

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa, mediante un sistema de un sifón invertido Ranracancha, Uripa, Chincheros – 2024

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Muñoz Durand, Andy

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil


Abancay-Apurímac-Perú

2026

Reporte de similitud

Andy Muñoz Durand

TESIS CON DEPOSITO

 Afianzamiento hidrico del sistema de riego Uripa, mediante un sistema de un sifon invertido Ranracancha, Uripa, Chincheros - 2024

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:588052025

Fecha de entrega

8 may 2026, 12:07 GMT-5

Fecha de descarga

8 may 2026, 12:14 GMT-5

Nombre del archivo

TESIS CON DEPOSITO.pdf

Tamaño del archivo

3.5 MB

159 páginas

37.859 palabras

212.962 caracteres




8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 3%  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.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Muñoz Durand, Andy
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	47976559
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-3826-6596
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	MSc. 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
Fuente de financiamiento	:	Propia
Porcentaje de similitud	:	8%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/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

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la salud, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar este trabajo de investigación.

A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y el esfuerzo constante que han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional.

A mis familiares y amigos, por su apoyo, comprensión y palabras de aliento en los momentos más desafiantes de este camino.

De manera especial, agradezco a mi asesor de tesis, por su guía, conocimientos y orientación técnica que fueron esenciales para el desarrollo de este estudio.

Asimismo, extiendo mi gratitud a las instituciones y personas que brindaron su colaboración durante la recolección de información y la ejecución del proyecto, haciendo posible la culminación de esta meta académica.

Resumen

La presente investigación titulada “Afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa, mediante un sistema de un sifón invertido Ranracancha, Uripa, Chincheros - 2024” aborda el grave problema de escasez de agua que afecta a las comunidades agrícolas del sector Ranracancha, en el distrito de Uripa. El contexto revela un déficit hídrico significativo que limita la cobertura de riego sobre las 70 hectáreas originalmente planificadas. El objetivo principal fue determinar en qué medida la implementación de un sifón invertido contribuye al afianzamiento hídrico del sistema. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con nivel descriptivo–correlacional, enfoque cuantitativo y diseño no experimental transversal; se utilizaron técnicas como aforos, análisis documental y levantamiento piezométrico, apoyados en instrumentos como molinete, piezómetro y pluviómetro. Entre los resultados obtenidos, se determinó que la oferta hídrica autorizada por la ANA fue de 64,290 m³, frente a una demanda de 473,638.48 m³, generando un déficit de -314,056.61 m³. Asimismo, se identificaron pérdidas superiores al 50% en el sistema de riego por gravedad, lo cual justifica la necesidad de modernización. En conclusión, la implementación del sifón invertido, acompañada de riego tecnificado y estrategias de almacenamiento, permitiría optimizar el uso del agua, mejorar la eficiencia del sistema y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en un contexto de creciente vulnerabilidad climática.

Palabras clave: Afianzamiento hídrico, Sifón invertido, Déficit hídrico, Riego tecnificado.

Abstract

The study was conducted in the Solar micro-basin in the Ranracancha sector (Uripa, Chincheros), where insufficient authorized supply (64,290 m³/year) compared to estimated demand (473,638 m³/year) generates a water deficit of -409,348 m³, threatening the viability of gravity irrigation. The main objective was to determine the extent to which the installation of an inverted siphon improves the water stability of the Uripa irrigation system. The methodology was applied, descriptive-explanatory, with a quantitative approach and a non-experimental-cross-sectional design. The population included the 12 monthly flow records of the micro-basin and the volumes authorized by the ANA, obtained through wind gauge gauging, piezometric survey, rainfall data download, and Excel calculations. Key results quantified a potential increase in hydraulic efficiency of up to 75% and a 60% reduction in the deficit by applying the siphon and reducing the irrigated area to 10.5 ha, with a positive surface water balance of 440 mm per year. It is concluded that the inverted siphon, combined with technical irrigation and complementary storage, strengthens water availability and efficient use.

Keywords: Water security enhancement, Inverted siphon, Water deficit, Technified irrigation.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Anexos	xvii
I. Introducción	18
II. Planteamiento del problema.....	20
2.1. Descripción y formulación del problema.....	20
2.1.1. Problema general	21
2.1.2. Problemas Específicos.....	21
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo General	22
2.2.2. Objetivos Específicos	22
2.3. Justificación e importancia	22

2.3.1.	Justificación.....	22
2.3.2.	Importancia	29
2.4.	Hipótesis	30
2.4.1.	Hipótesis General.....	30
2.4.2.	Hipótesis Específicas	30
2.5.	Variables	31
III.	Marco Teórico.....	33
3.1.	Antecedentes	33
3.1.1.	Antecedentes internacionales.....	33
3.1.2.	Antecedentes nacionales	35
3.1.3.	Antecedentes locales	37
3.2.	Bases teóricas.....	38
3.2.1.	Afianzamiento hídrico del sistema de riego	38
3.2.2.	Sistema de sifón invertido	52
3.3.	Definición de términos.....	70
IV.	Metodología	73
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	73
4.1.1.	Tipo de investigación.....	73
4.1.2.	Nivel de investigación.....	73
4.1.3.	Diseño de investigación.....	73
4.1.4.	Enfoque de investigación	74
4.2.	Ámbito temporal y espacial	74
4.2.1.	Ámbito temporal	74

4.2.2. Ámbito espacial.....	74
4.3. Población y muestra.....	75
4.3.1. Población	75
4.3.2. Muestra	75
4.4. Instrumentos	76
4.5. Procedimientos	77
4.6. Análisis de datos	78
4.7. Consideraciones éticas	79
V. Resultados y discusiones.....	80
5.1. Resultados	80
5.1.1. Área de estudio	80
5.1.2. Estudio hidrológico	82
5.1.3. Datos y parámetros evaluados	86
5.1.4. Resultados del estudio hidrológico	88
5.2. Cuantificación de la Oferta y Demanda Hídrica del Sistema de Riego Uripa	130
5.2.1. Oferta hídrica	130
5.2.2. 5.4.2. Demanda hídrica	131
5.3. Análisis del Balance Hídrico y Evaluación de la Eficiencia del Sistema de Riego	132
5.4. Estrategias de Mitigación del Déficit Hídrico.....	133
5.5. Discusión de Resultados.....	134
5.6. Limitaciones del Estudio.....	134

5.6.1. Cuantificación de la Oferta y Demanda Hídrica del Sistema de Riego Uripa	135
5.6.2. Análisis del Balance Hídrico y Evaluación de la Eficiencia del Sistema de Riego	138
5.6.3. Estrategias de Mitigación del Déficit Hídrico	139
5.7. Discusión	140
VI. Conclusiones.....	144
VII. Recomendaciones	146
VIII. Referencias.....	148
IX. Anexos.....	155

Índice de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de las variables	32
Tabla 2	Clasificación climática del área de aprovechamiento hídrico	83
Tabla 3	Zona de vida en el área de aprovechamiento hídrico	84
Tabla 4	Cobertura vegetal en el área de aprovechamiento hídrico	85
Tabla 5	Capacidad de uso de suelo en el área de aprovechamiento hídrico.....	85
Tabla 6	Red de estaciones evaluadas	86
Tabla 7	Parámetros morfométricos	88
Tabla 8	Grupo de estaciones de pluviometría homogénea	91
Tabla 9	Precipitación total anual del grupo.....	92
Tabla 10	Coefficiente de correlación entre series de precipitación	94
Tabla 11	Precipitación efectiva para cada microcuena en estudio	99
Tabla 12	Clasificación del SPI	100
Tabla 13	Duración, intensidad y severidad de las sequias en la microcuena Solar	101
Tabla 14	Duración, intensidad y severidad de las sequias en la microcuena Pujnacocha	102
Tabla 15	Duración, intensidad y severidad de las sequias en la microcuena Mamacocha	103
Tabla 16	Radiación solar extraterrestre en MJ m-2 d-1	106
Tabla 17	Características Generales del área de aprovechamiento hídrico	109
Tabla 18	Caudal medios mensuales para el año promedio para la microcuena Solar	110
Tabla 19	Constantes regionales para el método de Creager	114
Tabla 20	Caudal Máximo en la fuente de aprovechamiento hídrico según método Creager.....	115
Tabla 21	Coefficiente de Escurrimiento por microcuena	116

Tabla 22	Precipitación máxima y periodos de retorno en la Estación Andahuaylas	117
Tabla 23	Tormenta para diferentes duraciones y tiempo de retorno en la estación Andahuaylas.....	119
Tabla 24	Intensidades máximas en la estación Andahuaylas.....	119
Tabla 25	Caudal Máximo en la fuente de aprovechamiento hídrico según método Racional.....	121
Tabla 26	Balance hídrico superficial en la microcuenca Solar	121
Tabla 27	Demanda de Agua por Sectores de riego	122
Tabla 28	Demanda total de Agua por Sectores	124
Tabla 29	Oferta autorizada por el ANA.....	126
Tabla 30	Resumen balance de agua en situación con proyecto	128
Tabla 31	Oferta de Agua autorizado por el ANA.....	129
Tabla 32	Balance Hídrico Con oferta autorizado por el ANA	129
Tabla 33	Caudal medios mensuales para el año promedio para la microcuenca Solar	130
Tabla 34	Oferta autorizada por el ANA.....	131
Tabla 35	Demanda de Agua para el sistema de riego	132
Tabla 36	oferta de agua autorizada por la ANA y la demanda del proyecto.....	132
Tabla 37	Balance hídrico superficial en la microcuenca Solar	133
Tabla 38	Caudal medios mensuales para el año promedio para la microcuenca	136
Tabla 39	Oferta autorizada por el ANA.....	137
Tabla 40	Demanda de Agua para el sistema de riego	137
Tabla 41	Oferta, demanda y déficit de agua	138
Tabla 42	Balance hídrico superficial en la microcuenca Solar	139

Índice de Figuras

Figura 1	Ubicación geográfica del área de estudio.....	80
Figura 2	Ubicación geográfica del área de estudio.....	82
Figura 3	Cartas topográficas utilizadas en el estudio	86
Figura 4	Modelo de elevación del terreno	87
Figura 5	Series de precipitación mensual por estación	89
Figura 6	Diagrama de cajas de la precipitación mensual por estación	90
Figura 7	Índice del vector regional y de las estaciones del grupo pluviométrico	91
Figura 8	Doble masa acumulada del grupo pluviométrico	92
Figura 9	Comportamiento temporal de la precipitación por estación	94
Figura 10	Series de la temperatura mínima mensual por estación	95
Figura 11	Diagrama de cajas de la temperatura mínima mensual por estación	95
Figura 12	Series de la temperatura mínima mensual por estación	96
Figura 13	Diagrama de cajas de la temperatura máxima mensual por estación	97
Figura 14	Precipitación media por microcuenca	98
Figura 15	Series de SPI 3 para el periodo 1968-2015 en las microcuencas de interés.....	100
Figura 16	Temperatura media multimensual del periodo 2000-2015 en microcuenca Mamacocha.....	103
Figura 17	Temperatura media multimensual del periodo 2000-2015 en microcuenca Puncajocha.....	104
Figura 18	Temperatura media multimensual del periodo 2000-2015 en microcuenca Solar.....	104

Figura 19	Evapotranspiración de referencia media multimensual periodo 2010-2015 por microcuencas	107
Figura 20	Hidrogramas medios mensuales por microcuenca	111
Figura 21	Hidrograma de condiciones normal, seco y húmedo en la microcuenca Solar.....	112
Figura 22	Hidrograma a diferentes niveles de persistencia en la microcuenca Solar.....	112
Figura 23	Regionalización de caudales máximos por Método de envolvente Creager.....	114
Figura 24	Precipitación máxima de ajuste a una distribución Gumbel	117
Figura 25	Curvas intensidad duración frecuencia en la estación Andahuaylas	120
Figura 26	Demanda hídrica en situación con proyecto	123
Figura 27	Demanda hídrica final en situación con proyecto.....	125

Índice de Anexos

Anexo 1	Matriz de Consistencia	156
Anexo 2	Matriz de Operacionalización de variables.....	157
Anexo 3	Panel fotografico.....	158

I. Introducción

Para garantizar la sostenibilidad de las actividades agrícolas en zonas rurales altoandinas, es fundamental invertir en infraestructura de riego eficiente, especialmente en aquellas comunidades donde la disponibilidad hídrica es limitada y estacional. La implementación de tecnologías como los sifones invertidos permite conducir agua a través de depresiones del terreno sin necesidad de bombeo, aprovechando la gravedad, y reduciendo pérdidas por infiltración o evaporación, lo cual es clave para garantizar la seguridad hídrica en comunidades agrícolas de altura (FAO, 2015). Por tanto, el diseño e incorporación de este tipo de estructuras se vuelve una medida estratégica para mejorar la eficiencia del recurso hídrico en sectores vulnerables como Ranracancha.

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Apurímac cuenta con 55 823 hectáreas de superficie agrícola, de las cuales más del 60% depende del riego tecnificado o de infraestructura tradicional que ha sufrido deterioro por el paso del tiempo. En este contexto, se identifican proyectos de rehabilitación y ampliación de sistemas de riego en zonas como Uripa, donde el recurso hídrico es limitado y la infraestructura actual no permite un aprovechamiento óptimo del agua disponible (MIDAGRI, 2020). La subcuenca Solar y la laguna Huaytapallana abastecen el sistema de riego de Uripa, sin embargo, la demanda agrícola supera ampliamente la oferta disponible, generando un déficit hídrico crítico (PESCS, 2021).

Para determinar si el sistema de riego Uripa requiere intervención, se utilizará información hidrológica, topográfica y técnica de la infraestructura existente, complementada con herramientas de modelamiento hidráulico para el diseño del sifón invertido. Este análisis permitirá evaluar con mayor precisión la eficiencia del sistema actual y proponer una solución técnica viable que garantice un uso más racional del recurso. El sifón invertido será modelado considerando las condiciones topográficas reales del sector Ranracancha y los caudales máximos y mínimos registrados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Donde el objetivo principal es analizar cómo la implementación de un sifón invertido en el tramo crítico del sistema de riego Uripa puede contribuir al afianzamiento hídrico del sector Ranracancha, garantizando una distribución más eficiente del recurso. La tesis está organizada de la siguiente manera: el capítulo II desarrolla el planteamiento del problema, el capítulo III el marco teórico, el capítulo IV la metodología empleada, el capítulo V los resultados y su discusión, el capítulo VI las conclusiones, y finalmente, el capítulo VII presenta las recomendaciones para su implementación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

A nivel internacional, la eficiencia de los sistemas de riego es un factor crítico para la seguridad hídrica y alimentaria, pero enfrenta múltiples desafíos. Según Jägermeyr, Müller y Ruane (2015), la eficiencia global promedio del uso del agua para riego apenas alcanza un 39 %, con pérdidas de aproximadamente 2 600 km³ anuales por infiltración, evaporación y fugas. Esta situación se agrava en regiones con estrés hídrico, donde la expansión de tierras irrigadas ha ocurrido principalmente en zonas con disponibilidad limitada de agua. Investigaciones recientes evidencian que la implementación de tecnologías hidráulicas avanzadas, como los sifones invertidos, puede aumentar la eficiencia en la distribución del agua en hasta un 20 %, y reducir pérdidas energéticas en un 15 % (Zhu et al., 2020). Sin embargo, la adopción de estos sistemas es limitada en muchas regiones por costos iniciales elevados y falta de conocimientos técnicos, lo que mantiene la baja eficiencia y limita la productividad agrícola.

la brecha en infraestructura de riego representa uno de los principales obstáculos para el desarrollo sostenible del sector agropecuario. Actualmente, solo alrededor del 28 % de la superficie agrícola cuenta con sistemas de riego tecnificados, lo que limita el acceso oportuno y eficiente al recurso hídrico esencial para la producción agrícola. Esta insuficiencia genera pérdidas significativas en la productividad, reduce la capacidad de adaptación a condiciones climáticas adversas y afecta directamente la seguridad alimentaria, especialmente en zonas rurales y altoandinas donde la agricultura es la principal fuente de sustento. Además, la carencia de infraestructura adecuada provoca un uso ineficiente del agua, elevando los costos de producción y reduciendo la rentabilidad de los agricultores. Esta situación pone en evidencia la urgente necesidad de invertir en modernización y ampliación de la infraestructura hídrica para garantizar

un manejo eficiente del recurso y mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales (ESAN, 2023).

En el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros, el sistema de riego Uripa enfrenta un déficit hídrico aproximado del 40 %, con un caudal ofertado de 0,35 m³/s frente a una demanda real de 0,65 m³/s, según el Diagnóstico Obra 7 Comunidades Uripa (2018). Este déficit se debe principalmente a pérdidas superiores al 35 % por filtración y evaporación en canales sin revestimiento y a la inexistencia de sistemas de afianzamiento hídrico como sifones invertidos, que permitan superar desniveles y mantener caudales constantes. La consecuencia directa es la reducción de la productividad agrícola en unas 150 hectáreas, impactando la seguridad alimentaria y el bienestar socioeconómico de la población local. Por ello, la implementación de un sifón invertido se presenta como una solución técnica adecuada para mejorar la eficiencia hidráulica y reducir el déficit hídrico en este sistema.

Formulación del problema de investigación

2.1.1. Problema general

¿En qué medida la implementación de un sifón invertido permite el afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024?

2.1.2. Problemas Específicos

a. ¿Cuál es el nivel de déficit hídrico entre la oferta y demanda de agua en el sistema de riego Uripa en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024?

b. ¿Cómo influye la eficiencia hidráulica del sistema actual en la distribución del recurso hídrico en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024?

c. ¿Qué impacto tiene el diseño de un sifón invertido en la mejora del rendimiento del sistema de riego en el sector Ranracancha distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar en qué medida la implementación de un sifón invertido permite el afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

2.2.2. Objetivos Específicos

a. Cuantificar la oferta y demanda hídrica para establecer el nivel de déficit en el sistema de riego Uripa en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

b. Evaluar la eficiencia hidráulica del sistema de riego actual en el sector de Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

c. Diseñar e interpretar técnicamente el impacto del sifón invertido como solución de afianzamiento hídrico, en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Justificación

Justificación práctica

El sistema de riego Uripa enfrenta un severo déficit hídrico que limita la disponibilidad, conducción y distribución del agua hacia los sectores agrícolas del área de influencia, particularmente en la comunidad de Ranracancha. Esta deficiencia hídrica, evidenciada en la brecha entre la oferta (64 290 m³/año) y la demanda (473 638,48 m³/año), afecta directamente la productividad agrícola, la seguridad alimentaria y la estabilidad socioeconómica de las familias rurales que dependen de la actividad agropecuaria como fuente principal de sustento. Las pérdidas por filtración, evaporación y deficiencias estructurales de los canales de conducción agravan el problema, reduciendo la eficiencia hidráulica del sistema por debajo del 50 %, lo que justifica la urgente necesidad de modernizar la infraestructura hidráulica existente.

La implementación de un sifón invertido constituye una solución técnica viable para el afianzamiento hídrico del sistema, ya que permite conducir agua a través de depresiones topográficas sin necesidad de bombeo, aprovechando el gradiente gravitacional para mantener un flujo continuo y controlado. Esta estructura reduce las pérdidas por infiltración y evaporación, mejora la eficiencia de transporte y asegura la continuidad del suministro hacia las zonas agrícolas más bajas. Su aplicación en terrenos accidentados de la sierra sur, como los del distrito de Uripa, representa una alternativa estratégica frente a los retos de variabilidad climática y a la limitada infraestructura hídrica existente en comunidades altoandinas (FAO, 2017; ANA, 2019).

Además, el proyecto promueve una gestión racional del recurso hídrico mediante la integración de tecnologías modernas de conducción y riego tecnificado, lo que posibilita alcanzar eficiencias superiores al 80 %, según experiencias exitosas en sistemas similares implementados en regiones como Puno y Huancavelica (Calcina Luján, 2022; Cayllahua Boza, 2022). De esta forma, la modernización del sistema no solo optimiza la distribución del agua, sino que también fomenta la sostenibilidad agrícola, incrementa la rentabilidad de los cultivos y fortalece la resiliencia hídrica de la comunidad frente a los periodos de estiaje.

Asimismo, el diseño y construcción del sifón invertido aportará conocimiento técnico aplicable a otras microcuencas de características similares, permitiendo replicar el modelo como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático impulsadas por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2020). En el ámbito local, la obra contribuirá a fortalecer las capacidades de las organizaciones de usuarios de agua, mejorar la gobernanza del recurso y promover una cultura de uso eficiente, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. (ODS 6: Agua limpia y saneamiento y ODS 13: Acción por el clima).

Por todo lo expuesto, la investigación adquiere una relevancia práctica trascendental, ya que sus resultados no solo ofrecen una solución técnica concreta al

déficit hídrico del sistema de riego Uripa, sino que también generan un modelo de intervención sostenible que integra ingeniería, gestión comunitaria y sostenibilidad ambiental. Su ejecución permitirá garantizar la disponibilidad del recurso durante todo el año, mejorar la eficiencia del riego y asegurar la seguridad alimentaria de la población del distrito de Uripa y zonas aledañas.

Justificación social

La presente investigación tiene una relevancia social trascendental, ya que aborda directamente una problemática que afecta de manera significativa la calidad de vida de las comunidades agrícolas del distrito de Uripa, provincia de Chincheros, región Apurímac. Estas comunidades dependen casi exclusivamente del agua para riego como recurso esencial para la producción de alimentos y el sostenimiento de sus economías familiares. Sin embargo, la escasez de agua y las deficiencias en la infraestructura de conducción limitan gravemente la productividad agrícola, provocando pérdidas económicas, migración rural y vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático (FAO, 2021).

La carencia de infraestructura eficiente de riego ha generado un déficit hídrico estructural, con una cobertura de irrigación reducida que impacta negativamente en la seguridad alimentaria local y en la estabilidad de los ingresos de los agricultores. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022), más del 60 % de los sistemas de riego en la región Apurímac operan con infraestructura deteriorada o ineficiente, generando pérdidas de agua superiores al 40 %. Esta situación profundiza las desigualdades sociales, ya que los pequeños productores carecen de los recursos técnicos y económicos para acceder a sistemas más modernos de irrigación, afectando especialmente a las familias de menores ingresos y a las comunidades campesinas altoandinas.

En este contexto, la implementación de un sifón invertido en el sistema de riego Uripa representa una intervención que trasciende el ámbito técnico, al generar impactos sociales directos y sostenibles. Este proyecto permitirá mejorar el acceso equitativo al

recurso hídrico, fortaleciendo la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de más de 150 familias del sector Ranracancha. Asimismo, promoverá la inclusión social al reducir la brecha tecnológica entre productores tradicionales y comunidades con acceso a sistemas tecnificados, fomentando la equidad en el uso del agua y el aprovechamiento sostenible del territorio agrícola (PNUD, 2021).

El proyecto también contribuirá al fortalecimiento del tejido social comunitario, al incentivar la organización de los usuarios del sistema de riego, su participación en la gestión del agua y la adopción de prácticas colectivas de conservación del recurso. Estas acciones se alinean con los principios del Desarrollo Sostenible y con la Política Nacional de Recursos Hídricos del Perú (ANA, 2020), que promueven la gestión integrada del agua con participación activa de la población local. Además, la mejora en la disponibilidad de agua reducirá los conflictos por uso del recurso, mejorará la calidad de vida de las familias rurales y permitirá que las comunidades puedan adaptarse mejor a las condiciones de variabilidad climática.

Por tanto, la presente investigación no solo busca resolver un problema técnico, sino también contribuir al bienestar social, a la reducción de la pobreza rural y a la consolidación de un modelo de desarrollo equitativo y sostenible en la región Apurímac. De esta forma, el proyecto de afianzamiento hídrico mediante un sifón invertido se convierte en una herramienta clave para garantizar el derecho al agua, promover la justicia social y fortalecer la resiliencia de las comunidades agrícolas frente a los desafíos ambientales del siglo XXI.

Justificación teórica

La presente investigación se sustenta en una sólida base teórica que integra los principios de la hidráulica aplicada, la gestión de recursos hídricos y la ingeniería de riego en el contexto de las zonas altoandinas del Perú. El afianzamiento hídrico se concibe como un conjunto de estrategias orientadas a garantizar la disponibilidad sostenida y eficiente del agua, especialmente en regiones donde la variabilidad climática y la estacionalidad de las lluvias afectan la continuidad del riego agrícola (GSAgua,

2023). En este sentido, el estudio busca contribuir teóricamente al conocimiento sobre la implementación de infraestructuras hidráulicas sostenibles, como los sifones invertidos, para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego en territorios con topografía compleja.

El sifón invertido es una obra hidráulica que permite la conducción de agua por debajo de obstáculos naturales o artificiales, aprovechando la presión interna para mantener el flujo continuo sin necesidad de bombeo. Su comportamiento está regido por las leyes de la hidrodinámica, la ecuación de Bernoulli y las pérdidas de energía por fricción expresadas mediante fórmulas como Darcy–Weisbach o Hazen–Williams (Chow, Maidment & Mays, 1988). Estas ecuaciones permiten calcular la presión, velocidad y pérdida de carga a lo largo del conducto, factores esenciales para su diseño técnico. La incorporación de este tipo de estructura en sistemas de riego garantiza una mayor eficiencia hidráulica, al minimizar las pérdidas de agua y asegurar la continuidad del caudal, incluso en sectores donde existen depresiones topográficas o quebradas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2019).

Desde la perspectiva teórica de la gestión hídrica, la investigación también se apoya en los principios del balance hídrico, entendido como la relación entre las entradas (precipitación, escorrentía y almacenamiento) y las salidas (evapotranspiración y consumo). Este enfoque permite cuantificar los déficits o excedentes de agua dentro de una microcuenca y evaluar la sostenibilidad del sistema de riego (Doorenbos & Pruitt, 1977). La integración de este análisis con datos de oferta y demanda hídrica permite identificar las brechas de disponibilidad del recurso y fundamentar las soluciones técnicas que busquen su optimización.

Por otro lado, la teoría de la eficiencia hidráulica sostiene que el rendimiento de un sistema de riego depende directamente de la proporción del caudal efectivamente aprovechado en la zona radicular del cultivo respecto al volumen total suministrado (FAO, 1998). Este indicador teórico es esencial para diagnosticar las pérdidas del sistema actual y estimar las mejoras obtenidas mediante la implementación del sifón

invertido. Diversos estudios han demostrado que el cambio de sistemas abiertos de conducción a sistemas cerrados o presurizados puede incrementar la eficiencia en más del 30 % (Calcina Luján, 2022; Cayllahua Boza, 2022), lo que respalda teóricamente la validez de la propuesta.

Asimismo, la investigación se enmarca en los lineamientos de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), promovidos por organismos internacionales como la FAO y la ONU, que enfatizan la necesidad de combinar el conocimiento técnico con la participación comunitaria y la sostenibilidad ambiental (FAO, 2017). De esta manera, el proyecto no solo se fundamenta en modelos hidráulicos y físicos, sino también en un enfoque de sostenibilidad que considera la gobernanza del agua y el manejo racional del recurso a nivel local.

En síntesis, la justificación teórica del presente estudio radica en la aplicación integrada de los principios de la hidráulica, el balance hídrico y la gestión sostenible del agua para proponer una solución técnica viable —el sifón invertido— que contribuya al afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa. Este aporte teórico no solo fortalece la comprensión del comportamiento hidráulico de los sifones en zonas altoandinas, sino que también sienta las bases para futuras investigaciones sobre la optimización del uso del recurso hídrico en sistemas rurales del Perú.

Justificación metodológica

La presente investigación se apoya en una metodología científica aplicada, orientada a la resolución de un problema real y específico como es el déficit hídrico del sistema de riego Uripa. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), los estudios aplicados buscan generar conocimiento práctico que permita proponer soluciones a situaciones concretas mediante la utilización de teorías, métodos y técnicas comprobadas. En este contexto, la metodología seleccionada se basa en un diseño no experimental de tipo descriptivo–correlacional, lo cual permite analizar la relación existente entre la eficiencia del sistema de riego actual y la posible mejora derivada de la implementación de un sifón invertido, sin alterar las condiciones naturales del entorno.

La justificación metodológica radica en la rigurosidad del proceso empleado, el cual integra técnicas hidrológicas e hidráulicas que garantizan la validez de los resultados. Se utilizaron métodos cuantitativos para medir y comparar la oferta y demanda hídrica, determinando el déficit actual del sistema mediante el análisis del balance hídrico superficial y subterráneo. Estos procedimientos se complementaron con aforos de caudal, levantamientos piezométricos y simulaciones hidráulicas, que permitieron estimar el comportamiento del flujo y las pérdidas energéticas bajo distintos escenarios. La metodología aplicada se apoya en normas y modelos reconocidos internacionalmente, como las guías técnicas de la FAO (1998), los principios del Manual de Diseño de Obras Hidráulicas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2019), y los criterios analíticos propuestos por Doorenbos y Pruitt (1977) para el cálculo de la evapotranspiración de cultivos y la demanda hídrica agrícola.

Asimismo, la elección del enfoque cuantitativo se justifica por la necesidad de obtener resultados medibles y verificables, expresados en unidades físicas (m^3 , L/s, mm), que permitan comparar el rendimiento del sistema antes y después de la implementación del sifón invertido. Este enfoque facilita la formulación de relaciones matemáticas y gráficas que respalden las conclusiones y la toma de decisiones técnicas. Según Sampieri et al. (2014), los estudios cuantitativos posibilitan la recolección y análisis objetivo de datos numéricos, favoreciendo la replicabilidad y precisión de los resultados, aspectos esenciales en la ingeniería hidráulica.

El procedimiento metodológico se desarrolló en varias etapas: recolección de datos hidrometeorológicos, análisis de oferta y demanda hídrica, evaluación de eficiencia hidráulica y diseño técnico del sifón invertido. Este proceso permitió obtener información integral sobre el comportamiento del sistema y su capacidad de conducción. Además, la utilización de herramientas informáticas y hojas de cálculo permitió modelar los caudales y simular escenarios de operación, asegurando la confiabilidad de los cálculos y la consistencia de los resultados.

Finalmente, la metodología adoptada se alinea con los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), promoviendo un enfoque interdisciplinario que combina la ingeniería con la sostenibilidad ambiental y la participación comunitaria. Este enfoque garantiza que los resultados no solo sean técnicamente sólidos, sino también social y ambientalmente sostenibles, constituyendo una base científica replicable para futuros proyectos de afianzamiento hídrico en microcuencas andinas.

2.3.2. Importancia

La presente investigación reviste una gran importancia científica, técnica y social, pues contribuye al conocimiento y desarrollo de soluciones sostenibles frente al creciente problema de la escasez de agua en zonas rurales altoandinas del Perú. El estudio del sistema de riego Uripa, ubicado en el sector Ranracancha, permite comprender cómo la incorporación de un sifón invertido puede optimizar la gestión del recurso hídrico y mejorar la eficiencia del riego en condiciones de topografía accidentada, donde los métodos tradicionales presentan limitaciones significativas.

En el plano técnico e ingenieril, la investigación fortalece el campo de la hidráulica aplicada y del diseño de infraestructura de riego, al ofrecer una metodología replicable basada en principios científicos y normas vigentes. La propuesta técnica del sifón invertido integra criterios hidráulicos y estructurales que permiten reducir pérdidas de agua, mantener la presión adecuada en la conducción y superar desniveles naturales del terreno, contribuyendo a la modernización de los sistemas rurales de irrigación (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2019). Este enfoque técnico aporta valor al ámbito profesional de la ingeniería civil, ya que promueve el uso racional del agua y el diseño eficiente de obras hidráulicas en microcuencas agrícolas.

Desde una perspectiva ambiental y de sostenibilidad, la investigación contribuye a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), promovida por organismos internacionales como la FAO y la ONU, que impulsa la administración del agua bajo principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad (FAO, 2017). Al mejorar la eficiencia en la conducción y distribución del recurso, se reducen las pérdidas por evaporación e

infiltración, disminuyendo la presión sobre las fuentes naturales y favoreciendo la conservación de ecosistemas asociados a la cuenca del río Solar.

En el ámbito social y económico, el proyecto reviste especial importancia para las comunidades agrícolas del distrito de Uripa, que dependen del agua como base de su subsistencia. La implementación de infraestructura moderna permitirá garantizar una mayor seguridad alimentaria, reducir los conflictos por el uso del agua y mejorar los ingresos de los agricultores mediante un aprovechamiento más eficiente del recurso. Asimismo, fomenta la participación comunitaria en la gestión del riego, fortaleciendo la gobernanza del agua y promoviendo prácticas sostenibles acordes con la Política Nacional de Recursos Hídricos del Perú (ANA, 2020).

Por último, el estudio tiene una relevancia académica significativa, al generar información técnica y metodológica útil para futuras investigaciones sobre sistemas de afianzamiento hídrico, modelamiento hidráulico y eficiencia de riego en zonas rurales del país. Su enfoque interdisciplinario combina la ingeniería, la gestión ambiental y la planificación rural, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6 (Agua limpia y saneamiento) y 13 (Acción por el clima) establecidos por las Naciones Unidas (ONU, 2015). En suma, esta investigación se constituye en un referente para la aplicación de soluciones hidráulicas innovadoras que garanticen el uso sostenible y equitativo del agua en regiones agrícolas vulnerables.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La implementación de un sifón invertido influye significativamente en el afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

2.4.2. Hipótesis Específicas

a. Existe un déficit significativo entre la oferta y demanda hídrica que afecta la sostenibilidad del riego en Uripa en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

b. El sistema de riego actual presenta baja eficiencia hidráulica, lo cual limita su capacidad de distribución en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

c. El diseño e implementación de un sifón invertido mejora el rendimiento hidráulico y permite el afianzamiento hídrico en el sector Ranracancha, distrito de Uripa, provincia de Chincheros – 2024.

2.5. Variables

VARIABLE DEPENDIENTE

VD: Afianzamiento hídrico del sistema de riego.

VARIABLE INDEPENDIENTE

VI: Sistema de sifón invertido.

