fomentar la investigación y también al desarrollo.

A los docentes de esta prestigiosa carrera de Ingeniería Civil, que con generosidad y dedicación invirtieron el tiempo, a partir de sus valioso conocimiento y experiencias ayudaron a la formación profesional. Su contribución fue imprescindible para lograr los objetivos.

A mi asesor de tesis M.Sc. Ángel Maldonado Mendivil, cuya orientación ha sido fundamental desde el comienzo de este trabajo de investigación.

Resumen

El canal de riego Paucho Rumi Cocha se encuentra ubicado en La comunidad de Culluni Izquierdo, que está ubicado en el distrito de Uranmarca que se encuentra en la provincia de Chincheros, de la Región Apurímac el cual abarca el tramo comprendido entre los kilómetros 02+000 y 02+600 del canal, su principal función está destinado al riego de los cultivos en la comunidad de Culluni Izquierdo.

El resultado de la eficiencia de la conducción es de 80%, el cual está por debajo del valor recomendado de 95% ,el coeficiente de rugosidad es 0.0175 el cual se encuentra por encima del valor recomendado de 0.014, así mismo la velocidad mínima alcanzada del canal es de 0.6103 m/s el cual se encuentra por encima del rango recomendado de 0.3 a 0.6 m/s. el cual se recomienda que se tenga en cuenta desde la elaboración de metodologías principales que ayuden a desarrollar de forma eficiente el nivel recomendado de eficiencia hidráulica del 95%.el cual se intenta aplicar a los tipos sistemáticos de flujos para su adecuado mantenimiento de forma que exista una mayor regulación de acabados con un mínimo de 9 metros los cuales minimizan la rugosidad del mismo concretos. Así mismo ajustar la pendiente del canal para mantener velocidades de flujo entre 0.3 y 0.6 m/s, optimizando así el arrastre de sedimentos gruesos y evitando la sedimentación en el lecho, donde se previene obstrucciones y mejora la eficiencia operativa.

Palabras claves: junta de dilatación, velocidades de flujo, sedimentación, Recubrimiento, Eficiencia, Conducción.

Abstract

Che Paucho Rumi Cocha irrigation canal is located in the community of Culluni Izquierdo, which is located in the district of Uranmarca, which is in the province of Chincheros, in the Apurímac Region, which covers the section between kilometers 02+000 and 02+600 of the canal, its main function is to irrigate crops in the community of Culluni Izquierdo.

The result of the efficiency of the conduction is 80%, which is below the recommended value of 95%, the roughness coefficient is 0.0175, which is above the recommended value of 0.014, and the minimum speed reached by the canal is 0.6103 m/s, which is above the recommended range of 0.3 to 0.6 m/s. which recommends that from the design and operation and maintenance phase of the channel it is essential to improve the finishes of the interior surfaces and optimize the expansion joints to reduce roughness in order to reach a recommended level of hydraulic efficiency of 95%. which suggests implementing continuous flow monitoring systems and maintenance programs, as well as training in operational practices, to ensure that the infrastructure works optimally and sustainably over time, minimizing the negative effects of roughness and maximizing the efficiency of water transport. It is essential to improve concrete finishes and redesign expansion joints at 9-meter intervals, minimizing irregularities and surface roughness. Likewise, adjust the slope of the channel to maintain flow velocities between 0.3 and 0.6 m/s, thus optimizing the drag of coarse sediments and avoiding sedimentation in the bed, where obstructions are prevented and operational efficiency is improved.

Keywords: expansion joint, flow velocities, sedimentation, Lining, Efficiency, Conduction.

Índice general

Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iv
Metadatos	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Índice general	x
Índice de tablas	xiv
Índice de figuras.....	xv
Índice de anexos	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema	18
2.1 Descripción y formulación del problema.....	18
2.1.1 Problema general.....	18
2.1.2 Problemas Específicos.....	19
2.2 Objetivos.....	20
2.2.1 Objetivo General	20
2.2.2 Objetivos Específicos.....	20
2.3 Delimitación de la investigación	20
2.3.1 Justificación Practica.....	20
2.3.2 Justificación social	21

2.3.3	Justificación Teórica	22
2.3.4	Justificación Metodológica.....	23
2.4	Hipótesis	23
2.4.1	Hipótesis General.....	23
2.4.2	Hipótesis Específicas	23
2.5	Variables	24
2.5.1	Variable Independiente.....	24
2.5.2	Variable Dependiente	24
2.5.3	Cuadro de Operación de variable.....	24
III.	Marco Teórico	26
3.1	Antecedentes	26
3.1.1	A nivel internacional	26
3.1.2	A nivel nacional	28
3.1.3	A nivel regional y local.....	30
3.2	Bases teóricas	32
3.2.1	Canales.....	32
3.2.2	Tipos de revestimiento de canales	32
3.2.3	Elección del tipo de revestimiento y proceso constructivo	35
3.2.4	Canales de revestimiento de concreto simple	36
3.2.5	Ventajas Que Ofrece El Revestimiento De Canales	36
3.2.6	Condiciones Que Deben Cumplir Los Revestimientos De Canales	41

IV. Metodología	48
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	48
4.1.1 Tipo de investigación.....	48
4.1.2 Nivel o alcance de investigación	48
4.1.3 Diseño de investigación	48
4.2 Ámbito temporal y espacial	49
4.2.1 Ámbito temporal	49
4.2.2 Espacial	49
4.3 Población y muestra.....	49
4.4 Instrumentos	50
4.5 Procedimientos	50
4.6 Análisis de datos.....	52
4.7 Consideraciones éticas	52
V. Resultados y discusión.....	52
5.1 Introducción	25
5.2 Resultados.....	52
5.2.1 Estudios preliminares.....	53
5.2.2 Método del Vertedero	56
5.2.3 Cálculo de la rugosidad.....	61
5.2.4 Presentación de los resultados:	64
5.3 Análisis de Resultados.....	68
5.4 Implicaciones Prácticas.....	69
5.5 Limitaciones del Estudio.....	70

VI.	Conclusiones	70
VII.	Recomendaciones	72
VIII.	Referencias.....	72
IX.	Anexos	77

Índice de tablas

Tabla 1.	Tabla de operacionalización de variables	25
Tabla 2.	Estación meteorológica	53
Tabla 3.	Registro de temperatura °C.....	53
Tabla 4.	Registro del caudal aforado día 04.11.2024	58
Tabla 5.	Registro del caudal aforado día 05.11.2024	59
Tabla 6.	Registro del caudal aforado día 06.11.2024	60
Tabla 7.	Registro del caudal aforado día 07.11.2024	60
Tabla 8.	resumen de caudal aforado.....	61
Tabla 9.	Coefficiente de Rugosidad (n) para concreto según diferentes autores.	64
Tabla 10.	Coefficiente de Rugosidad (n) para concreto calculado	65
Tabla 11.	Parámetros calculados con el coeficiente de Manning calculado	66
Tabla 12.	Velocidades mínimas recomendadas.....	67
Tabla 13.	Eficiencia de conducción del canal.....	68
Tabla 14.	Cálculo del caudal de aforo.....	68
Tabla 15.	cálculo del coeficiente de rugosidad.....	69
Tabla 16.	Cálculo de velocidades	69

Índice de figuras

Figura 1.	Registro de temperatura °C.....	54
Figura 2.	Sección trapezoidal tipo I	55
Figura 3.	Sección trapezoidal tipo II	55
Figura 4.	Sección del vertedero	57
Figura 5.	Cálculo de la rugosidad día 04.11.2024	62
Figura 6.	Cálculo de la rugosidad día 05.11.2024	62
Figura 7.	Cálculo de la rugosidad día 06.11.2024	63
Figura 8.	Cálculo de la rugosidad día 07.11.2024	63
Figura 9.	Parámetros de coeficiente de rugosidad promedio calculado.....	66
Figura 10.	Parámetros de coeficiente de rugosidad recomendado.....	67

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	77
Anexo 2. Operacionalización de variables	78
Anexo 3. Panel Fotográfico.....	79

I. Introducción

La agricultura es una de las principales actividades económicas del distrito de Uranmarca, ubicado en la región de Apurímac. Sin embargo, su desarrollo enfrenta limitaciones debido a la ineficiencia de los sistemas de conducción de agua para riego. En este contexto, el sistema de conducción Paucho Rumi Cocha desempeña un papel crucial en la distribución del recurso hídrico, directamente relacionado con la producción agrícola y la calidad de vida de la población. La eficiencia hidráulica en los sistemas de riego es un factor determinante para optimizar el uso del agua, recurso vital pero limitado, especialmente en zonas andinas caracterizadas por climas secos y alta variabilidad en la disponibilidad hídrica. La evaluación del sistema Paucho Rumi Cocha resulta fundamental para identificar deficiencias técnicas, pérdidas de agua y posibilidades de mejora en su diseño o mantenimiento. El presente estudio tiene como objetivo principal analizar la eficiencia hidráulica del sistema de conducción Paucho Rumi Cocha con miras a proponer soluciones técnicas que optimicen el uso del recurso hídrico en las actividades agrícolas del distrito. Para ello, se emplearán metodologías modernas de evaluación hidráulica y tecnologías adaptadas al contexto local. Este análisis busca no solo mejorar el rendimiento del sistema, sino también contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico y al desarrollo agrícola de la región. Las respuestas a estas interrogantes permitirán establecer lineamientos para la mejora del sistema, impactando positivamente en la productividad agrícola y en la economía local. Este estudio se alinea con los esfuerzos nacionales y regionales por garantizar la seguridad hídrica y promover prácticas agrícolas sostenibles, reafirmando la importancia de una gestión eficiente de los recursos para enfrentar los desafíos ambientales y sociales del siglo XXI.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

Existen sistemas los cuales en su mayoría no tienen un buen plastificante para la mejora de infiltración, puede que esta mayoría de infraestructuras estén en desgaste para lo cual como resultado final referente al canal de riego no abarca correctamente el ámbito en el cual fue proyectado. Existen una primogeniedad sobre la cual se quiere mantener las condiciones de uso de la rugosidad para este canal cumple con estándares y parámetros ya pre establecidos que mejoran los diseños de bocatomas, reservorios y otros componentes que son parte de una canal de riego.

Para lo cual la falta de asesoría e información origina que la información de muchas personas divague y no se concluya, así como estas prácticas profesionales con muy comunes a lo largo de los diseños de parcelas más alejadas del canal de riego matriz de la zona

En un artículo publicado en España en 2017, se habla sobre los canales de riego, la pérdida de agua y soluciones para el futuro.

En el sector agrícola, entre 2000 y 2014, se llevaron a cabo muchos proyectos y propuestas para mejorar la calidad del riego. La inversión total fue de 1.770 millones de euros. A pesar de esto, todavía hay mucha pérdida de agua en las infraestructuras de riego por el método de riego por gravedad.

Un problema adicional es que muchos canales de riego están al final de su vida útil y necesitan ser mejorados o rehabilitados.

En México, un estudio realizado en 2012 descubrió que, en varias regiones, la forma en que se distribuye el agua para el riego no es la mejor. Esto se debe a que no se gestiona bien el agua.

En lugares donde hay mucha agua, las personas que se encargan de esto no han hecho un buen trabajo con la irrigación. El Gobierno de México está trabajando para ayudar a que el agua se use de manera más eficiente.

En Ecuador, en 2018, se hizo una investigación que mostró que, durante la temporada de lluvias, los ríos tienen mucha agua. Esto causa problemas en los canales de riego porque no pueden manejar tanta agua.

Esto afecta a las partes del canal que no están diseñadas para manejar tanta agua, lo que puede causar inundaciones y daños a los cultivos y carreteras.

En México, un estudio de 2008 encontró que los canales de riego deberían funcionar bien entre el 56% y el 86% de las veces.

Sin embargo, no siempre funciona así debido a la calidad del suelo y a cómo están diseñados los canales. Una solución podría ser cubrir los canales con grava para que el agua fluya mejor.

En Perú, solo el 35% de las regiones tienen sistemas de riego en buen estado, mientras que el 65% está en malas condiciones.

Aunque esto está mejorando poco a poco. Un análisis del Plan Nacional muestra que algunos canales de riego están hechos de concreto, lo que ayuda a que el agua no se pierda.

Sin embargo, todavía se desperdicia mucha agua en los canales, lo que hace que la eficiencia sea baja.

Finalmente, un estudio de 2019 sobre cómo mejorar el sistema de irrigación en un lugar específico encontró que la eficiencia debería estar entre el 75% y el 100%.

Este estudio se hizo evaluando datos sobre la forma del terreno, la calidad del suelo y el agua para mejorar cómo se capta el agua.

2.1.1 Problema general

¿Cómo evaluar el impacto de la Rugosidad en la Eficiencia de Conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024?

2.1.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo determinar el caudal en condiciones operativas del canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024?

- ¿Cómo influye el coeficiente de rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024?
- ¿Cómo influye la velocidad del flujo en la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024??

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Evaluar el impacto de la Rugosidad en la Eficiencia de Conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Medir el caudal en las condiciones operativas del canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024.
- Analizar la influencia del coeficiente de rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024.
- Analizar la influencia de la velocidad del flujo en la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024.