Tabla 1*Operacionalización de las variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable D: Afianzamiento hídrico del sistema de riego.	El afianzamiento hídrico es el conjunto de acciones para asegurar la disponibilidad de agua, combinando infraestructuras modernas y prácticas ancestrales, en equilibrio con los ecosistemas (GSAgua, 2023).	Nivel de mejora de la disponibilidad de agua en el sistema de riego Uripa tras la implementación del sifón invertido, medido en función del balance hídrico entre oferta y demanda y reducción del déficit hídrico.	<ul style="list-style-type: none"> •Oferta hídrica •Demanda hídrica •Balance hídrico •Sostenibilidad del riego 	<ul style="list-style-type: none"> •Volumen disponible (m³) •Área cubierta (m², ha) •Diferencia oferta–demanda (m³) •Índice de continuidad del riego(%) 	•Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Registros y resoluciones ANA • Aforos de campo con planillas y molinete. • Series climáticas/SENAMHI para P/ETP •Hojas de cálculo para balance. •Planos/topografía
Variable I: Sistema de sifón invertido.	Un sifón invertido es un conducto cerrado en forma de “U” o “V” que permite transportar agua a presión por debajo de obstáculos naturales o artificiales, garantizando un flujo continuo sin reflujos (Hidrotec, 2025).	Instalación de un sifón invertido en el sector Ranracancha y su funcionamiento efectivo, evaluado mediante parámetros de diseño hidráulico, caudal conducido y presión interna.	<ul style="list-style-type: none"> •Capacidad hidráulica •Eficiencia estructural 	<ul style="list-style-type: none"> •Caudal conducido (m³/s) •Eficiencia de conducción (%) 	•Razón	<ul style="list-style-type: none"> •Hoja Excel. •perfiles topográficos y longitudinales. •criterios de diseño.

Nota. En la Tabla 1 se presenta la operacionalización de las variables según el título y los objetivos de la investigación. Fuente: El autor.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes internacionales

Jácome y Vela (2021) en su Trabajo de Titulación “Evaluación y mejoramiento hidráulico de la infraestructura del sistema de riego biprovincial Ambuquí” donde su objetivo es evaluar y optimizar el funcionamiento hidráulico de la captación, conducción principal y márgenes del sistema de riego Ambuquí, su metodología es de tipo aplicada con enfoque descriptivo y diseño no experimental, a través de inventario técnico, aforamientos en compuertas y análisis de pérdidas en tuberías y sifones; resultando un caudal de diseño en la captación de 1 775 l/s, una longitud total de redes de 28.898 km (13.3 km en túneles y 2,35 km en sifones) y una distribución de 1 753,12 l/s en 32 derivaciones controladas, concluye que la optimización de las aperturas de compuertas mejora la eficiencia del servicio y garantiza un suministro hídrico sostenible para las 4 997 personas proyectadas al 2035.

Rivas (2021) en su Proyecto de Titulación “Mecanismo de bombeo de agua sin energía eléctrica mediante ariete hidráulico y sifón invertido” donde su objetivo es diseñar y construir un modelo de laboratorio que impulse 0,31 L/s desde un tanque a 1,5 m hasta otro a 2 m sin energía externa, su metodología es experimental, de tipo aplicada, con construcción de pedestales, tanques, tuberías de 2” y bombeo por ariete hidráulico acoplado a sifón invertido; resultando un rendimiento volumétrico del 67 %, pérdidas de carga calculadas por Hazen–Williams, y una potencia estimada de 12,54 W para el ariete, concluye que el modelo proporciona una guía práctica y un banco de ensayos para la formación de estudiantes en hidráulica experimental.

García, Pérez, Brown, Espinosa & López (2024) en su artículo “Caracterización ingenieril de obras hidráulicas en la provincia Ciego de Ávila” donde su objetivo es caracterizar las principales obras hidráulicas construidas en la región para apoyar su conservación y mejora; su metodología es cualitativa, aplicada, no experimental y

descriptiva; resultando que la presa Chambas I (Cañada Blanca) almacena hasta 67.70 hm³ (46.50 hm³ en nivel normal), la derivadora Chambas dispone de 1.08 hm³ en nivel normal para elevación y conducción, el Canal Trasvase Zaza-Ciego transfiere 100 Mm³ para irrigar 47 000 ha y los diques Estero Socorro (21.6 km) y Chicola (11 km) permiten la desalinización de la Laguna La Leche; concluyen que estas estructuras son fundamentales para garantizar la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático en la provincia.

Vallejo (2024) en su tesis “Diseño hidráulico de un sistema de riego parcelario para el Proyecto Chambo Guano, Fase II, comunidad Chingazo Alto, módulo 5, cantón Guano” donde su objetivo es diseñar un sistema de riego tecnificado que conduzca 36.70 L/s a 73 parcelas en 37.70 ha, su metodología es aplicada, cuantitativa y no experimental, e incluye levantamiento topográfico con dron y GNSS, actualización catastral, análisis de calidad de agua, ensayos SPT y triaxial, modelación hidráulica en Excel y dimensionamiento de reservorio de 198 m³; resultando velocidades de 0.5–2.5 m/s en tuberías PVC, presiones estáticas y dinámicas según NEC-15 y ACI 318-14, un presupuesto de \$545 424.02 y vida útil de 25 años, y concluye que este diseño optimiza el uso de recursos hídricos y mejora la eficiencia del riego.

Chacha y Chuncha (2022) en su proyecto técnico “Optimización y mejoramiento de la red de conducción de agua potable para los habitantes: Carmelitas, San Carlos y nuevos horizontes usuarios de la junta administradora de agua potable nuestra señora de la elevación de Santa Rosa del cantón Ambato Provincia de Tungurahua” donde su objetivo es optimizar y mejorar el funcionamiento hidráulico de la red existente, su metodología es descriptiva, observacional y cuantitativa con diseño no experimental-transversal, a través de encuestas, revisión física de válvulas de aire, purga, presurizadores y tanques rompe presiones, aforos en vertientes y modelación en EPANET; resultando un rediseño que corrige daños por incendios, alinea correctamente tramos, ajusta diámetros y materiales, y concluye que la propuesta técnica incluyendo

manual de operación asegura presiones y velocidades normativas, garantizando suministro continuo a 3 646 usuarios hasta 2052.

3.1.2. Antecedentes nacionales

Domingo (2015) en su tesis “Análisis hidráulico-energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM” donde su objetivo fue realizar el análisis hidráulico y energético mediante simulaciones de distintos escenarios de operación de la red principal del sistema de riego en las áreas verdes del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, su metodología es de tipo aplicada, enfoque descriptivo y diseño cuasi-experimental en una extensión de 19.66 ha (18.32 ha de áreas verdes urbanas y 1.34 ha agrícolas). Mediante simulaciones en EPANET y cálculos en Excel se determinaron los requisitos de presión y caudal para cada agrupación de válvulas, así como las RPM de bomba óptimas usando leyes de afinidad, y comparaciones energéticas entre redes con y sin variador de frecuencia. Resultó que el escenario óptimo reduce el consumo energético hasta un 78.7 % de eficiencia media y satisface los requerimientos hidráulicos con mínimas sobrepresiones, concluye que la incorporación de variadores de velocidad es clave para la optimización económico-energética del sistema.

Cayllahua (2022) en su tesis “Diseño de riego tecnificado en la optimización del recurso hídrico de Sapallanga – Huancayo” donde su objetivo fue diseñar un sistema de riego tecnificado para optimizar el recurso hídrico en la comunidad campesina de Huayllaspanca, distrito de Sapallanga, su metodología es de tipo aplicado, nivel explicativo y diseño cuasi-experimental; la población comprendió 27 ha de cultivo y la muestra 20 ha. Resultó que la implementación de riego por aspersión, con 42 hidrantes y un reservorio de 6 000 m³, incrementa la cobertura de riego y eleva la eficiencia hídrica hasta un 75 %, reduciendo el gasto anual de 285 110 m³ a 211 500 m³ y recuperando la inversión de S/ 51 000 en 3,5 años. Concluye que el riego tecnificado mejora significativamente la disponibilidad y uso eficiente del agua en la zona.

Calcina (2022) en su tesis “Comportamiento hidráulico de flujos en sifón invertido de la línea de conducción según diámetros de tuberías, Central Hidroeléctrica San Gabán Puno, 2022” donde su objetivo es conocer el comportamiento hidráulico del flujo del sifón invertido según los diámetros de tuberías HDPE, PVC y Hierro Dúctil en la línea de conducción de la central hidroeléctrica San Gabán, su metodología es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño no experimental, resultando que los números de Reynolds para tuberías de DN 630 mm, 710 mm y 800 mm fueron 1 071 056; 1 065 841; 945 988 respectivamente (flujos turbulentos), con velocidades de 2,069; 1,629; 1,283 m/s y pérdidas de carga totales (aplicando factor de seguridad 10 %) de 2,364; 1,362; 0,781 mca; concluye que los diámetros de 710 mm (HDPE/PVC) y 700 mm (Hierro Dúctil) son los más recomendables para optimizar el rendimiento hidráulico del sifón, al garantizar caudales superiores al diseño y velocidades adecuadas para evitar sedimentación.

Huaman (2024) en su tesis “Análisis hidráulico y proyecto hidráulico de obras de captación y traslado para el uso de un nuevo sistema de riego, distrito Tres de Diciembre, 2023” donde su objetivo es determinar la incidencia del diseño hidráulico de las obras de captación y conducción en la mejora de la eficiencia del canal de riego, su metodología es de tipo aplicada, enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental-transversal, apoyada en levantamientos topográficos con GNSS, modelación en SIG, aforos con molinete, ensayos SPT y triaxial y análisis de oferta y demanda hídrica; resultando un catastro actualizado de 37.70 ha, 73 predios, un caudal de diseño de 36.70 L/s distribuido en 28 turnos con velocidades de 0.5–2.5 m/s y pérdidas de carga calculadas por Hazen–Williams, y concluye que el exhaustivo análisis hidráulico en todas sus dimensiones garantiza la viabilidad técnica y económica del nuevo sistema de riego y fortalece su sostenibilidad.

López (2021) en su tesis “Evaluación y mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable del Centro Poblado Santa Clara, distrito San Juan Bautista, provincia de Maynas, región Loreto, para su incidencia en la condición sanitaria

de la población” donde su objetivo es evaluar y corregir deficiencias en captación, línea de conducción, reservorio de 50 m³ y distribución, su metodología es descriptiva, no experimental y mixta—con observación de campo y fichas técnicas, análisis físico-químico y estructural—; resultando que la tubería actual deriva agua directamente del río Nanay y el reservorio presenta filtraciones y fallas estructurales, y concluye con una propuesta de nuevo trazado, diseño de línea y reservorio de 100 m³ que asegura la potabilización y mejora las condiciones sanitarias de la comunidad.

3.1.3. Antecedentes locales

Torre y Vega (2021) en su tesis “Diseño hidráulico de sifón invertido del cruce canal de riego quebrada Sonccoyuma, de distritos Antabamba, provincia Antabamba – departamento de Apurímac” donde su objetivo es determinar la mejor propuesta de diseño hidráulico para el sifón invertido en el canal que salva la quebrada Sonccoyuma; su metodología es de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, basada en recopilación y análisis de información técnica de ingeniería. Resultando que el sifón se dimensiona con tubería PVC-O mellizo de clase PN 12.5–25 de 710 mm (Φ 28”) en 1 779,90 m de trazado inclinado y tubería de hierro dúctil PN 40 de DN 700 mm en 169,70 m, con las siguientes características hidráulicas: longitud horizontal 1 827,30 m, longitud inclinada 1 949,60 m, diferencia de carga entre punto más bajo e inicio/salida de 289,22 m y 8,23 m respectivamente, pérdida de carga total de 6,64 m, y presión de llegada de 2,17 m (MSNM). Concluye que este diseño garantiza condiciones de operación seguras y minimiza pérdidas hidráulicas en el cruce de la quebrada.

Sánchez (2022) en su tesis “Diseño y simulación de la variación de presión en sifón invertido en el sector de Layanhuayco, Anco_Huallo, Chincheros, Apurímac, 2022” donde su objetivo central es determinar cómo varía la presión del agua a través del sifón invertido utilizando el coeficiente de fricción de Hazen–Williams; su metodología es aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental, centrada en el propio sifón invertido como población y muestra. Resultando que, tras recalcular el coeficiente de Hazen Williams, el valor de diseño original de 150 adimensional se ajusta a 134,40, y

se confirma que la presión medida en campo (tras ocho meses de operación) difiere significativamente del cálculo inicial. Concluye que esta revisión y simulación permite validar y corregir el diseño hidráulico para mejorar la confiabilidad del sifón invertido.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Afianzamiento hídrico del sistema de riego

3.1.1.1 Concepto de afianzamiento hídrico

El afianzamiento hídrico se define como el conjunto de acciones, obras y estrategias destinadas a garantizar la disponibilidad continua, eficiente y sostenible del recurso hídrico, especialmente en contextos de variabilidad climática o escasez estacional. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020), el afianzamiento hídrico comprende la regulación, almacenamiento, conducción, distribución y uso racional del agua con el objetivo de satisfacer la demanda de los diferentes sectores productivos y de consumo humano, asegurando su sostenibilidad en el tiempo. Este concepto implica tanto medidas estructurales, como la construcción de presas, reservorios o sifones invertidos, como medidas de gestión orientadas al control y uso equitativo del recurso.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017), el afianzamiento hídrico constituye una herramienta esencial para la seguridad alimentaria, al permitir la conservación del agua y la estabilidad de la producción agrícola ante periodos de sequía o irregularidad en las lluvias. Su aplicación en sistemas de riego rurales y altoandinos busca garantizar la eficiencia hidráulica de las redes, evitando pérdidas por filtración, evaporación o roturas en la infraestructura. Asimismo, contribuye a mantener el equilibrio entre la oferta hídrica disponible en fuentes naturales y la demanda agrícola, optimizando el aprovechamiento del agua en las zonas de riego (MIDAGRI, 2022).

En el contexto peruano, el afianzamiento hídrico está directamente vinculado a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), la cual promueve el manejo coordinado del agua, el suelo y los ecosistemas para maximizar el bienestar social y económico sin comprometer la sostenibilidad ambiental (ANA, 2019). Esta visión integral

plantea que el afianzamiento hídrico no solo depende de la infraestructura física, sino también de la gobernanza del agua y la participación activa de las comunidades en la gestión local del recurso. En consecuencia, el afianzamiento hídrico es un pilar fundamental para garantizar la resiliencia hídrica frente al cambio climático y asegurar el desarrollo sostenible de los sistemas agrícolas del país (PNUD, 2021).

El afianzamiento hídrico en sistemas de riego se refiere a un conjunto de estrategias e infraestructuras orientadas a garantizar una disponibilidad sostenida y eficiente del recurso hídrico, especialmente en zonas afectadas por variabilidad climática, estacionalidad o escasez. Este concepto implica evaluar el balance hídrico, es decir, la diferencia entre el volumen de agua disponible (oferta) y el volumen requerido por los cultivos (demanda), con el objetivo de reducir o eliminar déficits de agua. El afianzamiento hídrico no solo contempla la construcción de obras físicas como presas, canales o sifones, sino también la implementación de sistemas de riego eficientes como el riego por aspersión o goteo, así como prácticas de conservación y manejo sostenible del suelo y el agua (GSAgua, 2023).

EC- 1 *Oferta hídrica*

$$[Oferta\ Hídrica = Q_{sup} + Q_{sub} + (P_e \times A)] \quad (1)$$

Donde:

(Q_{sup}) = Aporte de agua superficial (m³)

(Q_{sub}) = Aporte de agua subterránea (m³)

(P_e) = Precipitación efectiva (m)

A = Área de captación (m²)

Con estos datos, la oferta hídrica permite determinar la capacidad máxima de envío de agua al sistema de riego y planificar la programación de turnos de riego (Doorenbos & Pruitt, 1977).

3.1.1.2 Principios del afianzamiento hídrico

El afianzamiento hídrico se basa en un conjunto de principios que orientan la planificación, ejecución y sostenibilidad de las acciones destinadas al aprovechamiento racional del agua. Estos principios buscan equilibrar la eficiencia hidráulica con la sostenibilidad ambiental y la gestión social del recurso. Según la Autoridad Nacional del Agua (2020), los pilares fundamentales del afianzamiento hídrico son la eficiencia, la equidad, la sostenibilidad y la resiliencia, todos ellos indispensables para garantizar la disponibilidad continua del recurso y una distribución justa entre los diferentes usuarios del sistema.

El principio de eficiencia hidráulica establece que las infraestructuras deben optimizar el transporte y la distribución del agua, minimizando pérdidas por fricción, evaporación o infiltración. Este principio se aplica mediante el uso de tecnologías modernas como conducciones cerradas, válvulas de control y sifones invertidos, los cuales mejoran el desempeño hidráulico de los sistemas rurales (Autoridad Nacional del Agua, 2019). Por otro lado, el principio de sostenibilidad se refiere a que el uso del recurso debe satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las de las generaciones futuras, considerando la conservación de fuentes naturales y la eficiencia de los sistemas de riego (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2017).

Asimismo, el principio de equidad hídrica garantiza una distribución justa del agua, priorizando los usos agrícola, doméstico y ambiental en función de las necesidades locales (Organización de las Naciones Unidas-Agua [ONU-Agua], 2021). Este principio fomenta la gestión participativa a través de las juntas de usuarios y comunidades campesinas, que desempeñan un papel esencial en la gobernanza del recurso hídrico. Finalmente, el principio de resiliencia promueve la capacidad de los sistemas para adaptarse a la variabilidad climática, resistir periodos de sequía y responder ante desastres naturales. De acuerdo con el Programa de las Naciones

Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2021), fortalecer la resiliencia hídrica implica diseñar infraestructuras adaptativas y seguras, considerando escenarios de cambio climático.

En conjunto, estos principios conforman la base de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), que articula criterios técnicos, sociales y ambientales para lograr un manejo eficiente y sostenible del agua. Su aplicación en sistemas rurales como el de Uripa permite mejorar la eficiencia hidráulica, fortalecer la participación comunitaria y asegurar la sostenibilidad hídrica a largo plazo.

3.1.1.3 Objetivos del afianzamiento hídrico

El afianzamiento hídrico tiene como finalidad garantizar la disponibilidad, continuidad y sostenibilidad del recurso agua para los distintos usos, priorizando el riego agrícola, el abastecimiento poblacional y la conservación de los ecosistemas. Según la ANA (2020), su propósito principal es regular y conservar los recursos hídricos superficiales y subterráneos, equilibrando la oferta y la demanda en escenarios de variabilidad climática y presión antrópica. Este objetivo se logra mediante la implementación de infraestructuras hidráulicas eficientes y estrategias de gestión integrada, orientadas a fortalecer la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas de riego.

Entre los objetivos específicos del afianzamiento hídrico destaca la reducción de pérdidas durante la conducción y distribución del agua, a través de la modernización de las infraestructuras de riego. Para ello, se promueve el uso de tecnologías hidráulicas modernas como sifones invertidos, conducciones cerradas, válvulas reguladoras y reservorios de almacenamiento, que permiten controlar los caudales y optimizar el uso del recurso (FAO, 2017). Asimismo, el afianzamiento hídrico busca incrementar la eficiencia operativa de los sistemas existentes, garantizando que el caudal entregado a los usuarios corresponda al caudal de diseño, y que la distribución del agua sea equitativa entre todos los sectores agrícolas (MIDAGRI, 2022).

Otro objetivo importante consiste en fortalecer la gestión comunitaria y local del agua, promoviendo la participación activa de las juntas de usuarios y comités de riego en la operación, mantenimiento y fiscalización de las obras hidráulicas. Este enfoque

responde a los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), que combina la planificación técnica con la participación social y la sostenibilidad ambiental (ONU-Agua, 2021). Además, en contextos rurales y altoandinos, el afianzamiento hídrico busca asegurar la seguridad alimentaria y la resiliencia climática, garantizando un suministro continuo de agua para los cultivos agrícolas (PNUD, 2021).

En conjunto, los objetivos del afianzamiento hídrico se orientan hacia un uso racional, equitativo y sostenible del agua, integrando infraestructura, gestión ambiental y participación comunitaria. Su aplicación efectiva contribuye a mejorar la eficiencia hidráulica, fortalecer la resiliencia hídrica y garantizar la sostenibilidad de los sistemas de riego en el largo plazo.

3.1.1.4 Estrategias de afianzamiento hídrico

Las estrategias de afianzamiento hídrico comprenden el conjunto de medidas estructurales, técnicas y de gestión orientadas a garantizar la disponibilidad y el aprovechamiento eficiente del agua, especialmente en zonas agrícolas con alta variabilidad climática. Según la ANA (2020), estas estrategias se agrupan en dos grandes enfoques: infraestructurales y de gestión hídrica. El primero se centra en la construcción, mantenimiento y modernización de obras hidráulicas, mientras que el segundo abarca la planificación, la gobernanza del agua y la participación comunitaria en su administración.

Dentro de las estrategias estructurales, destacan la construcción de presas, reservorios y represas que permiten regular los caudales y almacenar agua durante los periodos de estiaje. Estas obras son esenciales para mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda hídrica, favoreciendo la seguridad alimentaria y la continuidad del riego (FAO, 2017). Asimismo, el uso de sifones invertidos, tuberías presurizadas, válvulas de control y compuertas automatizadas contribuye a reducir pérdidas por fricción, evaporación o infiltración, mejorando la eficiencia hidráulica de los sistemas de conducción (ANA, 2019).

En cuanto a las estrategias de gestión hídrica, el MIDAGRI (2022) enfatiza la necesidad de fortalecer la organización comunitaria y la gestión participativa del agua, especialmente a través de las juntas de usuarios, comisiones y comités de riego. Estas entidades permiten ejecutar labores de mantenimiento preventivo, fiscalizar el uso del recurso y promover la distribución equitativa entre los usuarios. De igual manera, el uso de herramientas tecnológicas e informáticas, como los programas EPANET, SWMM o WaterCAD, optimiza la planificación, simulación y control de caudales, presiones y pérdidas dentro de la red (Calcina Luján, 2022).

Por otro lado, las estrategias de conservación ambiental complementan el enfoque técnico mediante la recuperación de microcuencas, reforestación de cabeceras de ríos y control de erosión del suelo. Estas acciones, promovidas por ONU-Agua (2021), incrementan la capacidad de recarga hídrica y reducen la sedimentación en canales y reservorios, asegurando la sostenibilidad ecológica del sistema. De manera integral, las estrategias de afianzamiento hídrico deben articular los componentes infraestructurales, ambientales y sociales, garantizando un manejo integral y sostenible del recurso para beneficio de las comunidades rurales y la agricultura.

3.1.1.5 Factores que afectan el afianzamiento hídrico

El afianzamiento hídrico puede verse condicionado por múltiples factores naturales, técnicos, sociales y de gestión que limitan la eficiencia del aprovechamiento del agua y la sostenibilidad del sistema de riego. De acuerdo con la ANA (2020), estos factores se clasifican en ambientales, estructurales, operativos y administrativos, los cuales interactúan entre sí e inciden directamente en la capacidad de regulación, conducción y distribución del recurso hídrico. La identificación de estos elementos es fundamental para la planificación y ejecución de medidas correctivas que garanticen la seguridad hídrica en los sistemas rurales.

Entre los factores ambientales, la variabilidad climática representa una de las principales amenazas, ya que las sequías prolongadas, la irregularidad de las lluvias y la pérdida de cobertura vegetal reducen la recarga natural de los acuíferos y la

disponibilidad de agua superficial (FAO, 2017). Asimismo, los efectos del cambio climático generan alteraciones en los patrones hidrológicos, provocando mayor frecuencia de eventos extremos como inundaciones y deslizamientos, que deterioran la infraestructura hidráulica y afectan la continuidad del servicio (PNUD, 2021).

Los factores estructurales están relacionados con el deterioro de la infraestructura hidráulica, el uso de materiales inadecuados y el diseño deficiente de los sistemas de conducción. Según el MIDAGRI (2022), muchas redes de riego en zonas altoandinas presentan pérdidas significativas por filtraciones, fisuras y obstrucciones debido al uso de materiales no normativos o al insuficiente mantenimiento preventivo. Estos problemas reducen la eficiencia hidráulica y elevan los costos de operación. En este sentido, la modernización de las redes con materiales como PVC, PEAD o PRFV, y la incorporación de sifones invertidos y válvulas de control, resultan estrategias esenciales para mejorar la durabilidad y el rendimiento del sistema.

Por otra parte, los factores de gestión y operación también condicionan el afianzamiento hídrico. La falta de capacitación técnica, la débil organización de los usuarios y la escasa fiscalización de los recursos generan ineficiencias en la distribución del agua y dificultan la sostenibilidad del sistema (ONU-Agua, 2021). Además, la carencia de instrumentos de monitoreo y control, como caudalímetros o sistemas de telemetría, impide un manejo preciso de los caudales y presiones, lo que se traduce en un uso poco eficiente del recurso. Finalmente, la contaminación de las fuentes hídricas por vertimientos agrícolas o domésticos compromete la calidad del agua, limitando su uso para riego y afectando los ecosistemas asociados (ANA, 2019).

En conclusión, los factores que afectan el afianzamiento hídrico son multidimensionales y requieren un enfoque integral que combine acciones estructurales, ambientales y sociales. La implementación de planes de mantenimiento, capacitación técnica y tecnologías de control hidráulico resulta esencial para mitigar estos impactos y garantizar la sostenibilidad del sistema de riego a largo plazo.

3.1.1.6 Tecnologías aplicadas al afianzamiento hídrico

El desarrollo tecnológico ha transformado la gestión del recurso hídrico, permitiendo la implementación de soluciones innovadoras que incrementan la eficiencia, reducen pérdidas y garantizan la sostenibilidad del sistema. Según la ANA (2020), las tecnologías aplicadas al afianzamiento hídrico comprenden tanto herramientas físicas (obras e infraestructuras hidráulicas modernas) como herramientas digitales (modelos y softwares de simulación). Su integración facilita el monitoreo, control y operación de los sistemas de riego, adaptándolos a condiciones de variabilidad climática y limitaciones de caudal.

En el ámbito estructural, la incorporación de sifones invertidos, válvulas de control, tuberías presurizadas y compuertas automatizadas representa un avance fundamental para mejorar la conducción y distribución del agua. Estas tecnologías permiten mantener presiones estables, eliminar pérdidas por fricción y garantizar un flujo uniforme a lo largo del sistema (FAO, 2017). Asimismo, el uso de materiales modernos como PVC, PEAD y PRFV ofrece mayor durabilidad, resistencia a la corrosión y menor rugosidad, optimizando la eficiencia hidráulica de las redes rurales (MIDAGRI, 2022).

En el campo digital y computacional, destacan los softwares de modelamiento hidráulico como EPANET, SWMM y WaterCAD, herramientas que permiten simular la dinámica del flujo, calcular pérdidas de energía, evaluar la presión y dimensionar adecuadamente las estructuras (Calcina Luján, 2022). Estas plataformas también facilitan la calibración de parámetros hidráulicos, el diagnóstico de fallas y la planificación de mejoras en los sistemas existentes. Su uso contribuye a tomar decisiones técnicas basadas en datos reales y escenarios de operación simulados, reduciendo los márgenes de error en el diseño.

Por otro lado, la implementación de tecnologías de monitoreo remoto y telemetría posibilita el seguimiento en tiempo real de variables como caudal, presión, nivel de reservorios y condiciones de válvulas. Según ONU-Agua (2021), estas tecnologías son clave para la gestión integrada del recurso hídrico, ya que permiten optimizar la

distribución, detectar fugas y coordinar operaciones en diferentes sectores de riego. La combinación de infraestructura moderna, herramientas digitales y gestión participativa constituye un enfoque integral que potencia el afianzamiento hídrico, asegurando la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental de los sistemas rurales.

3.1.1.7 Importancia del afianzamiento hídrico en la agricultura

El afianzamiento hídrico es un componente esencial para la sostenibilidad agrícola, ya que permite garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas durante todo el ciclo productivo. De acuerdo con la ANA (2020), la implementación de obras y estrategias de afianzamiento hídrico asegura la estabilidad del suministro en épocas de estiaje, evitando pérdidas de producción y fortaleciendo la seguridad alimentaria. En zonas rurales altoandinas, donde la estacionalidad de las lluvias es marcada, estas medidas son indispensables para mantener la productividad de los cultivos y reducir la vulnerabilidad frente a sequías o fenómenos climáticos adversos.

La FAO (2017) señala que el afianzamiento hídrico incrementa la eficiencia en el uso del agua al reducir pérdidas por evaporación, filtración o manejo inadecuado de caudales. Esto se traduce en una mayor productividad agrícola por unidad de agua aplicada, un factor clave en regiones con limitados recursos hídricos. Asimismo, la aplicación de tecnologías hidráulicas modernas, como sistemas de conducción cerrada, reservorios, válvulas de regulación y sifones invertidos, permite optimizar el riego y garantizar el abastecimiento continuo en los terrenos agrícolas.

Desde una perspectiva socioeconómica, el afianzamiento hídrico contribuye a mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales al asegurar la continuidad de la actividad agrícola, generar empleo local y promover el desarrollo territorial sostenible (PNUD, 2021). A nivel ambiental, estas acciones permiten preservar las fuentes hídricas y mantener el equilibrio ecológico mediante la regulación del flujo de agua en cuencas y microcuencas, reduciendo procesos erosivos y conservando la biodiversidad (ONU-Agua, 2021). En consecuencia, el afianzamiento hídrico no solo

mejora la rentabilidad agrícola, sino que también fortalece la resiliencia climática y la sostenibilidad ecológica de los sistemas rurales.

En síntesis, la importancia del afianzamiento hídrico en la agricultura radica en su capacidad para integrar infraestructura, gestión técnica y conservación ambiental. Su correcta aplicación garantiza un uso racional del agua, incrementa la eficiencia de los sistemas de riego y asegura la estabilidad productiva de las comunidades agrícolas, siendo un pilar fundamental para el desarrollo sostenible del sector agrario en el Perú.

3.1.1.8 Impacto del afianzamiento hídrico en sistemas de riego rurales

El afianzamiento hídrico tiene un impacto directo y significativo en la eficiencia hidráulica, la sostenibilidad agrícola y la seguridad hídrica de los sistemas de riego rurales. Según la ANA (2020), la implementación de obras de regulación, conducción y almacenamiento de agua contribuye a mejorar la continuidad y confiabilidad del servicio de riego, incrementando el rendimiento de los cultivos y reduciendo la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos. En este sentido, el impacto más relevante se observa en el incremento del caudal disponible, la reducción de pérdidas por infiltración y la estabilidad en la distribución del recurso entre los usuarios agrícolas.

De acuerdo con la FAO (2017), los sistemas rurales que incorporan medidas de afianzamiento hídrico logran aumentar la productividad agrícola hasta en un 30 %, gracias a la mejora en la disponibilidad temporal del agua y la optimización del tiempo de riego. Las obras de afianzamiento, como reservorios, sifones invertidos y válvulas de control, permiten garantizar presiones adecuadas en las redes de distribución, reduciendo los desbalances hidráulicos y los puntos de falla. Asimismo, la aplicación de tecnologías modernas mejora la capacidad de respuesta del sistema ante sequías prolongadas o sobreexplotación de fuentes superficiales.

En el aspecto social y económico, el PNUD (2021) destaca que el afianzamiento hídrico promueve una mayor seguridad alimentaria, generación de ingresos y fortalecimiento organizacional en las comunidades rurales. El manejo participativo del agua mediante juntas de usuarios y comisiones de regantes fomenta una cultura de

responsabilidad compartida, reduciendo conflictos por el acceso al recurso. Además, el impacto ambiental del afianzamiento hídrico se manifiesta en la conservación de cuencas, la reducción de erosión y la recarga de acuíferos, lo que contribuye al equilibrio ecológico (ONU-Agua, 2021).

Por su parte, el MIDAGRI (2022) señala que los proyectos de afianzamiento hídrico implementados en regiones como Apurímac y Cusco han demostrado mejoras significativas en la eficiencia de conducción y distribución, pasando de valores promedio del 40 % a niveles superiores al 70 %, gracias a la modernización de infraestructuras y la aplicación de tecnologías de control hidráulico. Estos resultados evidencian que el afianzamiento hídrico no solo mejora el desempeño técnico del sistema, sino que también impulsa el desarrollo sostenible del sector agrícola rural.

En resumen, el impacto del afianzamiento hídrico en los sistemas de riego rurales se traduce en mayor eficiencia hidráulica, estabilidad de caudales, sostenibilidad ambiental y fortalecimiento comunitario, consolidándose como una herramienta clave para garantizar la resiliencia hídrica y el desarrollo agrícola sostenible en el Perú.

3.1.1.9 Marco normativo del afianzamiento hídrico en el Perú

El marco normativo del afianzamiento hídrico en el Perú se fundamenta en la necesidad de gestionar el recurso agua de manera sostenible, equitativa y eficiente, bajo un enfoque de cuenca y de gestión integrada. De acuerdo con la ANA (2020), el marco legal peruano establece principios, derechos y obligaciones que regulan el uso, aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos, garantizando su disponibilidad para las generaciones actuales y futuras. Este marco se sustenta principalmente en la Ley de Recursos Hídricos N.º 29338, su reglamento aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, y en diversas políticas nacionales orientadas a la seguridad hídrica y la gestión del riego.

La Ley N.º 29338, promulgada en 2009, reconoce al agua como un recurso natural renovable, patrimonio de la Nación y bien de uso público, cuya gestión debe realizarse con criterios de sostenibilidad, eficiencia y equidad. Esta norma establece que

el Estado, a través de la Autoridad Nacional del Agua, tiene la competencia exclusiva para la administración, conservación y otorgamiento de derechos de uso del agua, promoviendo su gestión integral por cuencas hidrográficas. Asimismo, el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG desarrolla los lineamientos técnicos y administrativos para la implementación de obras hidráulicas, como presas, canales y sifones, enmarcando el afianzamiento hídrico dentro de las políticas nacionales de riego y desarrollo agrario (Congreso de la República del Perú, 2009).

En complemento, la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú (ANA, 2020) orienta la planificación y ejecución de proyectos de afianzamiento hídrico con enfoque territorial y participativo. Este documento establece metas para la mejora de la infraestructura hidráulica, la protección de fuentes de agua y la adaptación al cambio climático. De igual manera, el MIDAGRI (2022) impulsa el Plan Nacional de Recursos Hídricos y el Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI), los cuales promueven la eficiencia en la conducción y distribución de agua mediante obras de regulación, reservorios y sistemas de monitoreo.

Por otro lado, el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, regulado por la Ley N.º 29338, articula a las entidades públicas, gobiernos regionales, locales y organizaciones de usuarios para el manejo coordinado del agua. Este sistema se apoya en instrumentos como los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC), que supervisan la implementación de proyectos de afianzamiento hídrico, la fiscalización del uso del recurso y la protección de ecosistemas asociados (ONU-Agua, 2021). En conjunto, este marco normativo busca consolidar una gestión integral, participativa y sostenible del agua, asegurando que los proyectos de afianzamiento hídrico contribuyan al desarrollo agrícola, social y ambiental del país.