2.3 Delimitación de la investigación

2.3.1 Justificación Practica

La justificación de esta investigación se basa en la necesidad de analizar los factores técnicos que contribuyen a las bajas eficiencias hidráulicas en el sistema de conducción Paucho Rumi Cocha, en el distrito de Uranmarca, región Apurímac. Dado que este sistema es fundamental para la distribución del recurso hídrico en actividades agrícolas, una gestión inadecuada implica pérdidas significativas de agua, afectando directamente la productividad de los cultivos y el desarrollo económico de la zona. El estudio se centra en identificar las deficiencias existentes en el diseño, operación y mantenimiento del canal, a fin de proponer soluciones técnicas que optimicen su rendimiento hidráulico. Esta evaluación resulta crucial, ya que el sistema actualmente opera con parámetros desconocidos de eficiencia, debido a la ausencia de investigaciones específicas sobre la conducción de agua en la infraestructura local. La

investigación tiene como propósito desarrollar lineamientos y recomendaciones que permitan maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico, minimizando las pérdidas por infiltración, evaporación y desbordes. Estos resultados serán de gran utilidad para los gestores y operadores del sistema Paucho Rumi Cocha, facilitando la toma de decisiones basadas en datos técnicos confiables. Además, se pretende contribuir al fortalecimiento de las capacidades locales en la gestión hídrica, fomentando el uso eficiente del agua en la agricultura. Finalmente, este trabajo puede servir como base técnica y metodológica para futuras investigaciones en sistemas de conducción similares, promoviendo un enfoque científico en la evaluación de la eficiencia hidráulica y su impacto en el desarrollo sostenible de las actividades agrícolas en contextos rurales andinos.

2.3.2 Justificación social

La ineficiencia actual en la conducción del agua afecta de manera desproporcionada a pequeños agricultores, quienes enfrentan limitaciones para satisfacer sus necesidades básicas de riego. Esto incrementa las desigualdades sociales y limita las oportunidades de desarrollo en una región ya vulnerable. Por ello, el estudio busca generar propuestas que garanticen un uso más equitativo y eficiente del recurso hídrico, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades productivas y al incremento de los ingresos de las familias agrícolas. Además, el proyecto tiene un enfoque participativo, involucrando a los usuarios del sistema de riego en el proceso de análisis y propuestas de mejora. Esto fomentará la conciencia social sobre la importancia de la gestión sostenible del agua y promoverá un sentido de corresponsabilidad entre los agricultores, líderes comunitarios y gestores del sistema. Por último, los resultados de esta investigación tienen el potencial de generar un impacto positivo en la cohesión social, al mitigar conflictos por la distribución del agua y promover el desarrollo comunitario mediante una mayor integración y cooperación entre los actores involucrados. De esta manera, la investigación no solo atenderá una problemática técnica, sino que también contribuirá al bienestar social de la población de

Uranmarca, promoviendo el desarrollo humano y el uso sostenible de los recursos naturales.

2.3.3 Justificación Teórica

La falta de estudios detallados sobre la dinámica hidráulica de este tipo de infraestructuras limita la capacidad de identificar, analizar y corregir las deficiencias técnicas que afectan el uso eficiente del recurso hídrico. La investigación se apoya en principios fundamentales de la hidráulica aplicada, como el análisis de pérdidas de energía por fricción, infiltración y desbordes, además de conceptos relacionados con la optimización del diseño y operación de sistemas de riego. Estos fundamentos permitirán desarrollar un marco teórico que sustente las propuestas de mejora, integrando modelos matemáticos, herramientas de simulación y metodologías de evaluación hidráulica adaptadas al contexto local.

Asimismo, este estudio busca contribuir al cuerpo teórico existente sobre la gestión eficiente del agua en zonas rurales, abordando una problemática que, aunque recurrente, ha sido poco explorada en regiones altoandinas. La investigación generará nuevos conocimientos sobre las características específicas del sistema de conducción Paucho Rumi Cocha, que podrán ser utilizados como referencia para sistemas similares en otras localidades. Por otro lado, la justificación teórica también se relaciona con la integración de enfoques interdisciplinarios, que incluyen aspectos ambientales, sociales y técnicos, para garantizar un manejo sostenible del recurso hídrico. Esto permitirá conectar las teorías tradicionales de la ingeniería hidráulica con los desafíos actuales de sostenibilidad, asegurando que las soluciones propuestas no solo sean técnicamente viables, sino también adaptadas a las necesidades y realidades locales. En resumen, esta investigación aportará bases teóricas y metodológicas que fortalecerán el conocimiento técnico sobre la evaluación y optimización de sistemas de conducción de agua, contribuyendo al desarrollo de estrategias más eficientes y sostenibles para la gestión de los recursos hídricos en zonas rurales.

2.3.4 Justificación Metodológica

Para entender bien cómo funcionan los sistemas de riego en zonas altoandinas, necesitamos usar métodos precisos que se adapten a la zona. Esto nos ayudará a obtener resultados que podamos confiar.

El estudio quiere usar herramientas como caudalímetros, que miden el flujo de agua, y pruebas de infiltración para saber dónde se pierde más agua. También se utilizarán modelos matemáticos y simulaciones en computadoras para ver cómo se comporta el agua en diferentes situaciones del canal.

Además, se comparará cómo está el sistema ahora con cómo podría estar si se optimizara. Esto nos permitirá ver si las mejoras que proponemos realmente funcionan. Se harán observaciones directas, se medirá el agua en el lugar y se entrevistará a los usuarios del sistema para tener datos tanto numéricos como descriptivos.

La investigación también busca identificar problemas técnicos, como si las paredes del canal son muy rugosas, si el diseño es bueno o si hay filtraciones. Esto nos ayudará a proponer soluciones que se basen en la realidad del sistema.

En resumen, el método que se utiliza no solo nos permitirá saber cuán eficiente es el sistema de riego, sino que también nos dará una base para hacer estudios similares en el futuro. Esto hará que los resultados sean válidos, confiables y útiles.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

- la rugosidad elevada afecta la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024..

2.4.2 Hipótesis Específicas

- Las condiciones operativas del canal influyen en el aforo del caudal en el canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024.

- El coeficiente de rugosidad superior al valor recomendado reduce la eficiencia de conducción del canal de concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac 2024.
- Las velocidades fuera del valor recomendado generan sedimentación o erosión, reduciendo la eficiencia de conducción del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha, Apurímac, Apurímac 2024.

2.5 Variables

2.5.1 Variable Independiente

Análisis Impacto de la rugosidad

2.5.2 Variable Dependiente

Eficiencia de conducción del canal Paucho Rumi Cocha

2.5.3 Cuadro de Operación de variable

Tabla 1.

Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Análisis del impacto de la rugosidad	La rugosidad en canales de concreto es una característica que depende del estado de sus superficies internas y afecta el flujo del agua, incrementando las pérdidas de energía y disminuyendo la capacidad de conducción.	La variable se operacionaliza mediante la evaluación del coeficiente de Manning ('n') en función del estado físico del canal.	Coeficiente de Manning ('n') Condición de la superficie del canal Acumulación de sedimentos Desgaste del revestimiento Tipología de irregularidades Longitud del tramo afectado Periodicidad de mantenimiento	-Coeficiente de rugosidad ('n') Velocidades admisibles Presencia de sedimentos Índice de deterioro del concreto Clasificación de defectos Extensión del canal deteriorado Frecuencia de intervenciones	adimensional cualitativa L % cualitativa M AÑO-MES
Variable Dependiente Eficiencia de conducción del canal Paucho Rumi Cocha	La eficiencia de conducción se define como la capacidad del canal para transportar el caudal de diseño con mínimas pérdidas de carga y energía, asegurando el suministro adecuado del recurso hídrico.	La variable se operacionaliza mediante la medición del caudal transportado y el cálculo de las pérdidas de carga a lo largo del tramo del canal.	Caudal transportad Pérdidas de carga Velocidad del flujo Uniformidad del flujo Pérdidas totales Capacidad de transporte Rendimiento del canal	Caudal de entrada y salida (m ³ /s) Pérdidas por fricción (m/m) Velocidad media del flujo (m/s) Variación de tirantes Volumen perdido por infiltración Relación entre caudal conducido y diseñado Relación caudal de salida / caudal de entrada	m ³ /s m/m m/s Cualitativa m ³ (%) (%)

Nota. Elaboración Propia

III. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Vergara (2020) en su tesis titulada "Estudio de la conductancia hidráulica foliar en seis especies frutales cultivadas en zonas áridas y semiáridas del norte de Chile", en Chile, planteó como objetivo evaluar la eficiencia del transporte de agua en especies frutales como la uva y el olivo bajo condiciones de estrés hídrico, utilizando una muestra de 30 plantas por especie. La metodología incluyó mediciones de conductancia hidráulica foliar y análisis de vulnerabilidad mediante cámaras de presión. Los resultados mostraron que la uva presentó una eficiencia del 85% en la conducción hídrica, mientras que el olivo alcanzó el 72%, concluyendo que las especies estudiadas tienen distintos niveles de adaptación a condiciones de sequía. Esta tesis es relevante para el presente estudio porque proporciona estrategias de optimización del uso del agua en zonas áridas.

Ortiz realizó un estudio en el año 2020. El título de su trabajo es "Eficiencias en el sistema de riego Tumbaco, Ecuador". Lo hizo en Ecuador. Lo que quería saber es cómo se utilizaba el agua de manera eficiente en el sistema de riego de Tumbaco. Para esto, estudió 15 canales de distribución.

La forma en que lo hizo fue midiendo el caudal de agua que entraba y salía de los canales principales y secundarios.

En resumen, la manera en que se hizo el estudio permitirá saber con precisión cómo funciona el sistema de conducción Paucho Rumi Cocha. También servirá de base para hacer estudios similares en el futuro. Esto asegurará que los resultados sean válidos, confiables y útiles, lo que ayudará a mejorar las cosas.

Los resultados revelaron una eficiencia de conducción del 78.82%, distribución del 37.95% y una eficiencia global del 47.86%, evidenciando pérdidas significativas por filtraciones y falta de mantenimiento. Esta tesis concluye que es necesario implementar tecnologías de riego tecnificado para optimizar el uso del agua y mejorar la sostenibilidad agrícola.

Jiménez (2021) en su tesis titulada "Impacto de la modernización de sistemas de riego en la eficiencia del uso del agua en cultivos de arroz en el departamento del Meta", en Colombia, planteó como objetivo evaluar la eficiencia hídrica antes y después de implementar riego por aspersión en cultivos de arroz, trabajando con una muestra de 20 parcelas agrícolas. La metodología utilizó análisis comparativo de caudal, consumo y rendimiento del cultivo. Los resultados indicaron que el riego por aspersión redujo el consumo de agua en un 40% y aumentó la productividad del arroz en un 15%, concluyendo que la modernización de los sistemas de riego es clave para la sostenibilidad hídrica en zonas agrícolas. Esta tesis es relevante porque resalta cómo la innovación tecnológica puede mejorar la eficiencia en el uso del agua.

Carvalho (2022) en su tesis titulada "Avaliação da eficiência de sistemas de irrigação por gotejamento em culturas de hortaliças no estado de São Paulo", en Brasil, evaluó la eficiencia de sistemas de riego por goteo en cultivos de lechuga y tomate, con una muestra de 25 sistemas instalados en pequeñas propiedades agrícolas. La metodología consistió en medir el volumen de agua aplicado, uniformidad de riego y rendimiento del cultivo. Los resultados mostraron que el 80% de los sistemas evaluados presentaron una eficiencia superior al 90%, reduciendo el consumo de agua en un 30% y aumentando la productividad en un 20%. Esta tesis concluye que el riego por goteo es una solución eficiente para optimizar recursos hídricos en cultivos de alto consumo de agua.

Rojas (2023) en su tesis titulada "Análisis de la eficiencia hidráulica en sistemas de riego tecnificado en cultivos de soja en Santa Cruz de la Sierra", en Bolivia, planteó

como objetivo identificar los factores que afectan la eficiencia en la conducción de agua en sistemas de riego tecnificado, utilizando una muestra de 10 sistemas implementados en cultivos de soja. La metodología incluyó mediciones de caudal, presión y uniformidad del riego. Los resultados indicaron que la eficiencia promedio fue del 85%, con una reducción del 35% en el consumo de agua respecto a sistemas tradicionales, concluyendo que la tecnificación del riego es fundamental para mejorar la productividad agrícola en el contexto de sequías prolongadas. Esta tesis es relevante porque proporciona un marco técnico aplicable a sistemas de riego en zonas agrícolas extensivas.

3.1.2 A nivel nacional

Rojas (2023) en su tesis titulada "Eficiencia hidráulica de un sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc – Bambamarca", en Perú, evaluó un sistema de riego en 0.84 hectáreas mediante una bomba de ariete multigolpe que transportaba agua desde una fuente superficial a 2.5 km de distancia. El sistema logró una eficiencia hidráulica del 37.23%, elevando agua a 3.5 metros con un caudal constante de 10 litros/minuto y reduciendo el uso de energía convencional, ya que operaba únicamente con fuerza hidráulica. La investigación también analizó el impacto económico del sistema, evidenciando una disminución del 25% en los costos operativos del riego en comparación con métodos tradicionales. El autor concluyó que esta tecnología es económica, sostenible y adecuada para comunidades rurales con recursos limitados, especialmente en regiones con topografía accidentada y fuentes de agua cercanas. Esta tesis es relevante porque demuestra cómo una tecnología de bajo costo puede mejorar significativamente la eficiencia hídrica en zonas rurales, reduciendo las pérdidas y maximizando la disponibilidad del recurso hídrico.

Asalde (2021) en su tesis titulada "Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque", en Perú, diseñó un canal de 3.085 km

aplicando simulaciones en el software HEC-RAS, considerando parámetros de escorrentía, velocidad de flujo y pendientes del terreno. El canal diseñado logró una eficiencia hidráulica del 95%, reduciendo las pérdidas por infiltración y evaporación en un 20% y aumentando la capacidad de conducción en un 15%. Adicionalmente, el análisis de costos identificó un ahorro del 18% en comparación con diseños convencionales debido a la optimización de materiales y dimensiones. El autor también evaluó el impacto ambiental del proyecto, reduciendo el riesgo de erosión en las áreas colindantes al canal. Concluyó que el uso de herramientas computacionales como HEC-RAS no solo optimiza los diseños hidráulicos, sino que también reduce costos y tiempo de ejecución. Esta tesis es relevante para proyectos que buscan aplicar tecnologías modernas en el diseño de infraestructura hidráulica eficiente en regiones agrícolas.

Galvez, en su tesis de 2020, diseñó un sistema hidropónico en Perú. El sistema era para una hectárea de hortalizas como lechuga y tomate.

El sistema tenía sensores de humedad y nutrientes. Esto permitía un monitoreo constante del riego. El resultado fue una reducción del 50% en el consumo de agua. Esto significó un ahorro de 180 metros cúbicos de agua al mes. La productividad agrícola aumentó un 10%. Los rendimientos alcanzaron 25 kg/m². El sistema también evitó la pérdida de nutrientes. Minimizó la lixiviación y ayudó al medio ambiente.

Gálvez concluyó que la agricultura hidropónica es eficiente en el uso del agua. También produce cultivos de alta calidad en zonas con poca agua.

Esta tesis es relevante porque ofrece una solución innovadora y sostenible para optimizar el uso del agua en áreas áridas y agrícolas.

Sernaque (2021) en su tesis titulada "Diseño de un sistema de riego por goteo para optimizar el uso del recurso hídrico en el sector agrícola de la provincia de Zarumilla", en Perú, diseñó e implementó un sistema de riego por goteo en 1.2 hectáreas dedicadas al cultivo de plátanos y maíz. El sistema logró disminuir el consumo de agua en un 40%, lo que significó un ahorro de 250 metros cúbicos de agua por hectárea al

mes, y aumentó la productividad en un 20%, logrando cosechas de hasta 9 toneladas por hectárea en el caso del maíz. Además, se incorporaron válvulas reguladoras de presión y filtros que garantizaron una distribución uniforme del agua, reduciendo las pérdidas por filtración y evaporación. El autor concluyó que el riego por goteo mejora la eficiencia hídrica y es una solución adecuada para enfrentar las limitaciones de disponibilidad de agua durante las épocas de sequía. Esta tesis es relevante porque brinda una metodología práctica para implementar sistemas modernos de riego en áreas agrícolas.

García (2021) en su tesis titulada "Actualización de infraestructura hidráulica para optimizar servicios de irrigación aplicando sistemas de información geográfica en el subsector hidráulico Margen Izquierda del Río Tumbes, 2023", en Perú, realizó un diagnóstico integral de la infraestructura hidráulica en 15 hectáreas utilizando herramientas SIG para diseñar un sistema actualizado. El nuevo diseño mejoró la eficiencia en la distribución de agua en un 35%, logrando reducir las pérdidas por filtración en un 22% y las pérdidas por evaporación en un 15%. También permitió aumentar la cobertura del riego en un 10%, beneficiando a más de 50 parcelas agrícolas. El autor concluyó que el uso de herramientas SIG es esencial para gestionar y actualizar la infraestructura de riego de manera precisa y económica, mejorando la sostenibilidad del recurso hídrico. Esta tesis es relevante porque muestra cómo la tecnología moderna puede optimizar los sistemas de riego en regiones agrícolas.

3.1.3 A nivel regional y local

Muñoz (2022) en su tesis titulada "Eficiencia hidráulica en el sistema de agua potable en la localidad de Umaccata - Abancay - Apurímac 2020", en Apurímac, planteó como objetivo determinar la eficiencia hidráulica del sistema de agua potable, evaluando aspectos técnicos y operativos, habiéndose trabajado con una muestra de 10 tramos principales del sistema de conducción. La metodología consistió en análisis hidráulico, evaluando caudales y pérdidas de presión a lo largo de la red, combinando inspección en campo y simulación en software hidráulico. Los resultados mostraron que el sistema

presentó una eficiencia promedio del 72.28%, con pérdidas significativas en conexiones domiciliarias y puntos críticos de fugas. El autor concluye que es necesario implementar medidas de mejora en infraestructura y mantenimiento para alcanzar una eficiencia superior al 85%. Esta tesis es relevante para el presente estudio porque ofrece un enfoque práctico para evaluar y optimizar sistemas de conducción en áreas rurales de Apurímac.

Pinto (2020) en su tesis titulada "Comportamiento hidráulico en línea de conducción con tuberías convencionales en zonas de topografía agreste, Circa, Apurímac, 2020", en Apurímac, analizó el comportamiento hidráulico de líneas de conducción en áreas con pendiente pronunciada, evaluando diferentes materiales y diámetros de tuberías, con una muestra de 15 kilómetros de red instalada. La metodología incluyó mediciones in situ y modelación en software hidráulico para determinar el impacto del caudal y la presión en cada tramo. Los resultados indicaron que las tuberías de polietileno de alta densidad reducen las pérdidas de energía en un 25% respecto a las de PVC convencional, manteniendo caudales constantes en zonas de alta pendiente. El autor concluye que la elección de materiales y diámetros adecuados es clave para mejorar la eficiencia en zonas montañosas. Esta tesis es relevante para el presente estudio porque brinda un análisis técnico aplicable al diseño de sistemas de conducción en terrenos accidentados de Apurímac.

Yáñez (2020) en su tesis titulada "Diseño del sistema de captación, conducción y distribución de agua para uso agrícola en el canal de derivación Nanchoc, Provincia de Nanchoc", en Apurímac, planteó como objetivo diseñar un sistema integral de riego eficiente para uso agrícola, trabajando con una muestra de 25 agricultores locales. La metodología incluyó levantamientos topográficos, análisis de caudales y simulaciones hidráulicas para optimizar la conducción y distribución. Los resultados mostraron que el sistema diseñado aumentó la eficiencia de distribución en un 35%, logrando reducir pérdidas por infiltración en un 20% mediante la implementación de geomembranas en los canales principales. El autor concluye que un diseño adecuado de obras hidráulicas

puede mejorar significativamente la productividad agrícola en comunidades rurales. Esta tesis es relevante para el presente estudio porque demuestra cómo un diseño eficiente puede optimizar el uso del recurso hídrico en áreas agrícolas de Apurímac.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Canales

Los canales son estructuras hidráulicas diseñadas como conductos abiertos o cerrados que permiten el transporte de agua utilizando la acción de la gravedad como fuerza motriz. En los canales abiertos, el líquido fluye con una superficie libre expuesta al aire, lo que implica que el movimiento del agua depende de la presión atmosférica y su peso específico. Este tipo de flujo, denominado flujo a superficie libre, no requiere presión adicional para su desplazamiento, ya que el gradiente hidráulico se genera por la inclinación del canal y la interacción de las fuerzas gravitacionales. (Villón, B., 2008).

3.2.2 Tipos de revestimiento de canales

El enlucido de hormigón y la albañilería de piedra son opciones que satisfacen la mayoría de las necesidades estructurales en sistemas de conducción, mientras que el revestimiento con rocas o piedras resulta altamente efectivo para prevenir la erosión en las superficies expuestas. En construcciones temporales, como puentes, canales o secciones específicas de estos, se utilizan materiales como madera o láminas de hierro, a menudo en combinación con cilindros. Por otro lado, los tramos de canales cubiertos u obstruidos suelen emplear tuberías cilíndricas para garantizar su funcionalidad. Según García (2008), existen diversos tipos de revestimientos que se emplean dependiendo del objetivo y las condiciones estructurales del canal.

a) Concreto vaciado insitu

Se Este tipo de revestimiento se utiliza cuando los taludes del canal Paucho Rumi Cocha tienen una relación (H/V) de 1:1 o mayor inclinación. En estas condiciones, se emplea una mezcla semiseca que se vacía inicialmente en la base del canal y luego sobre los taludes, igualándose mediante un proceso de frotachado. Utilizando una proporción de mezcla de 1:2:4, se logran resultados óptimos con

espesores que varían entre 7 y 12 cm, dependiendo del diseño y dimensionamiento del canal. Una de las principales ventajas de este sistema es que no requiere encofrado, siempre y cuando la sección del canal haya sido cuidadosamente perfilada para garantizar la uniformidad del espesor del concreto. Además, es imprescindible incluir juntas de dilatación cada 3 a 6 metros, las cuales deben rellenarse con material asfáltico para asegurar la durabilidad del revestimiento y prevenir fisuras o deformaciones en el canal. Este método resulta altamente efectivo para optimizar la conducción hídrica en el sistema de riego Paucho Rumi Cocha, cumpliendo con los requisitos hidráulicos e estructurales. (García, E., 2008).

b) Canal con losas prefabricadas

En el caso del canal Paucho Rumi Cocha, cuando se requiere estabilizar taludes más verticales, se pueden emplear lasas prefabricadas de concreto de 5 cm de espesor para los laterales o taludes del canal. Para la base o fondo del canal, se utiliza un relleno de concreto vaciado in situ con un espesor de 10 cm. Además, se colocan bermas de concreto de 20 cm de ancho y 10 cm de espesor, diseñadas para proporcionar mayor estabilidad a las prefabricadas. El vaciado y las lasas prefabricadas se realizan utilizando una mezcla de concreto en proporción 1:2:4, que requiere aproximadamente 7.2 bolsas de cemento por metro cúbico. Las lasas, con dimensiones estándar de 0.6 mx 0.8 m y un peso aproximado de 60 kg, se fabrican fuera del lugar de la obra y son transportadas al sitio mediante volquetes. Estas dimensiones permiten que lasas puedan ser manejadas manualmente por dos personas y colocadas en posición vertical o inclinada, dependiendo de los requisitos estructurales del canal. Las juntas entre las losas se sellan con un mortero en proporción 1:4 para garantizar una conexión y estabilidad adecuadas. Al igual que en el caso de revestimientos convencionales, se incorporan juntas de dilatación cada 3 a 6 metros, las cuales deben rellenarse con material asfáltico para absorber movimientos y prevenir daños estructurales. Este sistema permite alcanzar un revestimiento estable, duradero y eficiente, optimizando el flujo de agua en el sistema de conducción del canal Paucho Rumi Cocha. (García, E., 2008)

c) Canal con mampostería de piedra

El revestimiento con piedra es una técnica usada en el canal Paucho Rumi Cocha. Se utiliza cuando hay muchas rocas en la zona y no se necesita un canal complejo. Este método usa piedras limpias y libres de materia orgánica. Las piedras se unen con una mezcla de cemento y arena en una proporción de 1 parte de cemento por 4 partes de arena. Se recomienda un grosor mínimo de 20 centímetros para que el revestimiento sea estable y duradero. A veces, se busca una solución más fuerte. Para eso, se usan bloques grandes de piedra. Estos bloques son funcionales y también muy bonitos. El grosor de las piedras puede variar entre 5 y 10 centímetros. Esto depende del diseño y de las necesidades de agua. La pendiente mínima recomendada para el canal es de 1 a 4. Esto asegura que el agua fluya de manera constante y eficiente. Una ventaja de este método es que no se necesitan moldes. Esto reduce los costos y el tiempo de construcción. Se aprovechan alrededor del 70% de las piedras que hay en la zona. Por eso, es una técnica económica y sostenible. Para construir los muros del canal, se usa una proporción específica de cemento. Se usan 2.75 bolsas de cemento por metro cúbico de construcción. Esto asegura que las piedras estén bien compactadas. Así, se aumenta la resistencia y la estabilidad de la estructura. Este sistema de revestimiento es funcional y se adapta al entorno natural. Ofrece una solución eficiente para mejorar la conducción del agua en el canal Paucho Rumi Cocha. Esto es clave para las actividades agrícolas del distrito de Uranmarca.

d) Concreto ciclópeo con 30 a 60% de piedras

El revestimiento con concreto ciclista, que incorpora entre un 30% y 60% de piedras, es una técnica efectiva para mejorar la estructura del canal Paucho Rumi Cocha. Este método requiere el uso de encofrados, comenzando con el vaciado del piso y posteriormente las paredes del canal. En el caso de canales rectangulares, ambos lados del muro se encofran, mientras que en algunos canales trapezoidales, el encofrado externo puede ser reemplazado por la forma natural de la caja del canal.

Este sistema es tanto adecuado para canales trapezoidales como rectangulares, y se emplea una mezcla de concreto en proporción 1:2:4 con un consumo de 3 a 5 bolsas de cemento por metro cúbico, dependiendo de la cantidad de piedras introducidas en la mezcla. El espesor recomendado para este tipo de revestimiento es de 0,15 metros. En canales rectangulares, el espesor debe diseñarse considerando la estabilidad de los muros, la capacidad del canal para resistir la presión del agua y el empuje lateral en condiciones de operación sin flujo de agua. El concreto ciclista proporciona una estructura robusta y duradera, especialmente en tramos del canal donde se requiere mayor resistencia frente a la presión hidráulica y las fuerzas laterales. Este método, además de optimizar los recursos locales mediante el uso de piedras, mejora significativamente la estabilidad y durabilidad del sistema de conducción, contribuyendo a la eficiencia hidráulica del canal Paucho Rumi Cocha y al desarrollo agrícola del distrito de Uranmarca.

3.2.3 Elección del tipo de revestimiento y proceso constructivo

La elección del revestimiento para el canal Paucho Rumi Cocha se basa en criterios técnicos que garantizan eficiencia hidráulica, durabilidad estructural y adaptabilidad al entorno. En zonas con abundancia de piedras, la mampostería es una opción adecuada debido a su economía y capacidad de adaptación al terreno. Para taludes inclinados, el vaciado de concreto in situ es ideal, ya que permite un recubrimiento uniforme sin necesidad de encofrados complejos. En canales rectangulares, el concreto ciclista con encofrado es la mejor alternativa, proporcionando resistencia frente a presiones hidráulicas internas y empujes laterales externos. El proceso constructivo incluye la preparación y compactación adecuada del terreno, garantizando adherencia y estabilidad del revestimiento. Se recomienda una mezcla de concreto 1:2:4, con espesores mínimos de 0.15 m y juntas de dilatación cada 3 a 6 metros, utilizando sellos asfálticos. Este enfoque técnico asegura la funcionalidad del canal, optimizando el uso del recurso hídrico.