3.1.1.10 Casos de estudio y experiencias exitosas

Las experiencias exitosas de afianzamiento hídrico en el Perú demuestran el impacto positivo que tienen las obras hidráulicas y la gestión eficiente del recurso en la sostenibilidad agrícola y la seguridad hídrica. Estos casos reflejan la importancia de

aplicar tecnologías modernas, planificación por cuencas y participación comunitaria en los sistemas de riego rurales. Según la ANA (2020), los proyectos de afianzamiento hídrico implementados en regiones altoandinas han permitido mejorar la eficiencia hidráulica, la distribución equitativa del agua y la resiliencia ante sequías.

Uno de los casos más representativos es el Proyecto de Afianzamiento Hídrico de la Cuenca del Río Cachi en Ayacucho, ejecutado por el MIDAGRI y la ANA. Este proyecto incluye la construcción de la represa Cuchoquesera, con una capacidad de almacenamiento de 83 millones de metros cúbicos, que permite regular los caudales y abastecer de manera continua a más de 7 000 ha agrícolas. Según ONU-Agua (2021), esta infraestructura ha incrementado la seguridad hídrica de 16 comunidades campesinas y mejorado la producción de cultivos como maíz, papa y quinua. Además, ha fortalecido la gestión local mediante la capacitación técnica de las juntas de usuarios del río Cachi, consolidando un modelo sostenible de uso del agua.

Otro ejemplo exitoso es el Proyecto de Mejoramiento del Sistema de Riego Ccasapata en el distrito de Pomacanchi, Cusco, ejecutado por el Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI). De acuerdo con Calcina Luján (2022), esta intervención permitió modernizar los sistemas de conducción mediante la instalación de tuberías de PVC y sifones invertidos, optimizando el caudal útil y reduciendo las pérdidas hidráulicas en más del 25 %. Asimismo, se incorporó un plan de operación y mantenimiento participativo, lo que ha garantizado la sostenibilidad técnica y social del sistema.

De igual modo, el Proyecto de Siembra y Cosecha de Agua en las Cuencas de Apurímac y Cusco, impulsado por el MIDAGRI (2022), representa una iniciativa destacada de afianzamiento hídrico natural. Esta experiencia combina infraestructura verde y tecnologías tradicionales, como zanjas de infiltración y qochas, para recargar acuíferos y conservar las cabeceras de cuenca. Los resultados muestran un aumento promedio del 18 % en la recarga hídrica anual y una reducción de conflictos por disponibilidad de agua en comunidades rurales. Según la FAO (2017), este tipo de

prácticas integradas son fundamentales para fortalecer la resiliencia climática y asegurar la productividad agrícola en ecosistemas frágiles de montaña.

En conjunto, estos casos evidencian que el afianzamiento hídrico no solo depende de la infraestructura, sino también de la planificación técnica, la participación social y la conservación ambiental. Su implementación genera beneficios sostenibles al incrementar la eficiencia del riego, mejorar los ingresos agrícolas y promover la gestión comunitaria del agua en las zonas altoandinas del país.

3.1.1.11 Conclusiones teóricas del afianzamiento hídrico

El afianzamiento hídrico constituye una herramienta fundamental para garantizar la seguridad hídrica, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia agrícola en el contexto de la gestión integral del agua en el Perú. De acuerdo con la ANA (2020), su aplicación permite mejorar la regulación, el almacenamiento y la distribución del recurso hídrico, reduciendo las pérdidas y optimizando la disponibilidad para los diferentes usos. Desde una perspectiva técnica, el afianzamiento hídrico se sustenta en el diseño adecuado de obras hidráulicas —como presas, reservorios y sifones invertidos— que aseguran el suministro continuo y eficiente de agua en zonas rurales altoandinas.

En términos de gestión y gobernanza, el afianzamiento hídrico promueve la participación activa de los usuarios en la administración del agua, fortaleciendo las capacidades locales y fomentando la equidad en la distribución del recurso. Según ONU-Agua (2021), los sistemas de riego que incorporan prácticas de afianzamiento hídrico presentan mayor resiliencia frente a eventos climáticos extremos, al mismo tiempo que incrementan la productividad agrícola y reducen la vulnerabilidad social. Además, el enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) propuesto por la FAO (2017) resalta la necesidad de combinar infraestructura, innovación tecnológica y gestión participativa para lograr un equilibrio sostenible entre la demanda y la oferta de agua.

El PNUD (2021) sostiene que las estrategias de afianzamiento hídrico generan impactos positivos no solo en el ámbito técnico, sino también en el desarrollo

socioeconómico de las comunidades rurales, al mejorar la seguridad alimentaria, promover la conservación de ecosistemas y reducir la pobreza hídrica. Del mismo modo, el MIDAGRI (2022) enfatiza que el fortalecimiento de la infraestructura hidráulica y la tecnificación del riego contribuyen a incrementar la eficiencia global del sistema, garantizando la sostenibilidad de la producción agrícola a largo plazo.

En conclusión, el afianzamiento hídrico debe entenderse como un proceso integral que articula la ingeniería hidráulica, la gestión ambiental y la participación social. Su adecuada implementación permite alcanzar un uso racional del recurso, mejorar la eficiencia de los sistemas de riego y asegurar la estabilidad hídrica en las regiones rurales del Perú, consolidándose como un pilar esencial para el desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático.

3.2.2. Sistema de sifón invertido

3.1.1.1 Concepto y definición del sifón invertido

El sifón invertido es una estructura hidráulica cerrada utilizada para transportar agua a presión por debajo de un obstáculo, como carreteras, quebradas, ríos o depresiones del terreno, permitiendo la continuidad del flujo dentro de un sistema de conducción. A diferencia del sifón libre o tradicional, en el sifón invertido el flujo no depende de la presión atmosférica, sino de la energía hidráulica generada por la diferencia de nivel entre la entrada y la salida del conducto. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), este tipo de estructura se utiliza cuando el terreno presenta desniveles abruptos que impiden el paso de un canal a superficie libre, garantizando así la eficiencia del transporte sin pérdidas ni interrupciones.

De acuerdo con la FAO (2017), el principio hidráulico del sifón invertido se basa en la continuidad de la energía total, donde el flujo se mantiene bajo presión constante mientras el agua desciende por la tubería, atraviesa la depresión y asciende nuevamente hacia la cota de salida. El diseño de este sistema considera factores como presión interna, velocidad de flujo, pérdidas por fricción, y tipo de material, con el fin de evitar fenómenos indeseables como la cavitación o el atrapamiento de aire. En términos

técnicos, un sifón invertido debe dimensionarse de manera que la energía disponible supere las pérdidas de carga ocasionadas por la longitud, rugosidad y curvatura del tramo, manteniendo la estabilidad hidráulica del sistema (ANA, 2020).

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) señala que los sifones invertidos constituyen componentes esenciales en la modernización de sistemas de riego presurizados y entubados, debido a su capacidad para reducir pérdidas de agua, aumentar la eficiencia hidráulica y facilitar la operación en terrenos con topografía compleja. Además, su implementación permite garantizar un flujo continuo y controlado, reduciendo el riesgo de erosión, infiltraciones y daños estructurales en canales abiertos. Por estas razones, el sifón invertido es considerado una de las soluciones más eficientes y sostenibles para la conducción de agua en sistemas rurales y agrícolas, contribuyendo al afianzamiento hídrico y al aprovechamiento racional del recurso.

3.1.1.2 Componentes del sifón invertido

El sifón invertido está conformado por diversos elementos estructurales e hidráulicos que permiten conducir el flujo de agua de manera eficiente, segura y controlada bajo condiciones de presión. Cada componente cumple una función específica dentro del sistema, asegurando la continuidad del flujo y la estabilidad de la estructura. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), los principales componentes de un sifón invertido son: la cámara de entrada, la tubería de presión o tramo principal, la cámara de salida, las ventosas o válvulas de aire, y las válvulas de purga o drenaje.

La cámara de entrada tiene como función guiar el flujo desde el canal o tubería de alimentación hacia el tramo de presión, reduciendo la velocidad del agua y asegurando una distribución uniforme. Debe diseñarse con una geometría que minimice las pérdidas de energía y evite la formación de vórtices o turbulencias que puedan afectar la estabilidad hidráulica (FAO, 2017). Por su parte, la tubería principal constituye el núcleo del sistema; en ella el agua circula bajo presión mientras desciende y asciende, por lo que su material, diámetro y espesor deben ser seleccionados de acuerdo con el caudal de diseño, la longitud y la pendiente del terreno (ANA, 2020).

La cámara de salida cumple la función de disipar la energía y restablecer las condiciones de flujo a superficie libre o hacia el siguiente tramo de conducción. En esta zona, se incorporan estructuras de protección y dispositivos de control de erosión para evitar el impacto directo del flujo sobre el terreno o el canal receptor. Además, el sistema se complementa con ventosas o válvulas de aire, que permiten liberar el aire atrapado en el interior del conducto, evitando problemas de cavitación y sobrepresión. Asimismo, las válvulas de purga o drenaje son necesarias para vaciar el sifón durante operaciones de mantenimiento, inspección o limpieza (MIDAGRI, 2022).

En algunos casos, los sifones invertidos incorporan instrumentación hidráulica, como medidores de caudal, manómetros y sensores de presión, que facilitan el monitoreo del comportamiento del flujo en tiempo real. Estas tecnologías permiten optimizar la operación, prevenir daños estructurales y garantizar una conducción eficiente. Según ONU-Agua (2021), la integración de estos componentes dentro de un enfoque de gestión técnica y preventiva contribuye significativamente a la sostenibilidad y durabilidad del sistema de riego.

En conjunto, los componentes del sifón invertido conforman un sistema hidráulico cerrado diseñado para garantizar la continuidad del flujo en condiciones de presión, minimizar pérdidas energéticas y mantener la integridad estructural de la conducción. Su correcto diseño, instalación y mantenimiento determinan directamente la eficiencia hidráulica y la vida útil de la infraestructura.

3.1.1.3 Principio hidráulico de funcionamiento

El principio hidráulico de funcionamiento del sifón invertido se basa en el mantenimiento del flujo continuo a presión dentro de una conducción cerrada, que permite transportar el agua desde una cota superior hasta otra inferior, pasando por debajo de un obstáculo natural o artificial. A diferencia del flujo a superficie libre, en el sifón invertido el agua circula totalmente llena, lo que genera presiones internas que deben ser cuidadosamente calculadas para evitar fallas estructurales. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), el comportamiento del flujo en un sifón invertido

responde a la ecuación general de energía de Bernoulli, la cual relaciona la altura, la velocidad y las pérdidas de carga entre la entrada y la salida del sistema.

La ecuación que describe este principio puede expresarse de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

donde

Z representa la elevación geométrica,

P la presión,

V la velocidad,

g la aceleración de la gravedad y h_f las pérdidas de carga debidas a la fricción y accesorios. En este tipo de flujo, la presión máxima se produce en el punto más bajo del sifón, mientras que la presión mínima se presenta en la salida o en los puntos altos del sistema. Por ello, el diseño debe garantizar que las presiones se mantengan dentro de los límites admisibles del material utilizado, evitando riesgos de colapso o cavitación (FAO, 2017).

Las pérdidas de energía en el sifón invertido están asociadas principalmente a tres factores: las pérdidas en la entrada (h_e), las pérdidas por fricción en la tubería (h_f) y las pérdidas en la salida (h_s). Estas se determinan mediante fórmulas empíricas como la ecuación de Darcy-Weisbach, en función de la rugosidad del material, el diámetro del conducto y la longitud del tramo. Asimismo, el coeficiente de fricción puede estimarse con el diagrama de Moody, considerando el régimen de flujo turbulento o laminar. La ANA (2020) recomienda emplear valores de rugosidad adecuados según la norma NTP ISO 4435, garantizando un flujo eficiente y controlado.

Por su parte, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) enfatiza que el funcionamiento estable del sifón invertido depende de una adecuada ventilación y purga del aire atrapado, pues la acumulación de bolsas de aire puede alterar el equilibrio de

presiones y reducir la capacidad hidráulica. Para ello, se instalan válvulas automáticas de aire en los puntos altos del sistema. De acuerdo con ONU-Agua (2021), este tipo de infraestructura constituye una de las soluciones más efectivas para mantener la continuidad del suministro en zonas con topografía irregular, siempre que se garantice un diseño hidráulico basado en la conservación de la energía y el control de presiones internas.

En síntesis, el principio hidráulico del sifón invertido se fundamenta en el equilibrio energético entre la carga disponible y las pérdidas totales del sistema, asegurando un flujo presurizado estable y seguro. Su funcionamiento eficiente requiere el cumplimiento de criterios técnicos precisos en materia de diseño, ventilación, material y mantenimiento, lo que garantiza la sostenibilidad hidráulica y estructural de la obra.

3.1.1.4 Tipos de sifones invertidos

Los sifones invertidos se clasifican según su configuración estructural, material de construcción y condiciones de operación, factores que determinan su comportamiento hidráulico y su eficiencia dentro de los sistemas de conducción. Esta clasificación permite seleccionar el tipo más adecuado en función del caudal, la topografía y el tipo de terreno. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), los sifones invertidos pueden dividirse en sifones de un tramo, de múltiples tramos y de derivación múltiple, cada uno con características específicas de diseño y aplicación.

Los sifones de un tramo se componen de una sola conducción cerrada que atraviesa el obstáculo en línea directa, siendo recomendados para caudales pequeños y medianos con longitudes reducidas. Por otro lado, los sifones de múltiples tramos emplean dos o más conductos paralelos, diseñados para transportar grandes volúmenes de agua o para garantizar redundancia operativa; estos sistemas son comunes en obras de irrigación de gran escala y permiten mantenimiento sin interrumpir el servicio (FAO, 2017). Finalmente, los sifones de derivación múltiple permiten la distribución del flujo hacia varios canales secundarios o sistemas de riego, mejorando la regulación y el aprovechamiento del caudal.

En cuanto al material de construcción, los sifones invertidos pueden fabricarse en acero, PVC, PEAD, PRFV o concreto armado, dependiendo de las presiones de trabajo, la topografía y las condiciones del terreno. El acero es ideal para conducciones de alta presión y gran caudal, aunque requiere protección anticorrosiva; el PVC y el PEAD se utilizan en sistemas rurales o de mediana escala por su facilidad de instalación, ligereza y resistencia química; mientras que el concreto armado se emplea en obras permanentes con altas cargas estructurales (MIDAGRI, 2022). Según la NTP ISO 4435 (INACAL, 2016), los materiales plásticos deben cumplir requisitos de rigidez anular y resistencia a la presión interna para garantizar la estabilidad del flujo y evitar deformaciones.

Asimismo, los sifones invertidos pueden clasificarse como cerrados o abiertos. Los sifones cerrados son los más comunes y operan completamente llenos, manteniendo flujo presurizado, mientras que los sifones abiertos se utilizan en sistemas experimentales o de descarga controlada donde se permite un flujo parcialmente libre. Según ONU-Agua (2021), la selección del tipo de sifón debe considerar la disponibilidad de materiales, las condiciones geotécnicas y la capacidad de operación del sistema de riego, de modo que se logre un equilibrio entre eficiencia hidráulica, durabilidad y sostenibilidad económica.

En síntesis, la clasificación de los sifones invertidos responde a criterios hidráulicos, estructurales y funcionales que permiten su adaptación a diversos escenarios topográficos. Su correcta selección es esencial para garantizar la estabilidad del flujo, reducir pérdidas energéticas y optimizar el rendimiento del sistema de riego.

3.1.1.5 Ventajas y limitaciones del sifón invertido

El sifón invertido presenta una serie de ventajas técnicas y operativas que lo convierten en una de las estructuras más eficientes dentro de los sistemas de conducción hidráulica. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), su principal beneficio radica en la capacidad de mantener la continuidad del flujo en terrenos con grandes variaciones topográficas, permitiendo atravesar valles, quebradas, carreteras o

ríos sin interrumpir el sistema de riego. Al ser una conducción cerrada, evita las pérdidas por evaporación e infiltración que son comunes en canales abiertos, mejorando así la eficiencia hidráulica global del sistema.

Otra ventaja importante es la reducción del impacto ambiental y de ocupación del suelo, ya que el sifón invertido requiere menor espacio superficial y se adapta mejor a entornos naturales. Además, su diseño cerrado protege el agua de contaminaciones externas y contribuye a la seguridad sanitaria del recurso (FAO, 2017). Desde el punto de vista estructural, los sifones invertidos pueden ser fabricados con materiales de alta resistencia como el PEAD, PVC, PRFV o acero, los cuales garantizan durabilidad, resistencia a la presión interna y facilidad de mantenimiento. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) destaca que esta tecnología permite la modernización de la infraestructura de riego, reduciendo pérdidas energéticas y costos de operación a largo plazo.

Sin embargo, el uso del sifón invertido también presenta limitaciones técnicas que deben considerarse durante su diseño y operación. Entre las principales se encuentran las altas presiones internas que se generan en el punto más bajo del conducto, las cuales pueden provocar deformaciones o roturas si el material o la unión no cumplen con la rigidez necesaria. Asimismo, la presencia de aire atrapado puede causar bloqueos hidráulicos, cavitación o golpes de ariete, afectando la estabilidad del sistema (ANA, 2020). Por esta razón, se recomienda instalar válvulas automáticas de aire y drenaje en puntos críticos para mantener un funcionamiento seguro y estable.

Otra limitación está relacionada con los costos iniciales de instalación, que suelen ser más elevados que los de un canal abierto, especialmente por la necesidad de materiales de alta calidad y mano de obra especializada. No obstante, estos costos se compensan con los beneficios operativos y la reducción de pérdidas hídricas a largo plazo (ONU-Agua, 2021). Finalmente, el mantenimiento preventivo periódico es indispensable para garantizar su vida útil, ya que la acumulación de sedimentos o residuos puede disminuir la capacidad hidráulica y aumentar las pérdidas de carga.

En conclusión, el sifón invertido representa una solución técnica eficiente y sostenible para la conducción de agua en sistemas de riego rurales y urbanos, siempre que su diseño, instalación y operación se realicen conforme a los criterios hidráulicos y estructurales establecidos por las normas técnicas y manuales especializados.

3.1.1.6 Diseño hidráulico del sifón invertido

El diseño hidráulico del sifón invertido tiene como finalidad determinar las dimensiones, materiales y condiciones de operación que garanticen un flujo continuo, estable y seguro bajo presión. De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (2019), este diseño debe considerar tres aspectos fundamentales: el caudal de diseño, las pérdidas de energía (por fricción, entrada y salida) y las presiones internas máximas y mínimas que soportará la conducción. Estos parámetros se analizan con base en la ecuación de energía de Bernoulli y las fórmulas de pérdidas hidráulicas.

1. Cálculo del caudal de diseño

El caudal de diseño (Q) se define como el volumen máximo de agua que debe transportarse por unidad de tiempo a través del sifón invertido, expresado en m^3/s . Este se determina en función de la demanda de riego, la capacidad del canal de alimentación y la disponibilidad del recurso. Según la FAO (2017), el caudal se calcula aplicando el principio de continuidad:

$$Q=A \times V$$

donde:

$$Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{área de la sección transversal del conducto (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{velocidad media del flujo (m/s)}$$

La velocidad recomendada varía entre 1.0 y 3.0 m/s, dependiendo del material del conducto y la naturaleza del terreno, con el fin de evitar sedimentación o erosión interna (ANA, 2019).

2. Pérdidas de carga

Las pérdidas totales de energía (h_t) comprenden las pérdidas por fricción y las pérdidas locales por entrada y salida. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022), estas se determinan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

donde:

h_f = pérdida por fricción (m)

f = coeficiente de fricción (de acuerdo con el diagrama de Moody)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro interno del conducto (m)

V = velocidad del flujo (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Las pérdidas locales (h_e+h_s) se calculan con base en los coeficientes de entrada (K_e) y salida (K_s):

$$h_e + h_s = (K_e + K_s) \times \frac{V^2}{2g}$$

Valores típicos: $K_e=0.5$ para entrada redondeada y $K_s=1.0$ para salida libre (ANA, 2019).

3. Presiones internas

El punto más bajo del sifón es el de máxima presión. Esta se obtiene aplicando la ecuación de Bernoulli: $P_2 = \gamma(Z_1 - Z_2 - h_f)$

donde

$Z_1 - Z_2$ representa la diferencia de nivel entre entrada y el punto más bajo. Para evitar fallas estructurales, el material debe resistir la presión interna total y cumplir con

la rigidez anular especificada por la NTP ISO 4435 (INACAL, 2016), especialmente en conducciones de PVC y PEAD.

El diámetro del sifón (D) se selecciona mediante el equilibrio entre velocidad y pérdida de carga admisible, optimizando el uso de energía hidráulica. El criterio general indica que la pérdida total no debe superar el 10 % de la carga disponible entre entrada y salida.

4. Criterios complementarios de diseño

Para garantizar la estabilidad hidráulica, se recomienda:

- Incluir válvulas de aire en los puntos altos y válvulas de drenaje en los puntos bajos.
- Alinear los tramos con pendiente suave para evitar zonas de turbulencia.
- Utilizar conductos flexibles en suelos expansivos o con asentamientos diferenciales.
- Considerar el coeficiente de seguridad estructural ≥ 1.5 para presiones internas (ONU-Agua, 2021).

Conclusión del diseño hidráulico

El diseño hidráulico del sifón invertido se basa en el equilibrio entre energía, presión y caudal, con el objetivo de lograr una conducción eficiente, segura y sostenible. La aplicación de criterios técnicos adecuados permite garantizar una operación confiable y minimizar los costos de mantenimiento, especialmente en sistemas rurales donde el recurso hídrico es limitado.

3.1.1.7 Diseño estructural y materiales empleados

El diseño estructural del sifón invertido tiene como objetivo garantizar la resistencia mecánica, estabilidad y durabilidad del conducto ante las presiones internas, cargas externas y esfuerzos derivados de las condiciones del terreno. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), la estructura del sifón debe diseñarse para resistir tanto las presiones positivas (flujo presurizado) como las presiones negativas o de vacío,

considerando factores como el tipo de material, la profundidad de instalación y la naturaleza del suelo.

En términos estructurales, el sifón invertido está sometido a esfuerzos combinados de presión interna (p), cargas de sobrecapa (W) y presiones laterales del terreno (σ_e). El espesor mínimo de la tubería se calcula mediante la ecuación general de esfuerzos circunferenciales (ecuación de Lamé):

La selección del material depende de la presión de trabajo, las condiciones ambientales y la disponibilidad local. De acuerdo con la NTP ISO 4435 (INACAL, 2016) y la NTP 399.162 (INACAL, 2018), los materiales más utilizados son:

Policloruro de vinilo (PVC-U): recomendado para presiones de hasta 1.0 MPa, alta durabilidad y resistencia química.

Polietileno de alta densidad (PEAD): excelente flexibilidad, resistencia al impacto y capacidad de absorción ante asentamientos diferenciales.

Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV): adecuado para conducciones de media a alta presión, con bajo peso y alta resistencia estructural.

Acero al carbono: empleado en obras de gran caudal y presión, con necesidad de protección anticorrosiva mediante recubrimientos epóxicos o galvanizados.

Concreto armado: ideal para estructuras enterradas con cargas externas elevadas, aunque requiere juntas impermeables y control de fisuras.

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022), la elección del material debe basarse en la compatibilidad hidráulica y estructural, así como en la capacidad de soportar esfuerzos térmicos y de tracción. El uso de materiales certificados conforme a normas ASTM D3034 (PVC), ASTM D3350 (PEAD) y AWWA C950 (PRFV) asegura una vida útil superior a los 50 años, siempre que se cumplan los procedimientos de instalación recomendados.

El diseño estructural debe considerar además la rigidez anular (SN), parámetro que expresa la capacidad de la tubería para resistir deformaciones bajo cargas del suelo, calculada mediante:

$$SN = \frac{E \times e^3}{12(1 - \mu^2) \times D^3}$$

μ el coeficiente de Poisson. La ANA (2019) establece que para tuberías enterradas, la rigidez mínima admisible es de 4 kN/m² para diámetros menores a 500 mm, y 8 kN/m² para diámetros mayores, a fin de evitar deformaciones que reduzcan la capacidad hidráulica.

Finalmente, es fundamental incorporar apoyos, anclajes y juntas flexibles en puntos de cambio de dirección o curvatura, permitiendo absorber dilataciones térmicas y vibraciones inducidas por el flujo. Según ONU-Agua (2021), la correcta combinación de diseño estructural y selección de materiales contribuye significativamente a la sostenibilidad de la infraestructura hidráulica, reduciendo fallas por colapso o filtración.

En síntesis, el diseño estructural y la adecuada selección de materiales garantizan la seguridad, durabilidad y eficiencia operativa del sifón invertido, optimizando la inversión y prolongando la vida útil de la obra hidráulica.

3.1.1.8 Instalación y operación del sifón invertido

La instalación y operación del sifón invertido constituyen etapas críticas para garantizar su funcionamiento eficiente, su estabilidad estructural y su durabilidad a largo plazo. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), la instalación debe ejecutarse siguiendo un procedimiento técnico que asegure la alineación correcta de la tubería, el control de presiones y la adecuada compactación del terreno de soporte. Este proceso incluye la preparación del terreno, el montaje del conducto, la instalación de accesorios y las pruebas hidráulicas de verificación antes de su puesta en servicio.

La preparación del terreno implica el trazo, nivelación y excavación de la zanja según las dimensiones del diseño, considerando una profundidad mínima de cobertura de 1.0 m sobre la generatriz superior de la tubería para protegerla de cargas externas. El fondo de la zanja debe ser regular, libre de materiales sueltos o piedras, y con una capa de asiento de arena compactada de entre 10 a 15 cm de espesor, conforme a la

NTP ISO 4435 (INACAL, 2016). En suelos inestables o expansivos, se recomienda colocar una base granular estabilizada o una losa de concreto simple para mejorar la distribución de esfuerzos.

El montaje del sifón se realiza de manera progresiva, asegurando el correcto alineamiento longitudinal y transversal de los tramos. Las uniones deben sellarse con juntas flexibles o empaques de goma que garanticen la hermeticidad y la absorción de dilataciones térmicas. En los puntos bajos se instalan válvulas de drenaje, y en los puntos altos, ventosas automáticas para liberar el aire atrapado. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022), es fundamental mantener un control topográfico constante durante la instalación para evitar desviaciones que afecten la pendiente hidráulica o la estabilidad estructural del sistema.

Una vez concluido el montaje, se ejecutan las pruebas hidráulicas de presión y estanqueidad, las cuales consisten en llenar el conducto y someterlo a una presión de prueba equivalente a 1.5 veces la presión de trabajo. El sistema se considera aprobado si no se presentan fugas ni descensos significativos de presión durante un período mínimo de 30 minutos (ANA, 2019). Posteriormente, se procede al relleno de la zanja, utilizando material granular compactado en capas de 20 cm, cuidando de no dañar la estructura del tubo.

En cuanto a la operación del sifón invertido, esta se basa en el mantenimiento del flujo presurizado continuo. De acuerdo con la FAO (2017), el sistema debe operar con válvulas de control de presión y caudal, y su funcionamiento debe ser supervisado periódicamente para evitar acumulaciones de aire, sedimentación o corrosión interna. Además, se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones semestrales, limpieza de válvulas, control de filtraciones y revisión del estado de juntas y anclajes.

Según Agua (2021), una operación adecuada garantiza la eficiencia hidráulica y prolonga la vida útil de la infraestructura. La falta de mantenimiento puede generar obstrucciones, sobrepresiones o pérdidas energéticas, afectando el rendimiento general

del sistema de riego. Por ello, la correcta instalación y operación del sifón invertido son elementos determinantes para asegurar su desempeño y sostenibilidad en el tiempo.

3.1.1.9 Factores que afectan su eficiencia

La eficiencia hidráulica del sifón invertido depende de múltiples factores que intervienen durante su diseño, instalación, operación y mantenimiento. Estos factores influyen directamente en la capacidad del sistema para transportar el caudal de diseño con pérdidas mínimas de energía. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), las principales variables que afectan la eficiencia de un sifón invertido son: la fricción interna del material, la presencia de aire atrapado, la sedimentación, la deformación estructural y la pendiente del conducto.

Uno de los factores más determinantes es la fricción interna, que está relacionada con la rugosidad del material del conducto y con la velocidad del flujo. Un material con superficie lisa, como el PVC o el PEAD, reduce las pérdidas de energía por fricción y mejora la eficiencia global. Estas pérdidas se calculan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, donde el coeficiente de fricción

f depende de la rugosidad relativa y del régimen de flujo (FAO, 2017). De acuerdo con la NTP ISO 4435 (INACAL, 2016), los tubos plásticos de PVC-U presentan una rugosidad promedio de 0.0015 mm, mientras que los tubos metálicos pueden alcanzar valores mayores a 0.15 mm, afectando considerablemente la capacidad de conducción.

Otro aspecto relevante es la presencia de aire atrapado dentro del conducto. Si no se dispone de un sistema adecuado de ventosas o válvulas de aire, pueden formarse bolsas que reducen la sección hidráulica efectiva y provocan golpes de ariete o cavitación. Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022), la acumulación de aire puede generar sobrepresiones de hasta un 25 % superiores a la presión de diseño, comprometiendo la estabilidad estructural del sifón. Para evitar este problema, se recomienda colocar válvulas automáticas de aire en los puntos más altos y válvulas de purga en los puntos bajos.

La sedimentación también influye significativamente en la eficiencia. La entrada de materiales sólidos (arena, limos o gravas) puede reducir el área efectiva de paso y aumentar las pérdidas por fricción. La FAO (2017) indica que este fenómeno es común en sistemas que carecen de rejillas o estructuras de limpieza en la cámara de entrada. La instalación de trampas de sedimentos o desarenadores es fundamental para mantener el flujo estable y evitar obstrucciones.

La deformación estructural del conducto constituye otro factor crítico. Según la ANA (2020), los asentamientos diferenciales del terreno, la compactación deficiente o el uso de materiales inadecuados pueden producir deformaciones ovaladas que reducen el diámetro efectivo, incrementando la pérdida de carga. Este efecto es especialmente sensible en tuberías plásticas flexibles, donde la rigidez anular (SN) debe cumplir los valores mínimos establecidos por la norma NTP 399.162 (INACAL, 2018).

Finalmente, la pendiente del conducto y el alineamiento topográfico determinan el equilibrio energético del flujo. Una pendiente excesiva puede generar turbulencias y sobrepresiones, mientras que una pendiente insuficiente puede originar acumulación de aire o sedimentos. Según ONU-Agua (2021), la optimización del diseño hidráulico mediante modelación numérica permite predecir estos comportamientos y garantizar una operación más eficiente y segura.

En síntesis, la eficiencia del sifón invertido está condicionada por factores hidráulicos, estructurales y operativos que deben evaluarse integralmente en cada etapa del proyecto. El control de la rugosidad, la ventilación, la limpieza, la rigidez estructural y la pendiente constituyen parámetros esenciales para asegurar un desempeño hidráulico óptimo y sostenido en el tiempo.

3.1.1.10 Aplicaciones en sistemas de riego rurales

El sifón invertido desempeña un papel fundamental en los sistemas de riego rurales, especialmente en regiones con topografía irregular, como las zonas altoandinas del Perú. Su función principal es garantizar la continuidad del flujo hidráulico atravesando quebradas, cauces o depresiones naturales, evitando la interrupción de los

canales de conducción. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), los sifones invertidos permiten aprovechar el relieve del terreno sin necesidad de grandes movimientos de tierra o estructuras superficiales, contribuyendo así a la eficiencia del transporte y la sostenibilidad de la infraestructura hidráulica.

En el contexto rural peruano, el uso del sifón invertido se ha convertido en una solución técnica y económica viable para modernizar los sistemas de riego por gravedad. De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022), los programas de mejoramiento de riego del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI) han incorporado sifones invertidos en proyectos de rehabilitación y ampliación de canales en las regiones de Apurímac, Cusco y Ayacucho, logrando incrementos en la eficiencia hidráulica superiores al 30 % respecto a las conducciones abiertas tradicionales. Estas estructuras permiten transportar caudales entre 0.05 y 1.50 m³/s con mínimas pérdidas por fricción, mejorando la distribución del agua hacia las parcelas agrícolas.

Un ejemplo representativo es el sistema de riego Ccasapata, en el distrito de Pomacanchi (Cusco), donde se implementó un sifón invertido de 160 mm de diámetro en tubería PEAD de alta presión, diseñado para atravesar una depresión de 18 metros de profundidad. Según Calcina Luján (2022), el proyecto permitió optimizar el caudal de distribución, reducir las fugas y garantizar un suministro constante durante todo el año agrícola. En Apurímac, proyectos como el afianzamiento hídrico del sistema Cavira y Mariño, también han incorporado sifones invertidos para mejorar la eficiencia hidráulica en sectores con topografía accidentada y canales expuestos a erosión y deslizamientos.

Desde una perspectiva técnica, los sifones invertidos en zonas rurales se instalan principalmente en sistemas entubados cerrados, operando bajo presión y diseñados conforme a las normas NTP ISO 4435 y NTP 399.162 para tuberías plásticas. Estos materiales, por su resistencia mecánica y flexibilidad, se adaptan mejor a los movimientos del terreno y garantizan una vida útil prolongada. Además, la incorporación

de válvulas automáticas, cámaras de purga y sistemas de control de caudal ha permitido integrar estos elementos a esquemas de gestión hídrica más modernos y sostenibles.

Según Agua (2021), la implementación de sifones invertidos en comunidades rurales altoandinas contribuye significativamente al afianzamiento hídrico, permitiendo el uso racional del recurso, la mejora en la producción agrícola y la reducción de conflictos por disponibilidad de agua. Asimismo, estas obras fortalecen la capacidad de adaptación al cambio climático mediante el aprovechamiento eficiente del agua en temporadas de estiaje.

En conclusión, las aplicaciones de los sifones invertidos en los sistemas rurales del Perú representan una tecnología apropiada, adaptable y sostenible, que combina eficiencia hidráulica, bajo mantenimiento y resiliencia frente a condiciones topográficas complejas, consolidándose como una herramienta esencial para la modernización del riego en el ámbito agrícola nacional.

3.1.1.11 Conclusiones teóricas del sistema de sifón invertido

El sistema de sifón invertido constituye una infraestructura hidráulica esencial para garantizar la continuidad del flujo presurizado en los sistemas de conducción de agua, especialmente en zonas rurales con topografía irregular. Desde una perspectiva teórica, su diseño y funcionamiento se sustentan en los principios de la energía hidráulica y la conservación de la carga total, permitiendo transportar caudales a través de desniveles o barreras naturales sin afectar la eficiencia del sistema. Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), la correcta aplicación del sifón invertido asegura la estabilidad hidráulica, el control de presiones internas y la reducción significativa de pérdidas energéticas.

El análisis estructural y material de estas conducciones demuestra que su eficiencia depende de la selección adecuada de tuberías de PVC, PEAD, PRFV o acero, capaces de soportar presiones internas elevadas y esfuerzos externos del terreno. Las normas NTP ISO 4435 y NTP 399.162 establecen los parámetros técnicos y de rigidez anular necesarios para garantizar su resistencia mecánica y durabilidad (INACAL, 2016;

INACAL, 2018). De acuerdo con la FAO (2017), la utilización de materiales con baja rugosidad hidráulica y alta flexibilidad permite disminuir las pérdidas por fricción y aumentar la eficiencia de conducción, factores determinantes para optimizar la distribución del recurso hídrico.

Asimismo, el diseño hidráulico basado en la ecuación de Bernoulli y el método de Darcy-Weisbach permite mantener un flujo estable y controlado dentro de los límites de presión admisibles, evitando fenómenos como la cavitación o el golpe de ariete. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022) señala que la implementación de sifones invertidos en los sistemas de riego rurales ha permitido incrementar la eficiencia hidráulica hasta en un 30 %, reducir fugas y garantizar un abastecimiento constante en zonas con condiciones topográficas complejas.

Desde un punto de vista operativo, el funcionamiento del sifón invertido requiere de una instalación adecuada, ventilación controlada y mantenimiento preventivo, factores que influyen directamente en su vida útil. Según ONU-Agua (2021), la operación eficiente de estos sistemas depende de la correcta eliminación del aire atrapado, el control de presiones y la limpieza periódica de los tramos inferiores para evitar la sedimentación. En este sentido, los sifones invertidos no solo constituyen una alternativa técnica de alta eficiencia, sino también un componente clave del afianzamiento hídrico y de la gestión sostenible del recurso agua en el sector agrícola.

En conclusión, el sistema de sifón invertido representa una solución integral, eficiente y sostenible dentro de la ingeniería hidráulica moderna. Su aplicación permite mejorar la eficiencia de conducción, reducir pérdidas energéticas, aprovechar las condiciones naturales del terreno y prolongar la vida útil de los sistemas de riego. Por tanto, su incorporación en proyectos rurales e hidráulicos contribuye al desarrollo agrícola sostenible, a la seguridad hídrica y al fortalecimiento de la infraestructura de riego en el Perú.

3.3. Definición de términos

Caudal medio mensual

El caudal medio mensual se define como el promedio aritmético de los caudales medios diarios registrados en un mes determinado, y se expresa en m^3/s . Se calcula sumando los caudales medios diarios de los 28–31 días del mes y dividiendo entre el número de días, lo cual permite evaluar la disponibilidad hídrica estacional para planificación de riego y diseño de obras hidráulicas (Universidad Politécnica de Madrid, 2017).

Caudal medio anual

El caudal medio anual corresponde al promedio de los 12 caudales medios mensuales de un año hidrológico, expresado en m^3/s . Se utiliza para estimar el régimen de un río o canal en el mediano plazo, fundamental para el dimensionamiento de presas y el cálculo de recursos hídricos renovables (Scribd, 2019).

Estudio hidrológico

Un estudio hidrológico consiste en la recopilación y análisis de datos pluviométricos, caudales y niveles freáticos para caracterizar el ciclo hidrológico de una cuenca, modelar el comportamiento de escorrentía y diseñar infraestructuras de captación y drenaje. Incluye análisis de series temporales, generación de curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) y balance hídrico (CEDEX, 2016).

Oferta autorizada

La oferta autorizada es el volumen anual máximo de agua que una autoridad hidrográfica concede a un titular de uso, regulado mediante títulos habilitantes (resoluciones directorales), y se expresa en $\text{m}^3/\text{año}$. Determina la disponibilidad legal para riego y otras actividades (ANA, 2019).

Demanda hídrica

La demanda hídrica de un cultivo es el volumen de agua requerido para satisfacer su evapotranspiración, calculado como ET_c (evapotranspiración de referencia \times coeficiente de cultivo K_c) multiplicado por el área de cultivo, y

se expresa en m³. Es clave para dimensionar sistemas de riego y programar turnos (FAO, 1998).

Balance hídrico superficial

El balance hídrico superficial corresponde a la diferencia entre las entradas (precipitación efectiva, escorrentía superficial y aportes por escurrimiento) y las salidas (evapotranspiración, infiltración y desembalse) de agua en la cuenca o microcuenca, expresada en unidades de volumen o profundidad (mm) en un periodo determinado. (FAO, 2003).

Microcuenca

Una microcuenca es una subdivisión de una cuenca hidrográfica cuyo área es suficientemente pequeña (típicamente <10 km²) para considerarse homogénea en términos de régimen de escorrentía y características topográficas. Se utiliza para estudios detallados de hidrología local, diseño de obras de control de avenidas e implementación de prácticas de conservación, ya que permite integrar datos de lluvia, suelo, uso de suelo y geomorfología en modelos de respuesta rápida (Ponce, 1989).

Mitigación del déficit hídrico

La mitigación del déficit hídrico engloba el conjunto de medidas técnicas y de gestión, como el uso de riego presurizado, revestimiento de canales y programación de turnos, destinadas a reducir la brecha entre la demanda de agua de los cultivos y la oferta real del sistema. Su efectividad se cuantifica mediante la disminución porcentual del déficit hídrico, comparando escenarios antes y después de la intervención (Jensen, 1996).

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c), es el intervalo de tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la desembocadura. (USDA NRCS, 1985).

período de estiaje

El periodo de estiaje es la época del año caracterizada por los caudales mínimos continuos de un río o sistema de riego, debido a bajas precipitaciones y alta evapotranspiración. Se determina a partir de análisis de series históricas de caudales diarios y se usa para dimensionar reservas y garantizar abastecimiento en la temporada seca (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2014).

Pendiente promedio

La pendiente promedio de una cuenca o canal se define como la razón entre la diferencia de altura entre el punto de cabecera y el de salida y la longitud del cauce principal, expresada en m/m o en porcentaje. Se calcula geográficamente a partir de curvas de nivel en sistemas de información geográfica y es clave en el diseño de obras hidráulicas y estimación de velocidad de flujo (Chow, Maidment, & Mays, 1988).

Riego tecnificado

El riego tecnificado incluye sistemas presurizados (aspersión, goteo, microaspersión) que permiten aplicar agua y nutrientes de forma controlada, reduciendo pérdidas por evaporación y percolación profunda, y aumentando la eficiencia del uso del recurso hídrico hasta un 90 % (FAO, 2017).

Disponibilidad estacional

La disponibilidad estacional es la variación temporal de la oferta hídrica a lo largo del año, determinada por el régimen pluviométrico y la gestión de almacenamientos. Se define como el porcentaje del volumen anual total que se produce en cada estación (lluvia, sequía), y se utiliza para planificar obras de regulación y estrategias de conservación de agua (Smajgl et al., 2015).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación aplicada se orienta a la solución de problemas concretos de la realidad mediante la aplicación de conocimientos teóricos y metodológicos. Este tipo de estudio busca generar propuestas prácticas con valor funcional y utilidad inmediata.

En mi investigación, el tipo de estudio fue aplicada, ya que estuvo orientado a resolver el problema del déficit hídrico en el sistema de riego Uripa mediante el diseño de un sifón invertido para optimizar la distribución del agua en el sector Ranracancha.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel descriptivo permite especificar las propiedades, características y perfiles relevantes de un fenómeno. No pretende explicar causas ni establecer relaciones causales, sino representar detalladamente una situación o problema (Hernández et al., 2014).

En esta investigación, el nivel fue descriptivo, ya que se describieron las condiciones actuales del sistema de riego Uripa, se cuantificaron la oferta y demanda de agua, y se caracterizó el déficit hídrico existente. Además, se evaluaron parámetros hidráulicos que permitieron comprender la necesidad del sifón invertido.

4.1.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), en los diseños no experimentales las variables no se manipulan deliberadamente, sino que se observan tal como ocurren en su contexto natural, con el propósito de describir y analizar los fenómenos sin alterar sus condiciones. Asimismo, el diseño transversal se caracteriza por recolectar los datos en un solo momento o periodo de tiempo determinado, con el fin de analizar la situación existente en ese instante.

En esta investigación se aplicó un diseño no experimental y transversal, ya que se analizaron las condiciones hídricas y estructurales del sistema de riego Uripa en su estado actual, sin intervenir ni modificar las variables de estudio. Los datos hidrológicos, topográficos y técnicos fueron recolectados durante el año 2024 para diagnosticar el nivel de déficit hídrico, evaluar la eficiencia hidráulica y sustentar la propuesta del sifón invertido como alternativa técnica de afianzamiento hídrico en el sector Ranracancha. Este diseño permitió establecer relaciones entre la oferta y demanda de agua y validar la viabilidad técnica de la solución planteada..

4.1.4. Enfoque de investigación

El enfoque de investigación cuantitativo se basa en la recolección de datos numéricos y en el uso de la estadística para probar hipótesis, analizar relaciones y describir fenómenos de forma objetiva (Hernández et al., 2014).

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se trabajó con datos hidrológicos (caudales, volúmenes, eficiencia) recolectados en campo o mediante fuentes oficiales para calcular la oferta, la demanda y el impacto del sifón invertido.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

El ámbito temporal se refiere al período durante el cual se recolectan, analizan o interpretan los datos de una investigación (Sampieri et al., 2014).

El estudio se realizó durante el año 2024, con énfasis en el análisis de datos hidrológicos históricos del periodo 1968-2015 y su contraste con las condiciones actuales del sistema de riego Uripa en Ranracancha.

4.2.2. Ámbito espacial

El ámbito espacial hace referencia al lugar físico o geográfico donde se desarrolla la investigación (Hernández et al., 2014).

Este estudio se desarrolló en la microcuenca Solar, ubicada en el distrito de Uripa, provincia de Chincheros, región Apurímac. Específicamente, el área de influencia directa corresponde al sistema de riego Uripa y al sector agrícola de Ranracancha.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población de la investigación estuvo conformada por el sistema de riego Uripa y los sectores agrícolas beneficiarios localizados en el distrito de Uripa, provincia de Chincheros, región Apurímac. Esta población comprende la totalidad de las infraestructuras hidráulicas (canales, bocatomas y obras complementarias) y las áreas agrícolas abastecidas por el sistema, diseñado originalmente para cubrir aproximadamente 70 hectáreas distribuidas en seis sectores productivos de las comunidades de Totorabamba y Challhuani. (Hernández et al., 2014).

El análisis consideró todos los componentes físicos e hidráulicos del sistema, así como la información hidrológica proveniente de la microcuenca Solar y de la Laguna Huaytapallana, fuentes principales de abastecimiento, que constituyen el universo sobre el cual se evaluó el afianzamiento hídrico y la eficiencia del sistema de conducción.

4.3.2. Muestra

La muestra de la investigación estuvo conformada por el tramo del canal principal del sistema de riego Uripa que abastece al sector agrícola de Ranracancha, ubicado en el distrito de Uripa, provincia de Chincheros, región Apurímac. Este tramo comprende el segmento desde la progresiva 0+000 (zona de derivación del canal principal) hasta la progresiva 15+500 (zona de ingreso al área agrícola de Ranracancha), con una longitud total aproximada de 15.5 kilómetros, determinada a partir del levantamiento topográfico y los planos hidráulicos del sistema.

Esta muestra fue seleccionada por representar el área con mayor afectación por déficit hídrico dentro del sistema de riego Uripa, debido a pérdidas significativas por infiltración y evaporación en canales no revestidos. Además, sus condiciones topográficas e hidráulicas reflejan de manera representativa el comportamiento del

sistema en su conjunto, lo que permitió realizar aforos de caudal, mediciones de pendiente, y análisis de eficiencia de conducción en condiciones reales de operación.

Los resultados obtenidos en este tramo sirvieron de base para el diseño técnico del sifón invertido, propuesto como alternativa de afianzamiento hídrico, y permitieron extrapolar las conclusiones hacia los demás sectores agrícolas beneficiarios del sistema de riego Uripa..

4.4. Instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos son las herramientas que permiten obtener la información necesaria para responder a los objetivos de la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En esta investigación se utilizaron instrumentos técnicos, documentales y analíticos, orientados a la obtención y procesamiento de datos hidrológicos, hidráulicos y topográficos del sistema de riego Uripa.

a) Fuentes y documentos técnicos.

Se utilizaron los registros de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) —Resolución Directoral N.º 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A.—, informes del Proyecto Especial Sierra Centro Sur (PESCS) y datos históricos del SENAMHI correspondientes al período 1968–2015, los cuales aportaron información sobre caudales, precipitaciones, evapotranspiración y volúmenes de agua disponibles. Estos documentos sirvieron de base para el cálculo de la oferta hídrica y el análisis del déficit entre oferta y demanda.

b) Instrumentos de medición de campo.

Durante la fase de levantamiento de información se emplearon molinete hidrométrico, cinta métrica, nivel automático, GPS de doble frecuencia y piezómetro, utilizados para determinar las velocidades del flujo, longitudes, cotas y niveles freáticos. Estas mediciones permitieron calcular caudales reales, pendientes de conducción y condiciones topográficas del canal principal entre las progresivas 0+000 y 15+500, correspondientes al sector Ranracancha.

c) Herramientas de análisis y modelamiento.

El procesamiento de los datos se realizó mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, donde se aplicaron las ecuaciones de continuidad, Manning y Darcy-Weisbach para determinar pérdidas de carga, eficiencia de conducción y capacidad hidráulica. Además, se aplicó el método Lutz Scholz (1984) para la elaboración del balance hídrico mensual y la simulación de oferta y demanda de agua en condiciones críticas. Los resultados fueron complementados con planos hidráulicos y topográficos del sistema de riego Uripa.

Estos instrumentos, tanto físicos como computacionales, permitieron obtener información precisa y confiable para sustentar el diseño del sifón invertido, validar los resultados hidráulicos y demostrar el impacto positivo de su implementación en el afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa – Ranracancha..

4.5. Procedimientos

Los procedimientos constituyen la secuencia organizada de acciones empleadas para cumplir los objetivos de la investigación, desde la obtención de la información hasta la interpretación de resultados (Tamayo y Tamayo, 2013). En el presente estudio se siguió una metodología estructurada en cuatro etapas principales, coherentes con las fases de análisis y diseño descritas en el Capítulo V.

Primera etapa: recopilación y análisis de información.

Se recopilaron datos hidrológicos e hidráulicos del sistema de riego Uripa a partir de fuentes oficiales como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Proyecto Especial Sierra Centro Sur (PESCS) y registros climáticos del período 1968-2015. Además, se efectuó un levantamiento topográfico del canal principal —desde la progresiva 0+000 hasta 15+500— para obtener cotas, pendientes y longitudes. Esta información permitió calcular la oferta y demanda hídrica del sistema y determinar el nivel de déficit existente.

Segunda etapa: diagnóstico de la eficiencia hidráulica.

Con los datos recopilados se elaboró el balance hídrico entre oferta y demanda, se aplicaron fórmulas de continuidad y se estimaron las pérdidas por conducción, filtración y evaporación. El análisis permitió identificar los tramos críticos del canal y

cuantificar la eficiencia hidráulica actual, determinando los sectores más afectados dentro de Ranracancha.

Tercera etapa: diseño técnico del sifón invertido.

Utilizando los parámetros obtenidos —caudal de diseño, longitud del tramo, pendientes y rugosidad— se desarrolló el diseño hidráulico del sifón invertido como alternativa técnica para el afianzamiento hídrico. Se aplicaron las ecuaciones de energía y continuidad en régimen a presión, y se calcularon las pérdidas de carga, diámetros y velocidades mediante hojas de cálculo y software hidráulico especializado.

Cuarta etapa: validación de resultados e interpretación.

Finalmente, se compararon las condiciones hidráulicas del sistema antes y después de la propuesta, evaluando el incremento de eficiencia y la mejora en la disponibilidad de agua. Los resultados se interpretaron según el balance hídrico y la capacidad de conducción del nuevo sistema, confirmando que el sifón invertido permite un afianzamiento hídrico sostenible para los usuarios del sector Ranracancha..

4.6. Análisis de datos

El análisis de datos constituye la etapa en la que se procesan, interpretan y contrastan los resultados obtenidos, con el propósito de comprobar las hipótesis y alcanzar los objetivos planteados (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En esta investigación se aplicó un análisis cuantitativo basado en el tratamiento matemático e hidráulico de la información obtenida durante las etapas de campo y gabinete.

El procesamiento de datos se realizó mediante tablas comparativas, gráficos y modelos hidrológicos e hidráulicos, los cuales permitieron establecer relaciones entre la oferta y demanda hídrica del sistema. Para el cálculo del balance hídrico se aplicó el método Lutz Scholz (1984), contrastando los volúmenes de precipitación efectiva, escorrentía y evapotranspiración potencial. Asimismo, se emplearon los registros oficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y del SENAMHI, junto con los resultados del levantamiento topográfico del canal principal (progresiva 0+000 a 15+500), a fin de determinar pendientes, longitudes y caudales característicos.

Los datos fueron procesados en Microsoft Excel, donde se calcularon los caudales de entrada y salida, las pérdidas por conducción, y la eficiencia hidráulica del sistema antes y después de la propuesta técnica. Posteriormente, se realizaron simulaciones hidráulicas del sifón invertido, verificando su comportamiento frente a las condiciones de presión, caudal y pérdidas de carga. Finalmente, los resultados se interpretaron mediante análisis comparativo y validación con criterios técnicos, demostrando que la implementación del sifón invertido contribuye al afianzamiento hídrico del sistema de riego Uripa y mejora la eficiencia de conducción en el sector agrícola de Ranracancha.

4.7. Consideraciones éticas

Las consideraciones éticas en una investigación garantizan la observancia de los principios de honestidad, transparencia, objetividad y responsabilidad científica durante todas las etapas del estudio (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En la presente investigación se aseguró la veracidad de la información, la adecuada citación de fuentes y la utilización responsable de los datos recopilados.

El trabajo se desarrolló bajo el principio de integridad académica, evitando cualquier forma de plagio, manipulación o alteración de resultados. Todos los datos hidrológicos, topográficos y climáticos empleados fueron obtenidos de fuentes oficiales y verificables, tales como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el Proyecto Especial Sierra Centro Sur (PESCS), las cuales disponen de registros públicos de libre acceso. Todas las fuentes documentales y digitales fueron debidamente citadas conforme a las normas APA, séptima edición, garantizando la trazabilidad y la autenticidad del contenido académico.

Asimismo, se respetó el principio de confidencialidad, preservando la identidad y la información de los agricultores y usuarios del sistema de riego Uripa. Los datos recolectados en campo fueron utilizados únicamente con fines técnicos y académicos, sin divulgación de información personal ni institucional.

V. Resultados y discusiones

5.1. Resultados

Este capítulo presenta los resultados del análisis de la oferta y demanda hídrica, el balance hídrico y la eficiencia del sistema de riego Uripa, y propone medidas para optimizar el uso del agua. El sistema capta agua de la laguna Huaytapallana y del río Solar y fue diseñado para 70 ha en Totorabamba y Challhuani; sin embargo, el déficit hídrico (-333 003.01 m³) y la limitada oferta autorizada por la ANA hacen inviable esta superficie. Por ello, se recomienda reducir el área de riego a 10.5 ha e implementar riego por aspersión en lugar de gravedad para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del sistema.

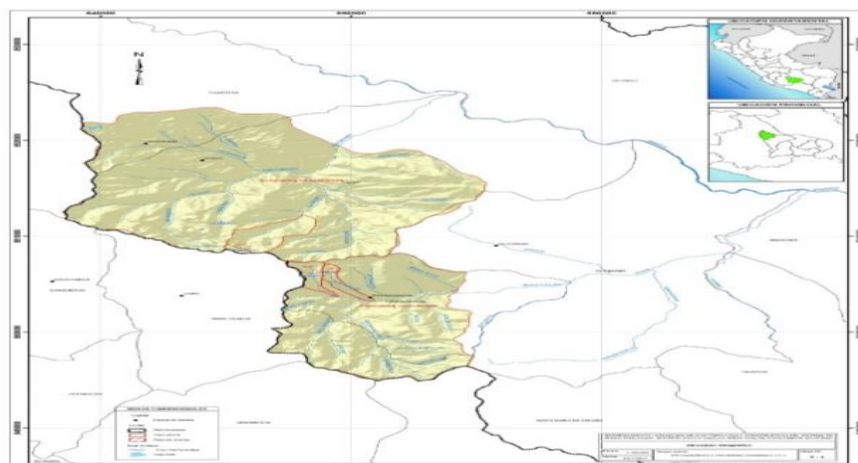
5.1.1. Área de estudio

Ubicación Geográfica

El área de estudio corresponde a la microcuenca Solar, ubicada en el distrito de Anco Huallo, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac, en la sierra sur del Perú. Esta microcuenca forma parte de la subcuenca Chacabamba, la cual desemboca en el río Pampas.

Figura 1

Ubicación geográfica del área de estudio



Nota. Esta figura muestra la localización geográfica del sistema de riego Uripa y su área de influencia directa en el sector agrícola de Ranracancha, dentro de la microcuenca Solar, distrito de Uripa, provincia de Chincheros, región Apurímac. En el mapa se observan los principales cursos de agua, las zonas agrícolas beneficiarias y la delimitación topográfica del área de estudio.

Hidrología Superficial

a. Características Hidrográficas

La microcuenca Solar forma parte de la unidad hidrográfica del Bajo Pampas y es un sistema altamente dependiente de la estacionalidad de las precipitaciones.

Parámetros principales:

- Área total: 1.4 km²
- Pendiente promedio: 0.4 m/m
- Altitud media: 4,164 m.s.n.m.
- Caudal medio anual: 0.020 m³/s
- Tiempo de concentración: 5.5 minutos

b. Cuerpos de Agua

Existen lagunas naturales en la microcuenca, las cuales cumplen un papel fundamental en la regulación hídrica y almacenamiento de agua de lluvia. La Laguna Huaytapallana forma parte del sistema de almacenamiento natural de agua en la zona, regulando el caudal del río Solar y contribuyendo a la oferta hídrica del proyecto de riego.

5.1.2. Estudio hidrológico

4.1.1.1 Introducción

El agua es esencial para las comunidades rurales, donde la agricultura y la ganadería dependen de su disponibilidad. Este estudio evalúa la oferta hídrica de la microcuenca Solar con datos del SENAMHI y su relación con la cuenca del río Pampas. Ante la falta de mediciones directas, se usan estaciones cercanas con un enfoque regional para obtener estimaciones que orienten un uso sostenible del recurso.

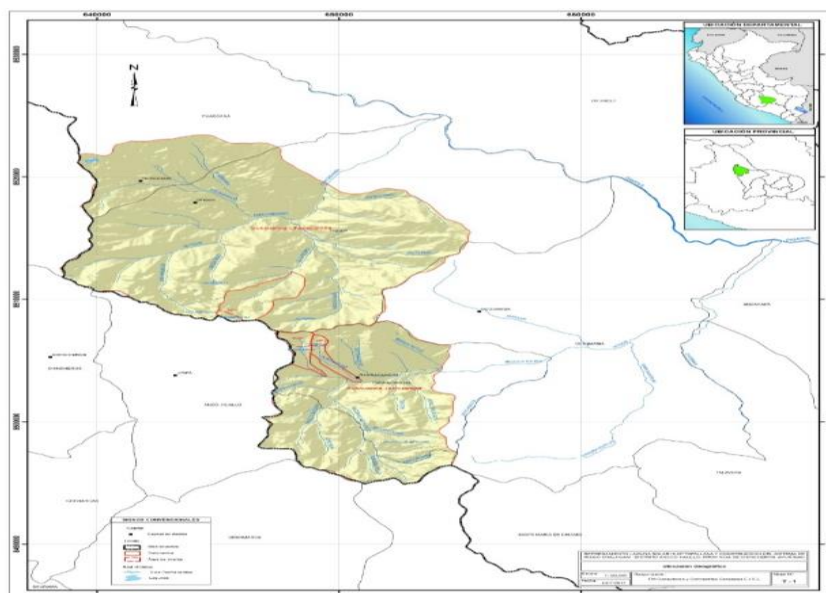
4.1.1.2 Aspectos generales del área de estudio

a. Ubicación geográfica

El área de estudio es la microcuenca Solar, ubicada en Ranracancha (Chincheros, Apurímac), en la zona alta entre 3,972 y 4,698 m s. n. m.; su área receptora de 1.4 km² es clave para la captación y aprovechamiento del recurso hídrico.

Figura 2

Ubicación geográfica del área de estudio



Nota. Esta figura muestra El área de estudio es la microcuenca Solar, ubicada en Ranracancha (Chincheros, Apurímac), en la zona alta entre 3,972 y 4,698 m s. n. m.; su área receptora de 1.4 km² es clave para la captación y aprovechamiento del recurso hídrico.

b. Clasificación climática

El área de estudio presenta dos tipos de clima, según la clasificación del SENAMHI (1988), basada en 20 años de registros meteorológicos (1965-1984) y en factores como la latitud, la altitud, la cordillera de los Andes, la corriente fría peruana, el anticiclón del Pacífico Sur y la continentalidad.

Tabla 2

Clasificación climática del área de aprovechamiento hídrico

No	Descripción	Codificación	Área	
			km2	(%)
1	Semifrigido Lluvioso, con deficiente lluvias	B(o,i) D' H3	1.6	68
2	frígido Lluvioso, con deficiente lluvias	B(o,i) C' H3	0.8	32
		Total	2.4	100

Nota. esta tabla muestra los datos del SENAMHI, 1988 entorno natural del área de aprovechamiento hídrico está definido por sus zonas de vida, cobertura vegetal y capacidad de uso del suelo, características determinadas a partir de los mapas temáticos del Ministerio de Agricultura (2012) elaborados en el marco del PLANGRACC 2012-2021.

➤ Zonas de Vida según Holdridge

El sistema de L.R. Holdridge permite clasificar las zonas de vida según sus condiciones climáticas y ecológicas. En el área de estudio se identifican dos tipos principales:

a. Páramo Muy Húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS)

- Abarca la mayor parte del área de estudio, aproximadamente el 95% de la superficie.
- Se extiende desde el punto de captación hasta la divisoria de cuencas.

- Su paisaje está dominado por pastos naturales, principalmente ichu, una especie característica de las alturas andinas.
- b. Bosque Húmedo Montano Subtropical (bh-MS)
- Representa el 5% del área de estudio.
 - Se distingue por su clima frío y lluvioso.
 - Su vegetación está compuesta por arbustos, pajonales y pastizales, con una fuerte presencia de ichu, lo que le da un aspecto típico de la puna andina.

Tabla 3

Zona de vida en el área de aprovechamiento hídrico

No	Descripción	Codificación	Área	
			km2	(%)
1	Paramo muy húmedo Subalpino Subtropical	pmh - SaS	2.3	95
2	Bosque húmedo Montano Subtropical	bh - MS	0.1	5
		Total	2.4	100

Nota. Esta tabla muestra los datos del PLANGRACC, 2012. El paisaje del área de aprovechamiento hídrico está dominado por dos tipos principales de vegetación, adaptados a las condiciones del ecosistema andino:

1. Pajonal de puna, que cubre aproximadamente el 89% del territorio. Este tipo de vegetación es característico de las zonas altoandinas y se encuentra principalmente en las áreas baja y media del área de estudio.
2. Matorrales con presencia de cultivos agropecuarios, que representan solo el 11% de la superficie. Su extensión es limitada debido a las condiciones climáticas y del suelo, que restringen el desarrollo de la actividad agrícola.

Tabla 4*Cobertura vegetal en el área de aprovechamiento hídrico*

N	Descripción	Codificació n	Área	
			km ²	(%)
1	Pajonal de puna	Pj pu	2.1	89
2	Matorrales/Cultivos agropecuarios	Ma/Cuap	0.3	11
		Total	2.4	100

Nota. Esta tabla muestra los datos del PLANGRACC, 2012 de la Capacidad de uso del suelo y El análisis de uso del suelo evidencia el predominio de pastos de baja calidad en condición de protección, con alta vulnerabilidad (70-30) y escasa capacidad productiva. Factores como el sustrato geológico, la pendiente, el clima, la biodiversidad y las propiedades del suelo hacen que el ecosistema sea frágil y poco apto para actividades agrícolas o extractivas sostenibles.

Tabla 5*Capacidad de uso de suelo en el área de aprovechamiento hídrico*

No	Descripción	Codificación	Área	
			km ²	(%)
1	Pastos de calidad agrologica Baja	Xse-P3sec	2.4	100

Nota. Esta tabla muestra los datos del PLANGRACC, 2012. Hidrología superficial El área de aprovechamiento hídrico es la microcuenca Solar (1.4 km²), parte de la subcuenca Chacabamba, afluente del río Pampas y del sistema amazónico. Lagunas naturales como Huaytapallana almacenan las lluvias y regulan el recurso, por lo que la disponibilidad hídrica depende de la estacionalidad y del almacenamiento en estas lagunas, siendo muy sensible a la variabilidad y al cambio climático.

5.1.3. Datos y parámetros evaluados

a. Datos climáticos

Para el análisis climático se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperatura del periodo 1968-2016, obtenidos del SENAMHI. Se presenta las estaciones meteorológicas empleadas, su ubicación y código, donde P indica estaciones de precipitación y T de temperatura del aire.

Tabla 6

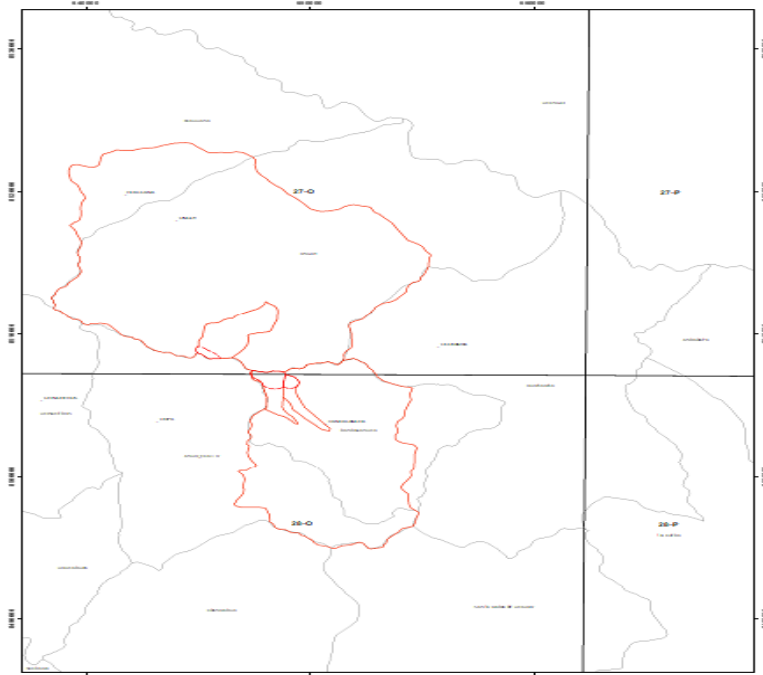
Red de estaciones evaluadas

Cod	Nombre	Departamento.	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud msnm
000669	Andahuaylas	Apurímac	Andahuaylas	Andahuaylas	73°22'14"	13°39'24"	2866
000665	Huancapi	Ayacucho	Victor Fajardo	Huancapi	74°04'05"	13°44'56"	3186
156211	Vilcashuama n	Ayacucho	Vilcashuaman	VilcasHuaman	73°57'16"	13°39'36"	3540
156222	Huancaray	Apurímac	Andahuaylas	Huancaray	73°32'	13°45'	2902
000657	Lircay	Huancavelica	Angaraes	Lircay	74°43'04"	12°58'54"	3150

Nota. Esta tabla muestra las redes de estaciones evaluados en los tramos establecidos los Datos Cartográficos Para el análisis del área de estudio se usaron cartas topográficas 1:100 000 del IGN, un MDE SRTM de 90 m y la delimitación de macrocuencas de la ANA (2008).

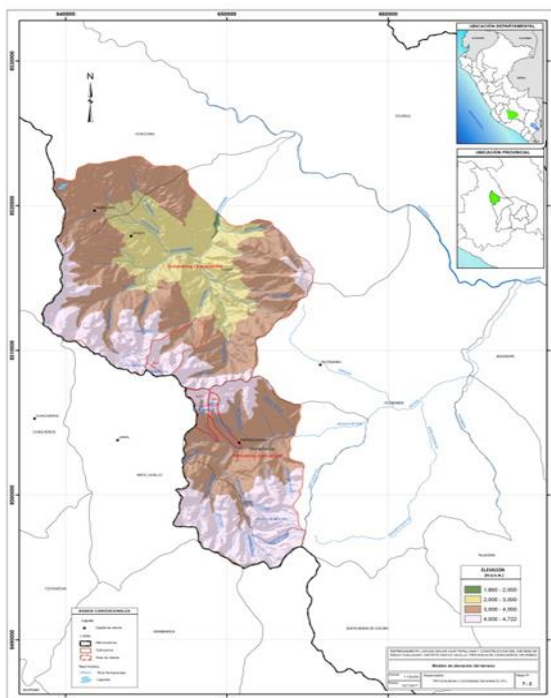
Figura 3

Cartas topográficas utilizadas en el estudio



Nota. Esta figura muestra las cartas topográficas empleadas en el estudio, donde se representa la delimitación de la microcuenca Solar, su red de drenaje y las curvas de nivel, información esencial para el análisis geomorfológico e hidrológico del área de estudio.

Figura 4 *Modelo de elevación del terreno*



Nota. Esta figura muestra el modelo de elevación del terreno (DEM) de la microcuenca Solar, destacando la variación altitudinal y la distribución de pendientes, información fundamental para el análisis hidrológico, la delimitación de la cuenca y la evaluación del comportamiento del escurrimiento superficial. terreno

5.1.4. Resultados del estudio hidrológico

4.1.1.3 Delimitación de unidades hidrográficas

Se delimitó la microcuenca Solar, área de interés para el aprovechamiento hídrico, usando Arc Hydro en entorno SIG y el MDE SRTM de 90 m, validado con imágenes de Google Earth. También se delimitaron las subcuencas Chacabamba y Jechuajara, lo que permitió definir el sistema de drenaje y su contexto hidrológico.