3.2.4 Canales de revestimiento de concreto simple

Para los tramos del canal Paucho Rumi Cocha que requieran revestimiento de concreto simple, se aplicará una capa de concreto con una resistencia de 175 kg/cm^2 , cubriendo tanto el suelo como los costados del conducto. Este revestimiento debe mantener un espesor uniforme y un acabado pulido, adaptándose a la geometría y dimensiones del canal. La pendiente recomendada para este tipo de canales es de 1:5 (una parte vertical por cinco partes horizontales), aunque para canales que transportan hasta $2 \text{ m}^3/\text{s}$, se recomienda un talud de 1:1, debido a las mayores exigencias de estabilidad lateral y resistencia estructural. El diseño del talud debe considerar las características mecánicas del terreno, ya que estas determinan la estabilidad final del revestimiento. En este proceso, es fundamental compactar adecuadamente las superficies antes de aplicar el concreto, asegurando su adherencia y uniformidad. Además, el concreto debe resistir tanto la presión hidráulica del agua como las fuerzas laterales ejercidas por el terreno circundante, especialmente en zonas con altas pendientes o materiales menos estables. Este método asegura un revestimiento duradero y eficiente, optimizando la conducción del recurso hídrico y garantizando el rendimiento hidráulico del canal, esencial para las actividades agrícolas en el distrito de Uranmarca. (Segura, J., 1993).

3.2.5 Ventajas Que Ofrece El Revestimiento De Canales

El revestimiento de canales reduce significativamente las pérdidas por infiltración, mejora la estabilidad estructural y aumenta la capacidad de transporte del agua gracias a la menor rugosidad del material. Además, disminuye los costos de mantenimiento, previene la erosión y facilita una distribución más eficiente del recurso hídrico, optimizando su uso en sistemas agrícolas como el del canal Paucho Rumi Cocha.

3.2.5.1 Prevención de la erosión

La erosión en canales sin protección es un fenómeno común causado por la acumulación de materiales externos y variaciones en la velocidad del flujo,

especialmente en suelos granulares con baja cohesión, donde el terreno se desintegra fácilmente. Esto genera cambios en las dimensiones del canal, afectando tanto su anchura como su longitud.

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha actúa como una barrera protectora que permite que el agua fluya a mayor velocidad, reduciendo la interacción directa del agua con el suelo y minimizando la erosión. Además, el revestimiento facilita la construcción de curvas horizontales más cerradas y taludes más inclinados en comparación con los canales sin recubrimiento, lo que permite optimizar el diseño con secciones y longitudes más compactas.

De esta manera, el revestimiento no solo previene la degradación del canal, sino que también mejora su eficiencia hidráulica y su durabilidad, asegurando un flujo controlado y estable en el sistema de riego del distrito de Uranmarca. (FACM, 2009)

3.2.5.2 Imposibilidad de roturas

En los canales que no tienen protección, pueden ocurrir rupturas debido a la erosión, la interferencia de la vegetación, la acumulación de sedimentos, la actividad de animales excavadores u otros factores. Estos problemas pueden causar daños graves a las cosechas, las vías de comunicación e incluso a las localidades cercanas.

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha reduce significativamente estos riesgos. Proporciona una barrera resistente que impide la formación de grietas o su expansión en caso de que ocurran. El material de recubrimiento actúa como una protección contra la erosión, evitando que los daños empeoren y asegurando la estabilidad del canal.

De esta manera, el revestimiento no solo mejora la seguridad estructural, sino que también garantiza la continuidad del suministro de agua. Reduce la vulnerabilidad de las actividades agrícolas y protege a las comunidades cercanas de desastres potenciales.

3.2.5.3 Eliminación de vegetación

En los canales sin revestimiento, es común que crezca vegetación en las laderas y el lecho. Esto incluye pastos, hierbas, arbustos y árboles en los bordes. Esta vegetación

impacta negativamente en el funcionamiento del canal. Reduce el flujo de agua disponible porque las plantas consumen agua y disminuyen la velocidad del agua. Esto promueve la acumulación de sedimentos y reduce el tamaño efectivo del canal.

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha elimina estos problemas. Impide el desarrollo de vegetación en su superficie. Al evitar el crecimiento de plantas en el lecho y las paredes del canal, se garantiza un flujo constante y eficiente del agua. Se disminuyen las pérdidas por consumo vegetal y sedimentación. Esto contribuye a optimizar la conducción hídrica y asegura la capacidad del canal para satisfacer las necesidades agrícolas de manera sostenible.

Además, al eliminar la vegetación, se reduce el mantenimiento requerido para limpiar el canal, lo que implica una menor inversión de tiempo y recursos para garantizar su operatividad. (FACM, 2009).

3.2.5.4 Aumento de la capacidad del canal

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha permite un incremento significativo en su capacidad hidráulica al prevenir la erosión y facilitar un flujo de agua más rápido en comparación con los canales sin revestimiento. En canales de tierra, las velocidades máximas suelen oscilar entre 0,50 y 1 m/s, dependiendo de la profundidad del agua y la composición del suelo, lo que limita su capacidad de transporte. En cambio, los canales revestidos pueden soportar velocidades mucho mayores sin comprometer su estabilidad estructural ni la eficiencia del flujo. Este aumento en la velocidad del flujo permite transportar un mayor volumen de agua a través de la misma sección transversal, optimizando la conducción hídrica y asegurando que se satisfagan las necesidades agrícolas del distrito de Uranmarca. Además, al reducir la pérdida de agua y el impacto de la sedimentación, el revestimiento contribuye a mantener la capacidad operativa del canal a largo plazo, con menores costos de mantenimiento. El diseño y revestimiento adecuado del canal Paucho Rumi Cocha no solo mejoran su rendimiento hidráulico, sino

que también garantizan un uso más eficiente y sostenible del recurso hídrico, clave para las actividades agrícolas de la región. (FACM, 2009)

3.2.5.5 Disminución de los costos de mantenimiento

Los canales sin revestimiento requieren un mantenimiento constante para garantizar su funcionalidad. Este incluye la eliminación de vegetación, el sellado de grietas, la corrección de la geometría del canal, el bloqueo de túneles y la remoción de animales excavadores. Estas tareas, si no se realizan regularmente, pueden derivar en problemas significativos que afectan la eficiencia hidráulica y la estabilidad estructural del canal. En contraste, los canales revestidos, como el canal Paucho Rumi Cocha, prácticamente eliminan estos problemas, reduciendo las necesidades de mantenimiento. Esto se traduce en menores costos operativos y una mayor durabilidad de la infraestructura a largo plazo. Aunque el costo inicial del revestimiento puede ser elevado, en muchas circunstancias, el ahorro en mantenimiento a lo largo de los años compensa esta inversión inicial, e incluso puede igualar el costo de aplicar la capa de concreto. El revestimiento del canal no solo garantiza una mayor eficiencia hidráulica y funcionalidad, sino que también resulta más rentable a largo plazo, disminuyendo la carga económica para los usuarios y contribuyendo al desarrollo sostenible del sistema de riego en el distrito de Uranmarca. (FACM, 2009)

3.2.5.6 Reducción de los costos de riego

L El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha no solo mejora la eficiencia hidráulica, sino que también contribuye significativamente a la reducción de los costos asociados al riego. Los canales revestidos permiten una automatización más efectiva en la distribución del agua, lo que disminuye hasta en un 75% la necesidad de mano de obra en comparación con los canales sin recubrimiento.

Este proceso automatizado no solo reduce los costos laborales, sino que también optimiza el tiempo requerido para la operación del riego. Esto resulta crucial

para garantizar que el agua llegue a los cultivos en el momento oportuno, maximizando la productividad agrícola.

En conjunto, la reducción en la demanda de trabajadores y la eficiencia en el uso del tiempo hacen del revestimiento una solución económica a largo plazo, fortaleciendo el sistema de riego del distrito de Uranmarca y beneficiando directamente a los agricultores locales. (FACM, 2009).

3.2.5.7 Protección de la salud pública

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha desempeña un papel importante en la protección de la salud pública al reducir significativamente la filtración y la formación de charcos en el entorno del canal. Estas condiciones, comunes en canales sin revestimiento, favorecen el crecimiento de malas hierbas y crean hábitats ideales para la reproducción de mosquitos, vectores de enfermedades como el dengue y la malaria. Al eliminar estas áreas de acumulación de agua estancada, los canales revestidos contribuyen a un ambiente más saludable para las comunidades circundantes, disminuyendo el riesgo de enfermedades transmitidas por insectos. De esta forma, el revestimiento no solo mejora la eficiencia hidráulica y la sostenibilidad del sistema de riego, sino que también promueve el bienestar y la calidad de vida de los habitantes del distrito de Uranmarca. (FACM, 2009).

3.2.5.8 Acortamiento del trazado por las mayores pendientes admisibles

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha con concreto, debido a su alta resistencia al desgaste, permite manejar velocidades de flujo significativamente superiores a las de los canales sin revestimiento. Esto ofrece la ventaja de reducir la longitud total del canal en áreas con topografía accidentada, ya que se pueden diseñar pendientes longitudinales más pronunciadas y curvas horizontales con radios más pequeños. Esta capacidad de adaptación no solo optimiza el trazado del canal, sino que también disminuye los costos asociados a la construcción y mantenimiento al requerir menos infraestructura para cubrir distancias más cortas. Además, el flujo más rápido y

controlado garantiza una mayor eficiencia en la conducción del agua, asegurando su disponibilidad oportuna para las actividades agrícolas del distrito de Uranmarca. (FACM, 2009).

3.2.6 Condiciones Que Deben Cumplir Los Revestimientos De Canales

El revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha debe ser impermeable para minimizar las pérdidas por infiltración, estructuralmente sólido para resistir la presión hidráulica y las fuerzas externas, y altamente resistente al desgaste causado por el flujo del agua. Además, debe garantizar un rendimiento hidráulico óptimo al reducir la rugosidad, y ser económicamente accesible, asegurando una solución sostenible y duradera. (FACM, 2009).

3.2.6.1 Velocidad Mínima

Para evitar la sedimentación de partículas en el agua, el diseño del revestimiento del canal Paucho Rumi Cocha debe garantizar una velocidad mínima del flujo entre 0,4 y 1,0 m/s. Esta velocidad es fundamental para mantener el flujo libre de obstrucciones, asegurando una conducción eficiente del recurso hídrico hacia las áreas agrícolas. (Valverde, J., 2007).

3.2.6.2 Velocidad Máxima

En el diseño del canal Paucho Rumi Cocha, la velocidad máxima se alcanza cuando se utiliza una sección óptima o de área mínima, donde el caudal (Q) constante dividido por el área mínima (A_{min}) genera la velocidad máxima (V_{max}). Para canales revestidos, se recomienda una velocidad de 1,5 a 3 m/s en tramos rectos. No obstante, en tramos curvos o zonas con compuertas y partidosres, la velocidad debe reducirse a aproximadamente 1 m/s para garantizar la estabilidad y seguridad del flujo. (Valverde, J., 2007).

3.2.6.3 Velocidad Superficial

La velocidad superficial del flujo se refiere a la rapidez con la que un objeto flotante se mueve sobre la superficie del agua. Para calcularla, se divide la distancia recorrida por

el tiempo empleado. Esta medición ayuda a estimar la velocidad promedio del flujo en el canal y a garantizar su eficiencia hidráulica.

3.2.6.4 Velocidad Media

La velocidad media del flujo se estima entre el 75% y el 90% de la velocidad máxima. En corrientes rápidas y profundas, esta velocidad es más alta. Por lo general, se utiliza la fórmula $V_m = 0.85V_s$, donde V_s es la velocidad superficial. Para determinar el caudal total, se divide la sección transversal en áreas parciales y se calcula el caudal como la suma de los productos de las velocidades medias y sus áreas respectivas.

3.2.6.5 Taludes

Los taludes se refieren a la pendiente de los muros laterales del canal. La configuración trapezoidal es la más común, ya que se adapta de manera eficiente al terreno excavado. Este diseño asegura estabilidad estructural y optimiza el flujo hidráulico.

3.2.6.6 Borde Libre

El borde libre es la altura vertical adicional que se incorpora al diseño del canal para evitar posibles aumentos en el nivel del agua debido a eventos inusuales. Este margen de seguridad protege al canal contra desbordes. La composición del suelo es un factor crucial, ya que un colapso en suelos arenosos puede generar consecuencias graves.

3.2.6.7 Eficiencia de Conducción

La eficiencia de conducción se refiere a la conexión entre la cantidad de agua requerida por la planta y la cantidad suministrada. Para calcularla, se utiliza la siguiente ecuación:

V_p : volumen de agua entregado a nivel de parcela

V_t : volumen total derivado de la fuente de abastecimiento

En proyectos modernos de riego, es esencial garantizar el transporte eficiente del agua hasta la bocatoma y diseñar un sistema de distribución dentro de las parcelas que maximice la eficacia del riego.

Las pérdidas en un canal pueden clasificarse en cuatro categorías principales:

- * Pérdidas por evaporación: suelen ser insignificantes.
- * Pérdidas por fugas: se originan debido a deficiencias en las estructuras del canal.
- * Errores operativos: generan pérdidas significativas en el sistema.
- * Pérdidas por infiltración: constituyen la principal causa de pérdida de agua en los canales de riego.

Para calcular las pérdidas por infiltración, existen diversos métodos, incluyendo enfoques directos, analíticos y empíricos. Algunos de estos métodos son:

- * Método del estanque: consiste en aislar una sección del canal, llenarla con agua y monitorear la disminución del nivel con el tiempo.
- * Método de la diferencia de caudales o de entradas y salidas: se basa en medir el caudal en dos puntos específicos de un segmento del canal.
- * Métodos analíticos y empíricos: se basan en fórmulas experimentales y representaciones visuales creadas a partir de datos recopilados previamente sobre pérdidas por infiltración.

Sin embargo, una forma práctica de calcular las pérdidas de conducción es usando la siguiente ecuación:

$$QT = Q (\text{pérdidas}) + Q (\text{servicios})$$

La cantidad de “servicios” se puede encontrar mirando la lista de solicitudes de riego.

Pero no sabemos cuánto valen las pérdidas.

Entonces, tenemos tres opciones para calcular Q (pérdidas):

* Puede ser mayor de lo que realmente es.

* Puede ser menor de lo que realmente es.

* O puede ser igual a lo que realmente es.

Según Valverde, J. (2007).

3.2.6.3 Medición de la eficiencia de conducción

Las pérdidas de agua por infiltración pueden medirse directamente o calcularse mediante métodos analíticos y empíricos. Estas pérdidas suelen expresarse en términos de caudal de infiltración por kilómetro del canal ($\text{metro}^3/\text{s}/\text{metro}^3/\text{km}$ / seg / km) o como volumen diario por metro cuadrado de sección transversal ($\text{metro}^3/\text{metro}^2/\text{día} / \text{m}^2/\text{día}$). Este enfoque permite comparar el agua filtrada respecto al flujo total del canal en cada tramo, expresado como un porcentaje por kilómetro.

Según Grassi (2001), la infiltración puede clasificarse en dos tipos principales:

- **Infiltración libre:** Ocurre cuando el nivel freático y su capa capilar son lo suficientemente profundas para no interferir con el agua que ingresa desde el canal. En este caso, las pérdidas de agua son mayores y dependen de las características del suelo y del flujo en el canal

Infiltración restringida: Se presenta cuando el nivel del agua subterránea está cerca de la superficie, limitando la infiltración debido a la menor diferencia de niveles entre el agua del canal y la del subsuelo.

La medición de la eficiencia de conducción requiere identificar y cuantificar estas pérdidas, que están directamente relacionadas con las condiciones hidrodinámicas del flujo de filtración y con las características físicas del canal y del terreno circundante. Esta información es fundamental para implementar mejoras que optimicen el rendimiento hidráulico y reduzcan las pérdidas en sistemas de riego. (Grassi, 2001)

3.2.6.4 Deformaciones: grietas, roturas y fisuras

- a) **Grietas:** Se refiere a fisuras incontroladas que atraviesan completamente la superficie de un material, comprometiendo su estructura y funcionalidad.
- b) **fisuras:** Son aperturas superficiales no intencionales que afectan únicamente la capa externa o el acabado superficial del material, sin comprometer su integridad estructural.

3.2.6.5 Daños en canales:

A) Obstrucciones en canales

Descripción del daño

Presencia de materiales u obstrucciones que dificultan o bloquean parcialmente el flujo adecuado del agua a través de canales y zanjas de drenaje.

Posibles causas del deterioro

- En las áreas adyacentes, la acción erosiva provoca el desplome de rocas, desechos, tierra, arbustos y otros elementos en la parte acuática de los canales. El elevado contenido de sedimentos en el agua que fluye provoca la acumulación progresiva de sedimentos en el lecho de las construcciones.
- **Sedimentación:** El alto contenido de sedimentos en el agua en movimiento provoca su depósito progresivo en el lecho del canal, reduciendo la capacidad hidráulica y afectando su funcionamiento.
- La falta de dominio sobre los objetos arrojados por las personas

Nivel de severidad

- **Leve:** Se refiere a obstrucciones que no bloquean completamente la sección del canal y afectan menos del 10% de su longitud total, causando un impacto mínimo en la capacidad de flujo.
- **Moderado:** Obstrucciones que, aunque no bloquean por completo la sección del canal, afectan hasta un 30% de su longitud total, generando un impacto considerable en la capacidad de flujo y la eficiencia del sistema
- **Medición:** Se va a calcular la longitud total del canal que está obstruido en metros. También se estimará el volumen del material que causa la obstrucción en metros cúbicos. Esto permitirá saber cuánto afectan las obstrucciones a la capacidad del sistema.

B) Agrietamiento en canales

Descripción del daño

Presencia de grietas y fisuras a lo largo de diferentes tramos del trazado de los canales, las cuales comprometen la integridad estructural y el rendimiento hidráulico del sistema.

Movimientos del suelo que provocan sobre esfuerzos en los materiales de los canales

- Erosión progresiva en las áreas circundantes
- Sobrecarga estructural debido a movimientos del terreno o presión hidráulica.
- Contracciones y expansiones térmicas en el material del canal.
- Deficiencias en el mantenimiento o envejecimiento de los materiales constructivos.

Nivel de severidad

- **Leve:** En la parte inferior del canal se identifican grietas selladas y algunas abiertas, con una separación inferior a 3 mm. Estas fisuras no representan un riesgo estructural significativo, pero pueden requerir monitoreo y mantenimiento preventivo.
- Se presentan varias grietas en la zona media del canal, algunas selladas y otras abiertas, con separaciones entre 3 y 5 mm. Aunque estas no comprometen la estructura de drenaje, podrían afectar su eficiencia si no se corrigen oportunamente.
- **Severo:** Presencia de grietas prominentes o múltiples fisuras abiertas con separaciones superiores a 5 mm, lo que representa un riesgo significativo para la integridad estructural del sistema de drenaje y podría comprometer su funcionamiento si no se reparan de manera inmediata.

Medición

- La magnitud del daño se evaluará midiendo la longitud total del canal afectado en metros lineales (mmm), lo que permitirá cuantificar la extensión del área comprometida para planificar las acciones correctivas necesarias.

Intervención recomendada

- **Canales de concreto:** Para niveles de severidad bajos y medios, se recomienda utilizar selladores epóxicos o bituminosos para cerrar las grietas y fisuras, garantizando la impermeabilidad y la protección estructural.
- **Canales de tierra:** En estos casos, las grietas y fisuras deben rellenarse con arcilla compactada o una mezcla de suelo-cemento, lo que proporciona estabilidad y reduce las pérdidas por infiltración.
- En casos de alta severidad, es fundamental identificar y analizar la causa raíz del daño con la asistencia de un especialista en geotecnia, quien

determinará las acciones correctivas necesarias antes de realizar la restauración definitiva del canal. Mientras se solucionan las causas del problema, se recomienda llevar a cabo una reconstrucción temporal integral que garantice la funcionalidad del conducto de manera provisional.

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

No experimental: La manipulación de una variable no experimental, verificada por el software HEC RAS. y por el método de Benedetti-Petrini, para determinar los resultados positivos o negativos del objeto de estudio, de modo o porque la causa produce paz, es el tema de esta investigación no experimental cuantitativa., (2014, p.11). El orden es riguroso, pero podemos redefinir algunas fases; cada etapa precede a la siguiente; no podemos saltar o eludir pasos.” (Hernández Sampieri, y otros, 2014 pág. 4).

4.1.2 Nivel o alcance de investigación

Es del tipo descriptivo: El primer paso es obtener datos del canal de Paucho Rumi Cocha y luego analizarlos, lo cual se basa principalmente en la observación en su contexto actual. La eficacia del canal de Paucho Rumi Cocha en la captación, conducción y distribución fue determinada (Hernández, 2019).

4.1.3 Diseño de investigación

No experimental: Sampieri (2003), El diseño no experimental se divide según la cantidad de tiempo que pasó durante la recolección de datos, como La variable independiente (causa) se manipula y la variable dependiente (efecto) se mide en el diseño transversal, que recopila datos en un solo momento, en un solo tiempo, con el fin de describir las variables y su relación entre sí.

4.2 Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Ámbito temporal

En el año 2024, se hizo un estudio que duró todo el año. Este estudio abarcó la temporada de lluvias y la temporada seca. De esta manera, se pudo evaluar el comportamiento del agua en el canal Paucho Rumi Cocha en diferentes condiciones climáticas. Esto fue muy importante para encontrar los lugares donde el sistema no funcionaba bien.

Durante el año, se tomaron muchas medidas y se hicieron análisis. Esto dio una idea clara de cómo funciona el sistema de riego en diferentes situaciones. Con esta información, se pudieron hacer sugerencias para mejorar el sistema y hacerlo más eficiente.

Espacial

El estudio se llevó a cabo en el distrito de Uranmarca, en la provincia de Chincheros, departamento de Apurímac, Perú.

La zona de investigación cuenta con el canal Paucho Rumi Cocha. Este canal es muy importante para la agricultura local porque trae agua para regar los campos.

Los investigadores revisaron todo el canal, desde donde empieza hasta donde llega el agua a los campos de cultivo. De esta manera, pudieron ver cómo funciona el agua en diferentes partes del canal.

Tuvieron en cuenta las montañas y otros detalles del lugar, así como la manera en que está hecho el canal.

Quisieron asegurarse de que lo que encontraron sea útil para los agricultores de la zona.

4.3 Población y muestra

Población

La población, también conocida como universo, abarca todos los casos que cumplen con ciertas características específicas (HERNÁNDEZ SAMPIERI, et al., 2014,

p. 174). El grupo de individuos que se analizará está conformado por el entramado hidráulico del canal de riego en el distrito de Uranmarca.

Muestra

De acuerdo con Hernández Sampieri y sus colegas (2014), una muestra se define como un grupo más pequeño que refleja de manera fiel al conjunto total o población de la cual se recopilan los datos. Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras intencionales, emplean un enfoque de selección basado en las particularidades del estudio en lugar de un criterio estadístico genérico. (Sampieri et al., 2014, página 189).

La muestra utilizada en este estudio pertenece al Canal principal del sistema hidráulico del canal de riego en la comunidad de Culluni Izquierdo.

Muestreo

Puede ser premeditado o subjetivo. Según Arias (2012), la elección de la muestra se fundamenta en criterios (tanto de inclusión como de exclusión) o en la apreciación del investigador. De esta manera, se aplicarán los estándares de admisión y rechazo para escoger la muestra. (Arias, 2012)

En este estudio se considerarán las siguientes distancias: sistema de conducción Paucho Rumi Cocha tramo 02+100 al 02+600.

4.4 Instrumentos

Esta investigación, hace necesario la recolección de datos, y que para efecto utilizaran como instrumento de recolección de información, ficha de observación y los protocolos de ensayos debidamente sustentado en base a los indicadores que evidenciaran los resultados. Las fichas de recolección de información de protocolos,

4.5 Procedimientos

A. Levantamiento de información preliminar:

- Recolección de datos históricos sobre el canal Paucho Rumi Cocha, su construcción, mantenimiento y su rendimiento en las temporadas de riego.

- Identificación de puntos críticos del canal para el estudio.

B. Mediciones de caudal:

- Uso de caudalímetros portátiles para medir el flujo de agua en distintos tramos del canal en diferentes épocas (lluvia y sequía).
- Registro mensual de caudales en puntos de entrada, media y salida del canal.

C. Inspección de infraestructura:

- Inspección visual y registro en fichas técnicas del estado estructural del canal (grietas, obstrucciones, desgaste).
- Identificación y documentación de problemas que afectan la eficiencia hidráulica.

D. Levantamiento topográfico:

- Uso una estación total topcom ES 105 para realizar un levantamiento detallado del canal y su entorno.
- Análisis del perfil longitudinal y transversal para identificar pendientes, estancamientos y zonas de riesgo.

E. Simulación computacional:

- Modelado del comportamiento hidráulico del canal usando software
- Simulación de escenarios con diferentes caudales y condiciones climáticas para prever su rendimiento futuro.

F. Análisis de resultados:

- Comparación de los datos de campo con los resultados de las simulaciones.
- Identificación de puntos críticos de mejora y formulación de recomendaciones para optimizar la eficiencia del canal.

4.6 Análisis de datos

Para analizar los datos, se utilizó un método estadístico. Se hizo un análisis descriptivo para comprobar la hipótesis y evaluar la relación entre las variables de flujo de infiltración y los deslizamientos de taludes. Se usó una hoja de cálculo para presentar los resultados y los gráficos de líneas y barras. Se utilizó Microsoft Excel y SPSS para comprobar las hipótesis.

4.7 Consideraciones éticas

Se consideraron varios criterios para garantizar la calidad ética de la investigación. Se aseguró que la investigación respetara las normas y que los resultados fueran validados por un laboratorio certificado. El objetivo era asegurar que la investigación fuera de calidad y beneficiara a la sociedad.

V. Resultados y discusión

5.1 Introducción

En este capítulo, se presentan y analizan los resultados de la investigación sobre el impacto de la rugosidad en la eficiencia de conducción del canal de concreto Paucho Rumi Cocha. El estudio se realizó en la comunidad de Culluni Izquierdo, en el distrito de Uranmarca, provincia de Chincheros, región Apurímac. El objetivo principal fue determinar la rugosidad real del canal después de su construcción y compararla con la rugosidad recomendada. También se evaluó cómo las variaciones en la rugosidad afectan la eficiencia de conducción del canal.

El análisis de la rugosidad recomendada y la rugosidad observada permite identificar posibles deficiencias que podrían afectar la eficiencia de conducción del canal. Esto es importante para tomar decisiones que optimicen las condiciones operativas del canal. La investigación no solo contribuye al conocimiento técnico en hidráulica, sino que

también tiene un impacto directo en la calidad de vida de la población local. Al evaluar las condiciones reales durante la fase operativa, se busca anticipar y mitigar problemas que podrían comprometer el adecuado funcionamiento del canal.