4.1.1.4 Parámetros morfométricos.

Tabla 7

Parámetros morfométricos

Parámetro Morfométrico	Descripción	Valor (Microcuenca Solar)
Área	Superficie comprendida dentro del divortium acuarium, influye en la escorrentía y flujo base.	
Perímetro	Longitud del divortium acuarium que delimita la cuenca.	4860.7 km
Coefficiente de Compacidad (Kc)	Relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo de igual área. Influye en el tiempo de concentración.	1.2
Longitud del Río Principal	Longitud del cauce con mayor caudal dentro de la microcuenca.	965.1 m
Pendiente del Río Principal	Diferencia de altura entre el punto más alto y el más bajo del río, en relación con su longitud.	0.4 m/m
Tiempo de Concentración (Tc)	Tiempo que tarda el agua en recorrer desde el punto más alto hasta la salida de la cuenca.	5.5 min
Altitud Media	Promedio ponderado de la elevación de la cuenca basado en la curva hipsométrica.	4164 msnm

Nota. Esta tabla muestra los parámetros morfométricos de la microcuenca a Solar, incluyendo sus definiciones y valores obtenidos para el área, perímetro, coeficiente de compacidad, longitud del cauce principal, pendiente media, tiempo de concentración y altitud media Elaboración propia.

4.1.1.5 Control de calidad de datos climáticos.

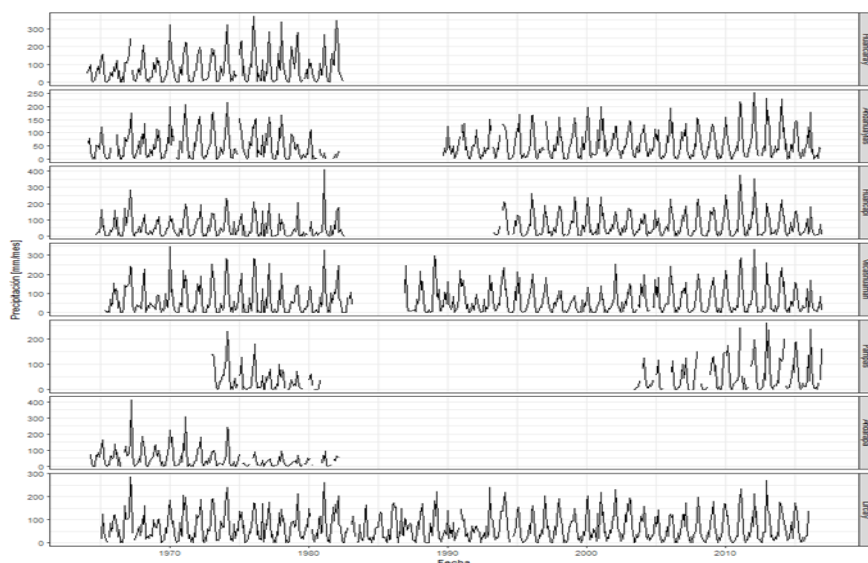
El control de calidad de los datos de precipitación se realizó mediante un análisis cualitativo con diagramas de caja y el método del vector regional para detectar valores atípicos, y se completaron datos faltantes mediante regresión lineal usando la estación con mejor correlación y serie más continua. En el caso de la temperatura del aire, solo se identificaron datos dudosos sin imputar valores faltantes, debido a su menor variabilidad temporal y mayor estabilidad frente a la precipitación.

b. Análisis de la Precipitación

Se seleccionaron siete estaciones cercanas al área de estudio (Huancaray, Andahuaylas, Huancapi, Vilcashuamán, Pampas, Andarapa y Lircay), completando las brechas 1985-1990 con datos de Lircay. La precipitación mensual varió entre 251.5 mm (Andahuaylas) y 410.2 mm (Huancapi). Se muestra la variabilidad de las series (1968-2015). Pampas y Andarapa se excluyeron inicialmente por su escasa información, evaluándose su inclusión en la etapa de validación.

Figura 5

Series de precipitación mensual por estación

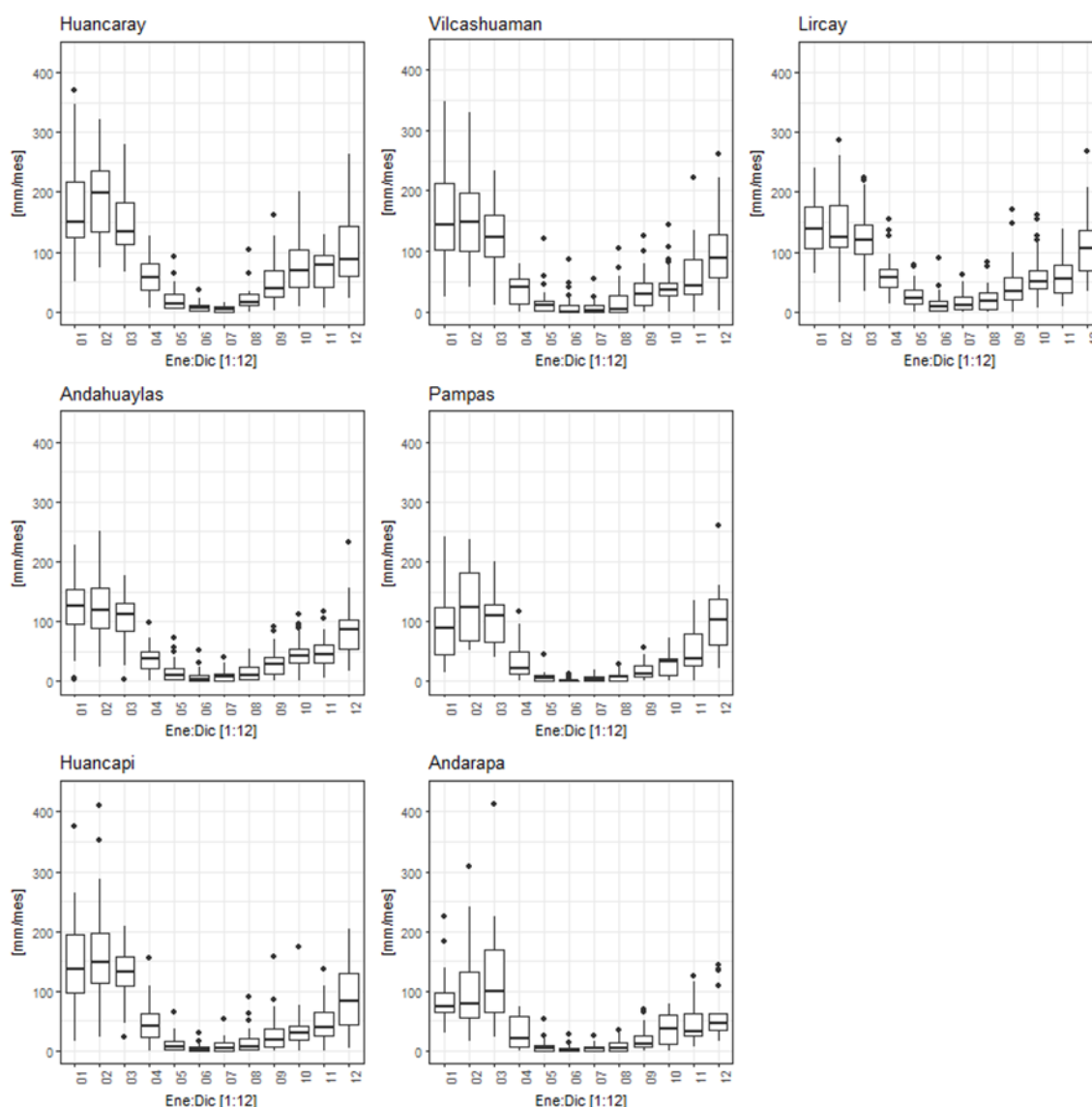


Nota. Esta figura muestra Los diagramas de cajas de la precipitación mensual muestran un patrón estacional marcado: los valores aumentan notablemente entre diciembre y

abril y disminuyen entre junio y agosto. La amplitud de las cajas evidencia una alta variabilidad mensual de la lluvia. No se identificaron datos atípicos, ya que los mismos patrones de aumento y variación se observan en estaciones cercanas.

Figura 6

Diagrama de cajas de la precipitación mensual por estación



Nota. Esta figura muestra Según el Método del Vector Regional, cinco de las siete estaciones cumplen los supuestos de homogeneidad; las otras dos se descartaron por no compartir un período común. Las estaciones válidas se presentan en la Tabla 7. La Figura 6 muestra el índice de vector regional medio y la Figura 7 la curva de doble masa, cuya linealidad confirma la consistencia de los datos. Dentro del grupo, se eligió Lircay

como estación de referencia para completar datos faltantes por contar con una serie casi continua y más confiable.

Tabla 8

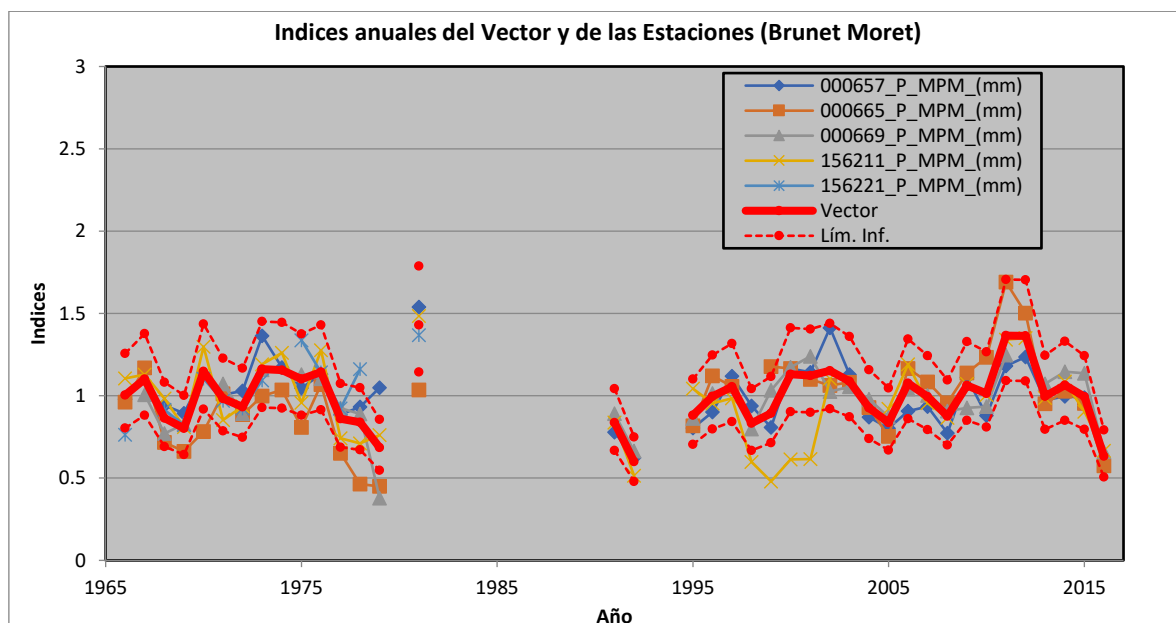
Grupo de estaciones de pluviometría homogénea

Estaciones	Id Estación	Coef. Variación	Media Obs.	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
Lircay	657	0.186	806.1	0.11	0.812
Huancapi	665	0.259	737.7	0.17	0.755
Andahuaylas	669	0.188	660.7	0.09	0.863
Vilcashuaman	156211	0.257	740.4	0.16	0.76
Huancaray	156221	0.183	992.9	0.14	0.699
			DED	0.15	

Nota. Esta tabla muestra el grupo de estaciones de pluviosidad homogénea, detallando sus identificadores, coeficientes de variación, medias observadas, desviaciones estándar y coeficientes de correlación, utilizados para el análisis regional de la precipitación.

Figura 7

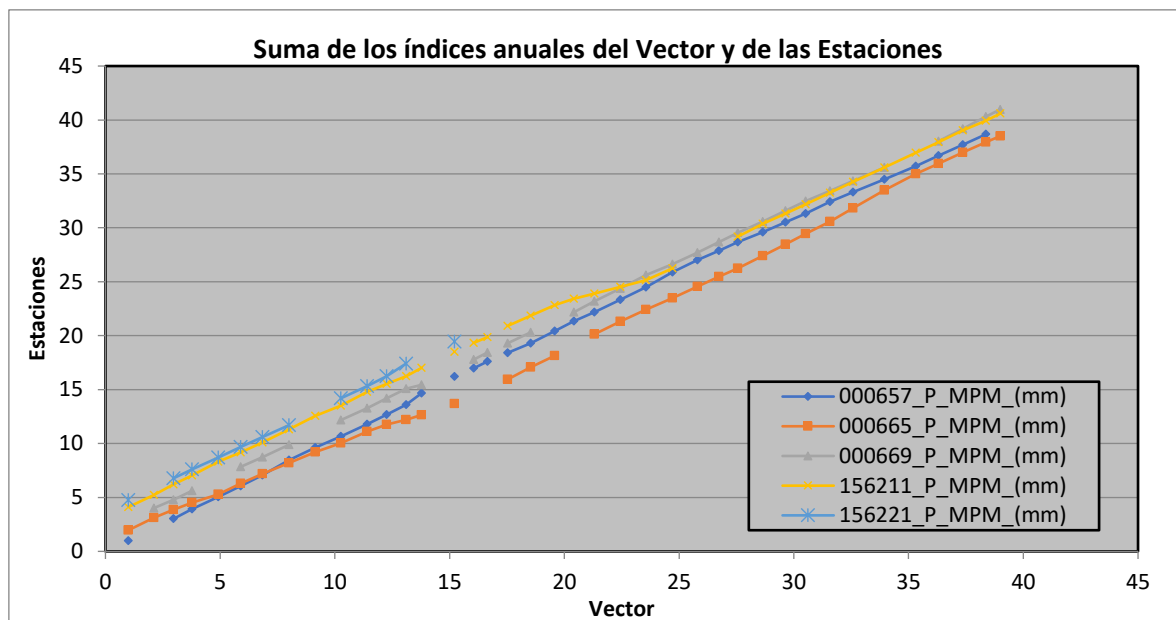
Índice del vector regional y de las estaciones del grupo pluviométrico



Nota. Esta figura muestra los índices anuales del vector regional y de las estaciones del grupo pluviométrico, permitiendo visualizar la variabilidad temporal de la precipitación y la relación entre el vector regional y las estaciones homogéneas seleccionadas. Dato.

Figura 8

Doble masa acumulada del grupo pluviométrico



Nota. Esta figura muestra Para imputar los datos faltantes se usaron métodos según la cantidad de ausencias. Cuando faltaban 1 o 2 valores se aplicaron promedios simples y ponderados, completándose 5 datos en Lircay, 11 en Andahuaylas, 3 en Vilcashuamán, 5 en Huancapi y 2 en Huancaray. Cuando había tres datos consecutivos faltantes, se utilizó regresión lineal: primero se estimaron los valores de Vilcashuamán a partir de Lircay y, con esa serie completa, se completaron los datos de Huancapi, Huancaray y Andahuaylas.

Tabla 9

Precipitación total anual del grupo

Año	Lircay	Huancapi	Andahuaylas	Vilcashuaman	Huancaray
1968	746.9	539.8	527.3	756.9	870.4
1969	709.5	499.0	566.4	623.0	781.2
1970	898.0	590.0	723.1	999.6	1049.9
Año	Lircay	Huancapi	Andahuaylas	Vilcashuaman	Huancaray
1971	799.7	761.8	734.1	657.1	923.0
1972	817.9	667.6	611.1	721.1	877.6
1973	1081.9	752.2	792.5	917.0	1041.2

1974	929.7	780.9	714.5	970.6	1084.8
1975	830.2	608.3	772.5	737.1	1272.5
1976	897.3	805.6	755.6	982.5	1086.7
1977	703.5	490.2	633.4	570.8	878.5
1978	740.1	349.3	609.1	547.0	1105.9
1979	831.9	338.4	258.9	586.2	913.5
1980	796.0	242.8	371.5	511.5	649.3
1981	1221.6	780.2	821.9	1142.4	1302.0
1982	791.6	705.7	705.7	753.4	--
1983	525.6	652.4	652.4	574.8	--
1984	626.5	672.0	672.0	640.3	--
1985	717.2	689.6	689.6	699.3	--
1986	1104.3	764.7	764.7	950.8	--
1987	626.1	647.1	647.1	557.0	--
1988	736.4	717.0	717.0	791.0	--
1989	832.4	832.0	832.0	1176.4	--
1990	807.7	738.8	615.4	864.2	--
1991	618.1	673.2	610.5	644.4	--
1992	494.2	598.9	454.2	395.6	--
1993	1014.3	789.2	850.0	1033.1	--
1994	857.0	812.7	605.3	726.3	--
1995	637.6	616.4	590.9	803.1	--
1996	716.0	844.1	693.7	734.8	--
Año	Lircay	Huancapi	Andahuaylas	Vilcashuaman	Huancaray
1997	888.3	796.8	659.3	758.7	--
1998	745.2	738.3	546.8	459.7	--
1999	640.4	887.9	707.8	369.9	--
2000	924.5	877.8	804.5	472.3	--
2001	907.1	828.9	849.1	473.6	--
2002	1121.9	801.0	702.6	849.9	--
2003	896.4	815.2	721.8	691.3	--
2004	690.3	699.2	670.9	732.7	--
2005	635.9	568.1	597.1	708.1	--
2006	719.9	878.2	713.9	915.9	--
2007	742.4	816.3	686.5	735.8	--
2008	613.9	721.4	620.7	667.3	--
2009	882.7	858.6	634.2	825.8	--
2010	697.4	930.0	639.7	774.0	--
2011	938.4	1273.4	854.5	1031.6	--
2012	980.5	1132.1	1044.9	1040.5	--
2013	773.2	716.9	734.9	759.4	--
2014	791.5	773.8	785.7	835.3	--
2015	785.2	718.0	779.0	695.3	--

Nota. Esta tabla muestra la precipitación total anual registrada en cada una de las estaciones del grupo pluviométrico, permitiendo comparar la variabilidad espacial y temporal de las lluvias entre Lircay, Huancapi, Andahuaylas, Vilcashuamán y Huancaray.

Tabla 10

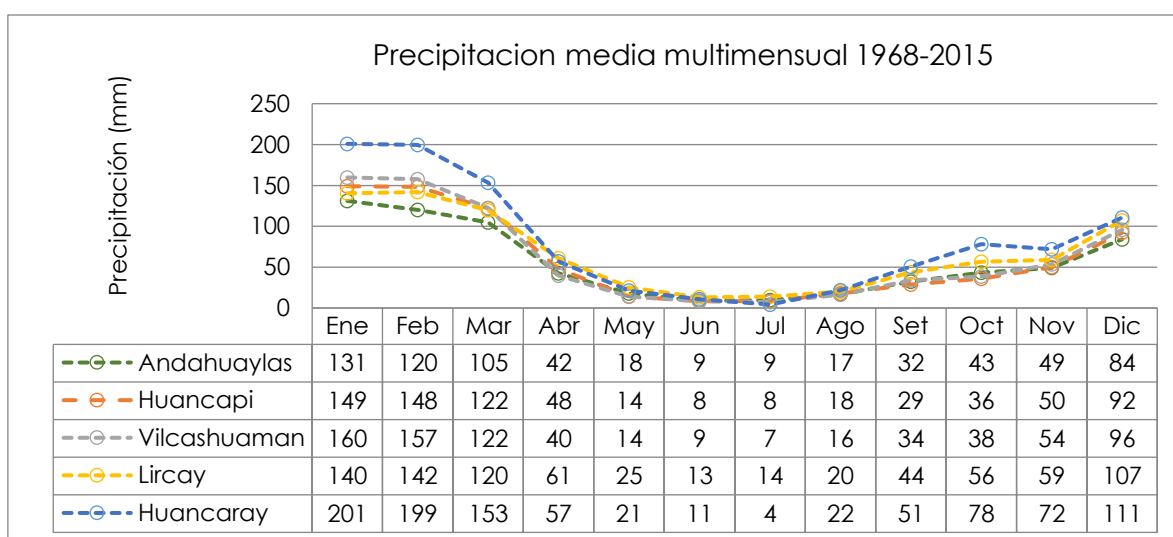
Coefficiente de correlación entre series de precipitación

Estaciones	Vilcashuaman	Andahuaylas
Lircay	0.5	--
Vilcahuaman	1	0.45

Nota. Esta tabla muestra la Completada la precipitación anual, los valores mensuales se estimaron con la técnica de fragmentos. La estación Huancaray (1968-1982) se usó como referencia para la interpolación. La precipitación es marcadamente estacional, con 38–201 mm/mes entre octubre y abril y solo 4–51 mm/mes el resto del año.

Figura 9

Comportamiento temporal de la precipitación por estación



Nota. Esta figura muestra el comportamiento temporal de la precipitación media multimensual para cada estación del grupo pluviométrico, permitiendo identificar la estacionalidad de las lluvias y las diferencias en magnitud entre Andahuaylas, Huancapi, Vilcashuamán, Lircay y Huancaray.

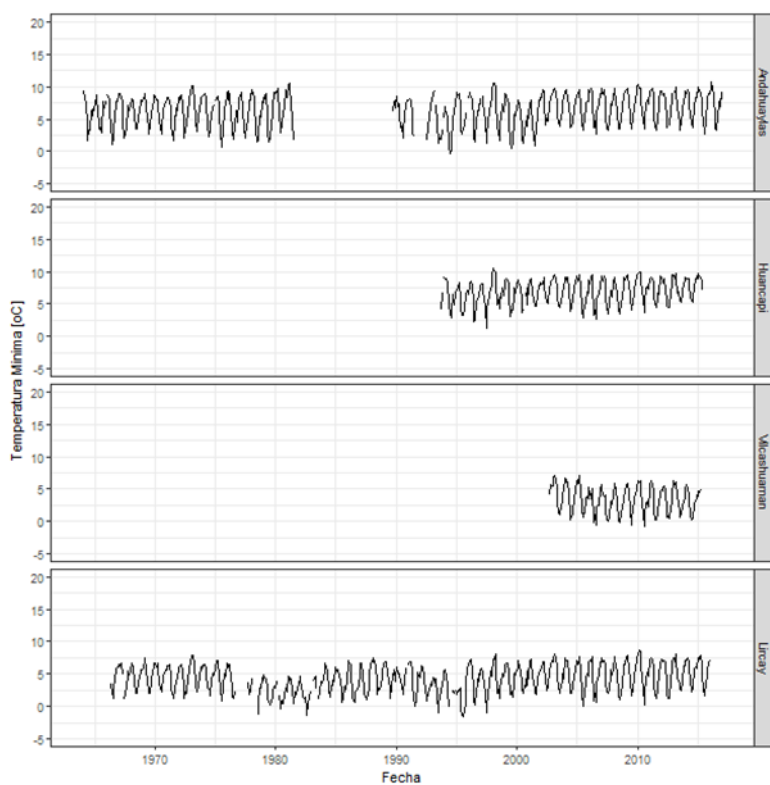
a. Temperatura mínima

Las series de temperatura mínima son discontinuas y se concentran entre 2000 y 2015, pero se cuenta con registros continuos en Andahuaylas, Huancapi,

Vilcashuamán y Lircay, cercanas al área de estudio. Los diagramas de cajas muestran un patrón estacional, con temperaturas más altas de enero a marzo y de septiembre a diciembre, y descensos marcados el resto del año, incluso por debajo de 0 °C en Lircay. Aunque se detectaron posibles valores dudosos entre enero y septiembre, fueron mantenidos al verificarse que estaciones cercanas presentan un comportamiento similar.

Figura 10

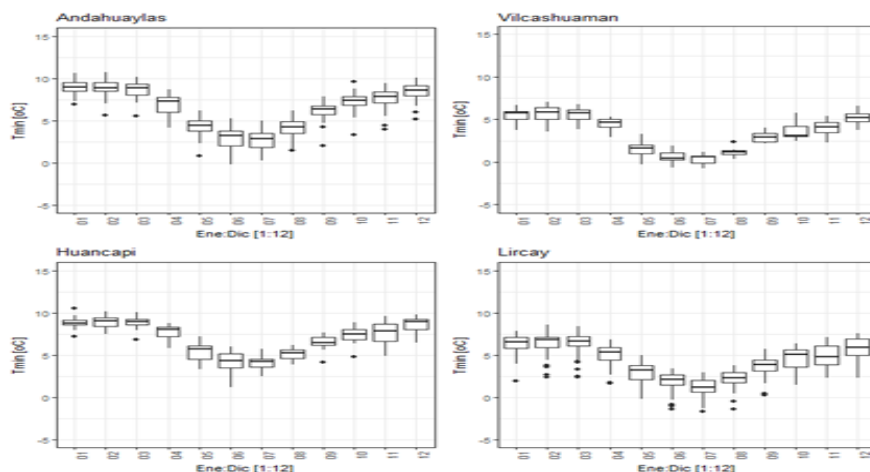
Series de la temperatura mínima mensual por estación



Nota. Esta figura muestra las series temporales de la temperatura mínima mensual registradas en cada estación, permitiendo comparar la variabilidad térmica y los patrones de comportamiento entre Andahuaylas, Huancapi, Vilcashuamán, Lircay y Huancaray.Dato.

Figura 11

Diagrama de cajas de la temperatura mínima mensual por estación



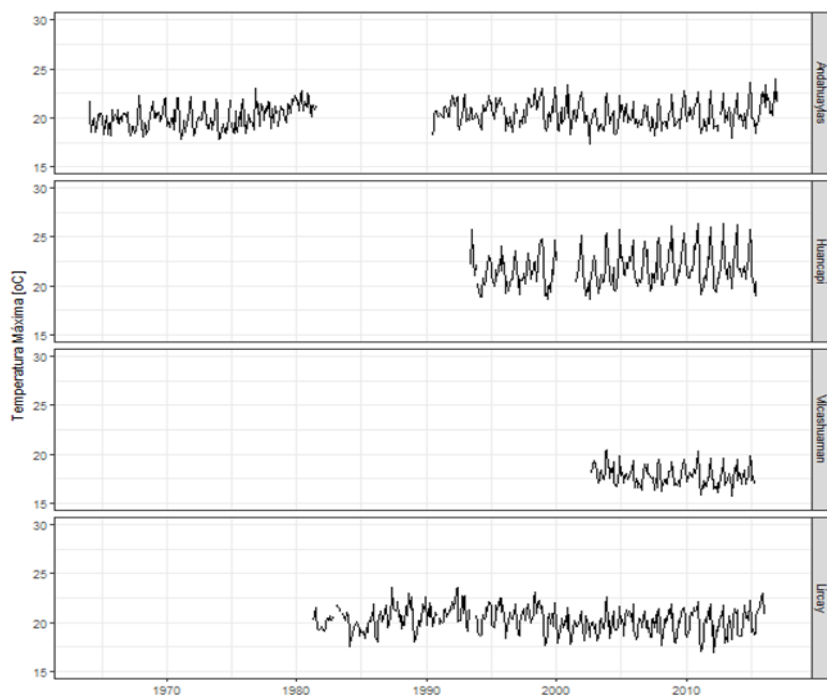
Nota. Esta figura muestra los diagramas de cajas de la temperatura mínima mensual para cada estación, permitiendo visualizar la dispersión, la mediana y los valores extremos, así como comparar el comportamiento térmico entre Andahuaylas, Huancapi, Vilcashuamán y Lircay. Dato.

a. Temperatura máxima

Las series de temperatura máxima son parcialmente discontinuas y se concentran entre 2000 y 2015, con datos de las estaciones cercanas de Andahuaylas, Huancapi, Vilcashuamán y Lircay. Los diagramas de cajas muestran baja variabilidad y un comportamiento anual casi estable, especialmente en Lircay y Andahuaylas. Se detectaron pocos valores dudosos, pero el contraste con estaciones vecinas confirmó su consistencia, por lo que no fue necesario excluir datos.

Figura 12

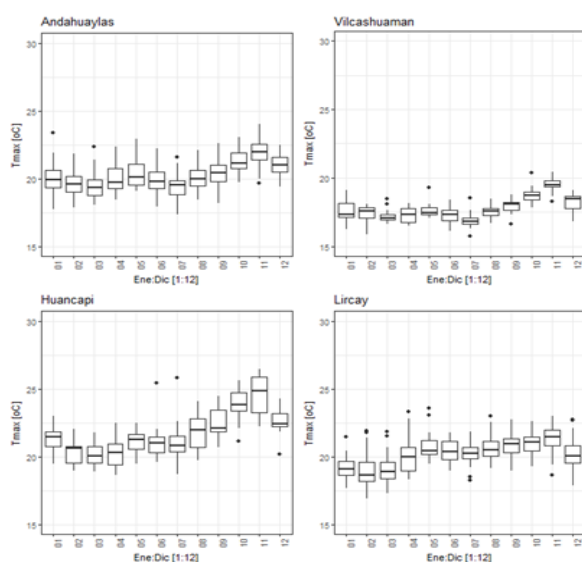
Series de la temperatura mínima mensual por estación



Nota. Esta figura muestra las series temporales de la temperatura mínima mensual registradas en cada estación, permitiendo identificar la variabilidad interanual y comparar los patrones térmicos entre Andahuaylas, Huancapi, Vilcashuamán y Lircay.

Figura 13

Diagrama de cajas de la temperatura máxima mensual por estación



Nota. Esta figura muestra los datos se calculó la media multi-mensual por estación, identificando los patrones mensuales de temperatura del aire . Asimismo, la evapotranspiración de referencia se estimó con el método de Hargreaves y Samani (1985)

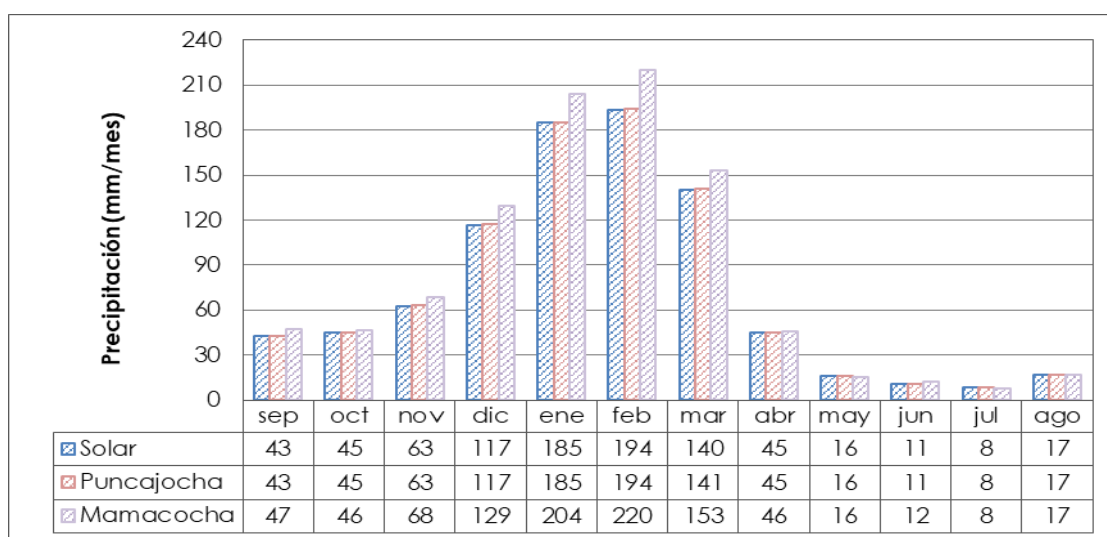
en entorno SIG, mediante álgebra de mapas que integra temperatura y radiación extraterrestre obtenida de tablas.

5.3.5.4 Caracterización de la precipitación

Con los valores completos de precipitación se estimó la precipitación media mediante Hydraccess para cada microcuenca (1968-2015). La precipitación media anual es de 884 mm en Solar, 886 mm en Puncajocha y 968 mm en Mamacocha, con un régimen claramente estacional: entre octubre y abril se concentra alrededor del 89 % de la lluvia anual, mientras que entre mayo y septiembre solo el 11 %. El máximo se registra en febrero (194–220 mm/mes) y el mínimo en julio (8 mm/mes).

Figura 14

Precipitación media por microcuenca



Nota. Esta figura muestra la distribución estacional de la precipitación, el trimestre más húmedo es diciembre–enero–febrero (DEF), con alrededor del 57 % de la lluvia anual, mientras que el más seco es junio–julio–agosto (JJA), con solo el 4 %.

c. Precipitación Efectiva

La precipitación efectiva es la fracción de la lluvia que el cultivo aprovecha para cubrir sus necesidades hídricas, excluyendo infiltración profunda, escorrentía y evaporación del suelo. Dado que su estimación es compleja, en este estudio se utilizó

el método del Soil Conservation Service (SCS), con un número de curva (CN) de 69, acorde con suelos Tipo A: pastizales naturales, condición hidrológica pobre y alta capacidad de infiltración.

$$P_{ef} = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50.8\right)^2}{\left(P + \frac{20320}{CN} - 203.2\right)}$$

Tabla 11

Precipitación efectiva para cada microcuenca en estudio

Precipitación efectiva (mm)													
Microcuenca	ep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	anual
solar			0	3	5	03	0						24

Nota. Esta tabla muestra la precipitación efectiva mensual estimada para cada microcuenca en estudio, permitiendo identificar la disponibilidad real de agua procedente de la lluvia y su variación a lo largo del año hidrológico. Dato.

a. Interpolación de la Precipitación y Residuos

La precipitación y sus residuos se estimaron con un modelo de regresión lineal y luego se interpolaron mediante el método determinista IDW (Inverse Distance Weighting), siguiendo los aportes de Lhotellier (2005), Nalder y Wein (1998) y Tveito et al. (2008). Se eligió IDW por su simplicidad, robustez y buena precisión demostrada en estudios de interpolación residual.

a. Funcionamiento del Algoritmo IDW

El algoritmo IDW estima el valor de cada celda como un promedio ponderado de los datos de las estaciones, asumiendo que la influencia de cada punto disminuye al aumentar la distancia al punto a estimar. Así, los puntos más cercanos al centroide tienen mayor peso en el cálculo del valor final, de acuerdo con la formulación presentada por Slocum (1999).

$$Z = \frac{\left(\sum \left(\frac{Z_i}{d_i^n}\right)\right)}{\sum \left(\frac{1}{d_i^n}\right)}$$

Donde Z es el valor a interpolar, Z_i son los valores de los puntos vecinos, d_i

Distancia entre los puntos vecinos y el punto de la celda a predecir, n Es la potencia a la cual se eleva la distancia, oscila entre 0.5 a 4. Para este estudio, el parámetro de potencia se fija para que sea igual a dos.