5.2 Resultados

5.2.1 Estudios preliminares

5.2.1.1 Caracterización hidrometeorológica de la zona

La caracterización hidrometeorológica es importante en la etapa de diseño de los canales. Proporciona información detallada sobre las condiciones climáticas e hidrológicas que afectan el comportamiento del agua dentro del canal. Se incluyen parámetros como las precipitaciones, la temperatura y la humedad. En este estudio, se utilizó la estación meteorológica Tancayllo - Uranmarca, operada por SENAMHI. Esto asegura que las condiciones meteorológicas locales sean representadas de manera precisa y realista. La estación meteorológica seleccionada es la estación de Tancayllo, ubicada en el distrito de Uranmarca, provincia de Chincheros, región Apurímac.

Tabla 2.

Estación meteorológica

Estación: TANCAYLLO				
Departamento:	APURIMAC	Provincia:	CHINCHEROS	Distrito: URANMARCA
Latitud:	13°38'6.8"	Longitud:	73°41'24.2"	Altitud: 3311 msnm.
Tipo:	EMA - Meteorológica		Código:	113246

Nota SENAMHI

Tabla 3.

Registro de temperatura °C

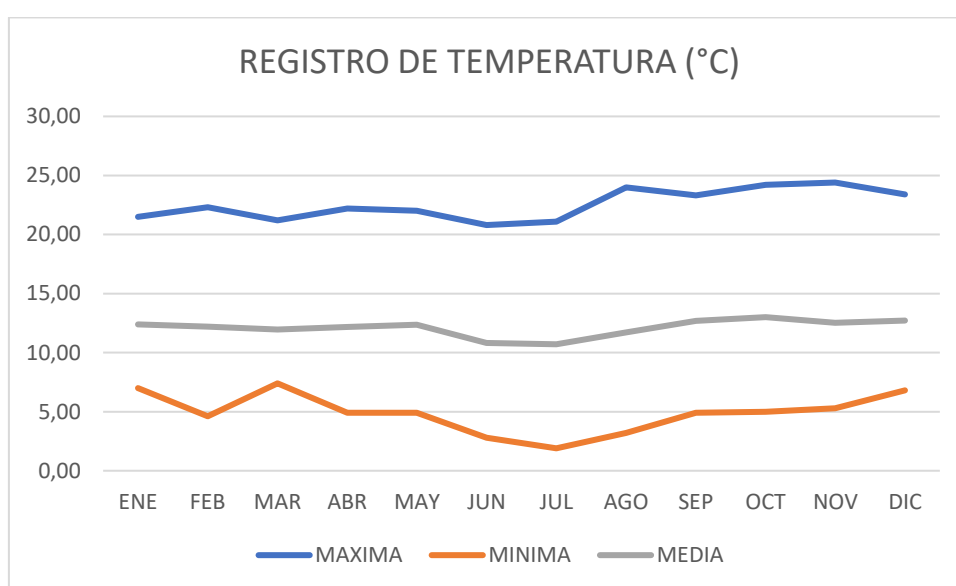
REGISTRO DE TEMPERATURA (°C)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MAXIMA	21.50	22.30	21.20	22.20	22.00	20.80	21.10	24.00	23.30	24.20	24.40	23.40	24.40
MINIMA	7.00	4.60	7.40	4.90	4.90	2.80	1.90	3.20	4.90	5.00	5.30	6.80	1.90
MEDIA	12.38	12.20	11.97	12.18	12.37	10.83	10.71	11.72	12.69	13.00	12.51	12.72	12.11

Nota SENAMHI

Nota. Según la información presentada, la temperatura máxima registrada corresponde al mes de noviembre, con un valor de 24.40 °C, mientras que la temperatura mínima se observó en el mes de julio, con 1.90 °C. Las tablas completas proporcionadas por el SENAMHI se encuentran en los anexos, y la tabla actual es un extracto de dichas fuentes.

Figura 1.

Registro de temperatura °C



Nota. Elaboración propia

4.7.1.1 Caracterización del canal

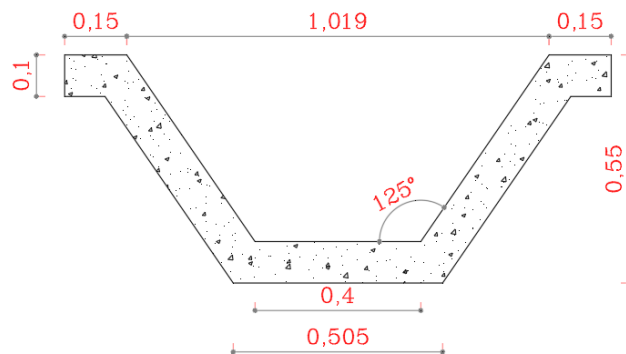
El canal, tiene una antigüedad de tres años y una longitud total de 6,180 metros, está construido con concreto simple y tubería PVC perfilado. Su recorrido inicia en la quebrada del río Quishuar Chaca y finaliza en el canal de riego de Rebelde Huayrana. Fue ejecutado por el Gobierno Regional de Apurímac, a través de la unidad ejecutora ProDesarrollo. El canal se extiende desde la bocatoma Paucho Rumi, en el kilómetro 0+000, hasta el kilómetro 1+860, donde finaliza un tramo con tubería perfilada de 400 mm. A partir de este punto, la estructura se transforma en un canal de concreto con sección trapezoidal tipo I, que se mantiene hasta el kilómetro 4+340. Posteriormente, el

canal pasa a una sección trapezoidal tipo II, que se extiende hasta el kilómetro 6+180.

En el kilómetro 5+620, se ubica un reservorio con capacidad de 100 m³.

Figura 2.

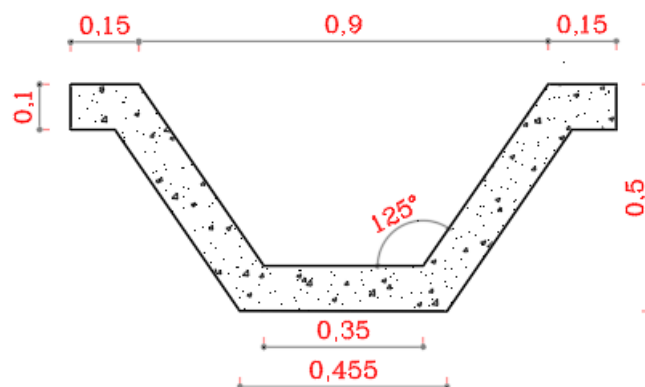
Sección trapezoidal tipo I



Nota. Elaboración propia

Figura 3.

Sección trapezoidal tipo II



Nota. Elaboración propia

El estudio se llevó a cabo en el tramo del canal de concreto con sección trapezoidal tipo I, comprendido entre los kilómetros 02+000 y 02+600, donde se determinó una pendiente de 0.0013 m/m. Para este análisis, se utilizó un nivel topográfico calibrado, seleccionándose dicho tramo debido a que se encontraba libre de vegetación, en óptimas condiciones estructurales y sin factores que pudieran afectar la

precisión de los resultados, tales como pérdidas por infiltración, compuertas metálicas deterioradas u otros factores que pudieran influir en el caudal. Estas condiciones aseguraron la fiabilidad y exactitud de los datos obtenidos durante el estudio.

4.7.1.2 Aforo de caudal

Para el aforo de los caudales se determinó dos puntos, el km 02+000 y el km 02+600, para ambos puntos el método de aforo se determinó mediante el método del vertedero, el cual preparado previamente, a continuación, se detalla el proceso de aforado

4.7.2 Método del Vertedero

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

1. **Colocación del vertedero:** Se instaló un vertedero rectangular fabricado en plancha de acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor, instalado en la progresiva designada previamente para la medición del caudal. Para proporcionar una instalación hermética, el vertedero se instaló con una mezcla de cemento y yeso, sellando todas las uniones con el canal y evitando cualquier filtración que pudiera afectar la medición.
2. **Medición de la altura del agua:** La medida se tomó perpendicularmente desde la superficie libre del agua hasta el vértice de la cresta del vertedero.
3. **Aplicación de la fórmula para el vertedero rectangular:** Con los valores obtenidos, se aplicó la fórmula para el cálculo de caudal en un vertedero rectangular, que es:

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

donde:

- Q: caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s),.

- C: coeficiente de descarga, un factor adimensional que depende de la geometría y las condiciones particulares del vertedero. Este coeficiente se deriva de

- L: longitud de cresta del vertedero (mts).
- H: altura del agua sobre la cresta del vertedero (mts).

Cálculo de caudal

El aforo de los caudales se llevó a cabo los días lunes 04, martes 05, miércoles 06 y jueves 07 de noviembre del presente año. Una vez instalado el vertedero, se procedió con las mediciones, realizando tres mediciones diarias durante los días de aforo. Cabe señalar que las mediciones se efectuaron en los kilómetros 02+000 y 02+600. Para el cálculo del caudal, se utilizó la fórmula correspondiente a los vertederos de pared delgada (sección rectangular). A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Fórmula para vertederos de pared delgada (sección rectangular)

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

Q: caudal que fluye por el vertedero

Cd: coeficiente de gasto

b: ancho de la parte superior

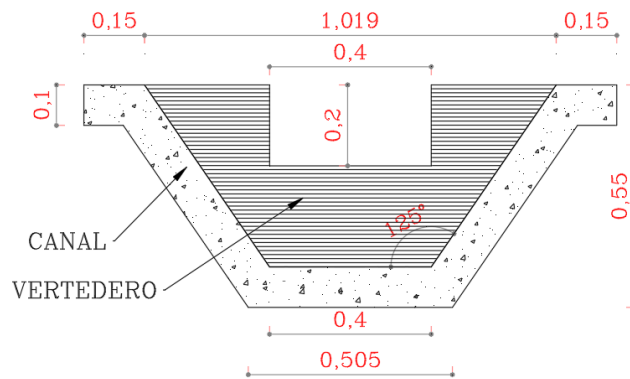
h: carga sobre el vertedero

Cd = 0.60

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

Figura 4.

Sección del vertedero



Nota. Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas en el canal. Estas mediciones se efectuaron utilizando un vertedero de pared delgada.

El vertedero fue diseñado específicamente para medir caudales en secciones rectangulares. Las mediciones se llevaron a cabo en dos puntos críticos del canal.

Estos puntos están ubicados en los kilómetros 02+000 y 02+600. Durante los días establecidos, se realizaron tres mediciones diarias. Los días de medición fueron lunes

04, martes 05, miércoles 06 y jueves 07 de noviembre. Estos procedimientos permitieron obtener datos precisos. Los datos se utilizaron para calcular los caudales. Estos cálculos

se analizaron bajo condiciones controladas. El objetivo fue garantizar la exactitud de las mediciones y la fiabilidad de los resultados. Los datos obtenidos se utilizaron para

evaluar el comportamiento hidráulico del canal. Esto se hizo con el fin de determinar su capacidad de conducción. También se buscó identificar posibles ajustes necesarios.

El objetivo final fue mejorar la eficiencia operativa del canal.

Tabla 4.

Registro del caudal aforado día 04.11.2024

Datos	Unidad	N° de aforos		
		1	2	3
1. Caudal aforado km 02+000				
Base del vertedero	m	0.40	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40	0.40
Datos	Unidad	N° de aforos		
		1	2	3
Carga hidráulica (h)	m	0.29	0.27	0.29

Coeficiente de gasto (Cd)		0.70	0.69	0.70
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.127	0.116	0.127
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.124	
Caudal promedio (Q)	l/s		123.563	

2. Caudal aforado km 02+600

Base del vertedero	m	0.40	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.28	0.27	0.28
Coeficiente de gasto (Cd)		0.70	0.69	0.70
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.123	0.112	0.123
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.120	
Caudal promedio (Q)	l/s		119.582	

Nota Elaboración propia el caudal promedio registrado en el kilómetro 02+000 es de 0.124 m³/s, mientras que en el kilómetro 02+600 se obtuvo un caudal promedio de 0.120 m³/s.

Tabla 5.

Registro del caudal aforado día 05.11.2024

Datos	Unidad	N° de aforos		
		1	2	3
1. Caudal aforado km 02+000				
Base del vertedero	m	0.40	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.25	0.24	0.24
Coeficiente de gasto (Cd)		0.69	0.68	0.68
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.103	0.094	0.094
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.097	
Caudal promedio (Q)	l/s		96.590	
2. Caudal aforado km 02+600				
Base del vertedero	m	0.40	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.25	0.23	0.23
Coeficiente de gasto (Cd)		0.69	0.68	0.68
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.099	0.091	0.091
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.094	
Caudal promedio (Q)	l/s		93.508	

Nota. el caudal promedio registrado en el kilómetro 02+000 es de 0.097 m³/s, mientras que en el kilómetro 02+600 se obtuvo un caudal promedio de 0.094 m³/s.

Tabla 6.*Registro del caudal aforado día 06.11.2024*

Datos	Unidad	N° de aforos		
		1	2	3
1. Caudal aforado km 02+000				
Base del vertedero	m	0.40	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.27	0.26	0.26
Coeficiente de gasto (Cd)		0.69	0.69	0.69
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.115	0.105	0.105
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.108	
Caudal promedio (Q)	l/s		107.937	
2. Caudal aforado km 02+600				
Base del vertedero	m	0.40	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.26	0.25	0.25
Coeficiente de gasto (Cd)		0.69	0.69	0.69
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.111	0.101	0.101
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.104	
Caudal promedio (Q)	l/s		104.478	

Nota. el caudal promedio registrado en el kilómetro 02+000 es de 0.108 m³/s, mientras que en el kilómetro 02+600 se obtuvo un caudal promedio de 0.104 m³/s.