5.3.5.5 Caracterización de eventos de sequías según SPI

La sequía es la falta de agua suficiente para cubrir necesidades esenciales. Para evaluarla se usan distintos índices, siendo el más común el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) de McKee et al. (1993), que mide el déficit de lluvia en varias escalas de tiempo. Se considera que hay sequía cuando el SPI se mantiene negativo y alcanza valores ≤ -1.0 , y el episodio termina cuando vuelve a ser positivo. La clasificación de la sequía según el SPI se presenta a continuación

Tabla 12

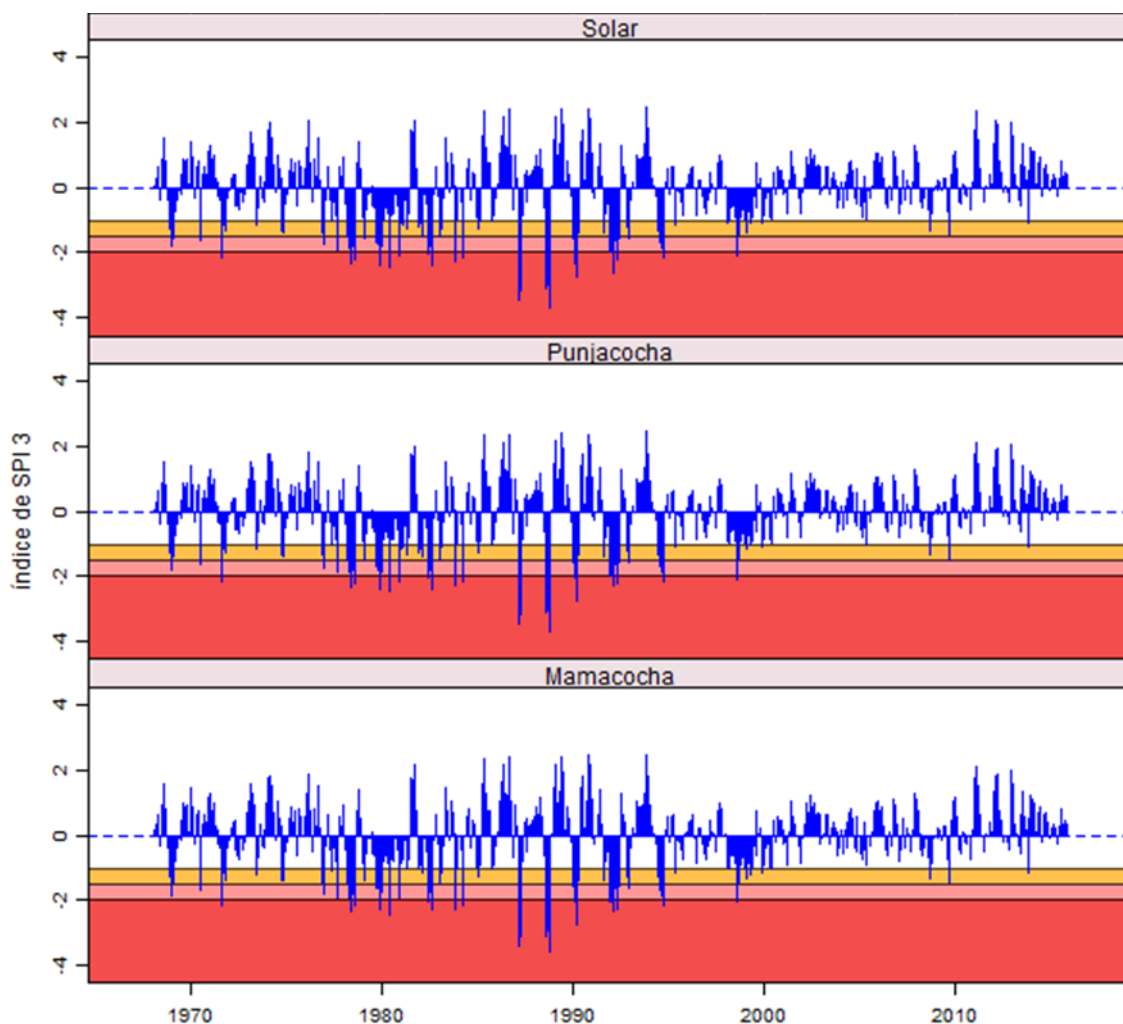
Clasificación del SPI

Condición	SPI
Sequía Extrema	≥ -2
Sequía severa	$-2 < \text{SPI} \leq -1.5$
Sequia Moderada	$-1.5 < \text{SPI} \leq 1$
No sequia	$-1 < \text{SPI} \leq 1$

Nota. Esta tabla muestra la clasificación del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), detallando los rangos numéricos asociados a cada categoría de sequía, desde condiciones extremas hasta ausencia de sequía. Dato.

Figura 15

Series de SPI 3 para el periodo 1968-2015 en las microcuencas de interés



Nota. Esta figura muestra la serie del SPI a 3 meses, donde destacan los eventos más extremos de 1989 y 1990 en las tres microcuencas. Las Tablas 12 a 14 resumen la duración, intensidad y severidad de las sequías en Solar, Punajcocha y Mamacocha. Se consideró sequía todo periodo de al menos tres meses con déficit significativo de lluvia. Entre 1968 y 2015 se identificaron 11 eventos en Solar y Punajcocha y 9 en Mamacocha, con una duración máxima de 7 meses en todos los casos.

Tabla 13

Duración, intensidad y severidad de las sequías en la microcuenca Solar

Microcuenca Solar				
Inicio y Final	Duración	Intensidad		Severidad
	(meses)	Mínima	Máxima	
dic-68 / mar-69	4	-1.8	-1.2	6.2

sep-71 / nov-71	3	-2.2	-1.1	4.6	-
abr-78 / ago-78	5	-2.4	-1.5	9.7	-
oct-79 / feb-80	5	-2.4	-1.4	9	-
dic-80 / mar-81	4	-2.1	-1.1	5.5	-
ene-82 / mar-82	3	-1.5	-1.1	3.8	-
jul-82 / sep-82	3	-2.4	-1.8	6.2	-
ago-88 / nov-88	4	-3.7	-1.6	11.4	-
feb-90 / may-90	4	-2.8	-1.4	8	-
dic-91 / jun-92	7	-2.6	-1.1	13.1	-
jul-94 / oct-94	4	-2.1	-1.3	7	-
No	11				

Nota. Esta tabla muestra los eventos de sequía identificados en la microcuenca Solar, detallando para cada episodio la duración en meses, los valores de intensidad mínima y máxima, así como la severidad total calculada a partir del índice SPI-3.Dato.

Tabla 14

Duración, intensidad y severidad de las sequías en la microcuenca Pujnacochoa

Microcuenca Pujnacochoa				
Inicio y Final	Duración	Intensidad		Severidad
	(meses)	Mínima	Máxima	
dic-68 / mar-69	4	-1.8	-1.2	-6
sep-71 / nov-71	3	-2.2	-1.1	-4.6
abr-78 / ago-78	5	-2.4	-1.5	-9.7
oct-79 / feb-80	5	-2.4	-1.4	-9.1
dic-80 / mar-81	4	-2.1	-1.1	-5.6
ene-82 / mar-82	3	-1.4	-1.2	-3.8
jul-82 / sep-82	3	-2.4	-1.8	-6.3
ago-88 / nov-88	4	-3.7	-1.6	-11.4
feb-90 / may-90	4	-2.8	-1.4	-7.7
dic-91 / jun-92	7	-2.3	-1.1	-12.7
jul-94 / oct-94	4	-2.1	-1.3	-7
No	11			

Nota. Esta tabla muestra los eventos de sequía identificados en la microcuenca Solar, detallando para cada episodio la duración en meses, los valores de intensidad mínima y máxima, así como la severidad total calculada a partir del índice SPI-3.

Tabla 15

Duración, intensidad y severidad de las sequías en la microcuenca Mamacocha

Microcuenca Mamacocha					
Inicio y Final	Duración (meses)	Intensidad		Severidad	
		Mínima	Máxima		
dic-68 / mar-69	4	-1.9	-1.3	-6.2	
sep-71 / nov-71	3	-2.1	-1.2	-4.7	
abr-78 / ago-78	5	-2.3	-1.5	-9.7	
oct-79 / feb-80	5	-2.3	-1.4	-8.7	
jul-82 / sep-83	3	-2.3	-1.7	-6	
ago-88 / nov-89	4	-3.6	-1.6	-11.3	
ago-88 / nov-88	4	-2.8	-1.4	-7.7	
dic-91 / jun-93	7	-2.3	-1.1	-13	
jul-94 / oct-95	4	-2.2	-1.3	-7	
No	9				

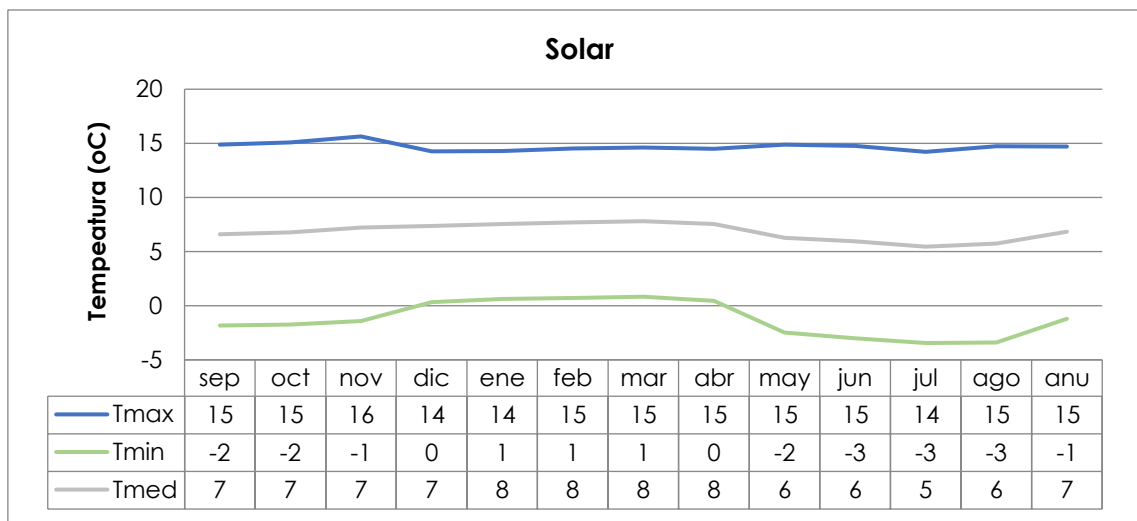
Nota. Esta tabla muestra los eventos de sequía identificados en la microcuenca Mamacocha, detallando para cada episodio la duración en meses, los valores de intensidad mínima y máxima, así como la severidad total calculada a partir del índice SPI-3.Dato.

4.1.1.6 Caracterización de la temperatura del aire

A continuación, muestran la temperatura máxima, mínima y media en las microcuencas de aprovechamiento hídrico entre 2000 y 2015. En el área de captación (>4,000 m s. n. m.) las heladas son frecuentes, sobre todo de junio a septiembre, aunque también pueden ocurrir en verano, cuando la temperatura desciende a 0 °C o menos. En Solar y Punajcocha, la temperatura máxima multianual ronda los 15 °C y la mínima los -1 °C (hasta -3 °C en julio), mientras que en Mamacocha la máxima es de 13 °C y la mínima llega a -4 °C, con valores extremos de -5 °C en julio.

Figura 16

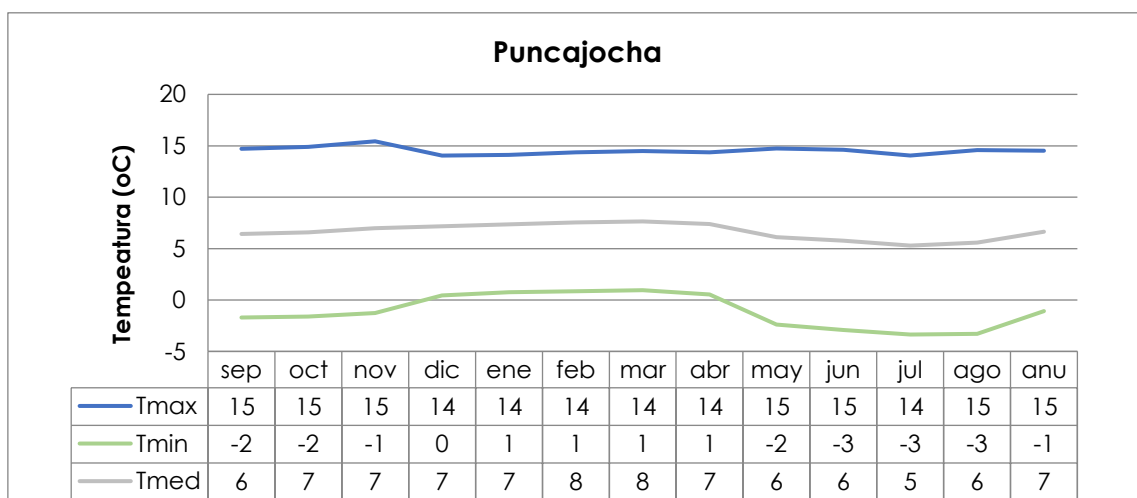
Temperatura media multimensual del periodo 2000-2015 en microcuenca Mamacocha



Nota. Esta figura muestra la temperatura máxima, mínima y media multimensual registrada en la microcuenca Mamacocha durante el periodo 2000–2015, permitiendo observar la variación estacional del comportamiento térmico a lo largo del año. Dato.

Figura 17

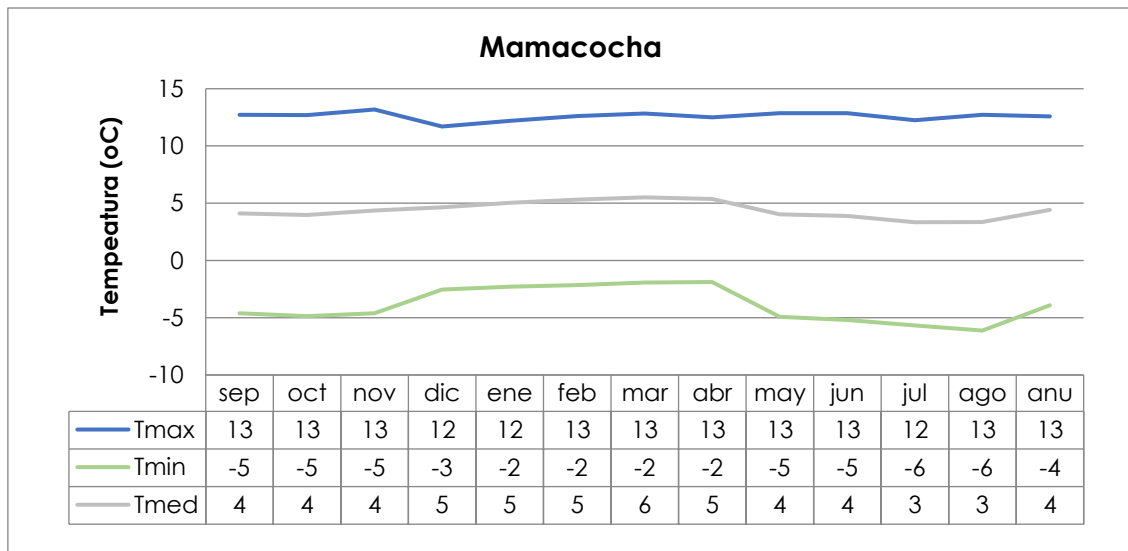
Temperatura media multimensual del periodo 2000-2015 en microcuenca Puncajocha



Nota. Esta figura muestra la temperatura máxima, mínima y media multimensual registrada en la microcuenca Puncacocha durante el periodo 2000–2015, permitiendo observar la variación estacional del comportamiento térmico a lo largo del año.

Figura 18

Temperatura media multimensual del periodo 2000-2015 en microcuenca Solar



Nota. Esta figura muestra la temperatura máxima, mínima y media multimensual registrada en la microcuenca Solar durante el periodo 2000–2015, permitiendo identificar la variación estacional del comportamiento térmico a lo largo del año.

4.1.1.7 Caracterización de la evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia (ETP) ha sido estimada utilizando la metodología propuesta por Hargreaves y Samani (1985), cuya expresión general se presenta a continuación.

$$ETP = 0.0135 * (Tm + 17.8) * Rs$$

La radiación solar incidente (R_s) se calcula a partir de la radiación extraterrestre (R_o), usando la fórmula propuesta por Samani (2000).

$$R_s = R_a * k_t * (T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Donde:

R_s : Radiación solar incidente en mm/día

R_a : Radiación solar extraterrestre se obtiene de tablas en función de la latitud del lugar y del mes (Ver anexo).

k_t : Coeficiente empírico

Como Ra está tabulada y las T_{máx} y T_{mín} son fáciles de obtener, la principal dificultad es estimar el coeficiente kt. Hargreaves (en Samani, 2000) sugiere kt = 0.162 para zonas interiores y 0.19 para zonas costeras; tomando un valor medio de 0.17, 0.0135·kt se aproxima a 0.0023.

$$ETP = 0.0023 * (Tm + 17.8) * (Tmax - Tmin)^{0.5} * Ra$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial en mm/día

T_m : Temperatura media en °C

T_{máx} : Temperatura máxima en °C

T_{mín} : Temperatura mínima en °C

Ra : Radiación extraterrestre en mm/día

Con apoyo de SIG se generaron mapas mensuales y anuales mediante álgebra de mapas, interpolando previamente la radiación solar extraterrestre de la Tabla según la expresión de Hargreaves-Samani.

Tabla 16

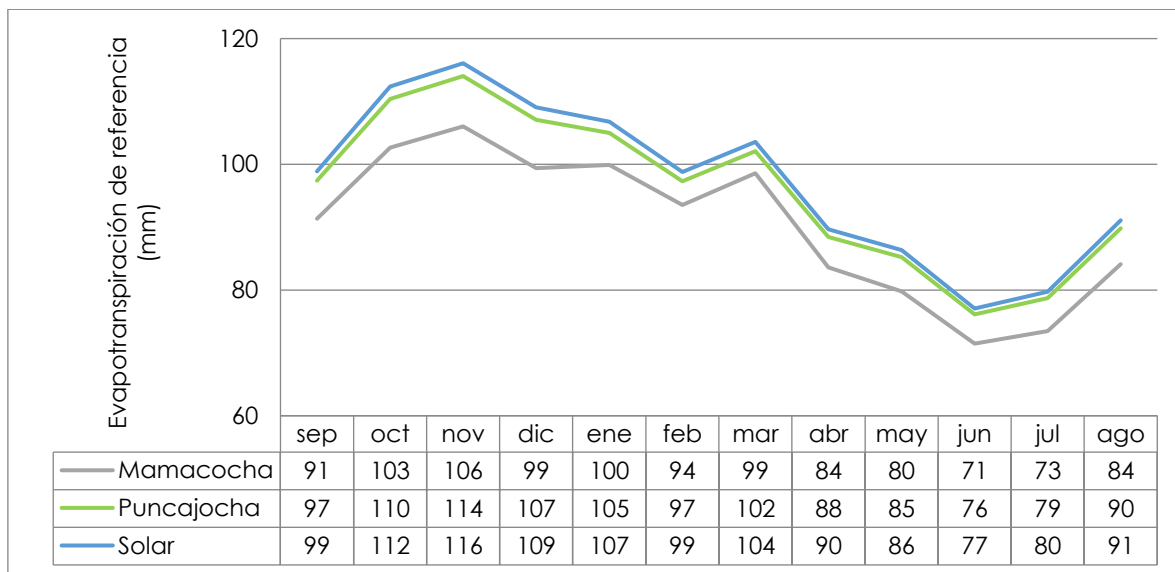
Radiación solar extraterrestre en MJ m⁻² d⁻¹

at (o)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
10	9.5	9.3	7.8	4.6	1.1	9.1	9.8	2.8	6.3	8.5	9.3	9.4
12	0.1	9.6	7.7	4	0.2	8.1	8.9	2.1	6	8.6	9.8	0
14	0.6	9.7	7.5	3.4	9.4	7.2	7.9	1.3	5.6	8.7	0.2	0.6

Nota. Esta tabla presenta los valores mensuales de la radiación solar extraterrestre expresada en MJ m⁻² d⁻¹, lo que permite identificar la variación estacional de la energía solar disponible a lo largo del año. Dato.

En la microcuenca Solar, la ETo media anual se estima en 1169 mm. A escala mensual, varía entre 73 y 106 mm, con valores mínimos en junio y máximos en noviembre.

Figura 19 Evapotranspiración de referencia media multimensual periodo 2010-2015 por microcuencas



Nota. Esta figura muestra la evapotranspiración de referencia media multimensual registrada en las microcuencas Mamacocha, Puncacocha y Solar durante el periodo 2010–2015, permitiendo identificar la variación estacional de la demanda evaporativa a lo largo del año. Dato.

4.1.1.8 Generación de caudales medios

a. Generación de Información de Caudales

Para estimar los caudales se aplicó el Modelo Determinístico-Estocástico de Lutz Scholz, adecuado para zonas con escasa información hidrológica. Combina un componente determinístico (balance hídrico mensual en un año medio) y otro estocástico (series extendidas mediante un proceso markoviano), basado en parámetros físicos y meteorológicos como precipitación efectiva, déficit de escurrimiento, retención y agotamiento de cuencas.

b. Procedimientos para la Implementación del Modelo

El modelo calcula primero parámetros hidrológicos para describir la esorrentía y estimar caudales en cuencas sin datos; luego se calibra y genera series extendidas mediante un proceso markoviano que relaciona la precipitación efectiva con el caudal previo. Aunque fue diseñado para pronosticar caudales mensuales en riego, hoy se

aplica también a estudios de abastecimiento y generación hidroeléctrica, con buena concordancia frente a los caudales medidos en la sierra peruana.

La estructura determinística del modelo se sustenta en la ecuación de Balance Hídrico.

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Donde:

CM_i = Caudal mensual (mm/mes)

P_i = Precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes)

D_i = Déficit de escurrimiento (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención de la cuenca (mm/mes)

A_i = Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Se asume que, en períodos prolongados (un año), el gasto y el abastecimiento de la retención son iguales ($G_i = A_i$). Asimismo, en un año promedio, parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación.

Al reemplazar ($P - D$) por ($C * P$) y considerando la conversión de unidades de mm/mes a m^3/seg , la ecuación se transforma en una expresión fundamental del método racional.

$$Q = c' * C * P * AR$$

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

c' = coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg)

C = coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación total mensual (mm/mes)

AR = Área de la cuenca (m^2)

La generación sintética de caudales se basa en un proceso markoviano de primer orden, que incorpora como variable de impulso la precipitación efectiva. La ecuación que describe este proceso se presenta a continuación.

$$Q_t = B1 + B2 (Q_{t-1}) + B3 (PE_t) + z(S)\sqrt{1-r^2}$$

Donde:

- Q_t : Caudal del mes t
 Q_{t-1} : Caudal del mes anterior
 PE_t : Precipitación efectiva del mes
 $B1$: Factor constante o caudal básico
 Z : Numero aleatorio (0,1)

c. Caudales para un año promedio por microcuencas

Se generaron los caudales de un año medio y los parámetros de cálculo con el modelo de Lutz, cuyos resultados para cada microcuenca se presentan en las Tablas a continuación. El caudal promedio anual es de 0.018 m³/s en la microcuenca Solar y de 0.005 m³/s tanto en Pucnajocha como en Mamacocha.

Tabla 17

Características Generales del área de aprovechamiento hídrico

Características generales de las microcuencas colectoras		
Parámetros	Solar	Unidad
Área de la Microcuenca: A	1.4	Km2
Altitud Media de la Microcuenca: H	4164	msnm
Pendiente Media de la Microcuenca	0.4	m/m
Precipitación Media Anual: P	884	mm
Evaporación Total Anual: ETP	1169.4	mm
Temperatura Media Anual: T	7	°C
Déficit de Escurrimiento: D - mm/año	431.4	mm
Coeficiente de Escorrentía: C	0.51	
Coeficiente de Agotamiento: a	0.03	

Relación de Caudales (30 días): bo	0.4	
Área de lagunas y acuíferos	0.07	Km2
Gasto Mensual de Retención:	65.71	mm/año

Nota. Esta tabla presenta las características generales de la microcuenca colectora Solar, incluyendo su área, altitud media, pendiente media y precipitación anual, información fundamental para la evaluación hidrológica del área de estudio. Dato.

Tabla 18

Caudal medios mensuales para el año promedio para la microcuenca Solar

est	días	Precipitación Mensual				Contribución de la Retención				Caudales	
		total	Pp Efectiva			Gasto		Abastecimiento		Generados	
			m/mes	E II	E III	E	i	i	i	i	m/mes
ene	0	84.8	8	27.6	28.2			.286	8.8	09.45	.059
feb	8	93.7	09.3	39.8	40.5			.313	0.6	19.91	.069
mar	1	40.4	2.3	5.2	5.7			.169	1.1	4.62	.034
abr	0	5.2	.5	.4	.5	.405	0	.021	.4	8.16	.026
may	1	5.9	.1	.9	.9	.154	5.3	.004	.3	6.91	.009
jun	0	1.1		.3	.3	.066	.6	.003	.2	.65	.004
jul	1	.3				.024	.4	.002	.1	.18	.002
ago	1	7.1	.2	.1	.1	.009	.9	.005	.3	.75	.001
set	0	2.9	.1	.6	.7	.004	.4	.019	.3	.87	.004
oct	1	4.8	.4	.3	.4	.001	.1	.021	.4	.14	.004
nov	0	2.9	.9	6.8	7			.038	.5	4.52	.008
dic	1	16.9	4.6	3.1	3.5			.119	.8	5.63	.024
año		84	20.1	46.1	48.8	.664	5.709		5.7	48.8	.02

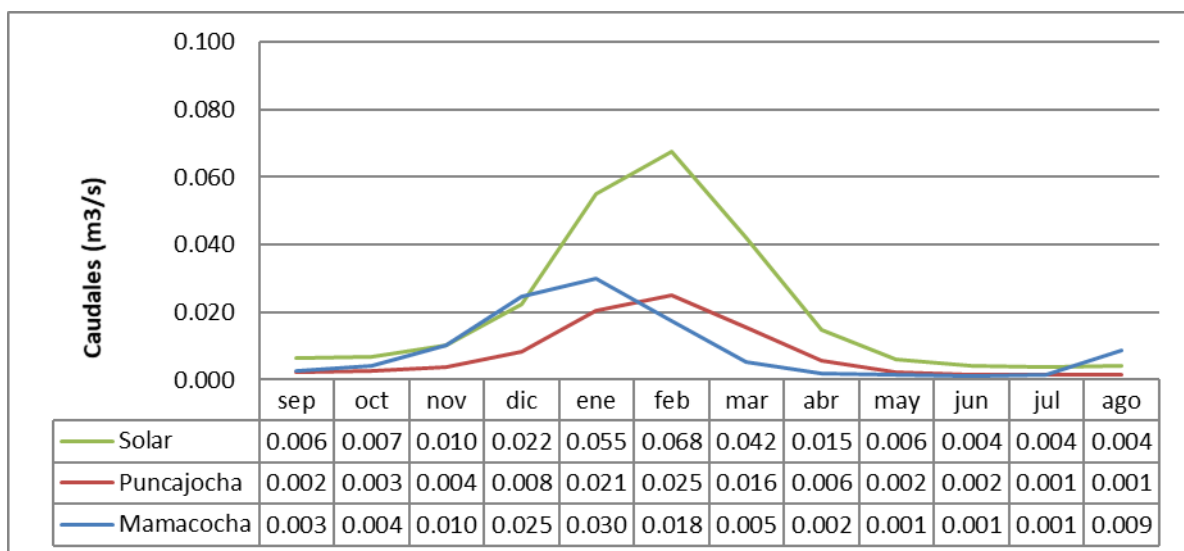
Nota. Esta tabla presenta los caudales medios mensuales de la microcuenca Solar, incluyendo la precipitación mensual, precipitación efectiva, contribución de la retención y los caudales generados y de abastecimiento, permitiendo caracterizar el comportamiento hidrológico promedio del área de estudio.

a. Caudales medios mensuales por microcuencas

A partir de la desagregación de un año medio se reconstruyó la serie 1968–2015 y el hidrograma mensual de las microcuencas Solar, Puncajocha y Mamacocha. En la microcuenca Solar, el caudal medio anual es 0.020 m³/s, con 0.068 m³/s en febrero y 0.004 m³/s en agosto. El aforo de octubre de 2017 (12.65 l/s) coincide con el rango estimado para ese mes (1–14 l/s), validando los caudales generados.

Figura 20

Hidrogramas medios mensuales por microcuenca



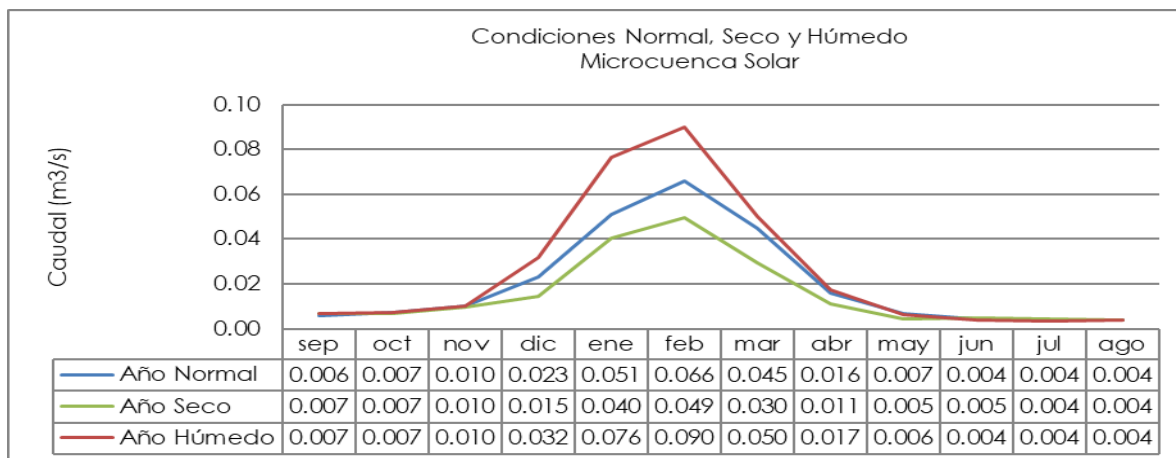
Nota. Esta figura muestra los hidrogramas medios mensuales de las microcuencas Solar, Puncacocha y Mamacoccha, permitiendo comparar la variación temporal de los caudales y visualizar los meses de mayor y menor aporte hídrico.

b. Caudales medios mensuales para condiciones normal, seco y húmedo

Se considera año seco cuando los caudales están por debajo del promedio histórico, año húmedo cuando lo superan y año normal cuando se mantienen cercanos a dicho promedio. En la microcuenca Solar (1968-69 a 2014-15), el caudal medio multianual es de 0.017 m³/s en años secos, 0.019 m³/s en años normales y 0.025 m³/s en años húmedos (Figuras 20 y 21).

Figura 21

Hidrograma de condiciones normal, seco y húmedo en la microcuenca Solar



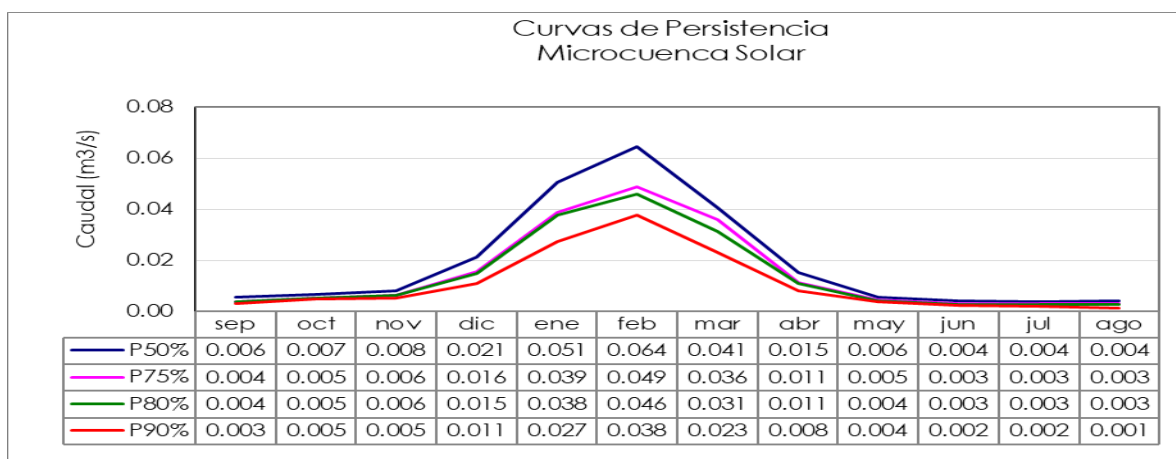
Nota. Esta figura muestra los hidrogramas mensuales bajo condiciones normal, seca y húmeda en la microcuenca Solar, permitiendo comparar la variación de los caudales y visualizar los cambios en el aporte hídrico según el régimen hidrológico predominante.

a. Caudales medios mensuales para diferentes niveles de persistencia

La estimación de caudales probabilísticos a distintos niveles de persistencia es fundamental para el diseño de proyectos de riego, hidroenergía y abastecimiento poblacional. En la microcuenca Solar, los caudales medios multianuales son de 0.008 m³/s para una persistencia del 50 %, 0.007 m³/s para el 75 % y 80 %, y 0.006 m³/s para el 90 %, lo que evidencia la variabilidad del recurso según su disponibilidad estadística.

Figura 22

Hidrograma a diferentes niveles de persistencia en la microcuenca Solar



Nota. Esta figura muestra los hidrogramas mensuales obtenidos para distintos niveles de persistencia en la microcuenca Solar, permitiendo comparar la variabilidad de los caudales y visualizar los cambios en el aporte hídrico bajo escenarios de mayor y menor probabilidad de ocurrencia.

4.1.1.9 Generación de caudales máximos

b. Método de Envolvente Creager

Este método, de enfoque regional, se aplica en cuencas no aforadas para estimar caudales máximos. Trau y Gutiérrez (1979) definieron siete regiones hidrológicas con ecuaciones que relacionan el caudal máximo con el área de la cuenca y el tiempo de retorno. El modelo incorpora cuatro coeficientes constantes que varían según la región y ajustan los valores en zonas sin información hidrométrica. La ecuación correspondiente se presenta a continuación.

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{m*A^{-n}}$$

Donde:

Qmax : Caudal máximos

T : Periodo de retorno

A : Área de la cuenca

C1, C2, m, n : constantes regionales según zona hidrológica del Perú

A continuación, se muestra las constantes de las siete regiones hidrológicas definidas por Trau (1979) y la Figura 22 su distribución espacial en el Perú. Este modelo de caudales máximos, desarrollado por Trau en 1979 y digitalizado por Narváez en 2012, facilita su aplicación en estudios hidrológicos actuales.

Tabla 19

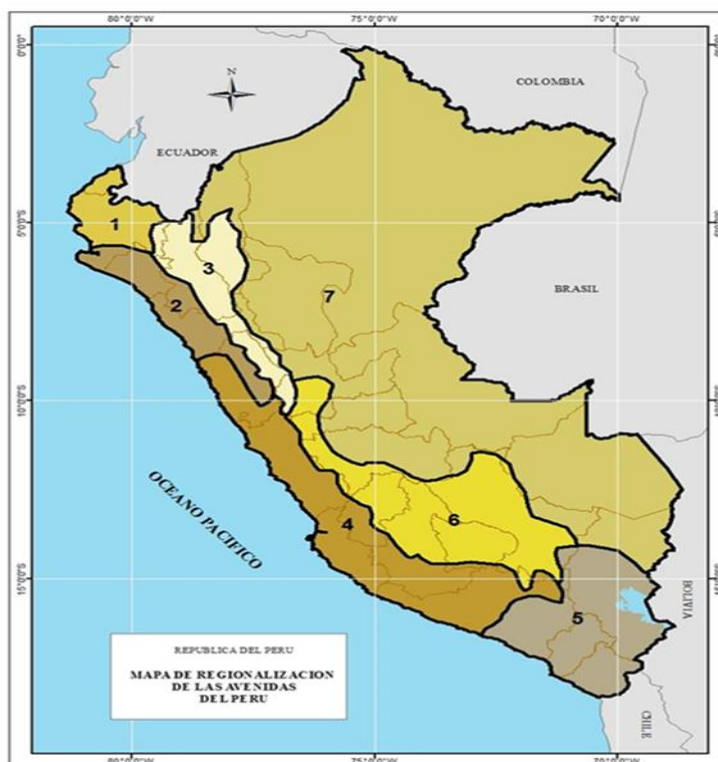
Constantes regionales para el método de Creager

Región	C2	m	n
1	4.37	1.02	0.04
2	1.28	1.02	0.04
3	1.48	1.02	0.04
4	0.36	1.02	0.04
5	0.26	1.02	0.04
6	0.31	1.02	0.04
7	0.37	1.02	0.04

Nota. Esta tabla los caudales máximos estimados con el método de Creager para distintos periodos de retorno (5 a 1000 años), usando las constantes $c_1 = 0.18$, $c_2 = 0.31$, $m = 1.24$ y $n = 0.04$, propias de la Región 6 según Trau (1979). Para la microcuenca Solar, el caudal máximo es de $1.256 \text{ m}^3/\text{s}$ para 50 años de retorno y de $1.479 \text{ m}^3/\text{s}$ para 100 años, valores clave para el diseño frente a eventos extremos.

Figura 23

Regionalización de caudales máximos por Método de envolvente Creager



Nota. Esta figura muestra la regionalización de los caudales máximos estimados mediante el método de envolvente Creager, identificando las zonas hidrológicas del país y permitiendo determinar los valores de referencia aplicables según la ubicación de la microcuenca de estudio.

Tabla 20

Caudal Máximo en la fuente de aprovechamiento hídrico según método Creager

Caudal máximo (m³/s) – Metodo creager	
Periodo de Retorno (Años)	Solar
2	0.223
5	0.517
10	0.74
20	0.962
50	1.256
100	1.479
200	1.702
500	1.996
1000	2.219

Nota. Esta tabla presenta los caudales máximos estimados para distintos periodos de retorno mediante el método de Creager, permitiendo evaluar el comportamiento hidrológico extremo de la microcuenca Solar y su capacidad de respuesta ante eventos de mayor magnitud.

a. Método Racional

El Método Racional se usa ampliamente para estimar caudales máximos a partir de una lluvia de diseño, especialmente en obras de drenaje urbanas y rurales. Permite calcular caudales sin datos hidrométricos, por lo que es una herramienta práctica para zonas con información limitada. La ecuación correspondiente se presenta a continuación.

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

A : Área (km²)

Q: Caudal máximo (m³/s)

C: Coeficiente de escurrimiento.

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño de las Curvas de I-D-F en (mm/h)

El coeficiente de escurrimiento se ha calculado basado en la expresión matemática propuesta por L. Turc , que relaciona el déficit de escurrimiento y la precipitación ambas caracterizaciones, basados en la fórmula:

$$C = \frac{P - D}{P}$$

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Dónde:

C : Coeficiente de escurrimiento (mm/año)

P : Precipitación total anual (mm/año)

D : Déficit de escurrimiento (mm/año)

T : Temperatura media anual (oC)

A continuación, se presenta los parámetros generados para estimar el coeficiente de escurrimiento.

Tabla 21

Coeficiente de Escurrimiento por microcuenca

Parámetros	Unidad	Solar
Precipitación Media Anual: P	mm/año	884
Temperatura Media Anual: T	°C	7
Coeficiente de Temperatura:		486.7
Déficit de Escurrimiento: D	mm/año	431.4

Tiempo de concentración	min	5.5
Coefficiente de Escorrentía: C		0.51
Área	Km2	1.4

Nota. Esta tabla presenta los parámetros hidrológicos fundamentales de la microcuenca Solar —precipitación media anual, temperatura media, coeficiente de temperatura, déficit de escurrimiento, tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía y área— necesarios para caracterizar el comportamiento del escurrimiento superficial y estimar la respuesta hidráulica del territorio. Dato.

4.1.1.9.1 Análisis de tormenta

Para estimar los caudales máximos se consideró una tormenta hipotética uniforme en la cuenca, usando la precipitación máxima en 24 h de la estación Andahuaylas (serie continua 1990–2015). El análisis de frecuencias se hizo con Hyfran, ajustando la Pmax24h a una distribución de Gumbel. Los valores obtenidos y sus periodos de retorno se presentan en la siguiente tabla y figura.

Tabla 22

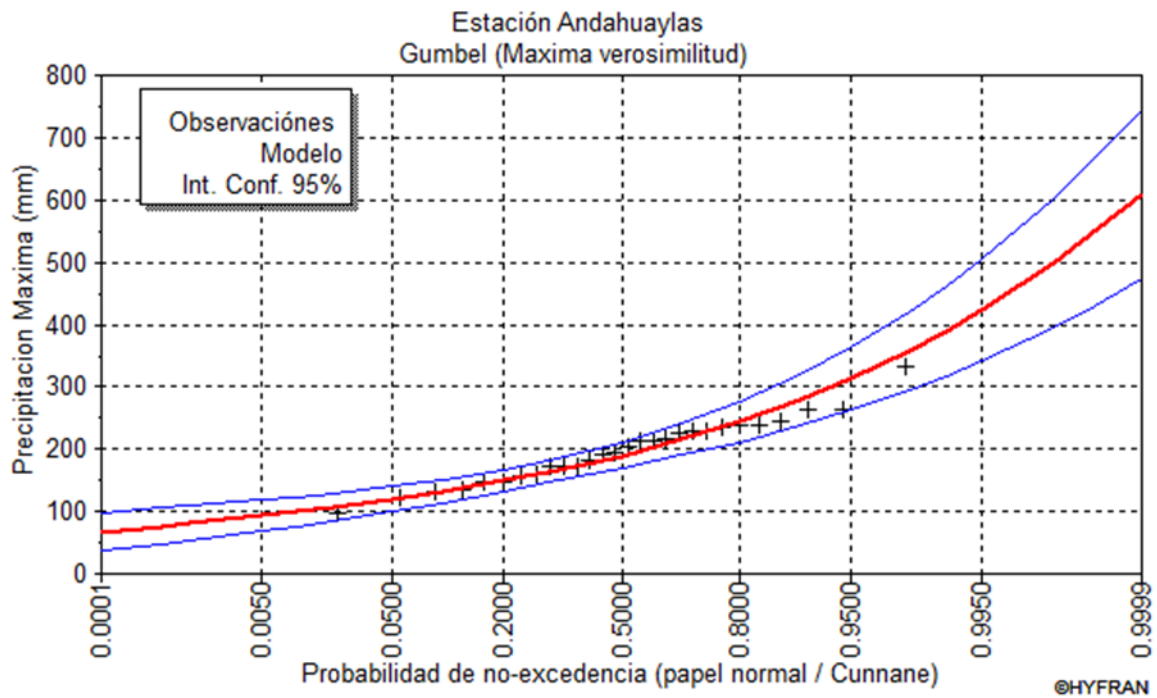
Precipitación máxima y periodos de retorno en la Estación Andahuaylas

Periodo de retorno (años)	Pmax (mm)
2	10.5
5	16.2
10	21
20	25.7
50	32.1
100	36.9
200	41.8
500	48.2
1000	53.2

Nota. Esta tabla presenta los valores de precipitación máxima asociados a distintos periodos de retorno en la estación Andahuaylas, información esencial para el análisis hidrológico de eventos extremos y la estimación de lluvias de diseño. Dato.

Figura 24

Precipitación máxima de ajuste a una distribución Gumbel



Nota. Esta figura muestra el ajuste de las precipitaciones máximas de la estación Andahuaylas mediante la distribución Gumbel, comparando los valores observados con el modelo y sus bandas de confianza al 95 %, permitiendo evaluar la representatividad estadística de los eventos extremos de lluvia.Dato.

Para la desagregación de la precipitación máxima para diferentes duraciones se ha determinado mediante el método de Dyck y Peschke, el cual tiene la siguiente forma:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

P_d : lluvia máxima de duración "d" $5' < d < 1440'$

d : duración de la lluvia en minutos

P_{24h} : lluvia máxima diaria en mm

Tabla 23

Tormenta para diferentes duraciones y tiempo de retorno en la estación Andahuaylas

período de retorno (años)	ma	Duración (minutos)																
	x			0	5	0	0	0	20	80	40	00	60	20	80	40	00	
	m																	
	0.5	.6	.4		.5	.8	.4	.4	.7	.5	.2	.7	.2	.6	.9	.3	.6	
	6.2	.8	.7	.6	.2	.6	.3	.7	.3	.4	.2	.9	0.5	1.1	1.5	2	2.3	
0	1	.9		.1	.7	.3	.1	.7	.6	.8	0.8	1.6	2.3	2.9	3.5	4	4.4	
0	5.7	.1	.3	.5	.3	.9	.8	.6	.8	1.3	2.4	3.3	4.1	4.8	5.4	6	6.5	
0	2.1	.3	.7	.1		.7	.8	.9	1.4	3.1	4.4	5.5	6.5	7.3	8	8.7	9.3	
00	6.9	.4		.5	.5	.3	.5	.9	2.7	4.6	6	7.2	8.2	9.2	0	0.7	1.4	
00	1.8	.5	.3		.1	.9	.3	0.8	3.9	6	7.6	8.9	0	1	1.9	2.7	3.5	
00	8.2	.7	.7	.6	.8	.8	.2	2.1	5.6	7.9	9.7	1.1	2.4	3.5	4.5	5.4	6.3	
000	3.2	.9			.3	.4	0	3.1	6.8	9.3	1.2	2.8	4.2	5.4	6.5	7.5	8.4	

Nota. Esta tabla presenta las intensidades de lluvia para distintos tiempos de retorno y duraciones en la estación Andahuaylas, información fundamental para el análisis de tormentas de diseño, la modelación hidrológica y la estimación de caudales máximos en eventos extremos. Dato.

Tabla 24

Intensidades máximas en la estación Andahuaylas

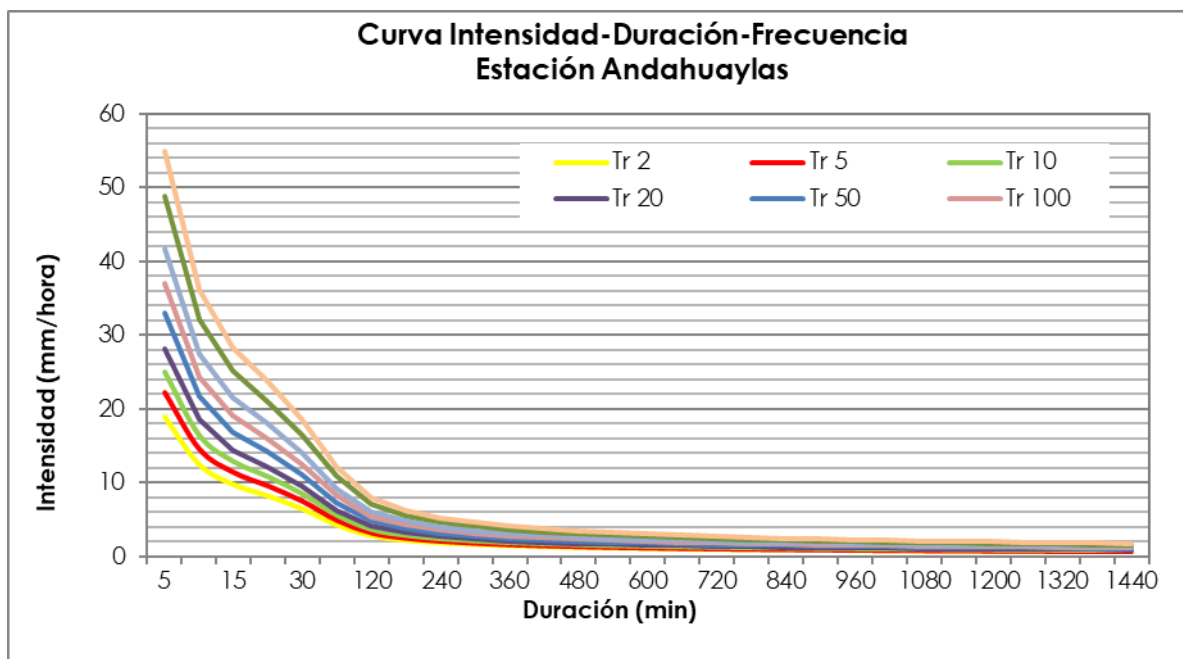
período de retorno (años)	Intensidad máxima (mm/hora)															
			0	5	0	0	0	20	80	40	00	60	20	80	40	00
	8.8	6.3	2.2	.9	.5	.7	.4	.8	.2	.8	.5	.4	.2	.1		
	4.2	1	5.7	2.8	0.9	.7	.7	.7	.8	.3		.8	.6	.4	.3	.2
0	8.4	4.5	8.4	5	2.8	0.2	.7	.3	.3	.7	.3	.1	.8	.7	.6	.4
0	2.5	8.1	1	7.1	4.7	1.6	.6	.9	.8	.1	.7	.4	.1	.9	.8	.7

0	7.9	2.8	4.5	0	7.1	3.6	.9	.7	.4	.6	.1	.7	.5	.3	.1	.9
00	2	6.4	7.2	2.2	9	5.1	.9	.3	.9		.4		.7	.5	.3	.1
00	6.1	9.9	9.9	4.3	0.8	6.5	0.8		.3	.4	.8	.3		.7	.5	.4
00	1.6	4.6	3.4	7.2	3.3	8.5	2.1	.8		.9	.2	.7	.4	.1	.8	.6
000	5.7	8.2	6.1	9.4	5.1	9.9	3.1	.4	.4	.3	.6		.6	.3	.1	.8

Nota. Esta tabla presenta las intensidades máximas de lluvia para diversos tiempos de retorno y duraciones en la estación Andahuaylas, información esencial para el análisis de tormentas extremas, el diseño hidrológico y la estimación de caudales máximos de corto periodo.

Figura 25

Curvas intensidad duración frecuencia en la estación Andahuaylas



Nota. Esta figura muestra las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la estación Andahuaylas para distintos periodos de retorno, permitiendo analizar la variación de la intensidad de lluvia en función del tiempo de duración y apoyar el diseño hidrológico e hidráulico de obras expuestas a eventos extremos.

La Tabla presenta los caudales máximos estimados con el Método Racional para diferentes periodos de retorno (5–1000 años). Para 50 y 100 años de retorno, los caudales máximos son de 7.27 y 8.53 m³/s en la microcuenca Solar, 24.03 y 27.06 m³/s

en Puncajocha, y 22.11 y 24.89 m³/s en Mamacocha, valores clave para el diseño de infraestructura frente a eventos extremos.

Tabla 25

Caudal Máximo en la fuente de aprovechamiento hídrico según método Racional

Caudal máximo (m ³ /s) – Método Racional	
Periodo de retorno (Años)	Solar
2	4.36
5	5.11
10	5.75
20	6.47
50	7.57
100	8.53
200	9.61
500	11.24
1000	12.65

Nota. Esta tabla presenta los caudales máximos estimados mediante el método Racional para distintos periodos de retorno en la microcuenca Solar, permitiendo evaluar la respuesta hidrológica de la cuenca ante eventos de lluvia de diferente magnitud y apoyar el diseño hidráulico de la fuente de aprovechamiento hídrico.

4.1.1.10 Balance hídrico superficial

Según la Guía Metodológica para el Balance Hídrico de América del Sur (UNESCO, 1982), el balance hídrico se obtiene como la diferencia entre la evapotranspiración real (ET_r), calculada con el método de Turc, y la precipitación (P), aplicado aquí a escala anual y también mensual.

$$\text{Esc} = \text{ET}_r - P$$

En la microcuenca Solar, el balance hídrico superficial anual es de 570 mm.

Tabla 26

Balance hídrico superficial en la microcuenca Solar

Balance Hídrico Superficial – Microcuenca Solar													
variables	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	anual
med (°C)													
	67	85	99	04	10	15	19	10	69	59	45	53	86.7
(mm)	3	5	3	17	85	94	40	5	6	1		7	84
TR (mm)	3	5	2	14	75	82	36	5	6	1		7	43.7
SC (mm)					0	1							40

Nota. Esta tabla presenta el balance hídrico superficial mensual de la microcuenca Solar, incluyendo precipitación, escorrentía, temperatura y almacenamiento, información esencial para evaluar la disponibilidad de agua, la capacidad de regulación natural y el comportamiento hídrico anual del área de estudio.

4.1.1.11 Balance hídrico del Proyecto

a. Demanda de agua con proyecto

Según el estudio de demanda del análisis agronómico y las reuniones con las comunidades beneficiarias, se ha determinado la cantidad de agua requerida para el desarrollo del proyecto de la siguiente manera:

Tabla 27

Demanda de Agua por Sectores de riego

MESES	UND.	ENE	FEB	AR	BR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DIAS	UND.	1	8	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1
demanda Illapascaca - Ccollpa	lt/seg					.23	.38	.13	.67	.75	.53	.53	
demanda Ccollpacasa - Pucaccasa	lt/seg					.98	.31	.52	.2	.59	.72	.08	
demanda Illaccas	lt/seg					.65	.49	.6	.94	.4	.55	.25	

a - Uchuycollpa													
demanda Ccatum pucro - Cruzpat a	lt/seg					.26	.84	.57	.26	.19	.77	.56	
demanda Jillpani	lt/seg					.34	.71	.72	.02	.59	.27	.69	
demanda Piscocollpa - Muñacata - Astanya	lt/seg					.24	.6	.25	.87	.07	.73	.4	
demanda Total	lt/seg					3.69	9.34	8.78	3.95	9.61	1.57	2.52	
COLUM REQUER.	M3					6,677.46	0,126.36	7,096.09	0,944.62	6,740.47	7,768.32	4,285.16	

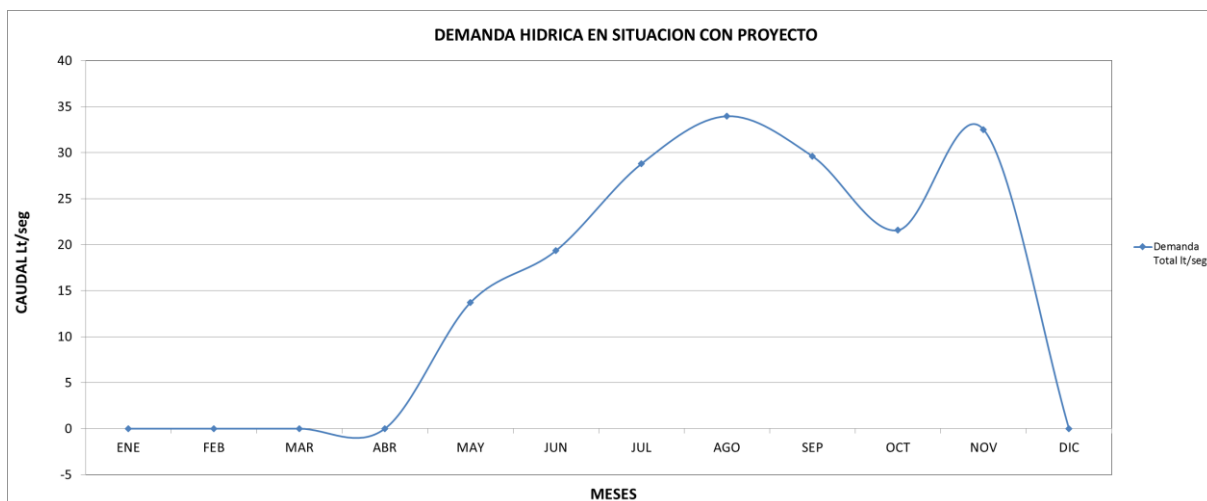
Nota. Esta tabla presenta la demanda mensual de agua por sectores de riego en la microcuenca Solar, detallando el requerimiento hídrico de cada sector según los días de riego y las necesidades específicas de cultivo, información esencial para evaluar la presión sobre la oferta hídrica y planificar una distribución eficiente del recurso.

TOTAL BENEFICIADA Ha	AREA	70
TOTAL VOL. DEMAN. M3		473,638.48
TOTAL VOL. DEMAN. MMC		0.47

Haciendo un total de 70 has distribuidos en 6 sectores y que el volumen a requerir es de 473,638.48 m3 haciendo una demanda de agua de 0.47 MMC.

Figura 26

Demanda hídrica en situación con proyecto



Nota. Esta figura muestra la demanda hídrica mensual en situación con proyecto en la microcuenca Solar, evidenciando el incremento del requerimiento de agua a lo largo del año debido a la ampliación del riego y permitiendo evaluar su relación con la oferta disponible del sistema.

Tabla 28

Demanda total de Agua por Sectores

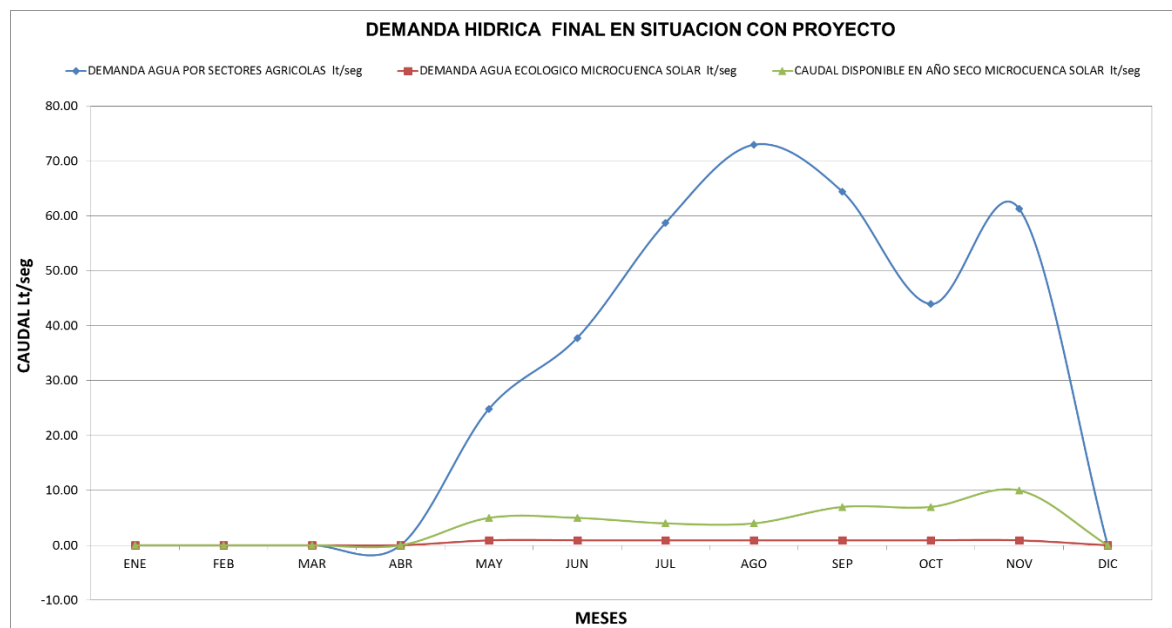
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DEMANDA AGUA POR SECTORES AGRÍCOLAS (l/s)	.00	.00	.00	3.69	9.34	8.78	3.95	9.61	1.57	2.12	.00	.00
DEMANDA AGUA ECOLÓGICO MICROCUENCA SOLAR (l/s)	.00	.00	.00	.90	.90	.90	.90	.90	.90	.00	.00	.00
CAUDAL DISPONIBLE EN AÑO SECO MICROCUENCA SOLAR (l/s)	.00	.00	.00	.60	5.25	5.69	0.86	5.69	5.48	3.43	.00	.00

DEMAN DA FINAL DEL RECUR SO AGUA (l/s)	.00	.00	.00	5,718. 79	9,521. 19	8,815. 32	2,664. 35	0,951. 30	1,452. 85	0,719. 99	.00	.00
COLUM REQUE RIDO POR MES (m³)	.00	.00	.00	5,718. 79	9,521. 19	8,815. 32	2,664. 35	0,951. 30	1,452. 85	0,719. 99	.00	.00
TOTAL VOL. REQUE RIDO M3	79,844. 28											
TOTAL VOL. REQUE RIDO MMC	.3798											

Nota. Esta tabla presenta la demanda total mensual de agua para los distintos sectores de riego en la microcuenca Solar, integrando el consumo por uso agrícola y ecológico a lo largo del año, información clave para evaluar la presión hídrica y determinar la disponibilidad real del recurso. Por lo que el volumen requerido para el embalse sería 379,844.28 m³ (0.2798 MMC).

Figura 27

Demanda hídrica final en situación con proyecto



Nota. Esta figura muestra la demanda hídrica final mensual en situación con proyecto en la microcuenca Solar, integrando los requerimientos agrícolas y ecológicos junto con la disponibilidad anual de caudal, permitiendo evaluar el equilibrio entre oferta y demanda del sistema.

a. **Oferta de agua con proyecto autorizado por el ANA**

De acuerdo a la Resolución Directoral N° 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A de la Autoridad Nacional de Agua autoriza al proyecto la utilización de las aguas de la microcuenca **solar** con los siguientes volúmenes y caudales.

Tabla 29

Oferta autorizada por el ANA

MESES	UND.	ENE	FEB	AR	BR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RESOLUCION	m3	.000	.000	.000	.000	.008	.008	.009	.010	.009	.010	.010	.000
DIREC	m3	.000	.000	.000	.000	,194	,824	,808	0,066	,499	0,041	,858	.000
TORAL													
N° 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A	lt/seg	.00	.00	.00	.00	.06	.02	.29	.76	.66	.75	.80	.00

Nota. Esta tabla presenta la oferta hídrica autorizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para los distintos sectores de la microcuenca Solar, detallando los volúmenes aprobados para uso consuntivo y no consuntivo, información clave para verificar la disponibilidad legalmente asignada del recurso hídrico en el área de estudio. Del cuadro anterior podemos inferir que el volumen autorizado por el ANA nos permite disponer de 64,290 m³

a. **Balance de agua con proyecto**

Así mismo realizando el respectivo balance de agua con el proyecto obtenemos lo siguiente:

Tabla. Balance de agua con proyecto

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OFERTA AL 75% DE PERSISTENCIA EN ÁREA DE CAPTACIÓN MICROCUENCAS: SOLAR (140 km ²)	05,794.12	19,742.63	7,758.92	9,805.41	4,728.52	,069.41	,371.72	,371.72	1,661.41	4,728.52	6,845.41	4,190.92
OFERTA FINAL DE AGUA AL 75% DE PERSISTENCIA DE LAS ÁREAS DE CAPTACIÓN MICROCUENCAS: SOLAR (140 km ²)	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68	5,787.68
EMANDA FINAL DE AGUA HACIENDO UN TOTAL DE 70 HA				.6	5.69	0.86	3.52	3.52	6.6	5.43	3.43	
ALANCE (DEFICIT)	9.5	9.6	6.5	10.9	19.9	22.4	16	15	9	8	6	16.5
OLUMEN MENSUAL AL 75% DE PERSISTENCIA	94,057.57	29,742.69	59,805.41	50,402.11	47,285.52	21,722.80	10,283.62	10,283.62	32,411.82	68,845.40	40,190.92	40,190.92

A EN ÁREA DE CAPTA CIÓN MICRO CUEN CAS: SOLAR (140 km ²)												
ALAN CE HÍDRI CO TOTAL	314,05 6.61	349,20 2.69	492,00 0.80	267,24 3.30	438,74 5.85	500,90 0.30	529,09 2.92	530,87 2.44	566,27 4.76	589,00 2.38	596,22 4.74	631,25 6.92

Nota. Esta tabla presenta que el volumen disponible de la oferta para la microcuenca solar es de 65,787.68 m³. Sin embargo, la demanda necesaria para el proyecto alcanza los 379,844.28 m³, lo que resulta en un déficit de -314,056.61 m³

De igual manera, el volumen total anual obtenido con un 75% de persistencia en el área de captación de la microcuenca solar, con un área de recepción pluviométrica de 1.40 km², es el siguiente:

Tabla 30

Resumen balance de agua en situación con proyecto

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
OFERTA AL 75% DE PERSISTENCIA EN ÁREA DE CAPTACIÓN - MICROCUENCAS: SOLAR (140 km ²)	9.50	9.60	6.50	1.50	.50	.06	5.25	0.86	3.52	4.00	6.50	6.50
DEMANDA FINAL DE AGUA POR SECTORES HACIENDO UN TOTAL DE 70 HA	.00	.00	.00	.00	.06	.29	.76	.80	.90	.00	.70	.80
ALANCE (DEFICIT)	9.50	9.60	6.50	4.10	11.75	27.36	22.19	19.02	9.98	11.00	10.20	16.50

OLUMEN MENSUAL AL 75% DE PERSISTENCIA EN ÁREA DE CAPTACIÓN MICROCUENCAS: SOLAR (140 km ²)	05,794.12	19,743.63	7,758.92	9,805.41	4,728.52	,069.40	,371.72	,371.72	1,661.48	6,845.40	4,190.92	4,190.92
---	-----------	-----------	----------	----------	----------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------

Nota. Esta tabla presenta el balance mensual de agua en situación con proyecto para los sectores de la microcuenca Solar, integrando la oferta disponible al 75 % de persistencia y la demanda hídrica total, permitiendo evaluar la suficiencia del recurso y el equilibrio oferta–demanda bajo el escenario propuesto.

Tabla 31

Oferta de Agua autorizado por el ANA

MESES	UND.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
D N° 0711-2019	m ³	.000	.000	.000	.008	.008	.009	.010	.009	.010	.010	.000	.000
olumen Total	³	4,290											

Nota. Esta tabla presenta El balance final del proyecto muestra un déficit de -333,000.01 m³, lo que significa que el proyecto no podría cumplir con su objetivo de proporcionar el servicio de riego para las 70 hectáreas requeridas, ni satisfacer las necesidades de los 5 sectores (comunidades) involucrados.

Tabla 32

Balance Hídrico Con oferta autorizado por el ANA

BALANCE HÍDRICO AL 75% DE PERSISTENCIA CON RESPECTO AL RD N°0711-2019-ANA/AAA.XI-PA	
M3	Hm3
-333,003.01	-0.333
DEFICIT / SUPERAVIT	

Nota. Esta tabla presenta el déficit en la oferta hídrica para las 70 hectáreas planteadas en la propuesta original, será necesario reducir el área a 10.5 hectáreas, utilizando riego por aspersión.

5.2. Cuantificación de la Oferta y Demanda Hídrica del Sistema de Riego Uripa

5.2.1. Oferta hídrica

El estudio hidrológico muestra que la microcuenca Solar tiene un caudal medio anual de 0.020 m³/s, con un rendimiento hídrico de 18.7 l/s·km² para el período 1968–2015, según el modelo de Lutz Scholz. No obstante, la oferta hídrica autorizada por la ANA es de solo 64,290 m³ anuales, lo que limita la distribución del recurso.

Tabla 33

Caudal medios mensuales para el año promedio para la microcuenca Solar

Mes	Caudales Medios	
	mm/mes	m3/s
Ene	109.45	0.059
Feb	119.91	0.069
Mar	64.62	0.034
Abr	48.16	0.026
May	16.91	0.009
Jun	7.65	0.004
Jul	3.18	0.002
Ago	2.75	0.001
Set	7.87	0.004
Oct	8.14	0.004
Nob	14.52	0.008
Dic	45.63	0.024
Año	448.8	0.020

Nota. Esta tabla presenta El caudal medio anual de la microcuenca Solar es 0.020 m³/s, con un máximo en febrero de 0.069 m³/s y un mínimo en agosto de 0.001 m³/s

De acuerdo a la Resolución Directoral N° 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A de la Autoridad Nacional de Agua autoriza al proyecto la utilización de las aguas de la microcuenca solar con los siguientes volúmenes y caudales.

Tabla 34

Oferta autorizada por el ANA

Meses	Volumen (Hm ³)	Volumen (m ³)	Caudal (L/s)
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	0
Mayo	0.008	8194	3.06
Junio	0.008	7824	3.02
Julio	0.009	8808	3.29
Agosto	0.01	10066	3.76
Septiembre	0.009	9499	3.66
Octubre	0.01	10041	3.75
Noviembre	0.01	9858	3.8
Diciembre	0	0	0

Nota. Esta tabla presenta la oferta mensual de agua autorizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para la microcuenca Solar, especificando los volúmenes aprobados y su equivalente en caudal, información esencial para verificar la disponibilidad hídrica regulada en el área de estudio. Dato. Resolución Directoral N° 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A. El volumen total autorizado por la ANA es de 64,290 m³

5.2.2. 5.4.2. Demanda hídrica

La demanda estimada de agua para riego en el proyecto es de 473,638.48 m³ anuales (0.47 MMC) para un área de 70 hectáreas distribuidas en seis sectores agrícolas. Sin embargo, la oferta disponible es insuficiente, resultando en un déficit de -314,056.61 m³. Este resultado es similar al identificado por Cayllahua Boza (2022), donde se reportó un déficit de agua del 40% en sistemas de riego en Apán Bajo y Moran Alto.