Tabla 7.*Registro del caudal aforado día 07.11.2024*

Datos	Unidad	N° de aforos	
		2	3
1. Caudal aforado km 02+000			
Base del vertedero	m	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25
Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.20	0.20
Coeficiente de gasto (Cd)		0.67	0.67
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.073	0.073
Caudal promedio (Q)	m ³ /s		0.075
Caudal promedio (Q)	l/s		75.483
Datos	Unidad	N° de aforos	Datos
		2	3
2. Caudal aforado km 02+600			
Base del vertedero	m	0.40	0.40
Umbral del vertedero (w)	m	0.25	0.25

Ancho de la cresta (b)	m	0.40	0.40
Carga hidráulica (h)	m	0.20	0.20
Coefficiente de gasto (Cd)		0.67	0.67
Caudal calculado (Q)	m ³ /s	0.071	0.071
Caudal promedio (Q)	m ³ /s	0.073	
Caudal promedio (Q)	l/s	73.094	

Nota. el caudal promedio registrado en el kilómetro 02+000 es de 0.075 m³/s, mientras que en el kilómetro 02+600 se obtuvo un caudal promedio de 0.073 m³/s.

Tabla 8.

resumen de caudal aforado

N°	Fecha	Caudal (lit/seg)			Caudal (m ³ /seg)		
		km 02+000	km 02+600	Promedio	km 02+000	km 02+600	Promedio
1	04/11/2024	123.56	119.58	121.57	0.12	0.12	0.122
2	05/11/2024	96.59	93.51	95.05	0.10	0.09	0.095
3	06/11/2024	107.94	104.48	106.21	0.11	0.10	0.106
4	07/11/2024	75.48	73.09	74.29	0.08	0.07	0.074

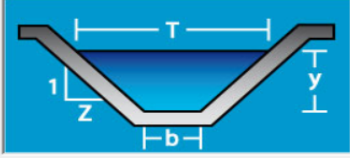




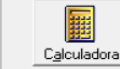
Nota. Elaboración propia

4.7.3 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, el caudal que se está considerando es el promedio de los caudales aforados en los puntos designados. Se aclara que para el cálculo de la rugosidad el software H canales utiliza la fórmula de Manning

Figura 5.

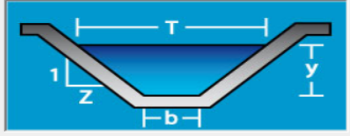



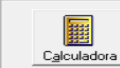
Cálculo de la rugosidad día 04.11.2024

Cálculo del ancho solera (b)	Cálculo de la pendiente (S)	Cálculo de la rugosidad (n)
Datos: Caudal (Q): <input type="text" value="0.122"/> m ³ /s Tirante (y): <input type="text" value="0.31"/> m Ancho de solera (b): <input type="text" value="0.40"/> m Talud (Z): <input type="text" value="0.688"/> Pendiente (S): <input type="text" value="0.0013"/> m/m		
		
Resultados: Rugosidad (n): <input type="text" value="0.0169"/> Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.1901"/> m ² Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.8266"/> m Número de Froude (F): <input type="text" value="0.4272"/> Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>		
Perímetro (p): <input type="text" value="1.1526"/> m Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1650"/> m Velocidad (v): <input type="text" value="0.6417"/> m/s Energía específica (E): <input type="text" value="0.3310"/> m-Kg/Kg		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div> Calcular</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> <div> Calculadora</div> </div>		

Nota Software H canales V3.1 de la figura anterior se observa una rugosidad (n) de 0.0169

Figura 6.

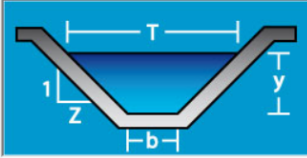




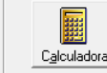
Cálculo de la rugosidad día 05.11.2024

Cálculo del ancho solera (b)	Cálculo de la pendiente (S)	Cálculo de la rugosidad (n)
Datos: Caudal (Q): <input type="text" value="0.095"/> m ³ /s Tirante (y): <input type="text" value="0.28"/> m Ancho de solera (b): <input type="text" value="0.40"/> m Talud (Z): <input type="text" value="0.688"/> Pendiente (S): <input type="text" value="0.0013"/> m/m		
		
Resultados: Rugosidad (n): <input type="text" value="0.0181"/> Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.1659"/> m ² Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.7853"/> m Número de Froude (F): <input type="text" value="0.3976"/> Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>		
Perímetro (p): <input type="text" value="1.0797"/> m Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1537"/> m Velocidad (v): <input type="text" value="0.5725"/> m/s Energía específica (E): <input type="text" value="0.2967"/> m-Kg/Kg		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div> Calcular</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> <div> Calculadora</div> </div>		

Nota. Software H canales V3.1. de la figura anterior se observa una rugosidad (n) de 0.0181

Figura 7.

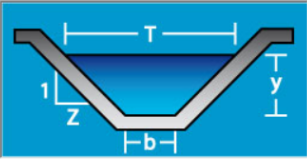
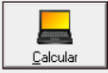




Cálculo de la rugosidad día 06.11.2024

Cálculo del ancho solera (b)	Cálculo de la pendiente (S)	Cálculo de la rugosidad (n)
Datos:		
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.106"/> m ³ /s	
Tirante (y):	<input type="text" value="0.29"/> m	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.40"/> m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0.688"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0013"/> m/m	
Resultados:		
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0172"/>	Perímetro (p): <input type="text" value="1.1040"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1739"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1575"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.7990"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="0.6097"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4173"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.3089"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div> Calcular</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> <div> Calculadora</div> </div>		

Nota Software H canales V3.1 de la figura anterior se observa una rugosidad (n) de 0.0172

Figura 8.

Cálculo de la rugosidad día 07.11.2024

Cálculo del ancho solera (b)	Cálculo de la pendiente (S)	Cálculo de la rugosidad (n)
Datos:		
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.074"/> m ³ /s	
Tirante (y):	<input type="text" value="0.24"/> m	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.40"/> m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0.688"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0013"/> m/m	
Resultados:		
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.0176"/>	Perímetro (p): <input type="text" value="0.9826"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1356"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1380"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.7302"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="0.5456"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.4042"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.2552"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div> Calcular</div> <div> Limpiar Pantalla</div> <div> Imprimir</div> <div> Menú Principal</div> <div> Calculadora</div> </div>		

Nota. Software H canales V3.1 de la figura anterior se observa una rugosidad (n) de 0.0176

4.7.4 Presentación de los resultados:

Conforme se detalló anteriormente, se determinó el coeficiente de rugosidad para los diferentes días en que se realizó el aforo. A continuación, se presenta el coeficiente de rugosidad propuesto por varios autores, así como el coeficiente de rugosidad determinado en el presente estudio

Tabla 9.

Coeficiente de Rugosidad (n) para concreto según diferentes autores

Autor	Condición	Valor de n para Concreto	Referencias
Chow (1959)	Concreto sin acabado o rugoso	0.015 - 0.022	Chow, V.T. (1959). <i>Open-Channel Hydraulics</i> . McGraw-Hill.
	Concreto pulido	0.013 - 0.015	
USDA (1971)	Concreto rugoso	0.017 - 0.020	USDA (1971). <i>Soil Conservation Service Engineering Field Manual</i> . United States Department of Agriculture.
	Concreto con acabado liso	0.013 - 0.015	
Linsley et al. (1977)	Concreto sin tratar o rugoso	0.015 - 0.017	Linsley, R.K., Kohler, M.A., & Paulhus, J.L. (1977). <i>Hydrology for Engineers</i> . McGraw-Hill.
	Concreto pulido o con revestimiento	0.013 - 0.016	
Hager (2005)	Concreto rugoso o texturizado	0.014 - 0.017	Hager, W.H. (2005). <i>Hydraulic Resistance of Concrete Channels</i> . Springer.
	Concreto muy pulido o con recubrimiento liso	0.012 - 0.015	
Brater & King (1976)	Concreto rugoso	0.014 - 0.018	Brater, E.F. & King, H.W. (1976). <i>Handbook of Hydraulics</i> . McGraw-Hill.
	Concreto pulido	0.013 - 0.015	
Mays (2001)	Concreto rugoso	0.015 - 0.018	Mays, L.W. (2001). <i>Hydraulic Design Handbook</i> . McGraw-Hill.
	Concreto con superficie lisa o recubierta	0.014 - 0.016	
Serrano et al. (1994)	Concreto sin acabado o rugoso	0.015 - 0.017	Serrano, J.L., et al. (1994). <i>Hidráulica de Canales</i> . Editorial Limusa.
	Concreto pulido	0.014 - 0.016	
Terzaghi (1943)	Concreto rugoso o envejecido	0.016 - 0.018	Terzaghi, K. (1943). <i>Theoretical Soil Mechanics</i> . Wiley.
	Concreto liso o pulido	0.012 - 0.014	

Nota. Durante la etapa de diseño en gabinete para canales revestidos con concreto, 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 10.

Coeficiente de Rugosidad (n) para concreto calculado

Días	Coeficiente n recomendado	Coeficiente n calculado	Eficiencia (n_{rec} / n_{cal})
04.11.2024	0.014	0.0169	82.84%
05.11.2024	0.014	0.0181	77.35%
06.11.2024	0.014	0.0172	81.40%
07.11.2024	0.014	0.0176	79.55%
Promedio	0.014	0.0175	80.00%

Nota. el coeficiente de rugosidad (n) calculado tiene un valor promedio de 0.0175

y el coeficiente recomendado durante la etapa de diseño es 0.014

A continuación, se calculará el caudal utilizando dos valores del coeficiente de rugosidad de Manning (n). El primero corresponde al valor promedio calculado, que es 0.0175, y el segundo corresponde al valor recomendado para el diseño en gabinete, que es 0.014. Para este cálculo, se tomará un tirante máximo estimado, el cual se obtiene de la diferencia entre la altura del canal (0.40 m) y el bordo libre (0.10 cm). Es importante aclarar que este tirante debe ser el máximo que el agua puede alcanzar antes de desbordarse. En este caso, el tirante máximo asumido será de 0.30 m. Con este tirante máximo, se procederá a calcular el caudal para ambas situaciones de rugosidad. Los demás parámetros, como la sección del canal y la pendiente, se mantendrán constantes, tal como se encuentran en el canal en estudio.

Tabla 11.

Parámetros calculados con el coeficiente de Manning calculado

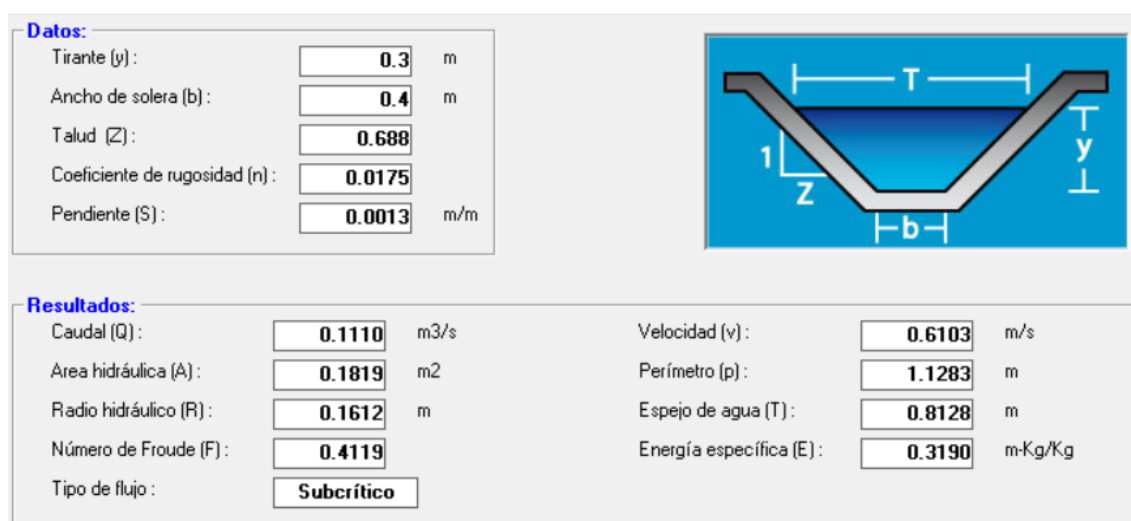
Días	Coeficiente Calculado (n)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
04.11.2024	0.0169	0.1150	0.6320
05.11.2024	0.0181	0.1074	0.5901
06.11.2024	0.0172	0.1130	0.6210
07.11.2024	0.0176	0.1104	0.6069
Promedio	0.0175	0.1110	0.6103

Nota Elaboración propia

Según lo indicado en la tabla, la velocidad mínima recomendada para los canales revestidos con concreto debe estar entre 0.30 y 0.60 m/s para asegurar un flujo eficiente, evitando la sedimentación y garantizando el adecuado funcionamiento del canal. Sin embargo, de acuerdo con los datos obtenidos en las tablas anteriores, se determinó una velocidad mínima promedio de 0.6103 m/s, lo que evidencia que este valor supera el rango recomendado, lo que podría implicar un flujo más rápido de lo deseado, sin riesgo de sedimentación, pero potencialmente afectando otros aspectos operativos del canal.

Figura 9.

Parámetros de coeficiente de rugosidad promedio calculado



Nota. H Canales se observa un caudal calculado de 0.1110 m³/s y una velocidad de 0.6103 m/s, ambos parámetros calculados con el coeficiente de 0.0175

Figura 10.