Tabla 35*Demanda de Agua para el sistema de riego*

Meses	Demanda Total (L/s)	Volumen Requerido (m ³)
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	13.69	36677.46
Junio	19.34	50126.36
Julio	28.78	77096.09
Agosto	33.95	90944.62
Septiembre	29.61	76740.47
Octubre	21.57	57768.32
Noviembre	32.52	84285.16
Diciembre	0	0

Nota. Esta tabla presenta la demanda mensual de agua del sistema de riego en la microcuenca Solar, detallando el caudal requerido y el volumen necesario por mes según las necesidades hídricas de los cultivos, información clave para evaluar la presión sobre la oferta del recurso. El volumen total demandado por el sistema de riego es de 473,638.48 m³

5.3. Análisis del Balance Hídrico y Evaluación de la Eficiencia del Sistema de Riego

Para evaluar si el sistema de riego tiene suficiente agua, se calcula la diferencia entre la oferta de agua autorizada por la ANA y la demanda del proyecto.

Tabla 36*oferta de agua autorizada por la ANA y la demanda del proyecto.*

Concepto	Volumen (m ³)
Oferta de agua autorizada por la ANA	64290
Demanda total de agua requerida	379844.28
Déficit de agua	-314056.61

Nota. Esta tabla indica que no hay suficiente agua para abastecer las 70 hectáreas planificadas en el proyecto de riego. Reducir la superficie de riego de 70 hectáreas a 10.5 hectáreas, utilizando un sistema de riego por aspersión para optimizar el uso del agua disponible.

El balance hídrico superficial del sistema de riego fue analizado a partir de la información presentada en el estudio hidrológico, donde se evidencian las principales pérdidas de agua:

Tabla 37

Balance hídrico superficial en la microcuenca Solar

Balance Hídrico Superficial													
variables	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	anual
med (oC)	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
	67.00	85.00	99.00	04.00	10.00	15.00	19.00	10.00	69.00	59.00	45.00	53.00	86.70
(mm)	3.00	5.00	3.00	17.00	85.00	94.00	40.00	5.00	6.00	1.00	.00	7.00	84.00
TR (mm)	3.00	5.00	2.00	14.00	75.00	82.00	36.00	5.00	6.00	1.00	.00	7.00	43.70
SC (mm)	.00	.00	.00	.00	0.00	1.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	40.00

Nota. Esta tabla muestra que la precipitación total anual en la microcuenca Solar es de 884 mm, mientras que la evapotranspiración real es de 443.7 mm. El balance hídrico superficial anual es de 440 mm, lo que indica que hay una diferencia positiva entre la precipitación y la evaporación del agua, lo que podría indicar una disponibilidad de agua en la microcuenca.

5.4. Estrategias de Mitigación del Déficit Hídrico

Ante el déficit hídrico identificado, se proponen cuatro líneas de acción: (1) construir una presa de almacenamiento para acumular agua en época de lluvias y usarla en estiaje; (2) implementar riego por aspersión y goteo para aumentar la eficiencia; (3) mejorar la gestión del recurso mediante programación y regulación de turnos de riego

según la disponibilidad hídrica; y (4) promover la recarga hídrica y la conservación de suelos mediante reforestación y prácticas de manejo del agua. Sanabria Fabián (2022) señala que el riego tecnificado puede reducir hasta en 50 % las pérdidas en temporadas secas, lo que respalda la importancia de estas medidas.

5.5. Discusión de Resultados

El estudio del sistema de riego Uripa evidencia una marcada escasez hídrica: la microcuenca Solar dispone de un caudal medio anual de 0.020 m³/s y una oferta autorizada de 64,290 m³, frente a una demanda de 473,638.48 m³ para 70 ha, generando un déficit de -314,056.61 m³. Esta brecha, acentuada por caudales mínimos en época seca (0.001 m³/s en agosto) y por la dependencia de las lluvias y de la laguna Huaytapallana, muestra la alta vulnerabilidad del sistema. Aunque el balance hídrico superficial (P = 884 mm; ETr = 443.7 mm) indica disponibilidad relativa de agua, las pérdidas asociadas al riego por gravedad superan el 50 %, según estudios previos.

Para enfrentar este escenario se propone: reducir el área de riego de 70 a 10.5 ha, sustituir el riego por gravedad por sistemas presurizados (aspersión o goteo), construir una presa de almacenamiento para regular agua entre lluvias y estiaje, mejorar la gestión mediante turnos y programación de riegos, y reforzar la recarga hídrica con reforestación y conservación de suelos. La adopción de estas medidas, especialmente el riego tecnificado y el almacenamiento, es clave para aumentar la eficiencia y asegurar la sostenibilidad del sistema de riego Uripa frente a la variabilidad climática.

5.6. Limitaciones del Estudio

Las limitaciones del estudio se encuentran relacionadas principalmente con la disponibilidad de información hidrometeorológica, la variabilidad climática y los desafíos asociados a la implementación de estrategias de optimización del recurso hídrico en el sistema de riego Uripa. La precisión de los datos hidrológicos utilizados se vio restringida por la ausencia de estaciones de medición en la microcuenca Solar, lo que obligó a recurrir a registros históricos y modelos de simulación, introduciendo cierto margen de incertidumbre en la estimación de la oferta y demanda de agua. Asimismo, la

investigación no contempló escenarios detallados de cambio climático, lo que deja abierta la posibilidad de que la disponibilidad hídrica en el futuro se vea afectada por variaciones extremas en las precipitaciones y temperaturas. La viabilidad de las estrategias propuestas, como la reducción del área de riego y la implementación de riego tecnificado, se encuentra condicionada a la inversión económica de los agricultores y al apoyo de las autoridades locales, factores que pueden retrasar o dificultar su aplicación en el corto plazo. Además, la aceptación de estas medidas dependerá de la disposición de la comunidad agrícola para adoptar nuevas prácticas y del acceso a capacitación técnica, aspectos que podrían influir en la efectividad de las soluciones planteadas. La limitada participación de entidades gubernamentales en la regulación y gestión del recurso hídrico también representa un desafío, ya que la sostenibilidad del riego requiere un enfoque coordinado entre diversos actores. En términos metodológicos, el estudio se enfocó en un análisis técnico sin incluir pruebas experimentales de las estrategias recomendadas, lo que restringe la posibilidad de validar empíricamente los beneficios proyectados. Asimismo, no se profundizó en los costos económicos que implicaría la adopción de estas medidas, lo que deja una brecha para futuros estudios que deseen evaluar la factibilidad financiera de las soluciones propuestas. Finalmente, las limitaciones de tiempo y las condiciones climáticas adversas durante el trabajo de campo dificultaron la recolección de datos en ciertas zonas de la microcuenca, lo que pudo haber influido en la representatividad de algunos resultados. A pesar de estas limitaciones, la investigación proporciona un diagnóstico claro de la problemática hídrica en el sistema de riego Uripa y establece una base sólida para la toma de decisiones orientadas a la gestión eficiente del agua en la zona.

5.6.1. Cuantificación de la Oferta y Demanda Hídrica del Sistema de Riego Uripa

Oferta hídrica

El estudio hidrológico indica que la microcuenca Solar tiene un caudal medio anual de 0.020 m³/s, con variaciones dependiendo de la estacionalidad. El caudal medio

anual generado según el modelo Lutz Scholz para la microcuenca Solar es de 0.020 m³/s, con un rendimiento hídrico de 18.7 l/s·km², representativo del período 1968-2015. Sin embargo, la oferta hídrica autorizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es de 64,290 m³ anuales, lo que genera restricciones en la distribución del recurso.

Tabla 38

Caudal medios mensuales para el año promedio para la microcuenca

Mes	Caudales	
	Medios	
	mm/mes	m ³ /s
Ene	109.45	0.059
Feb	119.91	0.069
Mar	64.62	0.034
Abr	48.16	0.026
May	16.91	0.009
Jun	7.65	0.004
Jul	3.18	0.002
Ago	2.75	0.001
Set	7.87	0.004
Oct	8.14	0.004
Nob	14.52	0.008
Dic	45.63	0.024
Año	448.8	0.02

Nota. Esta tabla muestra el caudal medio anual de la microcuenca Solar es 0.020 m³/s, con un máximo en febrero de 0.069 m³/s y un mínimo en agosto de 0.001 m³/s. Fuente: Estudio hidrológico.

De acuerdo a la Resolución Directoral N° 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A de la Autoridad Nacional de Agua autoriza al proyecto la utilización de las aguas de la microcuenca solar con los siguientes volúmenes y caudales.

Tabla 39*Oferta autorizada por el ANA*

Meses	Volumen (Hm ³)	Volumen (m ³)	Caudal (L/s)
Enero	0	0	0
Febrero	0	0	0
Marzo	0	0	0
Abril	0	0	0
Mayo	0.008	8194	3.06
Junio	0.008	7824	3.02
Julio	0.009	8808	3.29
Agosto	0.01	10066	3.76
Septiembre	0.009	9499	3.66
Octubre	0.01	10041	3.75
Noviembre	0.01	9858	3.8
Diciembre	0	0	0

Nota. Esta tabla muestra la oferta autorizada por el ANA, de todos los meses, el volumen total es de 64.290m³. Fuente: Resolución Directoral N° 0711-2019-ANA/AAA.XI-P.A.

Demanda hídrica

La demanda estimada de agua para riego en el proyecto es de 473,638.48 m³ anuales (0.47 MMC) para un área de 70 hectáreas distribuidas en seis sectores agrícolas. Sin embargo, la oferta disponible es insuficiente, resultando en un déficit de - 314,056.61 m³. Este resultado es similar al identificado por Cayllahua Boza (2022), donde se reportó un déficit de agua del 40% en sistemas de riego en Apán Bajo y Moran Alto.

Tabla 40*Demanda de Agua para el sistema de riego*

Meses	Demanda	Volumen
	Total (L/s)	Requerido (m ³)
Enero	0	0

Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	13.69	36677.46
Junio	19.34	50126.36
Julio	28.78	77096.09
Agosto	33.95	90944.62
Septiembre	29.61	76740.47
Octubre	21.57	57768.32
Noviembre	32.52	84285.16
Diciembre	0	0

Nota. Esta tabla muestra el volumen total demandado por el sistema de riego es de 473,638.48 m³. Fuente: Estudio hidrológico.

5.6.2. Análisis del Balance Hídrico y Evaluación de la Eficiencia del Sistema de Riego

Para evaluar si el sistema de riego tiene suficiente agua, se calcula la diferencia entre la oferta de agua autorizada por la ANA y la demanda del proyecto.

Tabla 41

Oferta, demanda y déficit de agua

Concepto	Volumen (m³)
Oferta de agua autorizada por la ANA	64290
Demanda total de agua requerida	379844.28
Déficit de agua	-314056.61

Nota. Esta tabla muestra el déficit hídrico es de -314,056.61 m³. Esto indica que no hay suficiente agua para abastecer las 70 hectáreas planificadas en el proyecto de riego. Reducir la superficie de riego de 70 hectáreas a 10.5 hectáreas, utilizando un sistema de riego por aspersión para optimizar el uso del agua disponible. Fuente: Estudio hidrológico

El balance hídrico superficial del sistema de riego fue analizado a partir de la información presentada en el estudio hidrológico, donde se evidencian las principales pérdidas de agua:

Tabla 42

Balance hídrico superficial en la microcuenca Solar

Balance Hídrico Superficial													
Variables	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	anual
Tmed (oC)	7	7	7	7	8	8	8	8	6	6	5	6	7
L	467	485	499	504	510	515	519	510	469	459	445	453	486.7
P (mm)	43	45	63	117	185	194	140	45	16	11	8	17	884
ETR (mm)	43	45	62	114	175	182	136	45	16	11	8	17	443.7
ESC (mm)	0	0	0	3	10	11	4	0	0	0	0	0	440

Nota. Esta tabla muestra que la precipitación total anual en la microcuenca Solar es de 884 mm, mientras que la evapotranspiración real es de 443.7 mm. El balance hídrico superficial anual es de 440 mm, lo que indica que hay una diferencia positiva entre la precipitación y la evaporación del agua, lo que podría indicar una disponibilidad de agua en la microcuenca. Fuente: Estudio hidrológico.

5.6.3. Estrategias de Mitigación del Déficit Hídrico

Dado el déficit hídrico identificado en el balance hídrico, se proponen las siguientes estrategias:

1. **Almacenamiento complementario:** Construcción de presa de almacenamiento para acumular agua en la época de lluvias y utilizarla en periodos de estiaje.
2. **Optimización del sistema de riego:** Implementación de riego por aspersión y goteo para mejorar la eficiencia del uso del agua.
3. **Gestión eficiente del recurso:** Regulación del riego según la disponibilidad hídrica y la programación de turnos de riego para maximizar el aprovechamiento del recurso.

4. **Recarga hídrica y conservación de suelos:** Reforestación de zonas críticas y promoción de prácticas de conservación del agua.

Sanabria Fabian (2022) reportó que la implementación de riego tecnificado redujo en un 50% las pérdidas de agua en temporadas secas. Esto refuerza la idea de que la infraestructura mejorada y la gestión eficiente son fundamentales para la optimización del recurso hídrico.

5.7. **Discusión**

Los resultados obtenidos en el estudio del sistema de riego Uripa evidencian un escenario de escasez hídrica significativa que afecta la sostenibilidad del riego en la zona de estudio. El balance hídrico ha demostrado que la oferta de agua disponible no es suficiente para cubrir la demanda requerida, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias de optimización del uso del recurso hídrico.

Déficit Hídrico y su Impacto en la Gestión del Riego

El análisis del balance hídrico revela que la microcuenca Solar cuenta con un caudal medio anual de $0.020 \text{ m}^3/\text{s}$, con una oferta hídrica total autorizada de $64,290 \text{ m}^3$. Sin embargo, la demanda hídrica para abastecer las 70 hectáreas proyectadas asciende a $473,638.48 \text{ m}^3$ anuales, lo que genera un déficit de $-314,056.61 \text{ m}^3$. Esta brecha hídrica representa un desafío crítico para la sostenibilidad del riego en la zona y concuerda con estudios previos que han reportado déficits similares en sistemas de riego de la región (Cayllahua Boza, 2022).

Dicha insuficiencia hídrica refleja la vulnerabilidad del sistema de riego ante la estacionalidad de las precipitaciones y la limitación en la captación de agua. Los valores obtenidos muestran que los caudales más bajos ocurren entre junio y agosto, con valores mínimos de $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ en agosto, lo que acentúa la crisis hídrica en meses de estiaje. Estos datos se alinean con el análisis hidrológico de la microcuenca, que indica una fuerte dependencia de las precipitaciones para la reposición de los cuerpos de agua, especialmente de la Laguna Huaytapallana, principal fuente de regulación hídrica.

Evaluación de la Eficiencia del Sistema de Riego

El sistema de riego Uripa, diseñado originalmente para un riego por gravedad, muestra importantes pérdidas de agua debido a la falta de eficiencia en la distribución del recurso. Estudios previos han demostrado que los sistemas de riego por gravedad presentan pérdidas superiores al 50%, lo que contribuye a la magnitud del déficit hídrico observado (Sanabria Fabian, 2022). En este contexto, la implementación de tecnologías de riego por aspersión y goteo podría generar mejoras sustanciales en la eficiencia del riego, optimizando la disponibilidad del recurso en función de la oferta hídrica real.

Se ha identificado que el balance hídrico superficial de la microcuenca Solar presenta una diferencia positiva entre la precipitación total anual (884 mm) y la evapotranspiración real (443.7 mm), lo que indica una relativa disponibilidad de agua en la zona. Sin embargo, la ineficiencia del sistema de riego y la falta de almacenamiento adecuado generan un acceso limitado al recurso, especialmente en meses de baja precipitación.

Propuestas para la Optimización del Uso del Agua

En respuesta a los hallazgos del estudio, se recomienda una serie de estrategias de mitigación para reducir el impacto del déficit hídrico:

Reducción del área de riego: Se plantea disminuir la superficie de riego de 70 hectáreas a 10.5 hectáreas, permitiendo una mejor distribución del recurso hídrico disponible y garantizando la viabilidad del sistema.

Implementación de riego tecnificado: La sustitución del riego por gravedad por un sistema de riego por aspersión o goteo permitiría reducir las pérdidas de agua y aumentar la eficiencia del riego. Estudios previos han demostrado que la tecnificación del riego puede reducir las pérdidas en más del 50% (Sanabria Fabian, 2022).

Almacenamiento de agua: La construcción de una presa de almacenamiento en la zona permitiría captar agua durante la temporada de lluvias y distribuirla en periodos de estiaje.

Gestión eficiente del recurso hídrico: Se recomienda implementar una programación de turnos de riego, regulando el uso del agua según la disponibilidad estacional y la demanda de los cultivos.

Reforestación y conservación de suelos: La protección de zonas de recarga hídrica mediante la reforestación de áreas críticas ayudaría a mejorar la capacidad de infiltración y retención de agua en la microcuenca.

En conclusión, el estudio evidencia que la oferta hídrica disponible no es suficiente para sostener la demanda actual del sistema de riego Uripa. Sin embargo, la implementación de estrategias de mitigación, tales como el riego tecnificado y el almacenamiento de agua, podría contribuir significativamente a mejorar la sostenibilidad del sistema. La optimización del uso del agua es clave para garantizar la continuidad del riego en la zona, permitiendo una gestión más eficiente y resiliente del recurso hídrico ante escenarios de variabilidad climática.

Limitaciones del Estudio

Las limitaciones del estudio se encuentran relacionadas principalmente con la disponibilidad de información hidrometeorológica, la variabilidad climática y los desafíos asociados a la implementación de estrategias de optimización del recurso hídrico en el sistema de riego Uripa. La precisión de los datos hidrológicos utilizados se vio restringida por la ausencia de estaciones de medición en la microcuenca Solar, lo que obligó a recurrir a registros históricos y modelos de simulación, introduciendo cierto margen de incertidumbre en la estimación de la oferta y demanda de agua. Asimismo, la investigación no contempló escenarios detallados de cambio climático, lo que deja abierta la posibilidad de que la disponibilidad hídrica en el futuro se vea afectada por variaciones extremas en las precipitaciones y temperaturas. La viabilidad de las estrategias propuestas, como la reducción del área de riego y la implementación de riego tecnificado, se encuentra condicionada a la inversión económica de los agricultores y al apoyo de las autoridades locales, factores que pueden retrasar o

dificultar su aplicación en el corto plazo. Además, la aceptación de estas medidas dependerá de la disposición de la comunidad agrícola para adoptar nuevas prácticas y del acceso a capacitación técnica, aspectos que podrían influir en la efectividad de las soluciones planteadas. La limitada participación de entidades gubernamentales en la regulación y gestión del recurso hídrico también representa un desafío, ya que la sostenibilidad del riego requiere un enfoque coordinado entre diversos actores. En términos metodológicos, el estudio se enfocó en un análisis técnico sin incluir pruebas experimentales de las estrategias recomendadas, lo que restringe la posibilidad de validar empíricamente los beneficios proyectados. Asimismo, no se profundizó en los costos económicos que implicaría la adopción de estas medidas, lo que deja una brecha para futuros estudios que deseen evaluar la factibilidad financiera de las soluciones propuestas. Finalmente, las limitaciones de tiempo y las condiciones climáticas adversas durante el trabajo de campo dificultaron la recolección de datos en ciertas zonas de la microcuenca, lo que pudo haber influido en la representatividad de algunos resultados. A pesar de estas limitaciones, la investigación proporciona un diagnóstico claro de la problemática hídrica en el sistema de riego Uripa y establece una base sólida para la toma de decisiones orientadas a la gestión eficiente del agua en la zona.

VI. Conclusiones

Del objetivo general. El estudio del sistema de riego Uripa en Chincheros ha puesto en evidencia un grave problema de escasez de agua, con un déficit anual de -314,056.61 m³, lo que pone en riesgo la sostenibilidad del riego agrícola en la zona. La cantidad de agua disponible no es suficiente para cubrir las necesidades de las 70 hectáreas planificadas, por lo que resulta imprescindible optimizar su uso y evitar desperdicios. Para enfrentar esta situación, es fundamental implementar estrategias que ayuden a aprovechar mejor el recurso, como reducir el área de riego, modernizar el sistema con tecnologías más eficientes y fomentar la conservación del agua. Estas medidas permitirán minimizar el impacto del déficit hídrico y asegurar que el agua se distribuya de manera sostenible y equitativa para los agricultores.

Del objetivo específico 1. El análisis del sistema de riego en Uripa reveló que el agua disponible es significativamente menor a la que se necesita para abastecer las 70 hectáreas de cultivos. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) ha autorizado un suministro anual de 64,290 m³, mientras que la demanda estimada asciende a 473,638.48 m³, lo que genera un déficit considerable de -314,056.61 m³. Este problema se agrava en los meses más secos, especialmente en junio, julio y agosto, cuando los caudales alcanzan niveles mínimos, llegando a solo 0.001 m³/s en agosto. Dado que la microcuenca Solar depende en gran medida de las precipitaciones estacionales, es fundamental mejorar la captación y almacenamiento de agua para asegurar su disponibilidad durante todo el año y evitar el impacto negativo del déficit hídrico en la producción agrícola.

Del objetivo específico 2. El sistema de riego por gravedad presenta importantes pérdidas de agua, lo que agrava el problema del déficit hídrico en la zona. Actualmente, su eficiencia es baja, con desperdicios que superan el 50%, lo que evidencia la urgencia de modernizar el sistema mediante la implementación de riego

tecnificado. Frente a esta realidad, una medida clave sería reducir el área de riego de 70 hectáreas a 10.5 hectáreas, permitiendo un uso más eficiente del agua disponible y asegurando que los cultivos puedan recibir el recurso sin comprometer la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Del objetivo específico 3. Para mejorar el aprovechamiento del agua en el sistema de riego, es clave apostar por el uso de tecnologías más eficientes. Implementar un sistema de riego por aspersión o goteo permitiría reducir significativamente las pérdidas de agua y optimizar su uso, beneficiando a los agricultores y asegurando una mayor productividad. Asimismo, la construcción de una presa en la microcuenca ayudaría a captar el agua de las lluvias y almacenarla para los meses de sequía, reduciendo el impacto del déficit hídrico y garantizando un suministro más estable. Además, organizar el riego a través de turnos y una mejor regulación en el uso del agua permitiría distribuir el recurso de manera más equitativa y eficiente, asegurando que todos los agricultores tengan acceso al agua que necesitan. Por otro lado, la conservación de suelos y la reforestación en zonas clave ayudarían a mejorar la retención del agua y a fortalecer el equilibrio natural del ecosistema hídrico en la microcuenca Solar, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

VII. Recomendaciones

Del objetivo general. A partir de los resultados obtenidos, es fundamental poner en marcha un plan integral para optimizar el uso del agua en el sistema de riego Uripa. Este plan debe contemplar mejoras en la infraestructura, la implementación de tecnologías de riego más eficientes y estrategias de conservación del agua que ayuden a aprovechar mejor cada gota disponible. Con estas acciones, no solo se podrá reducir el déficit hídrico que afecta a la zona, sino que también se garantizará un manejo más sostenible del recurso, asegurando su disponibilidad para la agricultura y el bienestar de las comunidades que dependen de él.

Del objetivo específico 1. Para garantizar un uso sostenible y eficiente del agua en el sistema de riego, es fundamental llevar un monitoreo continuo del balance hídrico, prestando especial atención a los cambios estacionales en las precipitaciones y a la variación en los caudales. Esto permitiría anticipar posibles déficits y tomar decisiones más acertadas en la gestión del recurso. Además, resulta clave coordinar con la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para explorar la posibilidad de ampliar la oferta hídrica disponible, implementando infraestructura complementaria que facilite la captación y el almacenamiento del agua en épocas de mayor disponibilidad. Por otro lado, dado el creciente desafío de la escasez de agua, es necesario considerar alternativas innovadoras, como la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego, lo que permitiría diversificar las fuentes de abastecimiento y reducir la presión sobre los cuerpos de agua naturales.

Del objetivo específico 2. Para hacer un uso más eficiente del agua y garantizar que todos los agricultores puedan beneficiarse del recurso disponible, es necesario ajustar el área de riego, reduciéndola de 70 hectáreas a 10.5 hectáreas. De esta manera, se evitaría la sobreexplotación del sistema y se aseguraría una distribución más equitativa. Asimismo, la implementación de riego por aspersión o goteo permitiría reducir

significativamente las pérdidas de agua, optimizando su uso y aumentando la eficiencia del sistema. Sin embargo, estas mejoras solo serán efectivas si los agricultores cuentan con el conocimiento necesario para aplicarlas correctamente. Por ello, es fundamental fortalecer su capacitación en buenas prácticas de riego y conservación del agua, brindándoles las herramientas necesarias para aprovechar al máximo este recurso vital y asegurar su disponibilidad en el futuro.

Del objetivo específico 3. Para garantizar un acceso más estable y equitativo al agua, es fundamental impulsar la construcción de una presa de almacenamiento que permita captar el recurso durante la temporada de lluvias y reservarlo para los meses de sequía, asegurando así su disponibilidad cuando más se necesita. Además, la implementación de un sistema de turnos de riego contribuiría a distribuir el agua de manera justa entre los agricultores, evitando desperdicios y promoviendo un uso más eficiente. La conservación del ecosistema también juega un papel clave en esta estrategia, por lo que la reforestación de áreas estratégicas y la recuperación de suelos degradados ayudarían a mejorar la capacidad natural de la microcuenca para infiltrar y retener el agua. Sin embargo, llevar a cabo estas acciones requiere del esfuerzo conjunto de la comunidad agrícola, las autoridades y las organizaciones especializadas. Por ello, es crucial coordinar con entidades gubernamentales y asociaciones del sector para obtener financiamiento y apoyo técnico que permitan modernizar el sistema de riego y hacerlo más sostenible en el tiempo.

VIII. Referencias

- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7.^a ed.). <https://apastyle.apa.org/products/publication-manual-7th-edition>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Manual de diseños de obras hidráulicas: Sifones invertidos*. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Manual de diseños de obras hidráulicas: Sifones invertidos* [Manual técnico]. Autoridad Nacional del Agua. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Manual de diseños de obras hidráulicas: Sifones invertidos*. Autoridad Nacional del Agua. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/manual-disenos-1_0_2.pdf
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Resolución Directoral N.º 0711-2019-ANA: Otorga derecho de uso de agua para riego* [Resolución]. <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/resoluciones/0711-2019-ana.pdf>.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). *Política y estrategia nacional de recursos hídricos del Perú*. Autoridad Nacional del Agua. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/politica-nacional-recursos-hidricos.pdf>
- Calcina Luján, J. E. (2022). *Evaluación hidráulica del sistema de riego Ccasapata para el afianzamiento hídrico en el distrito de Pomacanchi, Cusco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6823>

- Cayllahua Boza, S. H. (2022). *Diseño de riego tecnificado en la optimización del recurso hídrico de Sapallanga – Huancayo* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio institucional UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4011>
- Chacha Jumbo, R. F., & Chuncha Simbaña, V. E. (2022). *Optimización y mejoramiento de la red de conducción de agua potable para los habitantes Carmelitas, San Carlos y Nuevos Horizontes, usuarios de la Junta Administradora de Agua Potable Nuestra Señora de la Elevación de Santa Rosa del cantón Ambato, provincia de Tungurahua* [Proyecto de titulación, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36294>
- Chambi Mamani, P. C. (2019). *Caudal medio* [Documento]. Scribd. <https://es.scribd.com/document/487974195/Caudal-MEDIO>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill Education. <https://www.mhprofessional.com/9780070397323-usa-applied-hydrology-group>
- Congreso de la República del Perú. (2009). *Ley de Recursos Hídricos N.º 29338*. *Diario Oficial El Peruano*. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley-n-29338.pdf>
- Diagnóstico Obra 7 Comunidades Uripa. (2018). *Mejoramiento del servicio de agua para riego de siete comités en el centro poblado de Chuparo, distrito de Anco Huallo – Chincheros – Apurímac* [Informe técnico]. Scribd. <https://es.scribd.com/document/395323091/Diagnostico-Obra-7-Comunidades-Uripa>
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/f2430e/f2430e.pdf>

- ESAN. (2023). *La brecha de infraestructura de riego en el sector agropecuario*. Conexión ESAN. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/la-brecha-de-infraestructura-de-riego-en-el-sector-agropecuario>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). *Compendio de herramientas y buenas prácticas para el manejo del agua en la agricultura* (Documento FAO No. 19). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/y4386s/y4386s00.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Manual de diseño de sistemas de riego por gravedad*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i2801s/i2801s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *El riego y la gestión sostenible del agua en la agricultura*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i7959s/i7959s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Irrigation in the Americas in figures: AQUASTAT survey – 2016*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a-i7741s.pdf>
- García, D., Pérez, J., Brown, O., Espinosa, H., & López, M. (2024). Caracterización ingenieril de obras hidráulicas en la provincia Ciego de Ávila. *Universidad & Ciencia*, 13(1), 109–121. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10535045>
- GSAgua. (2023). *Afianzamiento hídrico de cuencas: Seguridad hídrica en armonía con los ecosistemas*. GSAgua. <https://gsagua.com/afianzamiento-hidrico-en-cuencas>
- Hidrotec. (2025). *¿Qué es un sifón? Tipos y aplicaciones*. Hidrotec. <https://www.hidrotec.com/blog/sifon>

- Huamán Poma, L. G. (2024). *Análisis hidráulico y proyecto hidráulico de obras de captación y traslado para el uso de un nuevo sistema de riego en el distrito Tres de Diciembre* [Tesis de ingeniería, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio institucional UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/8290>
- Instituto Nacional de Calidad. (2016). *NTP ISO 4435: Sistemas de tuberías plásticas para saneamiento y drenaje (no a presión) enterrados — Uniones y tubos de PVC-U*. Instituto Nacional de Calidad. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2922341/NTP-ISO-4435-2016.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). *NTP 399.162: Tubos de polietileno (PE) para conducción de agua — Requisitos*. Instituto Nacional de Calidad. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2922346/NTP-399.162-2018.pdf>
- Jácome Terán, L. E., & Vela Iza, G. F. (2021). *Evaluación y mejoramiento hidráulico de la infraestructura del sistema de riego biprovincial Ambuquí* [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20728>
- Jägermeyr, J., Müller, C., & Ruane, A. C. (2015). Global simulation of irrigation water fluxes and efficiencies: Implications for water resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(7), 3073–3091. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3073-2015>
- Jensen, M. E. (Ed.). (1990). *Evapotranspiration and irrigation water requirements* (ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 70). American Society of Civil Engineers. <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780872627631>
- Kumar, R. (2011). *Research methodology: A step-by-step guide for beginners* (3.^a ed.). SAGE Publications. <https://books.google.com/books?id=a3PwLukoFIMC>
- Lluen Montano, J. D. (2015). *Análisis hidráulico-energético mediante simulación y optimización de diversos escenarios de operación del sistema de riego en los jardines de la UNALM* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La

Molina]. Repositorio institucional UNALM.

<https://hdl.handle.net/20.500.12996/920>

López Saavedra, J. E. (2021). *Evaluación y mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable del Centro Poblado Santa Clara, distrito San Juan Bautista, provincia de Maynas, región Loreto* [Tesis de ingeniería, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote]. Repositorio institucional ULADECH.

<https://hdl.handle.net/20.500.13032/23393>

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (2014). *Guía metodológica para el estudio de caudales de estiaje*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

https://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/a00307.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2020). *Diagnóstico nacional de infraestructura de riego*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<https://www.midagri.gob.pe/portal/recursos>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2020). *Estrategia nacional de gestión de recursos hídricos en la agricultura*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/1066.pdf>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *Informe nacional sobre el estado de la infraestructura de riego en el Perú*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<https://www.midagri.gob.pe/portal/recursos>

Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices* (2.^a ed.). Prentice Hall.

<https://www.pearson.com/us/higher-education/product/Ponce-Engineering-Hydrology-Principles-and-Practices-2nd-Edition/9780135306394.html>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Gestión social del agua y reducción de desigualdades en comunidades rurales de los Andes*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

<https://www.undp.org/es/peru/publications/gestion-social-del-agua-y-reduccion-de-desigualdades-en-comunidades-rurales-de-los-andes>

- Proyecto Especial Sierra Centro Sur. (2021). *Proyecto de rehabilitación del sistema de riego Uripa – Ranracancha, Chincheros*. Proyecto Especial Sierra Centro Sur. <https://www.gob.pe/institucion/pescs/noticias/1095061>
- Rivas Ponce, T. E. (2021). *Mecanismo de bombeo de agua sin energía eléctrica mediante ariete hidráulico y sifón invertido* [Proyecto de titulación, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio institucional UNESUM. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3342/1/15-07-2021%20tesis%20TEDDY%20EDUARDO%20RIVAS%20PONCE.pdf>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education. <https://books.google.com/books?id=puZAEAAAQBAJ>
- Sánchez Rojas, C. (2022). *Diseño y simulación de la variación de presión en sifón invertido en el sector de Layanhuayco, Anco Huallo, Chincheros, Apurímac – 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91719>
- Smajgl, A., Ward, J., Pluschke, L., Urich, P., & Bharati, L. (2015). *Water governance for the 21st century: The water–food–energy–ecosystems nexus*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-15087-6>
- Taherdoost, H. (2016). Validity and reliability of the research instrument: How to test the validation of a questionnaire/survey in a research. *International Journal of Academic Research in Management*, 5(3), 28–36. <https://ssrn.com/abstract=3205040>
- Tamayo, M., & Tamayo, M. (2013). *El proceso de la investigación científica*. Limusa. <https://books.google.com.pe/books?id=BhymmEqkkJwC>
- Torre Pérez, W. C., & Vega Quispe, J. J. (2021). *Diseño hidráulico de sifón invertido del cruce canal de riego quebrada Sonccoyuma, distritos Antabamba, provincia Antabamba – departamento de Apurímac* [Tesis de licenciatura, Universidad

César Vallejo]. Repositorio institucional UCV.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/75784>

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (1985). *Urban hydrology for small watersheds* (TR-55). U.S. Department of Agriculture.

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050416.pdf

Universidad Politécnica de Madrid. (2017). *Tema 10: Régimen de caudales* [PDF].

Universidad Politécnica de Madrid. [https://moodle.upm.es/en-](https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/847/mod_label/intro/Tema10.pdf)

[abierto/pluginfile.php/847/mod_label/intro/Tema10.pdf](https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/847/mod_label/intro/Tema10.pdf)

Vallejo Patarón, M. A. (2024). *Diseño hidráulico de un sistema de riego parcelario para el Proyecto Chambo Guano, Fase II, para la comunidad Chingazo Alto, módulo 5, cantón Guano* [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo].

Repositorio institucional ESPOCH.

<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22899>

Zhu, Z., Guan, G., Mao, Z., Wang, K., Gu, S., & Chen, G. (2020). Hydraulic performance of inverted siphons for irrigation water supply using physical modeling. *Water*,

12(10), 2733. <https://doi.org/10.3390/w12102733>

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