Parámetros de coeficiente de rugosidad recomendado

Datos:	
Tirante (y):	<input type="text" value="0.3"/> m
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.4"/> m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.688"/>
Coefficiente de rugosidad (n):	<input type="text" value="0.014"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.0013"/> m/m

Resultados:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1388"/> m ³ /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.7629"/> m/s
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1819"/> m ²	Perímetro (p):	<input type="text" value="1.1283"/> m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1612"/> m	Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.8128"/> m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.5149"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.3297"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		

Nota. se observa un caudal calculado de 0.1388 m³/s y una velocidad de 0.7629 m/s, ambos parámetros calculados con el coeficiente de 0.014

Tabla 12.

Velocidades mínimas recomendadas

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

Nota Elaboración propia

Nota. Según la tabla la velocidad mínima recomendada para los canales revestidos con concreto debe estar entre 0.30 y 0.60 m/s para asegurar un flujo eficiente, evitando la sedimentación y garantizando el funcionamiento del canal. En las tablas

anteriores se determinó una velocidad mínima promedio de 0.6103 m/s, evidenciando que el valor se encuentra por encima de lo recomendado.

4.8 Análisis de Resultados

Objetivo General:

La Eficiencia de la conducción del Canal de Paucho Rumi es del 80.00%, encontrándose por debajo de los valores recomendados que es del 90% a 95%.

Tabla 13.

Eficiencia de conducción del canal

Días	Coeficiente		Eficiencia (n_{rec} / n_{cal})
	$n_{recomendado}$	$n_{calculado}$	
04.11.2024	0.014	0.0169	82.84%
05.11.2024	0.014	0.0181	77.35%
06.11.2024	0.014	0.0172	81.40%
07.11.2024	0.014	0.0176	79.55%
Promedio	0.014	0.0175	80.00%

Nota Elaboración propia

Objetivos Específicos:

Para el cálculo del caudal de aforo, el coeficiente de rugosidad y las velocidades, se detallarán los días en los que se realizaron los aforos, así como los cálculos correspondientes de rugosidad y velocidad para cada jornada de medición, conforme se muestra en las tablas. Posteriormente, se calculará el promedio de estos valores. Cabe señalar que el procedimiento utilizado para estas mediciones ha sido descrito previamente, por lo que a continuación se procederá a presentar los resultados obtenidos.

Tabla 14.

Cálculo del caudal de aforo

N°	Fecha	Caudal (lit/seg)			Caudal (m ³ /seg)		
		km 02+000	km 02+600	Promedio	km 02+000	km 02+600	Promedio
1	04/11/2024	123.56	119.58	121.57	0.12	0.12	0.122

2	05/11/2024	96.59	93.51	95.05	0.10	0.09	0.095
3	06/11/2024	107.94	104.48	106.21	0.11	0.10	0.106
4	07/11/2024	75.48	73.09	74.29	0.08	0.07	0.074

Nota. Elaboración propia

Tabla 15.

cálculo del coeficiente de rugosidad

Días	Coeficiente n recomendado	Coeficiente n calculado	Eficiencia (n_{rec} / n_{cal})
04.11.2024	0.014	0.0169	82.84%
05.11.2024	0.014	0.0181	77.35%
06.11.2024	0.014	0.0172	81.40%
07.11.2024	0.014	0.0176	79.55%
Promedio	0.014	0.0175	80.00%

Nota. Elaboración propia

Para el cálculo de las velocidades se procedió a estructurar la tabla a partir de los cálculos efectuados en el software H canales

Tabla 16.

Cálculo de velocidades

Días	Coeficiente Calculado (n)	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
04.11.2024	0.0169	0.1150	0.6320
05.11.2024	0.0181	0.1074	0.5901
06.11.2024	0.0172	0.1130	0.6210
07.11.2024	0.0176	0.1104	0.6069
Promedio	0.0175	0.1110	0.6103

Nota. Elaboración propia

4.9 Implicaciones Prácticas

Con los objetivos alcanzados en el presente estudio, se ha observado que los diseños realizados en gabinete presentan discrepancias con la realidad una vez que los canales han sido construidos. Por lo tanto, sería conveniente estimar un coeficiente de rugosidad más ajustado, considerando un acabado más liso y trabajado durante la etapa de construcción de los canales de concreto. Para ello, es fundamental incorporar

controles de calidad durante la preparación del concreto, así como en las fases de vaciado y acabado de las estructuras.

Dado que estos controles deben estar programados dentro de las actividades específicas durante la ejecución del canal de concreto, resulta necesario que estén contemplados en el presupuesto de obra, que forma parte de los estudios previos en la formulación de los expedientes técnicos. Es importante recordar que en esta etapa también se lleva a cabo el diseño en gabinete del canal.

Además, las condiciones laborales varían significativamente en distintas zonas del país, por lo que se deben considerar medidas específicas en cuanto a procesos de mano de obra, rendimientos, materiales y condiciones climáticas durante la formulación del expediente técnico. Estas consideraciones son importantes para asegurar que la ejecución de los canales logre la eficiencia de conducción proyectada en la etapa de diseño en gabinete y para evitar deficiencias que puedan comprometer la inversión y la funcionalidad de los proyectos a largo plazo.

4.10 Limitaciones del Estudio

Para determinar los caudales en canales abiertos, se requieren métodos más precisos. Sin embargo, debido a que las técnicas avanzadas pueden ser costosas, en este estudio se optó por realizar el aforo de los caudales mediante métodos directos, como el método del vertedero. Este enfoque es adecuado.

Se recomienda utilizar equipos especializados, como el molinete hidráulico o el correntímetro, para obtener mediciones más precisas de la velocidad del flujo en el canal. Estos dispositivos permiten medir la velocidad de manera directa.

Existen métodos más avanzados, como el aforo automático, que utiliza tecnologías como radares y sensores para calcular directamente el caudal. Aunque estos equipos son costosos, su implementación podría proporcionar mayor precisión y eficiencia en el proceso de medición.

Su uso podría ser especialmente beneficioso en investigaciones de alta exigencia técnica, ya que podría mejorar la exactitud de los datos y la fiabilidad de los resultados obtenidos en el estudio. A pesar de su costo, su implementación podría ser justificable.

V. Conclusiones

objetivo general:

1. La eficiencia de conducción del canal alcanzó un valor del 80%, lo que está por debajo del valor recomendado de 95% para este tipo de infraestructura hidráulica. Este valor inferior está relacionado con varios factores, como irregularidades en la superficie del canal, la presencia de juntas de dilatación no optimizadas, o la sedimentación de materiales en el lecho del canal que reduce la capacidad de flujo.

Objetivos específicos:

Objetivo específico 1

El caudal aforado durante los cuatro días de medición muestra variaciones, ya que no presenta una constancia diaria, lo que está relacionado con variaciones en las condiciones operativas del canal como los cambios en la demanda

Caudales aforados

N°	Fecha	Caudal (m ³ /seg)		Promedio
		km 02+00 0	km 02+600	
1	04/11/2024	0.12	0.12	0.122
2	05/11/2024	0.10	0.09	0.095
3	06/11/2024	0.11	0.10	0.106
4	07/11/2024	0.08	0.07	0.074

Objetivo específico 2

El coeficiente de rugosidad calculado para el canal tiene un valor promedio de 0.0175, lo cual está por encima del valor recomendado de 0.014 para canales revestidos con concreto. Este valor indica que la rugosidad de la superficie del canal es mayor a la

esperada, lo que podría estar provocando una mayor resistencia al flujo del agua, afectando la eficiencia de conducción del canal.

Objetivo específico 3

La velocidad mínima alcanzada en el canal es de 0.6103 m/s, un valor que está ligeramente por encima del rango recomendado de 0.3 a 0.6 m/s para garantizar un flujo eficiente y evitar problemas relacionados con la sedimentación, o el diseño de la sección hidráulica que podría favorecer un flujo más rápido de lo necesario.

VI. Recomendaciones

El objetivo principal es mejorar la eficiencia del Canal de Concreto Paucho Rumi Cocha. Para lograr esto, es importante tener en cuenta la rugosidad de las superficies interiores del canal. La rugosidad puede disminuir la eficiencia del canal, por lo que es fundamental mejorar los acabados de las superficies interiores y optimizar las juntas de dilatación. Esto ayudará a reducir la rugosidad y aumentar la eficiencia del canal.

Es importante implementar sistemas de monitoreo continuo del flujo y programas de mantenimiento preventivo. También es fundamental capacitar a los beneficiarios en prácticas operativas y de conservación. De esta manera, se puede asegurar que la infraestructura funcione de manera óptima y sostenible a lo largo del tiempo.

Un objetivo específico 1 es implementar un sistema de monitoreo continuo del caudal a lo largo del canal. Esto permitirá detectar variaciones diarias y asociarlas con cambios en la demanda o condiciones operativas. Los datos recopilados se pueden utilizar en futuros estudios de diseño para mitigar fluctuaciones bruscas y optimizar la capacidad del canal.

Otro objetivo específico 2 es mejorar los acabados de concreto y rediseñar las juntas de dilatación. Es importante minimizar las irregularidades y la rugosidad superficial para reducir la resistencia al flujo y aumentar la eficiencia de conducción.

Finalmente, es importante ajustar la pendiente del canal para mantener velocidades de flujo adecuadas. Esto ayudará a optimizar el arrastre de sedimentos gruesos y evitar la sedimentación en el lecho del canal. También es fundamental integrar capacitación y mantenimiento preventivo para los operadores y beneficiarios, garantizando el manejo adecuado del sistema y prolongando la vida útil del canal.

VII. Referencias

Asalde Ysla, J. W. (2021). *Diseño del canal de riego con máxima eficiencia hidráulica mediante el software HEC-RAS del tramo km 0+000 al km 3+085 en el Distrito de Salas, región Lambayeque*. Universidad de San Martín de Porres.
<https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6942>

Carvalho da Silva, M. T. (2022). *Avaliação da eficiência de sistemas de irrigação por gotejamento em culturas de hortaliças no estado de São Paulo*. Universidade de São Paulo.
<https://repositorio.usp.br/handle/123456789>.

De Valverde, J.C. 2007. Riego y Drenaje 1ª edición, Costa Rica.

De Villón B.M. 2008, Hidráulica de canales, 2ª edición, Lima.

FACM (Fuente Asociación Canales de Maipo, Pirqué), 2009.

Galvez Cari, R. M. (2020). *Diseño hidráulico de un sistema hidropónico para optimizar la eficiencia de los recursos hídricos en la agricultura del distrito de La Yarada*

Los Palos, Tacna-2020. Universidad Privada de Tacna.
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1533>.

García Rojas, L. (2021). *Actualización de infraestructura hidráulica para optimizar servicios de irrigación aplicando sistemas de información geográfica en el subsector hidráulico Margen Izquierda del Río Tumbes, 2023*. Universidad Nacional de Tumbes.
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64972>.

Jiménez Fernández, C. A. (2021). *Impacto de la modernización de sistemas de riego en la eficiencia del uso del agua en cultivos de arroz en el departamento del Meta*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80127>.

KINZLI, K., MARTINEZ, OAD, R. , DAVID, A.P. 2010. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. *Agricultural Water Management*, Volume 97, (Issue 6), June 2010, Pages 801-810

Lux, M. 2010. *Medidores de flujo en canales abiertos*. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 138p.

México. Colegio de posgraduados Montecillo. 250p.

Muñoz Pérez, J. (2022). *Eficiencia hidráulica en el sistema de agua potable en la localidad de Umaccata - Abancay - Apurímac 2020*. Universidad Tecnológica de los Andes.
<https://repositorio.utea.edu.pe/items/d058f144-ba79-485f-88cd-5003bacfe4dc>.

Ortiz, R. S., & Carrillo, M. (2020). *Eficiencias en el sistema de riego Tumbaco, Ecuador*. Universidad Central del Ecuador.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8397283.pdf>.

Palacios, E. 2004. La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego.

Pinto Huamantica, J. N. (2020). *Comportamiento hidráulico en línea de conducción con tuberías convencionales en zonas de topografía agreste, Circa, Apurímac, 2020.*

Universidad César Vallejo.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_1cb0a264d0233b2aa3c1bb35aa30901c/Details.

RODRIGUEZ, T. Y VELGAS, M. 1989. Estudio de Revenimiento en la Zona de San Rafael. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan.

Rojas Menéndez, A. (2023). Análisis de la eficiencia hidráulica en sistemas de riego tecnificado en cultivos de soja en Santa Cruz de la Sierra. Universidad Mayor de San Andrés.

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

Segura J. 1993 trazo y revestimiento de canales, 1ª edición Lima

SEPASKHAH, A. R. y SALEMI, H. R., 2009. An empirical model for prediction of conveyance Efficiency for small earth canals. Technical note Oct 11, 2009 Dept. of Irrigation, Shiraz University, Shiraz, I. R. of Iran.

Sernaque Coronado, J. (2021). *Diseño de un sistema de riego por goteo para optimizar el uso del recurso hídrico en el sector agrícola de la provincia de Zarumilla.*

Universidad Nacional de Tumbes.

<https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64386>

Vásquez Rojas, Y. I. (2023). *Eficiencia hidráulica de un sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc – Bambamarca.* Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7434>

Vergara Lara, S. D. (2020). *Estudio de la conductancia hidráulica foliar en seis especies frutales cultivadas en zonas áridas y semiáridas del norte de Chile*. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/196253>.

VIVAS, J. Y POBLETE, M. 1986. Problemas de Revenición en el Departamento de San Rafael. Centro Regional de Aguas Subterráneas - San Juan

Yáñez Rojas, R. M. G. (2020). *Diseño del sistema de captación, conducción y distribución de agua para uso agrícola en el canal de derivación Nanchoc, Provincia de Nanchoc. Universidad César Vallejo.* https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/70432/Y%C3%A1%C3%B1ez_RM-G-SD.pdf?sequence=1.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes